



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FREN BALATALARINDA NANO MALZEMELERİN KULLANIMININ FRENLEME PERFORMANSINA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Mustafa TOROS

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Anabilim Dalı

Haziran-2011

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mustafa TOROS

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

FREN BALATALARINDA NANO MALZEMELERİN KULLANIMININ FRENLEME PERFORMANSINA ETKİLERİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Mustafa TOROS

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Recai KUŞ

2011, 113 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Doç. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN
Yrd.Doç.Dr. Recai KUŞ

İnsan sağlığına olumsuz etkileri olması sebebiyle otomotiv fren balatalarında asbestin kullanımı yasaklanmıştır. Asbestin yerine asbestsiz organik fren balatası araştırma ve geliştirme çalışmaları hızlanmıştır. Son yirmi yılda otomotiv teknolojisindeki hızlı gelişmelerin sonucu olarak yüksek hız ve ivmelenme kabiliyetine sahip taşıtlar üretilmiştir. Bu nedenle otomotiv fren balatalarında bileşen olarak kullanılan malzemelere olan ilgide artmıştır. Dünyada yeni keşfedilen nano teknoloji fizik, kimya, biyoloji ve mühendislik gibi disiplinler arası bir konuma sahiptir. Birçok endüstri alanında kullanılan nano teknolojik ürünler endüstri, uzay, ilaç, elektronik, tarım ve sağlık gibi bütün alanlarda potansiyel etkileri bulunmaktadır.

Bu çalışmada, bakır (% 70), kalay (% 9), demir (% 12), kurşun (% 9) kimyasal bileşimlerine, grafit/karbon nano tüp ağırlıkça %0,5, %1, %2 ve %4 oranlarında katılarak balata numuneleri üretilmiştir. Üretilen grafitli ve karbon nano tüplü numunelerin frenleme performansına etkileri, 150-200 ve 250 N'luk pedal kuvvetine bağlı olarak 10 dakikalık denemelere tabii tutulmuşlardır. Deney sonucunda 10 dakikalık zamana göre karbon nano tüplü bileşimlerde maksimum frenleme momenti B2 numunesinde, sıcaklık 159 ºC, aşınma 4,6865 gr, disk sıcaklığı 360 ºC olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Balata, Fren, Frenleme kuvveti, Karbon nano tüp balata, Taşıt.

ABSTRACT

MSC THESIS

BRAKING PERFORMANCE OF THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THE USE OF NANO-MATERIALS IN BRAKE LININGS

Mustafa TOROS

Selcuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Machine Education

Advisor: Asst.Prof.Dr. Recai KUŞ

2011, 113 Pages

Jury

Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Assoc.Prof.Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN
Asst.Prof.Dr. Recai KUŞ

Adverse effects on human health due to the use of asbestos in automotive brake linings are prohibited. Instead of this material, research and development activities about without asbestos organic brake pad have accelerated. The last two decades as a result of rapid developments in automotive technology, capable of much higher speed and acceleration of vehicles produced. Therefore, the materials used as an ingredient in automotive brake linings also has gained popularity. In the world it has been discovered newly a nano-technology, has an interdisciplinary position among physics, chemistry, biology and engineering. Nano-technological products are used in the fields of most industries, has potential effects on all areas such as industry ,aerospace, pharmaceuticals, electronics, agriculture and health.

In this study, copper (70%), tin (9%), iron (12%), lead (9%), chemical composition, by weight of graphite and carbon nano-tube 0.5%, 1%, 2% and 4% rates of participating pad samples were produced. Graphite and carbon nano-tube samples produced by the effects of braking performance, 150-200, and 250 N pedal force depending on the hood has been subjected to a 10 minute essays. Combinations of carbon nano-tubes as a result of the experiment according to the time of 10 minutes maximum braking torque B2 sample, the temperature to 159 ºC, 4.6865 grams of wear, disk temperature is measured at 360 ºC.

Keywords: Brake, Brake force Pad, Carbon nano-tube pad, Vehicle,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde yapmış olduğu çok değerli katkı ve yönlendirmeler ile bana büyük destek veren ve elinden gelen yardımı esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Recai KUŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deney çalışmalarının Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Laboratuarlarında yapılmasına katkılarından dolayı Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dekanı Prof.Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU'na teşekkür ederim..

Deney çalışmasında numunelerin kimyasal bileşimlerinin belirlenmesindeki katkılarından dolayı Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Mustafa BOZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Deney çalışmalarında emeği geçen Arş. Gör. Mahmut ÜNALDI'ya ve bu çalışmanın yürütülmesinde S.Ü Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Bölümü personeline teşekkürü bir borç bilirim.

Mustafa TOROS

Konya, 2011

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ ..... **iii**

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **5**

3. FREN SİSTEMİ VE BALATA MALZEMELERİ **9**

3.1. Fren Sistemi 9
3.1.1. Otomobillerde fren sistemi 9
3.1.2. Fren sisteminin parçaları 9
3.1.3. Diskli fren sistemleri 10
3.1.4. Sürtünme ve aşınma 13
3.2. Balata Malzemeleri 14
3.2.1. Bağlayıcı malzemeler 17
3.2.2. Sürtünme ayarlayıcı maddeler 18
3.2.3. Takviye malzemeler 22
3.2.4. Dolgu maddeleri 28
3.3. Nano Teknoloji 31
3.3.1. Giriş 31
3.3.2. Nano ölçek 32
3.3.3. Nano ölçekli malzemeler 32
3.3.4. Nano teknolojinin kullanım alanları 33

4. MATERYAL VE METOT **36**

4.1. Malzeme Seçimi 36
4.2. Baz Formülün Belirlenmesi 36
4.3. Numunenin Hazırlanışı ve Üretimi 38
4.3.1. Bileşimin hazırlanması 38
4.3.2. Bileşimin karıştırılması 38
4.3.3. Numunelerin üretimi 38
4.3.4. Numunelerin sinterlenmesi 40
4.4. Test Cihazının Tanıtımı 41
4.4.1. Fren test cihazı 41
4.4.2. Kuvvet ölçer 42
4.4.3. Hidrolik basınç ölçer 43
4.4.4. Termokupl ve dönüştürücü 44
4.4.5. Loadcell (Yük hücresi) 46

4.4.6. İnvertör ve kontrol paneli 47
4.4.7. Sıcaklık ölçme cihazı 48
4.4.8. Hassas kütle ölçer 49
4.4.9. Fren disk malzemesi 50
4.4.10. Balata tutucu pabuç 51
4.5. Numunelerin Test Edilmesi 51
4.5.1 Numunelerin test işlemleri 53

5. DENEY SONUÇLARI 55

5.1. Numunelerinin Yoğunlukları 55
5.2. Numunelerinin Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimleri 57
5.2.1. 150 N pedal kuvvetinde numunelerin zamana bağlı sıcaklık değişimi 58
5.2.2. 200 N pedal kuvvetinde numunelerin zamana bağlı sıcaklık değişimleri 61
5.2.3. 250 N pedal kuvvetinde numunelerin zamana bağlı sıcaklık değişimleri 65
5.3. Diskin Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimleri 69
5.3.1. 150 N pedal kuvvetinde diskin zamana bağlı sıcaklık değişimi 69
5.3.2. 200 N pedal kuvvetinde diskin zamana bağlı sıcaklık değişimi 73
5.3.3. 250 N pedal kuvvetinde diskin zamana bağlı sıcaklık değişimi 78
5.4. Frenleme Momenti Test Sonuçları 82
5.4.1. 150 N Pedal kuvvetinde frenleme momentinin zamana göre değişimi 82
5.4.2. 200 N Pedal kuvvetinde frenleme momentinin zamana göre değişimi 86
5.4.3. 250 N Pedal kuvvetinde frenleme momentinin zamana göre değişimi 89
5.5. Numunelerin Aşınma Değişimleri 93
5.5.1. 150 N Pedal kuvvetinde aşınma 93
5.5.2. 200 N Pedal kuvvetinde aşınma 94
5.5.3. 250 N Pedal kuvvetinde aşınma 94

6. SONUÇ VE TARTIŞMA 97

7. KAYNAKLAR 99

ÖZGEÇMİŞ 104

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A1 : Ağırlıkça %0,5 oranında grafit içeren numune
A2 : Ağırlıkça % 1 oranında grafit içeren numune
A3 : Ağırlıkça % 2 oranında grafit içeren numune
A4 : Ağırlıkça % 4 oranında grafit içeren numune
B1 : Ağırlıkça %0,5 oranında nano karbon içeren numune
B2 : Ağırlıkça % 1 oranında nano karbon içeren numune
B3 : Ağırlıkça % 2 oranında nano karbon içeren numune
B4 : Ağırlıkça % 4 oranında nano karbon içeren numune
ºC : Derece selsilus
cm : Santimetre
Ek : Kinetik Enerji
F : Sürtünme kuvveti (N)
gr : Gram
g : Yerçekimi ivmesi
K : Kelvin
kg : Kilogram
kgf : Kilogram kuvvet
kPa : Kilo paskal
J : Joule
m : Metre
m : Kütle
MMC : Metal matris kompozit
mm : Milimetre
Mpa : Mega pascal
M.S : Milattan sonra
n : Kampana devri
N : Newton
N : Normal reaksiyon tepki kuvveti
Pa : Pascal
r : Yarıçap
Ro : Balata ortalama yarıçapı (cm)
R1 : Balata iç yarıçapı (cm)
R2 : Balata dış yarıçapı (cm)
rpm : Dakikadaki dönüş devri
TB : Frenleme torku (Nm)
TS : Türk Standartları
V : Hız
W : Watt
ω : Çevresel hız
μ : Sürtünme katsayısı

1. GİRİŞ

Bir taşıtın önemli sistemlerinden biri olan fren sistemindeki elemanların görevi aracı en kısa sürede ve emniyetli bir şekilde durdurmaktır. Ayrıca taşıtın yokuş yukarı ve yokuş aşağı gibi ortam şartlarında istenilen şekilde hareket etmesini sağlamaktır. Sürtünme prensiplerinin geçerli olduğu frenlemede asıl amaç; istenmeyen hızların önlenmesi, taşıtın yavaşlatılması ve taşıtın kendiliğinden harekete geçmesinin önlenmesidir. Frenleme işleminde sürtünme yüzeylerine uygulanan basınçtan yararlanılır. Fren sisteminin temel elemanlarından olan balata, kendisi ve birlikte çalıştığı karşı yüzey arasındaki sürtünme kuvveti sayesinde aracı kontrollü olarak yavaşlatmak ve nihayet durdurmak amacıyla kullanılan malzeme olarak tanımlanır.

Otomobil icat edilene kadar sürtünme yüzeyi malzemeleri ve mekanizmaları konusunda çok az gelişme olmuştur. İlk otomobillerde deri sürtünme malzemeleri kullanılmıştır. Uzun yıllar kullanılan asbest esaslı sürtünme yüzeyi malzemelerinin sağlık nedenleriyle kullanımının yasaklanması sonucu bunların yerine asbest içermeyen elyaf takviyeli yeni kompozit balatalar geliştirilmiştir (Bijwe, 1997; Mutlu, 2002). Bu yönde yapılan çalışmalar sonucu ve malzeme bilimindeki gelişmelerle son yıllarda otomotiv fren balatalarının bileşiminde büyük değişiklikler olmuştur. Bileşimde yapılan değişikliklerle balataların sıcaklık dayanımı, sürtünme ve aşınma özellikleri iyileşmiştir.

Günümüzde yüksek sıcaklıklara duyarlı ve insan sağlığını tehdit eden asbest esaslı sürtünme malzemelerinin yerine toz metalürjisi yöntemi ile üretilen, yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve insan sağlığını tehdit etmeyen sürtünme malzemeleri üretilmeye çalışılmaktadır (Boz ve Kurt, 2005).

Metalik balatalar asbest esaslı balatalara göre daha büyük hızda enerji absorbe etmeleri ve daha fazla aşınma direncine sahip olmaktadır. Bunlar daha yüksek sıcaklıklara dayanabildikleri gibi aynı zamanda daha fazla ısı iletirler. Sürtünme katsayıları da sıcaklık ve basınçla daha az değişir (Liu ve ark., 1978).

Hareket halindeki taşıt kinetik enerjiye sahip olduğundan taşıt hızının azaltılabilmesi için sahip olduğu enerjinin azaltılması/yok edilmesi veya başka bir şekle dönüştürülmesi gereklidir. Frenleme olayında, taşıtın kinetik enerjisi sürtünme yoluyla ısı enerjisine çevrilir. Frenlerin fonksiyonu, hareket enerjisini yutarak, ısıya çevirmek ve bu ısıyı da atmosfere yaymaktır. Eğer frenlere çevreye verebileceğinden daha fazla bir ısı verilirse fren balatalarındaki sürtünme katsayısı düşmekte ve frenlerin durdurma kabiliyeti azalarak balataların aşınmaları artmaktadır. Fren balatalarının etkinliğindeki

bu azalma için balata yumuşaması terimi kullanılır. Fren balatalarının sürekli olarak aşırı sıcaklıklara maruz kalmaları balataların frenleme etkinliklerinin sona ermesine sebep olmaktadır.

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. Fren performansındaki gelişmeler otomotiv endüstrisindeki gelişmelerin önemli bir kısmıdır. Yıllar boyu otomobillerin boyutlarındaki değişimler araç ağırlığını etkilemiş, dolayısıyla yeni ve işlevsel frenlerin ve sürtünme malzemelerinin geliştirilmesi, otomobil taşımacılığında güvenlik açısından önemli ve çok çalışılır bir konu haline getirmiştir (Paustenbach ve ark., 2004).

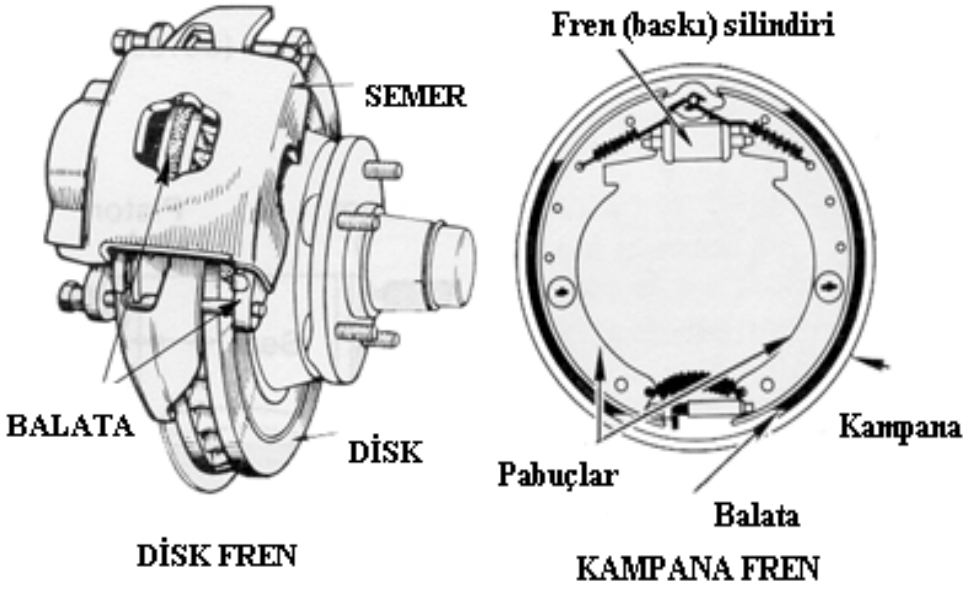
Taşıtlarda tekerlek freni olarak sürtünmeli frenler kullanılmaktadır. Genel olarak doğrudan doğruya tekerleğe bağlı olan bu frenler; fren momentinin oluşturulması ve enerji değişiminin gerçekleşmesi olmak üzere iki ana fonksiyonu yerine getirirler. Otomotiv fren istemleri üç ana bölümden oluşmaktadır (Eriksson, 2000).

a) Rotor (kampana veya disk); tekerlek ile birlikte dönen kısımdır. Sürtünme çiftinin karşı yüzey parçasını oluşturur. Rotor malzemesi genellikle gri dökme demirdir.

b) Balata (pabuç veya ped); sürtünme çiftinin sürtünme yüzeyi kısmıdır. Frenleme anında, sürtünme yüzeyi, hidrolik piston aracılığıyla rotor üzerine bastırılır. Dönen kampana veya disk ile sabit balata arasındaki sürtünme kuvvetleri, kinetik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürür. Genel olarak karşı yüzey aşınmaya karşı korunurken sürtünme yüzeyinin aşınmasına izin verilir.

c) Hidrolik sistem; fren pedalındaki frenleme kuvvetini balataya basınç uygulayan hidrolik pistona transfer etmek ve basıncı arttırmak amacıyla kullanılan bir sistemdir. Modern fren sistemlerinde hidrolik sistem ABS sistemini de içermektedir.

Taşıt fren sistemleri kampana ve disk fren olmak üzere iki tipe ayrılmıştır. Disk ve kampana frenler arasındaki temel fark rotor ve balata geometrisidir. Hidrolik sistemleri benzerdir. Şekil 1.1’ de kampanalı ve diskli fren sistemlerinin resmi görülmektedir.



Şekil 1.1 Kampanalı ve diskli fren (Gökçe, 2006)

Balatalar, içyapıları karmaşık olan kompozit malzemelerdir. İçyapısındaki malzemelerin çeşitlerine, oranlarına, balatanın değişik sıcaklık ve basınçtan oluşan değişken imalat yöntemlerine ve değişik kürleme metotlarına göre çok fazla çeşitlilik arz ederler. Standartlardaki istenen özelliklere ulaşmak için, hatta bunları daha da iyileştirmek için, bu malzeme ve ısıl işlemler konusunda üretici bağımsızdır. İstenen sürtünme katsayısını ve bunun sıcaklıkla değişim eğrisini kontrol etmek için bu parametreleri değiştirerek, sonuca ulaşıncaya kadar deneyler yapılır.

Fren balataları zor şartlar altında çalıştıkları için korozyona karşı direnç, düşük ağırlık, sessiz çalışma, sabit bir sürtünme katsayısını devamlı sağlayabilme, aşınmaya karşı dayanıklılık, düşük maliyet, yüksek basınç altında sorunsuz ve performanslı bir şekilde çalışabilme, yüksek sıcaklıklara dayanabilme gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir. Ayrıca çalışma esnasında herhangi bir problem ortaya çıkmaması gerekir. Çünkü fren sisteminde oluşabilecek bir problem frenlerin tutmamasına veya frenleme performansının düşmesine neden olabilir, taşıt güvenli mesafede duramayabilir ve kazalara sebep olabilir. Bu yüzden fren sisteminde balatanın performansının yeri ve önemi büyüktür.

Fren balataları tek bir malzemeden üretilerek yukarıda istenen özellikleri karşılayamazlar. Bu yüzden balatalar 5 ile 20 arasında değişen katkı maddelerinin değişik oranlarda karıştırılması ile üretilen, içyapısı karmaşık kompozit malzemelerdir. Günümüzde balata üretiminde 2000'den fazla malzeme kullanılabilmektedir.

Fren balataları; organik, yarı metalik ve asbestsiz olmak üzere üç ana gruba ayrılabilir. Bu balataların performansları ve kullanım alanları farklıdır. Balatayı oluşturan bileşenler; bağlayıcı, elyaf, sürtünme ayarlayıcı, dolgu maddesi, yağlayıcı, temizleyici ve renklendiriciyi içerir. Bağlayıcı malzeme olarak genellikle fenol formaldehit reçine kullanılmaktadır. Çünkü fenolik reçineler yüksek sıcaklık kararlılığına sahiptir ve alevlenmeye karşı dayanıklıdırlar. Balata üretiminde bileşenleri %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. Balataların özellikleri bileşenlerin cinsine ve miktarına göre değişir. Balatalara kullanıldığı yere göre özellik kazandırmak için balata içeriğini oluşturan malzeme cinsi ve oranları değiştirilir (Ayar, 1991).

Balata sürtünme katsayısı istenen iç fren faktörünü sağlayacak şekilde olmalıdır. Sürtünme katsayısının istenenden yüksek olması tekerleklerin arzu edilenden daha düşük fren basınçlarında bloke olmasına, balataların daha çabuk aşınmasına neden olurken, sürtünme katsayısının istenenden düşük olması ise fren mesafelerinin uzamasına neden olacaktır. Bu nedenle taşıt için en uygun sürtünme katsayısını veren balata geliştirilmelidir.

Avrupa topluluğu ülkelerinde, gelişmiş ülkelerde ve Türkiye'de sağlık yönünden sakıncalı olması nedeniyle asbestli fren balatalarının kullanılması yasaklanmasına rağmen, yurdumuzda bu tür asbestli balatalar halen kullanılmaktadır. Bu durum bilim adamlarını yüksek sıcaklıklarda daha dayanıklı ve insan sağlığını tehdit etmeyen asbeste alternatif malzemeleri araştırmaya yöneltmiştir. Bu yüzden asbest esaslı balata malzemeleri yerine alternatif malzemeler ile üretilen fren balataları geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmada bakır, kurşun tozu, demir yünü, kalay tozu ve grafit karışımlarına karbon nano tüp ilave edilerek üretilen fren balata numunelerinin performanslarının tespit edilmesi amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Handa ve Kato (1996), Cu, $BaSO_4$ ve maun ağacı tozunun fren balatalarının sürtünme ve aşınma özelliklerine etkilerini araştırmak için beş türlü katkı maddesi içeren üç grup kompozit incelemiştir. Bir bileşenin oranı sabit tutularak diğer ikisi % 0-40 arasında değiştirilmiştir. Kompozitlerin tribolojik değerlendirilmesi pim-disk tipi deney düzeneği kullanılarak iki farklı şartta yapılmıştır. Birinci grup deneyler düz yolda hafif frenleme şartlarında, ikinci grup ise uzun yokuş aşağı iniş şartlarında (ağır frenleme) yapılmıştır. Her bileşenin etkisini incelemek için birinin oranını artırıp diğerini azaltarak yapılan deneylerde aşınma oranı ve fren zayıflama dayanımları incelenmiştir.

Kondoh ve ark. (1997), sinterlenmiş yeni bir sürtünme malzemesi üzerine yaptıkları çalışmada bakır esaslı kompozit tozları kullanılarak yeni bir sürtünme malzemesi geliştirmişler ve bunun sürtünme katsayısı ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Bakır esaslı alaşıma mekanik ve aşınma özelliklerini iyileştirmek için Ni, Fe, Zn yağlayıcı olarak grafit ve MoS_2, aşınma direncini iyileştirmek için sert partikül olarak SiO_2, Al_2O_3 katılmıştır.

Blau (2001), tarafından yapılan araştırmada fren balata malzemelerinin günümüze kadar olan gelişimini ve özelliklerini incelemiştir.

Severin ve Dörsch (2001), frenlerde sürtünme mekanizmasıyla ilgili yaptıkları çalışmada, sürtünme malzemelerinin ve sürtünme tabakasının, frenleme işlemine etkilerini incelemişlerdir. Balata malzemesinin içerdiği demir oranının sürtünme katsayısının belirlenmesindeki önemi tespit edilerek farklı oranlarda demir içeren balataların sürtünme testleri gerçekleştirilmiştir. Balata içerisindeki demir oranı azaldıkça, sürtünme katsayısının da azaldığı belirlenmiştir.

Mutlu ve Öner (2002), tarafından yapılan çalışmada, cam elyaf takviyeli disk fren balatalarının özellikleri incelenmiş ve cam elyafının kolay temin edilebilirliği yanında balata içerisinde kullanılabileceğini, balatanın aşınmaya karşı direnç sağladığı ve sürtünme katsayısını düzgünleştirdiğini belirtmişlerdir.

Mutlu ve ark. (2002),tarafından yapılan çalışmada fren balatalarında boraks ve borik asit'in etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Bakır tozu ile birlikte borik asit ve boraksın kullanılması durumunda sürtünme katsayısının düzgünleştiği ortaya konmuştur.

Bettge ve Starcevic (2003), disk frenlerde aşınma yüzeylerindeki temas bölgelerinin topografik özelliklerini incelemişlerdir. Sürtünme ve kaymaya bağlı olarak temas basıncının değişimi, aşınma miktarı, yüzey geometrisi ve disk-balata malzeme özellikleri ele alınarak yüksek frenleme kuvvetlerinde temas pürüzlülüğü incelenmiştir.

Cho ve ark. (2003), tarafından rotor mikro yapısı hakkında yaptıkları çalışmada tribolojik özelliklerin fren performansına etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda sürtünme karakteristikleri belirlenmiş ve farklı mikro yapılardaki kır dökme demirin sürtünme özellikleri incelenmesi sonucunda grafit içeren dökme demirin fren zayıflama direncinde artışa sebep olduğunu tespit edilmiştir.

Mosleh ve ark.(2003), çeşitli hızlarda frenlemeye tabi tutulan balatalardaki aşınma ve sürtünme davranışları ve aşındırıcı malzemelerin tribolojik özellikleri ile ilgili incelemeler yapmışlardır. Deneysel olarak yapılan testlerde fren malzemesi karakteristikleri belirlenmiştir. Fren malzemelerinin farklılığına bağlı olarak aşınma oranındaki değişimin düşük ve yüksek kayma hızlarına bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Chan ve Stachowiak (2004), taşıt balatalarında kullanılan malzemeleri, kullanım oranları ve özelikleri araştırılmıştır. Araştırmalarının neticesinde balatalarda 1970'li yılların ortalarından beri cam elyaf kullanılabildiğini, bağlayıcı olarak reçine kullanılmış cam elyaflı fren balatalarının fiziksel dayanımlarının yüksek olduğunu ve termal dirençlerinden ötürü fren balatalarında destekleyici fiber olarak kullanıma elverişli olduğunu tespit edilmiştir.

Boz ve Kurt (2005), tarafından yapılan çalışmada bakır, kalay, demir, kurşun, grafit ve sülfür kullanılarak üretilen fren balatalarının tribolojik ve sürtünme özellikleri değerlendirilmiştir.

Hee ve Filip (2005), yaptıkları çalışmada fenolik reçine matrisli seramik fren balatası geliştirmişler ve geliştirdikleri fren balatasının sürtünme, yüzey karakteristikleri ve kayma karakteristiklerini belirlemişlerdir.

Liu ve ark. (2005), tarafından stiren bütadiyen ve nitril bütadiyen asbestsiz kauçuk tozu disk fren balatası üretiminde kullanılmıştır. Sabit hız ve dinamometre testinin sonuçlarına göre asbestsiz kauçuk tozunun, sürtünme malzemelerinin özelliklerini önemli bir şekilde geliştirebileceği tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucuna göre sıcaklığın değişmesiyle asbestsiz kauçuk tozuyla değiştirilen sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısı ve aşınma hızı, asbestsiz kauçuk tozunun kullanım oranı ile bağlantılı olarak düşük çıkmıştır.

Boz ve Kurt (2006), toz metal fren balata malzemelerinde sürtünme-aşınma performansı üzerine çinkonun etkisini araştırmışlardır. Toz metalürjisi yöntemiyle farklı oranlarda bakır, kalay, demir, kurşun ve grafit malzemeleri kullanılarak üretilen fren balatalarında sürtünme, aşınma ve tribolojik özellikler incelenmiştir.

Natarajan ve ark. (2006), otomobil sürtünme malzemesine karşı kullanılan alüminyum metal matris kompozit ile gri dökme demirin aşınma davranışı karşılaştırılmıştır. Fren pabuç balata malzemesi A356/25SiCp Al-MMC gibi diskler ve gri dökme demir malzemeleri kullanarak aşınma testleri uygulamıştır. Al-MMC diski karıştırılmış döküm tekniği ile A356 alüminyum çeliği ve % 25 silikon karbür partikülleri kullanılarak imal edilmiş ve istenen boyuta ayarlamıştır. Yük ve kayma mesafesinde, Al-MMC'nin sürtünme ve aşınma davranışını, gri dökme demir ve yarı metalik fren pabuç balatasının farklı kayma hızlarını araştırmışlardır. Optik mikrograf kullanarak MMC'nin aşınmış yüzeyleri ve alt yüzey bölgeleri, dökme demir ve balata analiz edilmiştir. Yapılan araştırma sonucunda, aynı şartlar altında otomobil sürtünme malzemesine karşı koyma olurken, MMC'lerin gri dökme demirlere göre önemli derecede yüksek aşınma direncine sahip olduğunu gözlemlenmiştir. Uygulanan yükün artması ile sürtünme katsayısında hem dökme demir, hem deAl-MMC malzemeleri için aşamalı redüksiyon gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, bütün testlerde aynı şartlardaki kaymada Al-MMC'nin sürtünme katsayısının gri dökme demirinkinden % 25 daha fazla olduğunu gözlemlenmiştir. Silikon karbür partiküllü balatadaki pullanma nedeniyle MMC diskteki kayma esnasında, balata malzeme aşınmasının daha fazla olduğunu gözlemlenmiştir.

Mohanty ve ark. (2007), otomotiv fren balatası sürtünme kompozitlerinde, uçucu kül partiküllerinin %50 ağırlığından daha fazla birleştirmek için, bir araştırma yapmışlardır. Sürtünme kompozitlerinin gelişimi için Illionis Eyaleti'nde spesifik bir elektrik santralinden elde edilen uçucu kül kullanmışlardır. Uçucu küle ek olarak kompozit gelişim aşamasında, fenolik reçine, aramid pulp, cam yünü, potasyum titanat, grafit, alümina ve bakır tozu gibi bileşim maddeleri kullanmışlardır. Geliştirmiş oldukları fren balata kompozitleri, 0,35-0,4 aralığında kararlı sürtünme katsayısı ve % 12'den daha düşük aşınma oranları göstermiştir.

Cho ve ark.(2008), tarafından yapılan çalışmada, zirkon partiküllerinin boyutunun fren balata malzemesinin sürtünme karakteristiklerine etkisini incelemişlerdir. Sertleştirilmemiş türde balata malzemesi üretmek için 4 farklı boyutta zirkon partikülleri kullanmışlardır (1, 6, 75 ve 150 μm). Sürtünme katsayısını, sürtünme

kuvveti salınımını, balataların aşınma direnci ve gri dökme demir disk sürtünme testi ile zirkon boyutu bakımından araştırmışlardır. Sonuç olarak, sürtünme performansı ile ilişkili olan sürtünme filminin formülasyonunda zirkon partiküllerinin önemli rol oynadığını keşfetmişlerdir. Kaba zirkon partiküllü balata malzemelerinin, balata yüzeyinde, az miktarda balata aşınması ile mükemmel sürtünme stabilitesi sağlayan, sabit sürtünme filmi meydana getirdiği tespit edilmiştir.

Ma ve ark. (2008), metalik olmayan fren sürtünme malzemelerinin sürtünme katmanları ve fren sürtünme performansında bir aşındırıcı olan $ZrSiO_4$ (Zirkonyum silikat veya zirkon)'un etkilerini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre $ZrSiO_4$'ün sürtünme katsayısını arttırdığı ve aşınma oranını azalttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte $ZrSiO_4$ katkısının sürtünme malzemelerinin negatif aşınma oranını düzeltebileceğini ileri sürmektedirler.

Matejkaa ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada yarı-metal fren balatalarında seramik karpitin balatanın aşınma direncine etkileri belirlenmiştir.

Sugözü (2009), bor katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiği üzerine yapılan çalışmada, bor minerallerinden ham bor ürünleri üleksit, kolemanit, rafine bor ürünleri olarak borik asit, boraks pentahydrate'tan oluşan malzemeler kullanılarak bor katkılı balatalar üretilmiş ve üretilen balataların sürtünme-aşınma, sıcaklık, dayanım özellikleri incelenmiştir. Ayrıca sürtünme ayarlayıcı olarak kullanılan "cashew tozuna (maun cevizi tozu)" alternatif "sedir çamı kozalak tozu" kullanılarak sürtünme-aşınma, sıcaklık dayanım özellikleri incelenmiştir.

3. FREN SİSTEMİ VE BALATA MALZEMELERİ

3.1. Fren Sistemi

3.1.1. Otomobillerde fren sistemi

Bir otomobildeki en önemli emniyet özelliği olan fren sistemi, hareket enerjisini sürtünme yoluyla ısıya dönüştürerek hareketin durdurulması ya da kontrol altına alınmasını sağlayan sistemlerdir. Fren sisteminden, aracı değişik şartlar altında emniyetli bir şekilde durdurması istenir. Bu maksimum yavaşlama ivmesi ile mümkündür. Frenler, kinetik enerjiyi (momentum), termal (ısıl) enerjiye çeviren enerji değişim araçlarıdır (Bijwe, 1997).

Hareket halindeki taşıtlar, bir tehlike anında sürtünmeli veya kaymalı zorlamaya maruz bırakılıp kinetik enerjileri alınır ve yavaşlatılıp durdurulurlar. Bunun yapılabilmesi için sürtünen yüzeylerin oluşturduğu malzeme çiftinin sürtünme katsayısı frenlemede önemli rol almaktadır. Sürtünen yüzeylerdeki durdurma tesiri, iyi sürtünme kuvveti temin eden malzeme çiftini seçmek veya yapmakla mümkün olur. Bu malzeme çiftini seçmek veya mevcutlarından daha iyisini yapmak piyasada kullanılan mevcut malzeme çiftlerinin frenlemeye etkisinin bilinmesi ile mümkündür. Mevcut malzeme çiftlerinin frenlemeye etkisinin bulunabilmesi, her malzemenin tesirinin ayrı ayrı değerlendirilmesi ile sağlanabilir (Mutlu, 2002).

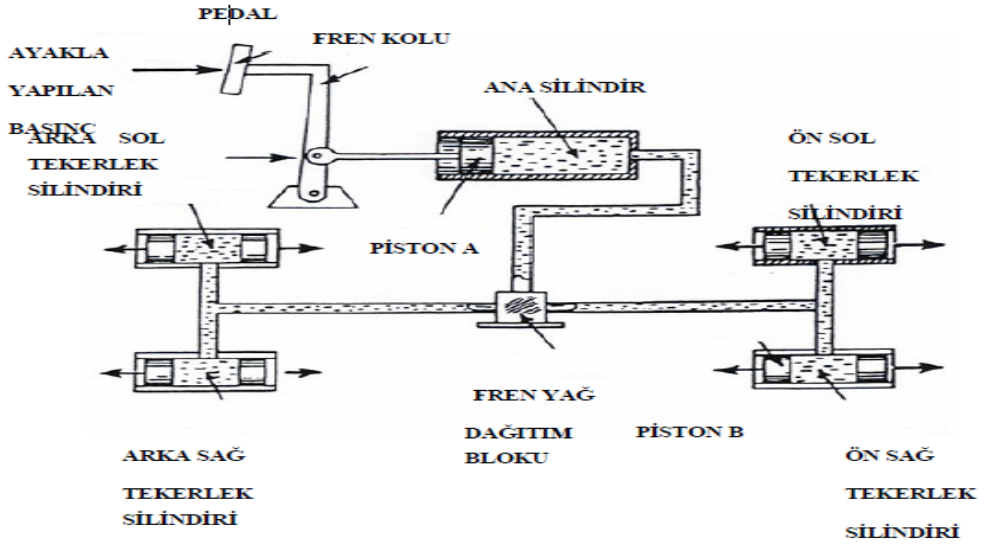
3.1.2. Fren sisteminin parçaları

Taşıtlarda kampanalı ve diskli olmak üzere iki tip fren kullanılmaktadır. Genel olarak doğrudan doğruya tekerleğe bağlı olan bu frenler iki ana fonksiyonu yerine getirirler:

1. Frenleme momentinin oluşturulması.
2. Enerji değişiminin gerçekleştirilmesi (kinetik veya potansiyel enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesi ve bu ısının atılması).

Son yıllarda frenlerin tasarımı büyük değişikliğe uğramıştır. Yıllardır ön tekerleklerde kullanılan diskli frenler, modern araçlarda arka tekerleklerdeki kampanaların yerini almaya başlamıştır. Bundaki önemli etken basit tasarımları; hafiflikleri sebebiyle daha iyi performans sağlamaları, tasarımları gereği kampanalara

göre daha çabuk soğumaları ve böylece aşırı ısınma çıkaran zor fren şartlarında çok başarılı olmalarıdır. Çabuk soğumalarının sebebi ise havalandırma kanallarının olmasıdır (Stringham, 2001).



Şekil 3.1 Otomobillerdeki fren sisteminin genel görünüşü (Yavuzaslan, 2006)

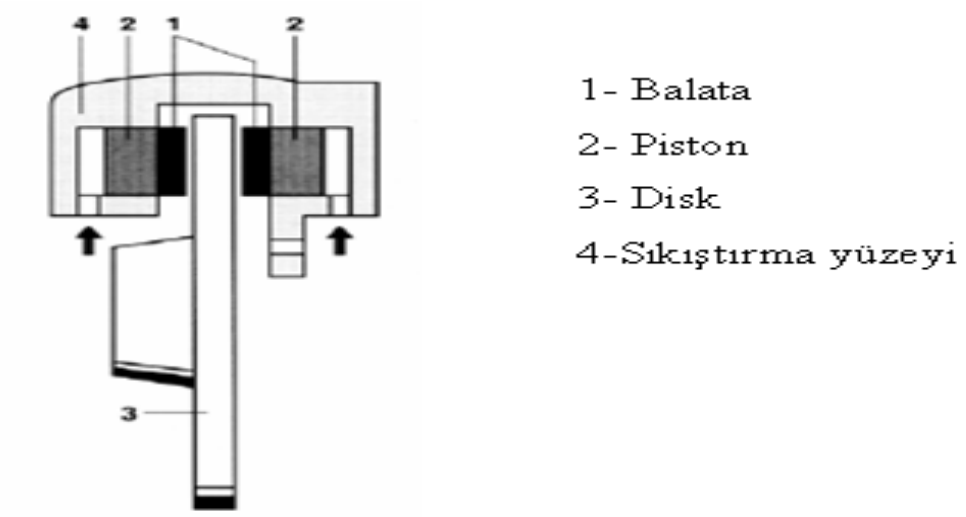
Şekil 3.1'de otomobillerdeki fren sistemi gösterilmektedir. Fren sisteminde fren ana merkez, ön tarafta direksiyon hizasında kalır, direkt olarak fren pedalına bağlantılıdır. Ayağınızın mekanik basıncını hidrolik basınca dönüştürür. Çelik fren boruları ve esnek fren hortumları ana merkezi her bir tekerlekte bulunan fren silindirlerine bağlar. Fren hidroliği ise yüksek sıcaklık ve basınç gibi zor şartlarda çalışmak üzere tasarlanmış bir akışkan olup sistemi tümüyle doldurur. Ön ve arka balatalar fren silindirleri tarafından itilip, fren disklerine ya da arka tekerleklerde kampanalara sürtülerek meydana gelen sürtünme kuvvetiyle aracın yavaşlaması sağlanır.

3.1.3. Diskli fren sistemleri

Son yıllarda otomobil imalatındaki gelişmeler araçların hız ve gücündeki sınırların oldukça artmasını sağlamıştır. Bu gelişmeler, kendini bilhassa seyahat araçlarında ve özellikle spor arabalarda göstermiştir. Fren diski cıvatalar yardımıyla tekerlek göbeğine bağlıdır ve beraber dönmektedir. Disk frenler, süspansiyon elemanlarına tutturulmuş "kaliperlere" yerleştirilmiş fren balatalarının, diskleri bir

kıskaç ya da mengene gibi sıkıştırması ile bir sürtünme sağlar. Kaliperlerin içinde ise pistonlar merkez silindirinden aldıkları kuvvet ile balatalara basınç sağlarlar, balatalarda fren diskine sürtünerek aracı yavaşlatırlar. Diskli frenler, suları daha kolay savurduğundan kampanalı frenlere göre ıslak şartlarda daha iyi bir performans gösterirler. Disk frenlerin üzerinde bulunan kanallar suyu tahliye ederek daha kolay soğurlar ve yüksek sıcaklıklara daha dayanıklıdırlar. Ama bu sudan etkilenmedikleri anlamına gelmemelidir. Eğer bir su birikintisine hızla girildiğinde fren yapılırsa, ilk birkaç saniye frenlerin çalışmadığı görülür. Bazı disklerde ise performansı daha da arttırmak için hava kanalları bulunmaktadır.

Diskli frenler kuru veya yağışlı havada kolayca çalıştıkları tespit edilmiş ve çok küçük sürtünme yüzeylerine sahiptirler. Diskli frenlerde sürtünme yüzeyi çok dar olduğundan frenlemenin daha kararlı olarak çalışmasını sağlar ve yüksek hızlardaki durmalarda tutukluk meydana gelmez.



Şekil 3.2 Disk fren sisteminin şematik görünüşü (Albayrak, 2009)

Frenleme esnasında balata dönmekte olan kampana/disk'e basınç uygulayıp sürtünme meydana getirir. Araç sürtünme kuvvetinin yavaşlatma etkisi ile kontrollü olarak yavaşlar veya durur. Yani aracın kinetik enerjisi hızının karesi ile kütlesinin çarpımının yarısına eşittir.

$$E_k = \frac{1}{2}(m.V^2) \qquad (3.1)$$

Denkleme göre otomobilin hızı iki katına çıkarsa kinetik enerji dört kat artar. Bu nedenle aracı durdurmak için gereken frenleme enerjisinin de taşıt hızının karesi ile artacak şekilde düzenlenmesi gerekir.

Disk frenlerde sürtünme kuvveti;

$$F = 2.\mu.N \quad (3.2)$$

$$R_o=(R_1+R_2)/2 \quad (3.3)$$

$$T_s=F.R_o \quad (3.4)$$

$$T_s=2.\mu.N.\ (R_1+R_2)/2 \quad (3.5)$$

T_s= Frenleme torku (Nm)

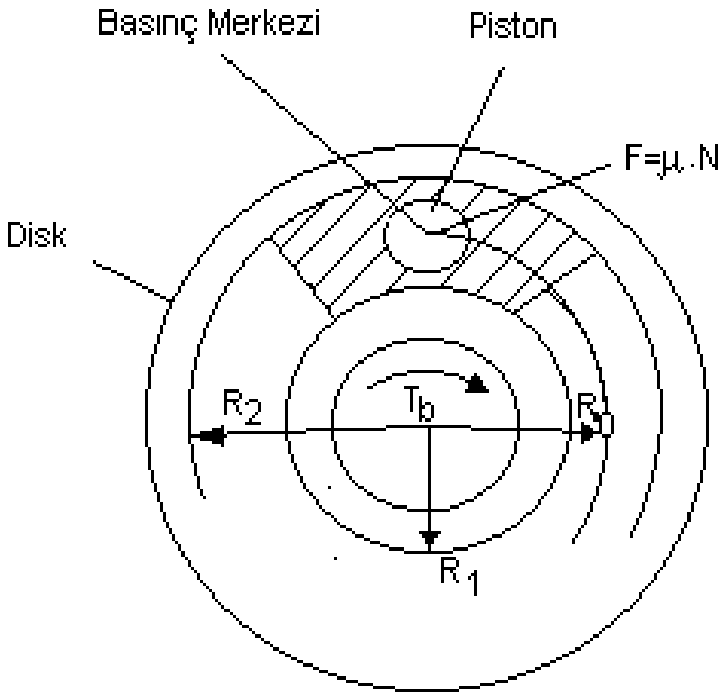
N = Normal reaksiyon tepki kuvveti (N)

μ = Sürtünme katsayısı

R_o = Balata ortalama yarıçapı (cm)

R_1 = Balata iç yarıçapı (cm)

R_2 = Balata dış yarıçapı (cm)



Şekil 3.3 Fren diskinde sürtünme (Kılıç, 2010)

3.1.4. Sürtünme ve aşınma

3.1.4.1. Sürtünme prensibi

Birbirleri ile temasta olan ve aralarında izafi hareket yapan cisimlerin hareketine ters yönde etki eden kuvvete "sürtünme kuvveti" veya kısacası "Sürtünme" denir. Birbirleri üzerinde kayan, yuvarlanan veya kaymalı yuvarlanan elemanların izafi hareketlerini yavaşlatan (dinamik sürtünme) veya engelleyen (statik sürtünme) mekanik direnç olarak tarif edilir.

TS 555 standardında belirtildiği şekliyle sürtünme katsayısı, disk/kampana ile fren balatası arasındaki sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranıdır. Yine aynı standarda göre sürtünme katsayısı, sıcak ve soğuk sürtünme katsayısı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Soğuk sürtünme katsayısı, aşınma deneyi esnasında 100, 150 ve 200 ^{o}C sıcaklıkta ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Sıcak sürtünme katsayısı ise, 300, 350 ve 400 ^{o}C sıcaklıkta ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır.

İki cismin atom ya da molekülleri, yani yüzeyleri birbirlerine ne kadar yakınsa, aralarındaki çekim kuvvetleri, dolayısıyla da sürtünme kuvveti o kadar büyük olmaktadır. İki yüzeyin birbirine yakınlığını belirleyen etken ise, yüzeyler arasındaki normal kuvvettir. Bu kuvvet ne kadar büyükse iki yüzey birbirine o kadar yakın demektir. Dolayısıyla, sürtünme kuvvetinin iki cisim arasındaki normal kuvvetle orantılı olması beklenir ve bu iki kuvvet arasındaki orantı sayısına 'sürtünme katsayısı' denir. Sürtünme katsayısı şu eşitlikle tanımlanır;

$$\mu = \frac{F_t}{G} \tag{3.6}$$

F_t = Sürtünme kuvveti

G= Cismin ağırlığı

μ = Sürtünme katsayısı

3.1.4.2. Aşınma

Birbirine göre bağıl hareket yapan ve aynı zamanda temasta olan iki yüzeyden küçük parçacıklar kalkar. Kalkan bu parçacıkların gitmesi ile aşınma meydana gelir. Mühendislik malzemelerinin ve makine elemanlarının ömürlerine bu aşınmanın büyük etkisi vardır. DIN 50320'de aşınma, cisimlerin yüzeylerinden mekanik etkenlerle mikro taneciklerin koparak ayrılması nedeniyle istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir diye tarif edilir (Alision ve Krogelsky, 1981).

Aşınma mekanik, kimyasal veya elektro-kimyasal etkenlerin tribo-sistem içinde etkileşimleri ile meydana gelir. Aşınma oksitlenme, metal transferi, faz değişikliği, yağ ve kir filmleri gibi çok sayıda olaya bağlıdır. Pek çok malzeme çiftinin sürtünme katsayısı 0,1 ile 1 arasında değiştiği halde aşınma hızları çok farklı değerlerde olmaktadır (Tuç, 2003).

Bir tribolojik sistemin elemanları arasındaki karşılıklı zorlamalar neticesinde meydana gelen aşınmanın değişik türleri ve bundan dolayı da farklı sınıflandırılmaları gerekmektedir. Aşınma yağlayıcı tipi, sıcaklık, yük, hız, malzeme, ürünün yüzey bitirme işlemi ve sertlik gibi özelliklerin değiştirilmesinden etkilenmektedir. Genelde üç tür aşınma vardır. Bunlar: adhesiv, abrasiv ve tribo oksidasyon aşınma olarak bilinen erozif aşınma türleridir (Thimmler ve Oberacker, 1993).

3.2. Balata Malzemeleri

Balatalar, TS 555'e göre sürtünmeli frenler için uygulanan fren kuvvetinin araçların tekerlekleri ile bağlantılı disk veya kampanalara sürtünme yolu ile aktarılmasını sağlayan elemanlar olarak tanımlanır. Frenlerde sürtünmenin önemi bilinmektedir. Bu nedenle sürtünme gereçlerinin istenilen özelliklerde bulunmaları gerekir. 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 istenilen özellik olarak karşımıza çıkmaktadır (TS 555, 1992). Çizelge 3,1'de TS 555'te verilen sürtünme katsayısına göre balataların sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 3.1 TS 555'e göre balataların sınıflandırılması

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

Çizelge 3.2 Tipik ıslak ve kuru balata bileşimleri (Uygur, 1996)

	Cu	Fe	Pb	Sn	Zn	Si02	Grafit
Islak	65	75	2-5	2-5	5-8	2-5	10-20
Kuru	10-15	50-60	2-4	2-4	-	8-10	10-15

Balata, pabuç ile kampana/disk arasındaki sürtünme görevini üzerine alır. Balata pabuca yapıştırma veya perçinleme usullerinden biriyle tutturularak pabuca bağlı olarak çalışır. Bilindiği gibi sürtünme esnasında yüzeylerin pürüzlülüğü ve enerji absorbisyonu sonucu meydana gelen sıcaklık, sürtünme katsayısını önemli ölçüde etkiler. Isınan malzeme de sürtünme katsayısının düşmesine neden olur ve sistem görev yapamaz hale gelir. Metal esaslı balataların aşınma dayanımı ve yüksek ısı dayanımı, organik esaslı balatalara göre daha yüksektir. Hatta daha yüksek enerji absorbe edebilme kapasitesine sahiptir.

Sinterlenmiş sürtünme malzemeleri uygulama alanlarına göre kuru ve ıslak olmak üzere ikiye ayrılabilirler. Islak şartlarda, güç değişimleri ve otomatik iletimleri sağlayan kavrama elemanları yağ içine daldırılır. Kuru şartlar altındaki sürtünme elemanları ise, (uçak frenleri ve standart kavramalar seklindeki sürtünme elemanları) yağsız olarak direk kontak halindedir (Klar, 1983).

Islak balatalarda çizelge 3.2'de görüldüğü gibi ana madde bakır, kuru balatalarda ise daha az bakır ve daha fazla demir kullanılır (Uygur, 1996).

Fren balatalarında kullanılan sinter malzemeleri ayrıca bakır ve demir esaslı olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Bu gruplar da ayrıca karışımsız, grafit karışımlı, seramik karışımlı olmak üzere aralarında sınıflandırılabilir. Genellikle seramik karışımlı

malzemeler, daha yüksek sıcaklıklarda yumuşarlar, fakat ısı iletkenlikleri biraz daha azdır. Büyük uçaklarda demir esaslı veya özel balata alaşımları tercih edilir. Çünkü bronz esaslı malzemelerin 850 °C civarında yumuşamalarına karşılık, demir esaslılar 1100 °C'nin üzerine çıkabilirler (Uygur, 1996).

Çalışma şartları göz önüne alındığında balataların ağır şartlarda çalıştığı söylenebilir. Özellikle ağır tonajlı yüksek hızlı taşıtlarda çalışma şartları daha da zorlaşmaktadır. Yüksek hızlarda taşıtın ani olarak durdurulmasında veya uzun süreli frenleme durumunda balata yüzeylerinde 700 °C ye kadar sıcaklık yükselmeleri mümkün olabilmektedir. Çalışma şartlarının ağır olması balatalardan istenen özellikleri artırmaktadır. Çalışma şartları dikkate alınarak değişik balata malzemeleri geliştirilmiştir (Ayar, 1991).

Literatürlerde otomotiv fren balatalarından istenen özellikler aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

1. Tüm çalışma koşullarında sabit sürtünme performansı
2. Sürtünme davranışlarındaki değişimin az olması
3. Yüksek sıcaklık direnci
4. Yüksek ısı iletkenliği
5. İyi korozyon direnci
6. Yüksek mekanik mukavemet
7. Düşük gürültü seviyesi
8. Hava koşullarından etkilenmeme
9. Balata malzemesinin sağlığa zararsız olması
10. Yüksek aşınma mukavemeti

Endüstri ve otomotiv uygulamalarındaki sürtünme malzemeleri üç ana gruba ayrılır. Bunlar organik, yarı metalik ve asbestsiz balatalardır. Tüm bu çeşitlerde performans karakteristikleri dikkate alınırken onların içindeki maddelerin benzerlikleri ile gruplanırlar. Otomotiv endüstrisinde kullanılan sürtünme malzemelerini oluşturan maddeler benzer özellik ve kullanım amacına göre dört sınıfta kategorize edilebilir (Washabaugh, 1987).

Bunlar;

- ✓ Takviye edici elyaflar; cam, bor, kynol, taş yünü, metalik elyaflar, kevlar, karbon, seramik ve asbest gibi elyaflar,
- ✓ Bağlayıcılar; fenolik reçine, siyanat ester, epoksi takviyeli reçine gibi reçineler,
- ✓ Dolgu maddeleri; barit, kalsiyum karbonat, mika, vermikülit, kauçuk atıklar gibi maddeler,
- ✓ Sürtünme düzenleyici katkılar; grafit, metal sülfit, metal oksit ve metal silikat vb. malzemeler.

3.2.1. Bağlayıcı malzemeler

Bağlayıcılar balata bileşenlerini kullanım öncesinde ve kullanım sırasında bir arada tutan yapıştırıcılardır. Bağlayıcı olarak birçok termoset reçineyi kullanmak mümkündür. Doğal veya sentetik kauçuk da bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Bağlayıcılar tek tek kullanılabileceği gibi birden fazla bağlayıcı birlikte de kullanılabilmektedir (Vishwanath, 1993).

3.2.1.1. Fenolik reçine

Fenol formaldehit reçine adı verilen termoset reçineler otomotiv sektöründe kullanılan en yaygın bağlayıcıdır. Bu reçinelerin en büyük özelliği sıcaklıkta sertleşmeleridir. Termoset malzemelerin özelliği erime derecesi yanma derecesinin üzerindedir. Fenol (C_6H_6O) ve formaldehit (CH_2O) kalıp pudrası halinde kullanılır, polimerleştirme reaksiyonu, polimerin normal sıcaklıklarda katı olduğu fakat ısı ve basınç etkisi altında akabileceği bir basınç etkisi altında durdurulur. Karışım basınç altında kalıplanır, sürtünmenin azaltılabilmesi için bir miktar grafite yer verilir. Fenol formaldehitler yüksek sıcaklıklarda kullanışlıdırlar, çünkü sürekli bir yapı kafesine sahip oldukları için moleküller arasında kayma olmaz. Bu sebeple şekil değiştirme, sıcaklığın yükselmesine bağlı değildir. Fenol formaldehit reçinenin içerisinde %40 fenol, %22 formaldehit, %4 kresol, %34 su, çözücü ve diğer dolgu maddeleri bulunmaktadır (Gemalmayan, 1984).



Şekil 3.4 Fenolik reçine (Anonim e, 2011)

3.2.1.2. Siyanat ester

Siyanat ester bifenol veya novalac türevi temelli bir kimyasal maddedir. Siyanat ester sıcaklıkla sertleşebilen bir maddedir. Siyanat esterde diğer termosetler gibi çok yüksek sıcaklıklarda camlaşır. Düşük dielektrik sabitine sahiptirler. Siyanat ester yüksek sıcaklık ve kimyasal tepkimelere karşı dirençli bir maddedir. Çalışma sırasında balatada meydana gelen titreşimleri sönümleme özelliğine sahiptir (Chan ve Stachowiak, 2004).

3.2.2. Sürtünme ayarlayıcı maddeler

Sürtünme ayarlayıcı katkı maddeleri sürtünme katsayısını değiştiren maddelerdir. Bunları abrasif olan ve olmayan şeklinde ayırmak mümkündür. Toz halde alümina gibi abrasif özellikli malzemeler, sürtünme katsayısını artıran grafit gibi katı yağlayıcılar ise sürtünme katsayısını istenen düzeye getirmek için katılan bileşenlerdir. En çok çeşide sahip olan bileşen türü sürtünme ayarlayıcılardır. Bunlara aşınma özelliklerini ve mekanik özellikleri iyileştirmek için ilave edilen elastomerler, fenolik sürtünme parçacıkları, fenolik reçineler için kürleştiriciler ve diğer sürtünme artırıcı ve azaltıcı katkılar da dahildir (Dönmez, 2000).

3.2.2.1. Grafit tozu

Sürtünme malzemelerinde önemli yer tutan grafit, şekilli karbonun bir dalıdır. Tek kristalden oluşan grafit pulcukları mükemmel uzama özelliğine sahiptir. Balatalarda sürtünme olayına etkisi büyük olan grafitin, yapısı nedeniyle yüzeylerde küçük kontak alanları oluşturmakta buna bağlı yüzeylerden yırtılmanın az olmasını sağlamakta ve makaslama değerinin düşük olması sonucu sürtünmenin azaltılmasında da büyük rolü olmaktadır (Gemalmayan, 1984).



Şekil 3.5 Grafit tozu (Anonim d, 2011)

Grafit iki boyutlu halkalar şeklinde dizilmiş karbon atomu tabakalarından oluşan parlak, yumuşak bir malzemedir. Tek grafit kristalinin sertliği yönle değişir. Katmanlara paralel ölçüm yapılırsa yumuşaktır. Bunun yanında katmanlara dik olarak ölçüm yapılırsa grafit kristali hemen hemen elmas kadar serttir. Grafit kolayca talaşlı işlenebilir, sıcaklığa ve ısıl şoka dayanıklı, iyi bir ısıl iletken, kuvvetli oksitleyici maddeler hariç hemen hemen tüm korozif maddelere dayanıklı ve kimyasal olarak inerttir. Grafitin özgün bir özelliği sıcaklık arttıkça dayanımının artmasıdır. Düşük sürtünme uygulamalarında sıkça kullanılır.

Grafit şeklindeki karbon ince tabakalardan oluşur. Tabakaların basma dayanımı yüksek olmasına rağmen birbiri üzerinde kolayca kayabilirler. Basmaya karşı yüksek dayanım temas alanının küçük olmasını sağlarken kolay kayma düşük bir tabakalar arası kayma dayanımı sağlar. Bu özelliğiyle balatalarda sürtünme ayarlayıcı olarak kullanılır. Yoğunluğu 2,1 g/cm^3, mohs sertliği 1-2 arasında, ısıl iletkenliği 5.000 W/mK'dir.

Grafit sıcaklık değişimlerinden de büyük ölçüde etkilenir. Öyle ki sürtünme katsayısı oda sıcaklığında yaklaşık 0,45 iken 1500 °C'ye kadar olan sıcaklık artışlarında

sürtünme katsayısı değeri giderek azalmakta ve 0,2 değerine düşmektedir. Bu değişime sebep olarak, yükselen sıcaklıklarda bireysel kristaller arasındaki bağın zayıflaması, buna bağlı sürtünen yüzeyler arasında yırtılma dayanımının az olmasıdır (Bowden ve Tabor, 1994). Sürtünme malzemelerinde önemli yer tutan grafitin, balatalarda yüzde miktarı uygun değerlerde tutularak, sürtünme katsayısı dağılımının istenilen düzeyde olması sağlanır.

3.2.2.2. Bronz tozu

Bileşimi ağırlıkça %80 – 83 Cu, %20 – 17 Sn olan bronzdan üretilmektedir. Bronz tozunun tane büyüklüğü kullanım amacına göre değişik ölçülerde olabilir. Yoğunluğu 8 g/cm^3, ergime sıcaklığı 900 °C, ısı iletim katsayısı 86 – 116 W/mK olarak verilmektedir.

3.2.2.3. Metal sülfid

Metal sülfidler 550 °C de eriyen, iyi bir yağlama özelliği olan bir maddedir. Metal sülfidlerin öz iletkenliği grafitten daha düşüktür. Bu özelliği sayesinde frenleme esnasında oluşan ısıyı fren sisteminden uzaklaştırır. Böylece fren sisteminin elemanlarını yüksek sıcaklıktan korumuş olur (Chan ve Stachowiak, 2004).



Şekil 3.6 Metal sülfid (Çiftçi, 2010)

3.2.2.4. Metal oksit

Metallerin oksijen ile oluşturdukları bileşenlere metal oksitler denir. Metal oksitlerden bakır oksit (Cu_2O) 1325 °C'de, çinko oksit (ZnO) 1800 °C'de erir. Metal oksitler yüksek erime sıcaklıklarına ve sertliğe sahip oldukları için fren balatalarında sürtünme düzenleyiciler olarak kullanılırlar.

3.2.2.5. Silisyum oksit

Yapısal olarak, tetrahedranın her köşesinde oksijen atomu bulunan üç boyutlu bir yapısı vardır. Silisyum oksit elektriksel olarak nötrdür ve bütün atomları kararlı yapıdadır. Si atomlarının O atomlarına oranı 1:2'dir. Eğer bu tetrahedranlar kurallı ve düzenli dizilmişse, silisyum oksit kristal yapıda olur. Silisyum oksitin üç polimorfik yapısı vardır. Bunlar; kuvars, kristobalit ve tridimittir. Bunların yapıları nispeten karmaşık ve bir dereceye kadar açıktır(atomlar birbirine çok yakın değildir). Sonuç olarak bu kristal silikatlar düşük yoğunluktadır. Silisyum oksitin oda sıcaklığında yoğunluğu 2,30 g/cm³ ve kaynama noktası 1710 °C ve mohs sertliği 7,5'dir (Callister, 2000).

3.2.2.6. Alüminyum oksit

Aşınma dayanımı ve yüzey parlatıcı olarak hidratlanmış olarak katılır. Ancak fade etkisine (frenleme nedeniyle ısınan balatanın performansında düşme etkisine) neden olabilir. Susuz hali daha aşındırıcıdır. Birleştirilmiş hali en çok aşındırıcı olanıdır.



Şekil 3.7 Alüminyum oksit (Anonim f, 2011)

3.2.3. Takviye malzemeler

Fren balatalarında güç, sağlamlık ve rijitlik sağlamak amacıyla kullanılırlar. Takviye malzemeleri çok çeşitlidir.

3.2.3.1. Asbest

Asbest, endüstriye 19. yy sonunda girmiş olmakla beraber tarihi kayıtlar insanoğlunun bu minareli 2000 yıldır tanıdığını göstermektedir. Yunanlılar M.S. 46'da asbest elyaflarını lambalarda fitil olarak kullanmışlar, fitiller yağ içinde muhafaza edildiği sürece tükenmeden yanarak ışık kaynağı olmasından dolayı "asbestos-asbestinon" adı verilmiştir.

Asbest; kömür, demir cevherleri vs. gibi doğal bir mineraldir. İşlendikten sonra elde edilen asbest elyaf yumağı görünüşündedir. Ateşe karsı dayanıklılığı kadar önemli olan diğer özellikleri gerilme direnci, esnekliği ve bükülebilme özelliğidir. Elastikiyeti yumuşak ipeksi görünümünden dolayı "mineral ailesinin ipeği" ismi verilmiştir. Asbestin teknolojik değeri başlıca üç özelliğinden kaynaklanmaktadır. Bu özellikler; ateşe dayanıklılığı, elektrik ve ısı yalıtımının yüksekliği ve çimento ürünlerine katıldığında beton içindeki çelik kafeslere benzer şekilde özel bağlayıcılık özelliği göstermesidir. Fren balatalarında ve yer karolarında başka malzemelere karıştırılan asbest ileri derecede dayanıklılık sağlayabilmektedir (Asbest, 1991). Özgül ağırlığı 2,1–2,8 g/cm² ve ergime noktası 1150–1550 °C olarak bilinen asbest genel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi serpantin grubu veya yaygın adıyla krizotil asbest olarak adlandırılmaktadır. İkinci grup ise amfibal asbest veya diğer adıyla hornblent asbest olup bu grupta tremolit asbest yanında en fazla kullanılan asbest çeşitleri "mavi asbest" denilen krosidolit ve amosittir (Sophie ve ark. 2002).

En önemli asbest mineralleri; Serpantine Chrysolite (Krizotil) beyaz, Amosite (Amosit) kahverengi, Crocidolite (Krosidolit) mavi.



Şekil 3.8 Asbest (Çiftçi, 2010)

Son 80 yıldır dünyada tartışma konusu olan asbest uluslararası sağlık örgütlerinin girişimleri ile son 10 yılda ulusal ve uluslararası mahkemelerde kullanımı yasaklama kararları alınmıştır. Dolayısıyla asbestin özelliklerini karşılayacak asbeste alternatif malzeme araştırmaları hız kazanmıştır. Sıcaklık dayanımı 650 °C'ye kadar kararlı, 650 °C üzerinde katı silikonlara ayrışır.

Asbestin sıcaklığa dayanımına ilaveten balatalarda kullanımıyla ilgili faydalı özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Düşük ısı iletkenliği
2. Yeterli mukavemet
3. Esneklik
4. Kesmeye dayanıklı
5. Yüksek yüzey alanı
6. Ergimiş veya çökelti seklinde reçine ve kauçuğu emer
7. Yüzey reçine ve lastik tarafından kolayca ısıtılır ve yapışır
8. Belirli elyaf boyu aralığında makul fiyatlarla yeterince bulunabilir

3.2.3.2. Cam elyafı

Cam elyafı 1500-1550 °C sıcaklıkta eritilmiş cam karışımının basınçlı hava ile sıkıştırılması sonucu özel olarak yapılmış bölmelerden aşağı akıtılarak elde edilir. Bu işlem sırasında erimiş cama, dolamit ve alümina katılarak istenilen fiziksel özelliklerdeki lif, belirli bir hızda masuralara sarılmak sureti ile çekilerek çekim hızına

bağlı 10–15 µm arası kalınlıklara sahip elyaflar elde edilir. Liflerin yoğunluğu 2,5–2,54 g/cm^3 arasında değişir (Mutlu ve ark., 2002). Cam elyafın ısıl iletkenlik katsayısı 0,04 W/mK dır (Holman, 2002). Çizelge 3.3'de cam elyafın fiziksel, mekanik ve termal özellikleri görülmektedir.



Şekil 3.9 Cam elyaf tozu (Karaoğlu, 2006)

Çizelge 3.3 E-Cam elyafının özellikleri (Çiftçi, 2010)

Özellik	Değer
Cam Tipi	E
Elyaf Çapı (µm)	13
Akma Özellikleri	Çok iyi
Nem Miktarı (%)	0,07
Reçine Uyumu	Fenolik
Kırpılma Boyu (mm)	~1
Yoğunluk (gr/cm^3)	2,54
Mosh Sertliği	6.5
Çekme Mukavemeti (22 ºC'de) (MPa)	3448
Çekme Mukavemeti (371 ºC'de) (MPa)	2650
Elastisite Modülü (GPa)	72,4
Kopma Uzaması	% 4,8
Özgül Isı (kJ/kgK)	0,197
Yumuşama Sıcaklığı (ºC)	841

3.2.3.3. Kevlar

Kevlar, ticari olarak mevcut olan en mukavim ve rijit organik elyaftır. Sıcaklığın artması ile bu özellikler tedricen azalır fakat 425 °C sıcaklığa kadar, hatta kısa süre içinde 530 °C dereceye kadar faydalı takviye sağlar. En az bu özellikleri kadar kevların doğal tokluğu, önemli sayılabilecek kopma uzaması ve kolaylıkla eğilebilmesi diğer

önemli özellikleridir. Ayrıca pullama ve karıştırma gibi yüksek kayma gerektiren işlemler sırasında uzunluğunu muhafaza etmektedir. Bu özellikler ürünün sürtünme aşınmasında önemli özelliktir. Kevlar, çoklu polimer yapısındadır.

Aşağıdaki özellikler kevların balatalardaki kullanılabilirliğini sağlamıştır.

1. Yüksek mukavemete sahip olduğundan balatalarda takviye elemanı olarak kullanılır.
2. Tokluk değerinin yüksek olması veya kırılgan bir yapıya sahip olmadığından, balata kompozisyonunun hazırlanmasında karıştırma prosesinde dirençlidir.
3. Termomekanik stabilitesi iyi olduğundan yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır.
4. Statik sürtünme özelliklerine sahip olduğundan sürtünme davranışını iyileştirir.
5. Korozyon direnci yüksektir, karsı malzemeyi (diski) kısa sürede aşındırmamaktadır.
6. Nem ve sıcaklık değişimlerinden boyutsal olarak etkilenmemektedir.
7. Düşük yoğunluğa sahiptir. Balataların hafif olmasını sağlar.



Şekil 3.10 Kevlar elyafı

Kevlar fiberler uzun yani sürekli elyaf ip şeklinde üretilir. Çeşitli uzunluklarda kesilerek doğranmış elyaf oluşturulur. 0,5–8 mm arasındaki elyaflar ve elyaflara bağlı birçok ince elyafçıklardan oluşan bir şekli de pulp olarak adlandırılır. Elyafçıklar karmaşık kıvrılmış dallanmış ve çoğunlukla şerit şeklindedir. Bu elyafımsı yapı elyaf

özellikleri üzerinde en büyük etkiye sahiptir (Boz, 1999). Çizelge 3.4'de Kevlar elyafın teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4 Kevlar elyafın teknik özellikleri (Kevlar, 1992).

Özellik	**Kevlar 29**	**Kevlar 49**
Yoğunluk (g / cm³)	1,44	1,44
Kopma dayanımı (MPa)	2920	3000
Gerilme modülü (MPa)	75000	112400
Isıl iletkenlik (W/mK)	0,04	0,04
Deformasyon sıcaklığı (°C)	427-482	427-482
Tercih edilen çalışma sıcaklığı (°C)	140-177	140-177

3.2.3.4. Taş yünü

Taş yünü İzocam Ticaret ve Sanayi A.Ş. firması tarafından üretilmektedir. Üretici firma ürettiği taş yününü daha çok yüksek sıcaklıklarda ısı izolasyonunda kullanılmak için üretmektedir. Taş yünü değişik boy elyaflardan oluşmakta, diğer malzemelerle birlikte karıştırıldığında parçalanarak içyapıya dağılmaktadır. Balata malzemesinde yüksek sıcaklığa dayanıklı olduğundan tercih edilmektedir (İzocam).

Bazalt, diyabaz, dolomit gibi kayaların ergitilerek püskürtüldükten ve bakalit ile karıştırılıp daha sonra özel işlemlerden geçirilmesi sonucu elde edilen mineral yün çeşididir. Piyasada kaya yünü veya rockwool olarak da bilinir. Çizelge 3.5'de üretici firma tarafından verilen fiziksel ve kimyasal özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.5 Taş yünü fiziksel ve kimyasal özellikleri (İzocam)

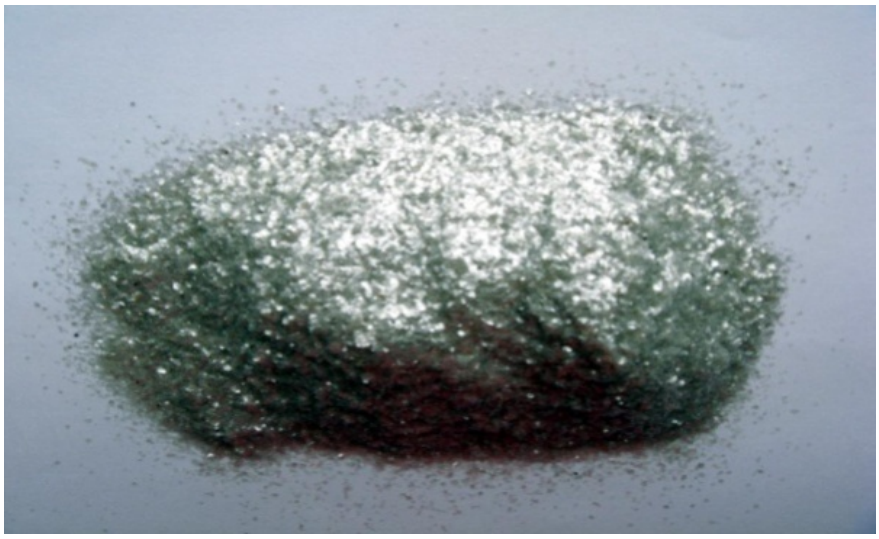
Yoğunluk (kg / m³)	105
Ergime sıcaklığı (°C)	> 1150
Azami kullanım sıcaklığı (°C)	900
Yangın dayanımı	Yanmaz
Asit dayanımı	İyi
Baz dayanımı	İyi
Elyaf çapı (µm)	8-20
Kimyasal bileşimi	%45 Si O_2, %12 Al_2O_3, %10 Fe_2O_3,%9 CaO, %11 MgO, %2 Na_2O, %1,5K_2O, %2,5 TiO_2

3.2.3.5. Çelik elyaf (çelik yünü)

Çelik elyaf uygun takviye etme özelliği, iyi ısı ve sürtünme kararlılığı, ekonomik oluşu ve karıştırma esnasında parçalanmaya karsı direnci sayesinde en çok kabul gören alternatif malzemelerden biridir. Korozyon dezavantajına rağmen yumuşak çelik elyaf daha kolay islenebilir ve ucuz olması sayesinde tercih edilmektedir. Uzun elyaflar daha iyi takviye sağlarken kısa elyaflarda kalıplamada daha kolaylık sağlar. Uzun elyaflar ticari araçlarda disk balata uygulamalarında başarı ile kullanılmaktadır (Baker, 1992).

3.2.3.6. Mika grubu

Mika gurubu mineraller silikat mineralleri olup pulsu yapıdadırlar. Sürtünme malzemelerinin yapımında en çok kullanılan mika minerali muskovit olarak bilinen mineraldir. Elektriksel, kimyasal ve sünme direncini ayrıca elastiklik modülünü ve sertliği artırır. Termoset reçineler için dolgu maddesi olarak geniş uygulama alanları bulur. Mika, ısı, çatlama ve rutubet dayanımını yükseltir. Sıvı reçine sistemi içerisinde dibe çökmeme özelliği vardır. Termal kondüktiviteyi, şekillenme süresini, termal genleşme katsayısını, nem apsorbsiyonunu düşürür.



Şekil 3.11 Mika (Çiftçi, 2010)

3.2.4. Dolgu maddeleri

Dolgu maddeleri istenen sürtünme özelliklerini bozmadan balatayı geliştirmek, hacim doldurmak ve maliyeti düşürmek amacıyla katılır. İşletme şartlarında balatalarda meydana gelebilecek yüzeyden kopmalar, oluşan ısının homojen bir şekilde dağılması ve sürtünme katsayısının ayarlanması, mukavemetin ve korozyon direncinin artırılması ve balatanın renklendirilmesi dolgu maddelerinin yardımıyla sağlanmaktadır (Ayar, 1991).

İdeal bir dolgu maddesinden istenen özelliklerden bazıları; takviye edici özelliği, kalıcı olmaları,mekanik özellikleri iyileştirmeleri,abrasif aşınma direncini arttırma, boyutsal stabiliteyi artırma, alevlenmeye karşı direnci artırmalarıdır.

3.2.4.1. Alçı

Alçı taşı tabiatta mineraller halinde bulunur. Bu mineral genellikle şist, kireç taşı ve dolamit ile birlikte bulunur. Çoğunlukla beyaz, gri, sarı ve pembe renklerde karışım halinde bulunan masif alçı taşı yumuşak bir yapıya sahiptir. Kimyasal olarak %93,8 $CaSO_4$, %6,2 H_2O'dan oluşmaktadır. $CaSO_4 1/2\ H_2O$ formülü ile gösterilmekte ve yarım sulu alçı olarak da bilinmektedir. Su katıldığında $CaSO_4 2H_2O$ olarak sertleşmektedir. Yoğunluğu 1,23 g/cm³'dür. Alçının ortalama tane büyüklüğü 167 Tm'dir.

Alçı 0-50 °C ısıtıldığında bir miktar genleşir, sıcaklık arttıkça bünyeden su kaybı başlar ve hacimde küçülme gösterir. Alçı, ısı iletkenlik değeri çok düşük bir malzemedir ve bu değer yoğunluk ile orantılıdır. Yeni geliştirilen sürtünme malzemelerinde %50'lere kadar varan oranlarda yer verilerek dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

3.2.4.2. Talk

Talk formülü $Mg_3Si_4O_{10}(OH_2)$ olan bir magnezyum silikat mineralidir. Talkın ortalama tane büyüklüğü 102 Tm, yoğunluğu 2,7 gr/cm^3, yanma kaybı %7,05–7,3, özgül ısı 0,870 KJ/kg, sertlik 1-2 Mohs.Tipik kimyasal analizi; %42-54 SiO_2, %7-25 Al_2O_3, %0,94-1,25 Fe_2O_3, %0,2-15 CaO, %23-32 MgO, olarak verilmektedir. Kâğıtta, plastiklerde, kozmetiklerde vb. dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Akkurt, 1991).

Talk kompozit malzemenin fiyatını düşürür, elastiklik modülünü, sünme direncini artırır, yüzey kalitesini iyileştirir, imalat aşamasında şekillenme süresini ve ısıl genleşme katsayısını düşürür.

3.2.4.3. Barit

Barit minerali ($BaSO_4$), baryum (Ba) elementinin ve bileşiklerinin ana kaynağını teşkil eder. Ana mineral olan barit özellikle petrol endüstrisinde çok büyük kullanım yerine sahiptir. Ayrıca cam ve boya sanayi ile bazı sanayi dallarında dolgu malzemesi olarak da kullanılır. Saf barit, %58,8 baryumdan veya %65,7 BaO - %34,3 SO_3 oluşur. Özgül ağırlığı 4,5 gr/cm^3 olup, içerisindeki katkı maddeleri bunu büyük ölçüde düşürebilir. Genelde en çok rastlanan renkleri beyaz, açık sarı ile koyu gri siyah arasıdır. Suda ve asitte kolay çözünmez, bu üstünlüğü bakımından kimyasal etkilere karsı mukavimdir. Sürtünme malzemelerinde önemli kullanım yerine sahiptir, genelde %5–10 arasında kullanılmaktadır. Yeni geliştirilen sürtünme malzemelerinde alçıya göre barit'in daha dengeli olmasından dolayı %50–55 arasında yer verilmektedir. Düşük maliyetli olduğu için balata endüstrisinde dolgu malzemesi olarak kullanılır. Barit balatanın sürtünme katsayısını frenleme hızına bağlı olarak negatif şekilde etkilemektedir (Kim ve ark., 2004).



Şekil 3.12 Barit kristali (Çiftçi, 2010)

3.2.4.4. Kil

Kil, püskürük kayalar içerisinde veya saf halde bulunan feldspatların zamanla karbonik asit'in etkisiyle çözülüp değişmesinden oluşur. Esas maddesi, içerisinde su bulunan silikattır. Doğadaki killerin çoğunun içinde kalker, mika ve daha birçok maden oksitleri bulunur.

Genellikle 0,002 mm den daha küçük tanelidir. Kili meydana getiren sulu SiO_2 ve Al_2O_3 olarak isimlendirilen bu maddeler, tabakalar meydana getirerek birleşirler ve kil minerallerini meydana getirirler. Böylece kil minerallerinin esas bileşimini oluştururlar.

Kil doğada toprak ve tas halinde bulunur. Bu toprağa her yerde saf olarak rastlanmaz. Genellikle demir hidroksit, kum, kalker, karbon ve manganez gibi maddelerle karışık olarak bulunur. Kilde bulunan maddelerin birçoğu renk verici olduğundan; kil'in rengi sarı, kırmızımsı, yeşilimsi, mavimsi, gri, esmer veya siyah olur. Arı killerin rengi beyazdır. Böyle killere " kaolin'' denir, porselen eşyalar kaolinden yapılır (Tekinel ve ark., 1999).

3.2.4.5. Mermer tozu

Mermer kireç taşları ($CaCO_3$) zamanla doğada meydana gelen ısı ve basınç (metamorfizme) etkisi ile kristalize olmuştur. Bileşiminde en az %95 $CaCO_3$ bulunan, yoğunluğu 2,550-2,800 gr/cm³ arasında değişen ve içerisinde az miktarda kuvars, grafit, hematit, limonit, pirit, mika, klorit gibi mermere değişik renkler ve damarlı bir görünüm kazandıran mineraller bulundurur.

Çizelge 3.6 Mermer tozunun fiziksel ve mekanik özellikleri (Kılıç, 2010).

Sertlik	3-4
Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm³)	2,70
Özgül Ağırlığı (gr/cm³)	2,73
Basınç Direnci (kgf/cm²)	1,12
Darbe Direnci (kgf-cm/cm³)	13,18
Eğilme Direnci (kgf/cm²)	225
Doluluk Oranı (%)	98,90
Gözeneklilik Derecesi (%)	1,10
Çekme Direnci (kgf/cm²)	68

Kimyasal bileşimlerinde büyük oranda kalsiyum karbonat, daha düşük oranlarda silisyum dioksit, ayrıca pigment olarak da değişik metal oksitleri bulunmaktadır. Mermer tozu 900 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kalsinasyona uğrar yani bünyedeki nemi ve karbondioksit gibi uçucu maddelerini bünyeden uzaklaştırır. Kalsiyum karbonat sönmemiş kirece dönüşür. Çizelge 3.6'da Mermer tozunun fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

3.3. Nano Teknoloji

3.3.1. Giriş

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler, nano teknolojinin doğmasına yol açtı ve çağımızın en öncelikli konularından biri olmuştur. Nano parçacıklar, ince filmler ve nano tüpler olarak elde edilen malzemeler, gösterdikleri çok ilginç fiziksel özellikler ve boyutların çok küçülmesi nedeniyle teknolojide çok büyük bir kullanım alanı sunmaktadırlar.



Şekil 3.13 Karbon nano tüp (Anonim g, 2011)

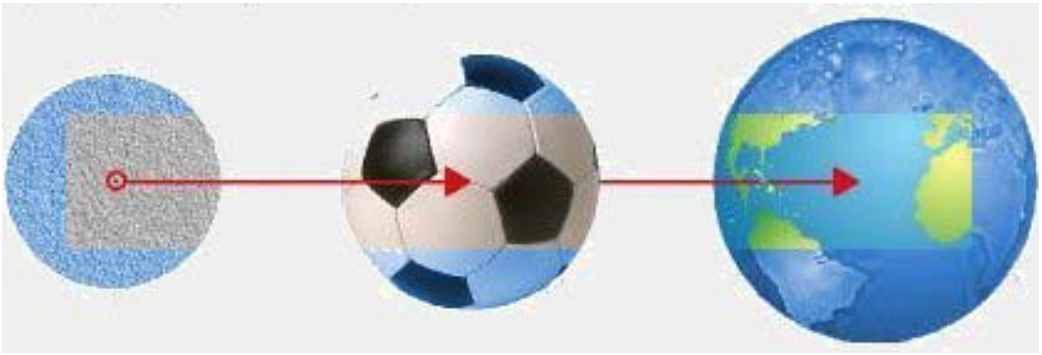
Nano teknoloji nanometre ölçeğinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması, kontrolü ile bu boyutlarda fonksiyonel malzemelerin, araçların ve sistemlerin geliştirilmesi ve üretimi olarak tanımlanmaktadır. Nano teknoloji ile nano ölçekteki olayların değerlendirilip, benzerlerinin geliştirilerek uygulanmasıyla bilimde ve teknolojide yeni ufuklar açılmaktadır. Aslında nano teknoloji çağımıza yön veren

bilgi, iletişim ve biyoteknoloji ile birlikte gelişmekte olup bu teknolojilerden ayrı düşünülemez.

Nano bilim ve nano teknoloji çok çeşitli alanlarda hızla yaşantımıza girmektedir. Bu etki bilişim ve haberleşmeden başlamakta, savunma sanayi, uzay ve uçak teknolojileri ve hatta moleküler biyoloji ve gen mühendisliğine kadar uzanmaktadır.

3.3.2. Nano ölçek

Nano kelime anlamı ile bir metrenin milyarda biri kadar olan bir ölçüdür (1 m = 10^{-9} nm) ve 10 atomluk bir genişliği kapsamaktadır. Karşılaştırma açısından bir saç telinin 150 000 nanometre olduğu söylenebilir. Nano teknoloji ise 100 nanometreden küçük ölçekteki materyallerin tasarımı, üretimi, montajı, karakterizasyonu ve bu materyallerden elde edilmiş minyatür fonksiyonel sistemlerin uygulamalarını inceleyen ve hızla gelişen disiplinler arası araştırma-geliştirme faaliyetlerinin tümünü temsil etmektedir (UK Royal Society Report, 2004). Bir nano yapısal elemanın büyüklüğü, bir futbol topunun dünyaya göre olan büyüklüğü kadar düşünülebilinir.



Şekil 3.14 Nano ölçek (Anonim b, 2011)

3.3.3. Nano ölçekli malzemeler

Maddenin boyutu nanometre mertebesine kadar küçüldükçe bunların mekanik, elektrik, ısıl, optik ve kimyasal özellikleri ve çevresi ile ilişkilerinin değiştiği belirtilmektedir. Önceden ön görülmeyen büyük hacimli aynı maddeden çok daha farklı özelik ve davranış gösterebilmektedir. Bazı hallerde bu yeni özellik, büyük boyuttaki maddeden çok üstün niteliğe sahip malzemelerin ve sistemler geliştirmesine imkân vermektedir. Nano teknoloji denilince ilk akla gelen nano-ölçek seviyesinde nano-

materyallerdir. Amerikan Çevre Koruma Örgütü (USEPA) nano-materyalleri 4 ana kısma ayırmıştır. Bunlar;

1. Karbon bazlı nano-materyaller (karbon nano tüp, fulleren),
2. Metal bazlı nano-materyaller (nano-gümüş, nano-altın, TiO_2, metal oksitler),
3. Dendrimer (nano-ölçekli polimerler),
4. Nano-kompozitler.

Malzemeler kuantum (Kuant: Bir fiziksel alanın parçacık olarak kabul edilen enerji birimidir.) etkileri nedeniyle nano boyutta mikro boyuttan farklı davranmaktadırlar. Boyutları 1-100 nm'ye inince maddenin enerjisi ve iletkenliği, geometriye ve büyüklüğe bağlı olarak değişmekte ve malzemeler olağanüstü özellikler kazanmaktadırlar.

Külçe şeklindeki altın başka maddelerle reaksiyona girmek istemezken, nano boyuttaki altında bu durumun tam tersi gözlemlenmektedir. Bildiğimiz alüminyum nano ölçeklere inince patlayıcı özellik kazanmaktadır. Yarı iletken bir malzeme olan silisyumdan yapılan bir telin çapı nanometreye yaklaştığında, tel iletken bir davranış sergilemektedir. Karbondan oluşmuş elmas kristali, bilinen en sert ve yalıtkan malzemedir. Kurşun kalemlerde kullanılan 2 boyutlu, düzlemsel grafit tabakalar ise karbonun yumuşak ve iletken bir yapısıdır. Nano boyutta ise, karbon atomları, çelikten çok daha yüksek çekme mukavemetine sahip olan ve normal koşullarda çok iyi bir iletken olan, kararlı sicimleri (atom zincirlerini) oluşturmaktalar.

3.3.4. Nano teknolojinin kullanım alanları

Nano teknoloji gıda, tekstil, ilaç-kozmetik, kimya, malzeme, bilişim, otomobil ve metal endüstrileri gibi birçok sektörde her geçen yıl daha fazla uygulama sahası bulmakta ve artık insan hayatının vazgeçilmezi olmaktadır.



Şekil 3.15 Nano teknolojinin dalları (Anonim h, 2011)

Bilgi çağının teknolojisi nano teknolojidir. Nano teknoloji araştırma ve çalışmalar; Nano ölçekteki yapıların analizi, Nano boyuttaki yapıların fiziksel özelliklerinin araştırılması ve anlaşılması, Nano ölçekli malzemenin üretimi, Nano duyarlıkta aletlerin geliştirilmesi, Nanoskopik ve mikroskobik dünya arasında bağ kurulmasına yardımcı olacak yöntemlerin bulunup geliştirilmesi gibi konuları kapsamaktadır.

Nano teknoloji elektronik ve yarı iletken teknolojisinden, biyo-sensörlere, nano tüplerden nano tanecik sistemlerine, katalizörlerden akıllı moleküllere, yüzey kaplamalardan, nano boyutta boyamalara, mikro cerrahiden nano robotlara kadar birçok alanda kullanım alanı bulmuştur.

Nano teknoloji, kendi kendini temizleyen boyalardan, kirlenmeyen kumaşlara; esnek ama daha dayanıklı betondan, elmas kadar sert kaplamalara; kanserli hücrelerin vücuda zarar vermeden öldürülmesinden, günlerce etkisini kaybetmeyen kremlere; tek şarbon mikrobunu bile algılayabilen sensörlerden, bakterileri öldürdüğünden dolayı kokmayan çoraplara ve mikrop barındırmayan buzdolaplarına kadar hayatımıza girmeye başlamıştır.

Sanayinin ikinci büyük devrimi sayılabilecek Nano teknoloji, otomotiv endüstrisine de pek çok alanda yeni açılımlar getirmeye hazırlanmaktadır. Nano teknoloji, materyallerin moleküler boyutlarda kontrolüne izin vermektedir. Böylelikle nesnelerin kimyasal ve fiziksel davranışları yönlendirilebilir hale gelmektedir. Molekül dizilimlerinin sıralı ve daha kompakt biçimde kurgulanması, araç içi ve motor parçalarına yönelik daha hafif plastik materyaller üretilebilmesini sağlamaktadır.

Moleküllerin bilinçli yerleştirilmesi sayesinde plastik maddeler hafif oldukları kadar sağlamlık özelliğine de kavuşmaktadır. Söz konusu sağlamlık ve hafiflik, sadece plastiklere yönelik değil; alüminyum motor blokları da aynı mantıkla daha efektif hale gelmektedirler. Bu durumun tüketicilere yansıması, doğrudan yakıt tüketiminin azalması olarak şekillenmektedir. Aracın ve motorun hafiflemesiyle yakıt tüketimi de %10'a varan oranlarda azalmaktadır. Motor parçaları, sürtünme oranlarına göre hesaplanmış biçimde üretilebildiğinde, hasar alma ve aşınma potansiyelleri de düşmektedir.

Nano partiküllerin önemli işlev kazandığı bir başka alan ise boyalardır. Otomobil sahipleri, boya konusunun hassaslığını bilirler. Boyanın korunması, çizilmemesi gibi konular estetik ve sağlamlık açısından her sürücü için önemlidir. Nano-teknoloji ile üretilmiş boyalar, daha yapışkan olmaları sayesinde uzun ömürlü olmanın yanı sıra, çizilme ve diğer aşınma durumlarına karşı da çok daha dayanıklılık göstermektedirler. Nano teknoloji, otomobillerin başka parçalarının da daha verimli kullanılabilmesini sağlamaktadır. Suyu hiç tutmayan, doğrudan üzerinden kayıp gitmesini sağlayan nano partiküler camlar sayesinde silecekler yakın gelecekte tarihe karışacağı düşünülebilinir. Yine aynı özellik sayesinde otomobiller çok daha az kirlenip ve kolay yıkanır hale gelecekleri düşünülebilinir.

Nano teknolojinin etkilemeyeceği bir alan düşünmek nerdeyse imkânsızdır. Sonuçları itibariyle dünya çapında ekonomiyi etkileme başlayan bu yeni teknoloji devrimi insanoğlunun hayatına mucizevî ihtimallerle birlikte girmesi beklenmektedir.

Günümüzde tüm Dünya Ülkeleri bir Nano teknoloji Araştırma ve Uygulama planlamalarını yapmışlar ve çalışmalara başlamışlardır. Her ülke ve özel sektörü kendisi için en uygun öncelikli alanları saptamıştır. Başta ABD olmak üzere Japonya, Almanya, Rusya ve birçok Avrupa ülkesi nano teknolojik araştırmalara büyük kaynak aktarmaktadırlar. Ülkemizde de TÜBİTAK desteği ile Bilkent Üniversitesi'nden bir nano teknoloji araştırma merkezi kurulmuştur. Halen birçok üniversitemizde değişik bilim alanlarında nano teknolojik çalışmalar yapılmaktadır.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Malzeme Seçimi

Bu çalışmada fren balata bileşeni olarak karbon nano tüp kullanımının frenleme performansına etkilerinin deneysel araştırılması amaçlanmıştır.

Numune balataların üretilmesinde bakır tanesi, kalay tozu, kurşun tozu, demir yünü, grafit ve karbon nano tüp kullanılmıştır. Aşağıdaki çizelgelerde numunelerde kullanılan bileşimlerin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1 Bileşimlerin özellikleri

Özellik	Kalay	Bakır	Demir	Kurşun	Grafit
Yoğunluk (g/mL)	7,310	8,920	7,874	11,340	2
Erime noktası(°C)	231,93	1084,62	1538	327,46	3527
Kaynama Noktası(°C)	2602	2927	2861	1749	
Mineral Sertliği	1,5	3	4	1,5	1
Özgül ısı (Jg^{-1} K^{-1})	0,228	0,38	0,440	0,129	
Isı iletkenliği(W/cmK)	0,67	4	0,80	0,35	
Elektrik analizi (mesh)					200
Nem (%)					1,5

Çizelge 4.2 Karbon nano tüp'ün özellikleri (Anonim a, 2011)

Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm^3)	~ 2,1
Özgül yüzey alanı (m^2/g)	110
Elektriksel iletkenlik (S/cm)	>100
Boyutu	
Dış çap (nm)	20-30
İç çap (nm)	10-20
Uzunluk (μm)	10-30
Karbon nano tüpün karışım içeriği	
C (%)	98,35
Cl (%)	0,45
Fe (%)	0,26
Ni (%)	0,94

4.2. Baz Formülün Belirlenmesi

Deney numunelerinde karbon nano tüpün etkisini görebilmek amacıyla grafit yerine takviye malzemesi olarak karbon nano tüp kullanılmıştır. Deneylerde numunelerin üretiminde kullanılacak uygun boyut ve tribolojik özelliğe sahip karbon nano tüp malzemeler yurt dışından temin edilmiştir.

Numunelerin baz formülünün oluşturulmasında literatür çalışmalarından ve balata üreticilerinin deneyimlerinden faydalanılmış, birkaç üretim denemesi yapıldıktan sonra grafit bileşimli numune için baz formülün çizelge 4.3 ve karbon nano tüp bileşimli numune için baz formülün çizelge 4.4'de belirtildiği şekilde olmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.3 Grafit bileşimli numunenin kompozisyonu (Kütlesel)

	Numune	Bakır (% 70)	Kalay (%9)	Demir (% 12)	Kurşun (% 9)	Grafit (gr)
50 gr numune		35	4,5	6	4,5	
%0,5 Grafit	A1	34,825	4,4775	5,97	4,4775	0,25
%1 Grafit	A2	34,65	4,455	5,94	4,455	0,5
%2 Grafit	A3	34,3	4,41	5,88	4,41	1
%4 Grafit	A4	33,6	4,32	5,76	4,32	2

Çizelge 4.3'de 50 gramlık grafit bileşimli numune için ağırlık değerleri verilmiştir. 50 gr numunenin bileşiminde %70 bakır , %9 kalay, %12 demir, %9 kurşun vardır. 50 gr A1, A2, A3 ve A4 numunelerinin bileşimlerine %0,5 - %1 - %2 - %4 oranlarında grafit ilave edilmiş ve bu numunelerin her birinden 6'şar adet numune üretilmiştir.

Çizelge 4.4 Karbon nano tüp bileşimli numunenin kompozisyonu (Kütlesel)

	Numune	Bakır (% 70)	Kalay (%9)	Demir (% 12)	Kurşun (% 9)	Karbon nano tüp (gr)
50 gr numune		35	4,5	6	4,5	
%0,5 Karbon Nano Tüp	B1	34,825	4,4775	5,97	4,4775	0,25
%1 Karbon Nano Tüp	B2	34,65	4,455	5,94	4,455	0,5
%2 Karbon Nano Tüp	B3	34,3	4,41	5,88	4,41	1
%4 Karbon Nano Tüp	B4	33,6	4,32	5,76	4,32	2

Çizelge 4.4'de 50 gramlık karbon nano tüp katkılı numune için ağırlık değerleri verilmiştir. 50 gr numune için B1, B2, B3 ve B4 numune bileşimlerine %0,5 - %1 - %2 - %4 oranlarında karbon nano tüp ilave edilmiş ve bu numunelerin her birinden 6'şar adet numune üretilmiştir.

4.3. Numunenin Hazırlanışı ve Üretimi

4.3.1. Bileşimin hazırlanması

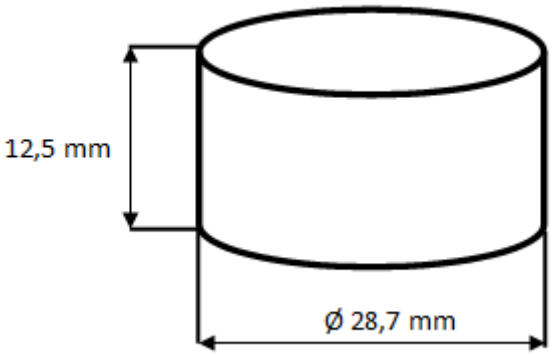
Numunelerin üretim aşamasında bileşim oranlarını belirlemede hesaplama kolaylığı için kütlesel oran esas alınmıştır. Numune üretiminde numunelerin kompozisyonlarını elde etmek için kullanılan malzemeler 0,001 gr hassasiyetli elektronik terazide tartılmıştır.

4.3.2. Bileşimin karıştırılması

Bileşim tozlarının homojenliğini sağlanmak için elektrikli mikser kullanılmıştır. Bileşimler elektrikli mikserde 9000 d/d'da, 10 dakika süreyle karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi devam ederken her 3 dakikada bir karıştırıcı dikey yönde çalkalanarak bileşimin homojen olması amaçlanmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra bileşim oda sıcaklığında 30 dakika bekletilmiştir.

4.3.3. Numunelerin üretimi

Bileşim tozları, tek yönlü hidrolik preste, çapı 30 mm, kurs mesafesi 40 mm ebatlarındaki silindirik kalıp içerisine yerleştirilerek preslenmiştir. Numunelerin üretim işlemi esasında malzemeler kadar üretim parametrelerinin de performansı etkilediği bilinmektedir. Kalıplama esasında bileşime uygulanacak basınç, sıcaklık ve süre bu parametrelerden en önemlileridir. Literatürde bileşime uygulanacak sıcaklık, basınç ve süre ile ilgili temel bilgiler mevcuttur. Değişik sıcaklık ve basınç aralıklarında numune üretim denemeleri yapılarak presleme basıncının 10 MPa, sıcaklığın 150 ºC ve presleme süresinin 10 dakika sürede yapılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Presleme parametrelerinin belirlerken balata üretici firmalarının deneyimleri, literatür incelemeleri ve deneme üretimi sonuçları göz önüne alınmıştır.



Şekil 4.1 Üretilen numunenin şematik çizimi

Bileşim malzemeleri, sıcaklık kontrollü ve tek yönlü hidrolik pres kalıbının içerisine yerleştirilerek, 150 ° C sıcaklıkta ve 10 MPa basınçta 10 dakika sürede sıcak presleme yapılmıştır. Presleme işlemi sırasında numunelerin alt ve üst kısmının yapışmaması için alüminyum folyo kullanılmıştır. Numune üretiminde kullanılan hidrolik pres kalıbın resmi şekil 4.2'de verilmiştir.

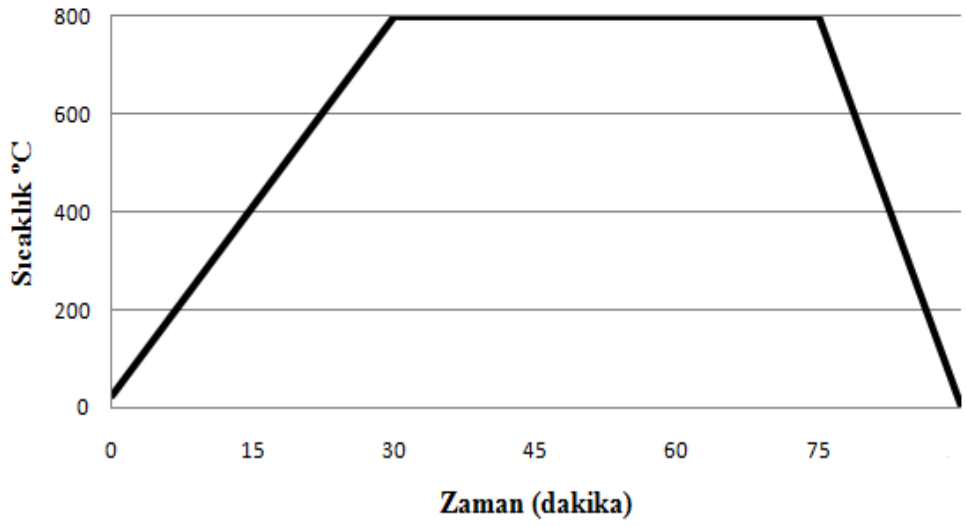


Şekil 4.2 Hidrolik pres

4.3.4. Numunelerin sinterlenmesi

Sinterleme sıcaklığının ve süresinin belirlenmesi amacıyla üretimi yapılan grafit ve karbon nano tüp numunelerin sinterleme işlemi, sırasıyla 800 ºC, 810 °C, 820 °C sıcaklıklarda, 45-60-75 dakika sürelerde yapılmıştır. Sinterleme işlemi için en uygun sinterleme sıcaklığının 800 °C ve sinterleme süresinin 75 dakika sürede yapılmasına karar verilmiştir.

Sinterleme sırasında numunelerin havayla temasını kesmek için aynı çapta özel bir boru içerisine numuneler yerleştirilip açıkta kalan ön ve arka kısımları heykeltıraşlıkta kullanılan ısıya dayanıklı toprakla kapatılmıştır. 20 °C oda sıcaklığında grafit ve karbon nano tüp bileşimli numuneler 30 dakika sürede 800 °C sinterleme sıcaklığına çıkartılarak, 800 °C' de 45 dakika sabit sıcaklıkta sinterlemeleri yapılmıştır. Toplam 75 dakika sinterleme süresi sonunda numuneler soğumaya bırakıldılar.



Şekil 4.3 Sinterleme aşaması

Üretimleri yapılan grafit ve karbon nano tüp bileşenli numunelerin sinterleme öncesi ve sonrası yoğunlukları tespit edilmiştir. Numunelerin yoğunlukları,

$$d=m/v \tag{5.1}$$

formülüyle hesaplanmıştır.

4.4. Test Cihazının Tanıtımı

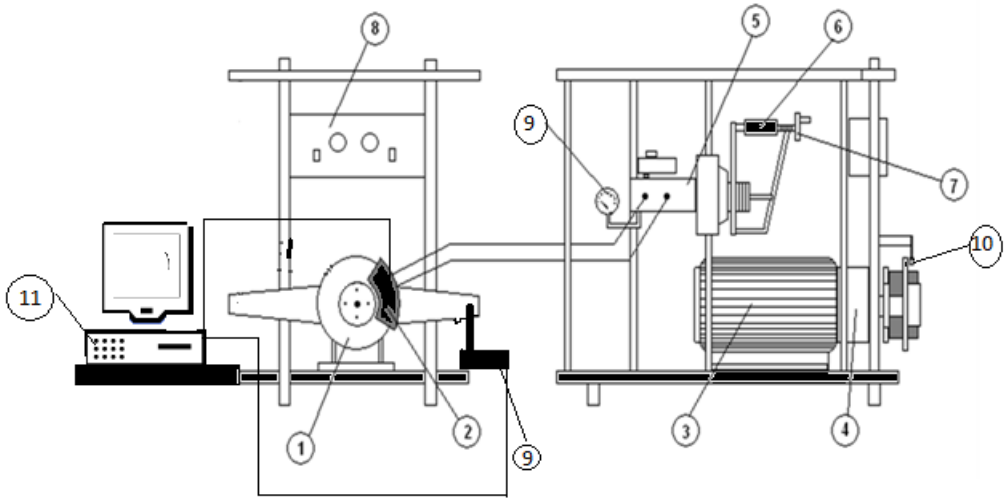
4.4.1. Fren test cihazı

Fren balata performansı, fren test cihazlarında standartlara uygun bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu cihazlar gerçek frenleme şartlarını disk ve balata üzerinde gerçekleştirerek frenleme performansının belirlenmesini sağlarlar.

Üretimi yapılan grafit ve karbon nano tüp bileşenli numunelerin frenleme performansını incelemek amacıyla daha önce bu konuda yapılmış olan çalışmalar dikkate alınarak bir deney cihazı üretilmiştir. Deneylerin TS 555 ve TS 9076'da belirtilen şartlara uygun olarak yapılabilmesi için deney düzeneğine bir takım aparatlar ve ölçü aletleri yerleştirilmiştir.

Deneysel çalışmanın amacına uygun olarak tasarlanan deney setinin şasisi, Konya Selçuklu Endüstri Meslek Lisesi Motorlu Araçlar Teknolojisi Alanı Tesviye Kaynak Atelyesi'nde üretilmiştir.

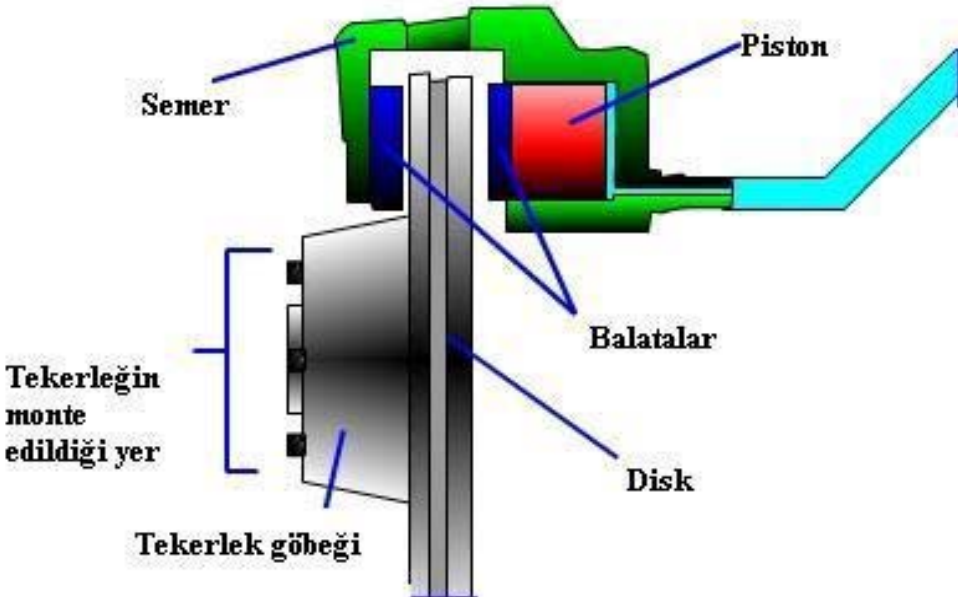
Deney düzeneğinde fren diskini döndürmek için 380 volt, 50 Hz, 86 A, 4 kW gücünde 1475 dev/dak trifaze, redüktörlü 465 dev/dak elektrik motoru bulunmaktadır. Şekil 4.4'de fren test cihazının resmi görülmektedir.



Şekil 4.4 Fren test cihazının şematik görünümü
1- Fren diski, 2- Fren kaliperi, 3- Elektrik motoru, 4- Redüktör, 5- Fren merkezi, 6- Kuvvet ölçer, 7- Fren pedal ayar çarkı, 8- Kontrol ünitesi, 9- Yük hücresi, 10- Termokupul, 11- Bilgisayar

Test cihazının üzerinde taşıt fren sisteminin mekanik kısmı bulunmaktadır. Mekanik sistemde disk, balata, semer (kaliper), fren merkezi, hidrolik hortum, elektrik

motoru, kumanda paneli, fren balatalarının yerleştirileceği balata tutucu pabuç bulunmaktadır.



Şekil 4.5 Disk ve kaliper

4.4.2. Kuvvet ölçer

Bu test düzeneğinde, fren sistemi için sabit bir pedal kuvveti uygulanarak, bu kuvvete karşılık üretilen frenleme kuvveti ölçülebilmektedir. Deneylerde Shimpo marka FGN-50B model, kalibre edilmiş kuvvet ölçer kullanılmıştır. Deney yapılırken fren pedalına uygulanan kuvvet doğrudan cihaz üzerinden okunmuştur.

Çizelge 4.5 Shimpo kuvvet ölçer cihazı teknik özellikleri

Özellikler	
Hassasiyeti (N)	0,01
Kapasitesi (N)	500
Çözünürlük (N)	0,1
Ağırlığı (gr)	450
Çalışma sıcaklığı (º C)	0-40
Ölçüleri (mm)	75x147x38



Şekil 4.6 Shimpo kuvvet ölçer cihazı (Anonim j, 2011)

4.4.3. Hidrolik basınç ölçer

Fren merkez pompasındaki pistona uygulanan fren pedal kuvveti, hidrolik üzerinde basınç oluşturur. Deneylerde numunelere uygulanan hidrolik basınç değeri 0,001 hassasiyette ölçüm yapabilen New Flow dijital manometreden okunmuştur.



Şekil 4.7 Hidrolik basınç ölçer (Anonim ı, 2011)

Çizelge 4.6 New-Flow dijital manometrenin teknik özellikleri

Özellikler	
Hassasiyeti (N)	0,01
Boyutu (inç)	Ø 3
Tepki süresi (ms)	<1
Ölçüm birimi	Psi-Bar-MPa
Çalışma sıcaklığı (º C)	-10-60

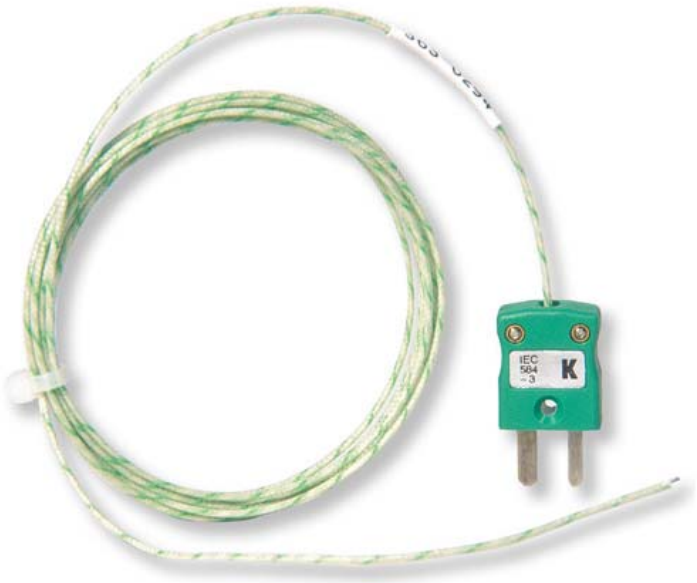
4.4.4. Termokupl ve dönüştürücü

Termokupl iki farklı alaşımın ucunun kaynaklanması ile oluşturulan basit bir sıcaklık ölçü elemanıdır. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta olarak adlandırılır. Termokupl ölçü değeri, sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Sıcak nokta aynı kalmak şartıyla soğuk nokta sıcaklığı değiştiği takdirde farklı sıcaklıklar okunmaktadır. Bu nedenle termokupl mV tablolarındaki değerlerde standardizasyon sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın 0 °C'de tutulması ile elde edilmiştir.

Deneylerde balata sıcaklıklarının ölçümü için K-Tipi (NiCr-Ni) Klipsli Termokupul kullanılmıştır. K-Tipi termokupul ile 1200 °C sıcaklığa kadar ölçüm yapılabilmektedir. Numunelerin sıcaklıklarını ölçmek için numuneler merkez noktalarından içeri doğru 3 mm derinlikte delinmişlerdir. Termokupl numunelere açılan bu deliklerden yerleştirilmiştir. Deney anında anlık sıcaklık verileri termokupl cihazından USB TC-08 Temperature Logger dönüştürücü sayesinde bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayarda PicoLog yazılım programıyla veriler kayıt edilmiştir.

Çizelge 4.7 Termokupul cihazının teknik özellikleri

Özellikler	
Ölçüm sensörü	K tipi
Tipi	Klipsli
Koruyucu kılıf çapı(mm)	Ø 3
Çalışma sıcaklığı (º C)	-20/1200
Koruyucu kılıf	Inconel çelik



Şekil 4.8 K-Tipi (NiCr-Ni) Klipsli Termokupul

Çizelge 4.8 Temperature Logger dönüştürücünün teknik özellikleri

Özellikler	
Kanal sayısı	8
Dönüşüm süresi(ms)	100
Aşırı yük koruması (V)	± 30
Sıcaklık hassasiyeti(° C)	± 0.5
Giriş aralığı (voltaj) (mV)	± 70



Şekil 4.9 TC-08 Temperature Logger dönüştürücü (www.picotech.com)

4.4.5. Loadcell (Yük hücresi)

Deney setinde frenleme kuvvetini ölçmek için BT serisi yük hücresi kullanılmıştır. BT tipi loadcell (yük hücresi), özel alaşım çelikten imal edilerek korozyona ve endüstriyel şartlara dayanımını artırmak amacı ile nikel kaplanmış bending beam prensibi ile basma veya çekme yönünde çalışmaktadır.



Şekil 4.10 Yük hücresi (Anonim i, 2011)

BT loadcell ’in üzerinde ki paslanmaz çelik körük, çevre şartlarına karşı koruma sağladığı gibi tartım sırasında meydana gelen vibrasyonun tartıma etkisini azaltan bir özellik gösterir.

Çizelge 4.9 Yük hücresinin teknik özellikleri

Özellikler	
Model	BT
Doğruluk sınıfı	C2
Kapasitesi (kg)	200
Çıkış sinyali (mV/V)	2
Giriş direnci (Ω)	395±20
Çıkış direnci (Ω)	350±3
İzolasyon direnci (MΩ)	>1000



Şekil 4.11 Loadcell sayısal çevirici

Çizelge 4.10 Yük hücresi sayısal çevirici cihazın teknik özellikleri

Özellikler	
Model	PWI-D
Tipi	Masa üstü
Seri çıkış	RS232
Ağırlığı (gr)	400
Çalışma sıcaklığı aralığı (º C)	-10/+40
Besleme voltajı (V)	10
Besleyebileceği yük hücresi sayısı	8
Okuma sıklığı(Hz)	12-100
A/D çeviricisi	24bit Sigma-Delta

Loadcell sayısal çevirici kumanda kutusu, loadcell ölçüm merkezinden gelen matematiksel veriyi PLC desteği ile gr çevirir. Bu ağırlık birimini dijital operatör panelinde görmemizi sağlar. Kumanda panelinden okunan ölçüm değerleri özel bir programla bilgisayar ortamına aktarılarak kayıt altına alınmıştır. Şekil 4.11'de loadcell sayısal çevirici görülmektedir.

4.4.6. İnvertör ve kontrol paneli

Fren test cihazında diski istenilen devirde döndürmek için Medel Tay 42 marka, 5,5 kW ve 0-1500 dev/dak çalışan invertör kullanılmıştır. Elektrik kontrol panosundaki start düğmesine basılarak motora elektrik verilir. Motor devri, kontrol panelinde

bulunan ayar düğmesiyle istenilen çalışma devrine ayarlanır. Kontrol panelindeki dijital göstergeden motorun dönme hızıyla ilgili bilgiler okunur.



Şekil 4.12 İnvertör ve kontrol paneli

Çizelge 4.11 İnvertör teknik özellikleri

Özellikler	
Model	42
Çalışma aralığı (dev/dak)	0-1500
Gücü (kW)	5,5
Giriş voltajı(V)	380
Çalışma sıcaklığı (º C)	10-60
Motor akımı(A)	12
Çalışma nem aralığı (º C)	20-30
Filitre gücü (kW)	7

4.4.7. Sıcaklık ölçme cihazı

Deneyler sırasında balata numunesinin fren diskine sürtünmesi sonucunda diskin sürtünme yüzeyi sıcaklığı artmaktadır. Sıcaklık artışının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla disk sürtünme yüzeyinin sıcaklık ölçümü birer dakika aralıklarla yapılmıştır.



Şekil 4.13 Sıcaklık ölçme cihazı

Çizelge 4.12 Sıcaklık ölçme cihazı teknik özellikleri

Özellikler	
Model	ST 883
Doğruluk (º C)	±5
Ekran çözünürlüğü (º C)	0,1
Yüzey parlaklığı ayarı	0,95
Çalışma sıcaklığı (º C)	-50/+700
Limit dışı ölçüm ikazı	Sesli ve ışıklı
Çalışma voltajı(V)	9
Ağırlığı(gr)	180
Örnekleme aralığı (saniyede)	2,5

Sıcaklık ölçümünde hassas temassız ölçüm yapabilen, -50 ile +700 °C aralıklarında çalışan Nancontact Infrared ST 883 Termometre kullanılmıştır. Nancontact Infrared ST 883 Termometre diske 3 cm mesafede tutularak, ölçülen sıcaklık değerleri LCD ekrandan dijital olarak okunup bilgisayar ortamına kaydedilmiştir.

4.4.8. Hassas kütle ölçer

Numunelerin aşınma deneyleri kütle kaybı esasına göre yapılmıştır. Numunelerdeki kütle kaybını ölçmek için 0,001 gr hassasiyetinde ölçüm yapabilen elektronik hassas kütle ölçer kullanılmıştır. Deney öncesi ve deney sonrası numuneler tartılarak kütle kaybı, fark değer olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.14 Elektronik hassas kütle ölçer (Anonim k, 2011)

Çizelge 4.13 Sıcaklık ölçme cihazı teknik özellikleri

Özellikler	
Model	AJ-220CE
Kapasite (gr)	220
Hassasiyeti (gr)	0,001
Belirsizlik (gr)	0,002
Boyutları (BxExY)	235x281x165
Ekran	LCD
Ağırlığı (kg)	1,3
Güç kaynağı (V)	AC 120/230 DC 9

4.4.9. Fren disk malzemesi

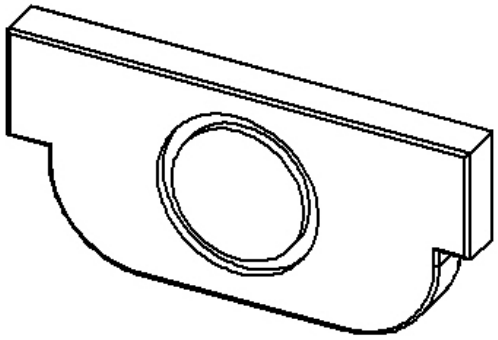
Disk ve kampananın mekanik ve ısıl zorlanmalara karşı mukavim olması istenir. Fren sistemlerinde, sürtünmeden dolayı kısa zamanda meydana gelen sıcaklık artışının, en kısa zamanda sistemden uzaklaştırılabilmesi için karşı malzemenin yüksek ısı iletim katsayısı ile özgül ısıya sahip olması gerekir. Sürtünmeye bağlı sıcaklık artışı nedeniyle disk veya kampananın bozulmadan, minimum deformasyon göstermesi için ısıl genleşme katsayısının büyük olması istenir. Genelde disk üretiminde perlitik yapılı dökme demir kullanılır. Kullanılan dökme demirde %3,81 karbon bulunmaktadır. Diğer alaşım yüzdeleri çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.14 Disk için kullanılan dökme demir analizi (%)

Fe	C	Si	Mn	S	P	Cr
93,321	3,81	1,83	0,87	0,045	0,084	0,04

4.4.10. Balata tutucu pabuç

Test cihazında numunelerin takılabilmesi için yüzey alanı 28 mm çapında, 3 mm derinlikte boşaltılmış olan balata tutucu pabuç kullanılmıştır.



Şekil 4.15 Balata tutucu pabuç

Numuneleri balata tutucu pabuca takabilmek için zımparayla alıştırma yapılmıştır. Numuneler balata tutucu pabuca tatlı sıkı yerleşecek şekilde takılmıştır. Şekil 4.15'de balata tutucu pabuç resmi görülmektedir.

4.5. Numunelerin Test Edilmesi

Deneyler Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuarında yapılmıştır. Testlerde 250 Hv sertlikte ve 280 mm çapında gri dökme demirden üretilmiş aşındırıcı disk kullanılmıştır. Fren diskine hareket elektrik motoru ile verilmekte ve fren pedal kuvveti özel olarak tasarlanmış kolun döndürülmesiyle sağlanmaktadır. Döndürme hareketi, itme çubuğu vasıtası ile merkez pompası pistonuna sabit bir kuvvetin uygulanmasını sağlamaktadır. Sistem klasik fren sistemi olup

herhangi bir güçlendirme ünitesi (Hava veya Vakum yardımlı güç ünitesi iptal edilmiştir) bulunmamaktadır. Böylece güçlendirme elemanlarının oluşturabileceği hatalar önlenmektedir.

Numuneler, TS 9076 numaralı, Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları ile Değerlendirilmesi standardı şartlarına göre test edilmiştir. Bu standart Otomotiv Mühendisleri Topluluğu (SAE)'nun otomotiv balatalarında sürtünme karakteristiklerinin belirlenmesi için uygun test metotlarını ve şartlarını ortaya koyan SAE J661 standardından uyarlanılarak hazırlanmıştır.

TS 9076 numaralı balata numunelerinin sürtünme özelliklerini ve deney şartlarını belirleyen standartta testler 280 mm iç çapa sahip kampana için 310 ve 420 rpm kampana devirlerinde, yapılması gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada kullanılan disk çapı 240 mm temas çapına sahip olduğundan gerekli devir düzenlemeleri yapılmıştır.

TS 9076 standardına göre 310 ve 420 rpm devrine karşılık gelen çevresel hızlar;

$$\omega=(n*2*\pi*r)/60 \quad \text{(m/s)} \tag{4.1}$$

Burada "ω" kampananın çevresel hızını (m/s), "n" kampana devrini (rpm), "r" kampana yarı çapı (m)'dır.

310 rpm kampana devri ve 0,14 m kampana yarıçapı değerleri (4.1)'de yerine yazıldığında;

$$\omega_{310}=(310*2*\pi*0{,}14)/60 \tag{4.2}$$

$$\omega_{310}=4{,}54 \text{ m/s} \tag{4.3}$$

olarak bulunur.

420 rpm kampana devri ve 0,14 m kampana yarıçapı değerleri (4.1)'de yerine yazıldığında;

$$\omega_{420}=(420*2*\pi*0{,}14)/60 \tag{4.4}$$

$$\omega_{420}=6{,}16 \text{ m/s} \tag{4.5}$$

olarak bulunur.

Deney numunelerinin temas yüzey alanı dairesel olduğu için fren diskinin devrinin hesaplanmasında etkin yarıçap olarak dairenin ağırlık merkezi dikkate

alınmıştır. Buna göre (4.6)'daki denklemde ω değerleri ve disk temas yarıçapı olarak 0,12 m değerleri yazıldığında deneyde uygulanacak disk devirleri;

$$n = (\omega * 60) / (2 * \pi * r) \quad (4.6)$$

$$n_1 = (4{,}54 * 60) / (2 * \pi * 0{,}12) \quad (4.7)$$

$$n_1 = 361 \text{ rpm} \quad (4.8)$$

$$n_2 = (6{,}16 * 60) / (2 * \pi * 0{,}12) \quad (4.9)$$

$$n_2 = 490 \text{ rpm} \quad (4.10)$$

olarak bulunur.

Numunenin 28 mm çapında temas alanı;

$$A = (\pi * D^2) / 4 \qquad (mm^2) \quad (4.11)$$

$$A = (\pi * 28^2) / 4 \quad (4.12)$$

$$A = 615{,}44 \text{ mm}^2 \quad (4.13)$$

olarak bulunur.

4.5.1 Numunelerin test işlemleri

Deneylerde fren pedalına uygulanacak kuvvet 150-200-250 N olarak belirlenmiştir. Pedala uygulanan bu kuvvetler hidrolik sistem tarafından arttırılarak numune balata üzerine 725 – 905 – 1265 N olarak tesir yapmaktadır.

Deneyler 6,16 m/sn hızda, 150 - 200 - 250 N olmak üzere üç farklı fren pedal kuvvetinde yapılmıştır. Deney cihazı çalıştıktan sonra pedal kuvveti artırılarak uygulanmıştır. 250 N'dan büyük pedal kuvveti uygulandığında frenleme etkisi göstererek motoru durdurduğu görülmüştür.

Deney şartları aşağıda verilmiştir,

1. Tüm deneylerde deney başlangıç sıcaklığı 40 °C olarak alınmıştır.

2. Bütün numuneler 250 N fren pedal kuvveti altında, 361 dev/dak motor devrinde, fren diski çevresel hızı 4,5 m/s, 30 dakika süre sürekli sürtünmeye tabi tutularak numunelerin yüzeyinin %95'i fren diskine temas edinceye kadar alıştırma işlemi yapılmıştır.

3. Frenleme sırasındaki sıcaklık değişimi 150 – 200 - 250 N fren pedal kuvveti altında, 615 dev/dak motor devrinde, fren diski çevresel hızı 6,16 m/s, 10 dakika sürede, sürekli frenleme süresince her dakikadaki balata sıcaklığı, disk sıcaklığı ve frenleme kuvveti değerleri bilgisayar bilgi kütüğüne kaydedilerek belirlenmiştir.

4. Numunelerin aşınma miktarının belirlenmesinde, deneyler 150 – 200 - 250 N fren pedal kuvvetinde sürtünmeye tabi tutularak, her deney sonunda numuneler elektronik terazide tartılarak kütle kaybı tespit edilmiştir.

5. Farklı parametrelerde numunelerin denenmesi için sistem tekrar soğumaya terk edilmiş ve basınçlı hava ile daha kısa sürede soğuması sağlanmıştır.

6. Deneylerde her numune için yeni fren diski kullanılmıştır. Fren pedal kuvveti her numune için aynı uygulanmış ve fren sistemindeki hidrolik basınç ve frenleme kuvveti direk olarak cihaz göstergesinden okunmuştur.

5. DENEY SONUÇLARI

5.1. Numunelerinin Yoğunlukları

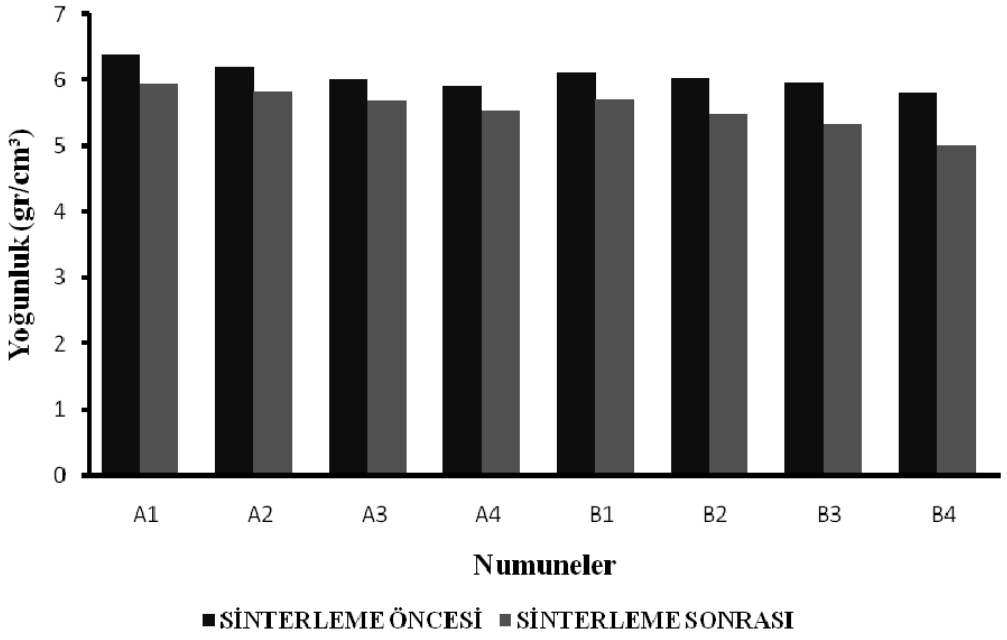
Sinterleme toz kütlesinin veya gözenekli yapıda sıkıştırılmış toz parçaların özelliklerinin gözeneksiz yapıya sahip malzeme özelliklerine değiştirmek için yapılan bir ısıl işlem uygulamasıdır. Sıkıştırılmış toz yapılar içerindeki parçacıklar bir biri ile temas ediyor olsa da her bir parçacık diğerinden bağımsızdır.

Sinterleme ile parçacık temas noktaları artmakta ve atomlar ve iyonlar arasında fiziksel bir bağ oluşmaktadır. Tek fazlı sistemlerde (saf toz kullanımında) sinterleme tamamen katı fazda gerçekleşir. Çok fazlı sistemlerde (birden fazla türde toz bir arada kullanılması durumunda veya toz içerisinde bulunan safsızlıklar) sinterleme işlemi sıkıştırılmış parçanın katı formunu (iskeletini) koruyacak şekilde sıvı fazda gerçekleşebilir.

Sinterleme ile basılmış toz parçalarda yoğunluk artışına neden olan boyutsal (veya hacimsel) küçülme meydana gelir. Bu durum özellikle çok ince taneli tozlarda daha fazla görülmektedir. Tüm toz metal ve seramik parçalar mukavemet kazandırmak amacıyla yüksek sıcaklıklarda sinterlemeye tabi tutulurlar.

Sıkıştırılmış toz parçalar arasındaki bağlantı yapışma, mekanik kitlenme ve benzeri türden zayıf bağlar olup kristal kafes içerisindeki bağ dayanımına kıyasla çok zayıf kalmaktadır. Bu sebeple; sıkıştırılmış ham yoğunluktaki T/M parçalarına mukavemet ve yüksek yoğunluk kazandırmak amacıyla ergime noktasının altındaki sıcaklıkta ısıl işlem uygulanır.

Üretimi yapılan grafit bileşimli ve karbon nano tüp bileşimli numunelerin sinterleme öncesindeki ve sinterleme sonrasındaki yoğunlukları hesaplanarak şekil 5.1'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.1 Numunelerin sinterleme öncesi ve sonrası yoğunlukları

Sinterleme öncesinde %0,5 grafit katkılı A1 numunesinin yoğunluğu 6,3833 gr/cm³ iken, numunelerdeki grafit oranı arttıkça yoğunluğun düştüğü gözlemlenmiştir. Grafit bileşimli numunelerdeki yoğunluğun %7,65 oranında 0,4889 gr/cm³ azaldığı görülmektedir. Sinterleme öncesinde %0,5 karbon nano tüp katkılı B1 numunesinin yoğunluğu 6,1170 gr/cm³ iken, numunelerin karbon nano tüp oranı arttıkça yoğunluğun düştüğü gözlemlenmiştir. Karbon nano tüp bileşimli numunelerdeki yoğunluğun %4,95 oranında azaldığı görülmektedir. Sinterleme öncesi grafit ve karbon nano tüplü numunelerin yoğunluk düşmeleri doğrusal olarak gerçekleşmiştir.

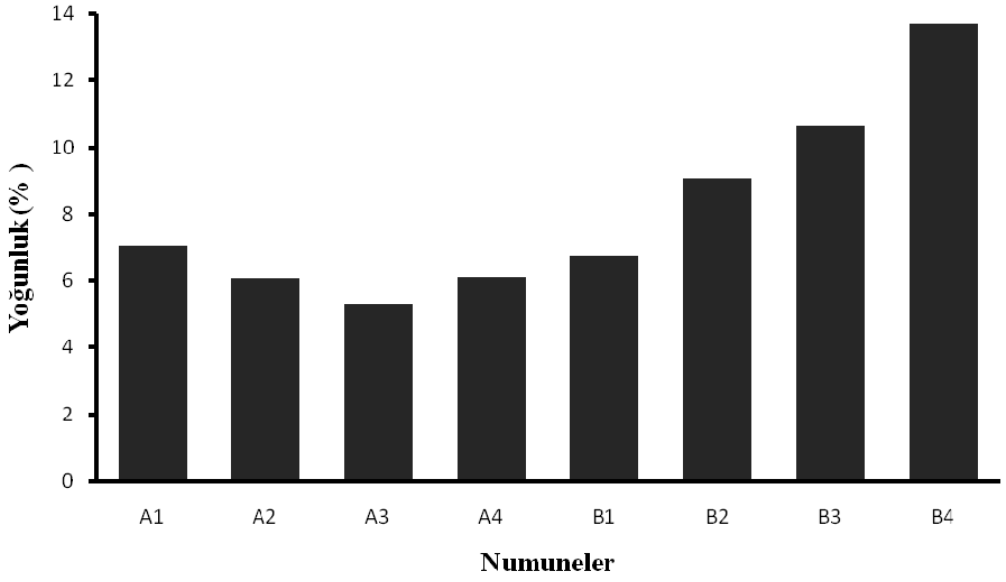
Grafitin hacminin fazla olması (yoğunluğu düşük) sebebiyle balata numunelerindeki grafit oranının artmasına ters orantılı olarak yoğunluk düşmüştür. Yani numunelerdeki grafit oranı artmasıyla numunenin hacmi de artmıştır.

Karbon nano tüplü numunelerdeki yoğunluğun düşme oranının grafitli numunelere göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü karbon molekülleri nano ölçekte olduğundan preslendiklerinde hacim daralması grafite oranla daha fazla olmuştur.

Sinterleme esnasında düşük erime sıcaklığına sahip tozların bir kısmının buharlaşarak yapıyı terk etmesi veya buharlaşma sonucu malzeme içerisinde balon şeklinde boşluk oluşturması sebebiyle hacim artması sonucu yoğunluğun düşmesi beklenen bir sonuçtur. Balata numunesi içerisindeki karbon nano tüpün sinterleme

esnasında küresel hale gelerek sinterlenen malzemenin hacim daralması olayını engellediği düşünülmektedir.

Sinterleme öncesi ve sonrası A1, A2, A3, A4,B1, B2, B3 ve B4 fren balatası numunelerinde yoğunluk değişimi yüzdesel olarak sırasıyla şu şekilde gerçekleşmiştir.

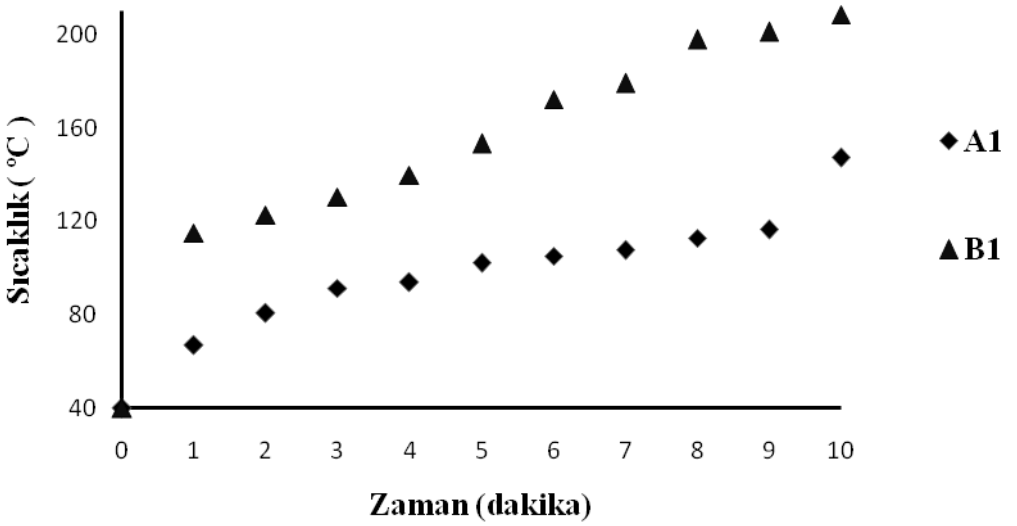


Şekil 5.2 Numunelerin sinterleme öncesi ve sonrası yüzdesel yoğunluk değişimi

5.2. Numunelerinin Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimleri

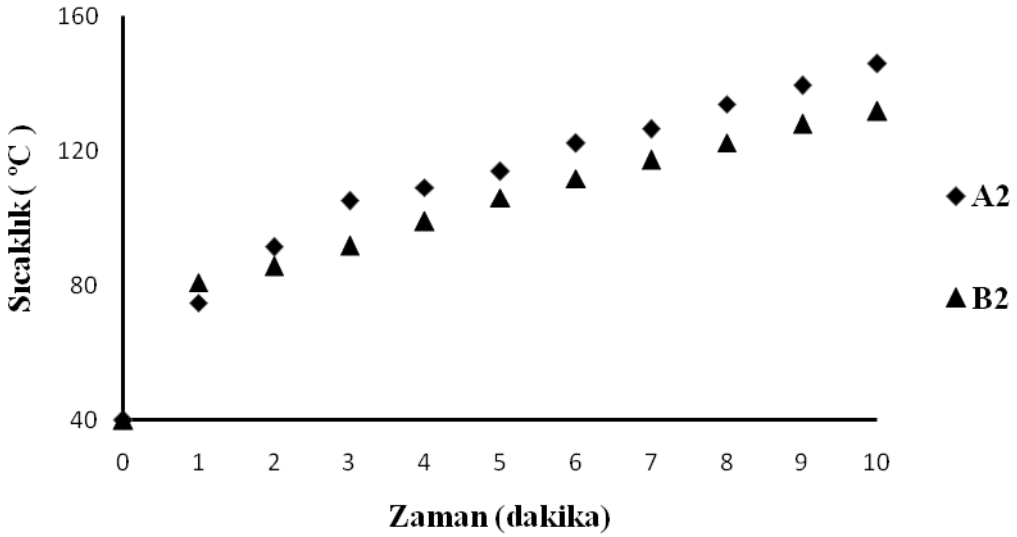
Tüm fren balatası numunelerine 150 – 200 – 250 N yüklerde, sürekli frenleme kuvveti ayrı ayrı uygulanmıştır. Termokuplun numunelerden ölçtüğü sıcaklık değerleri dönüştürücü vasıtasıyla bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Dönüştürücü saniyede bir veri alacak şekilde toplam 600 veri kaydedecek (10 dk.) şekilde ayarlanmıştır. Bilgisayara kaydedilen 600 sıcaklık değerlerinin dakikadaki ortalaması alınarak şekil 5.3-19 arasındaki grafikler oluşturuldu.

5.2.1. 150 N pedal kuvvetinde numunelerin zamana bağlı sıcaklık değişimi



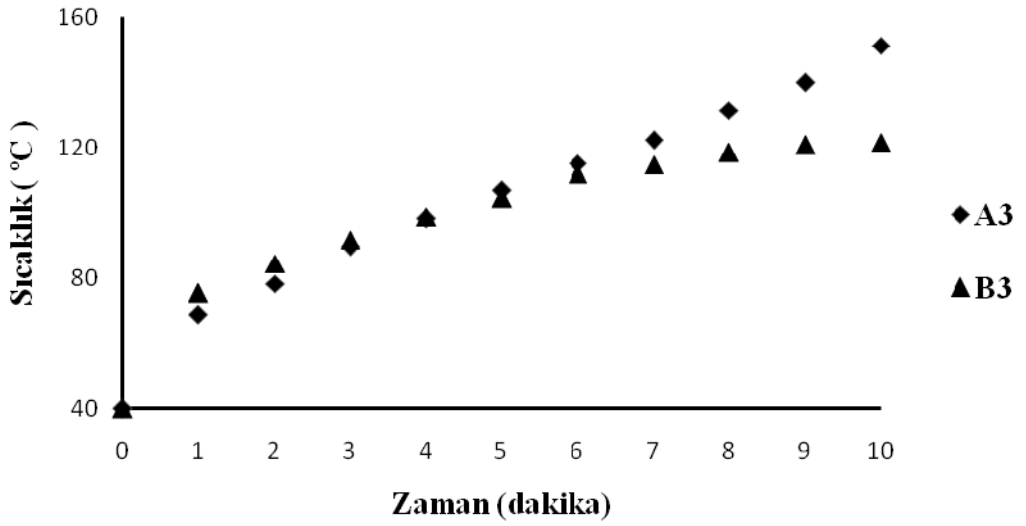
Şekil 5.3 150 N Pedal kuvvetinde A1-B1 numunelerinin sıcaklık değişimi

150 N pedal kuvvetinde numunelerin zamana bağlı sıcaklığı 10 dakikalık sürede, grafit bileşimli A1 numunesinin sıcaklığı 40 °C sıcaklıktan 147 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B1 numunesinin sıcaklığı 40 °C sıcaklıktan 208 °C sıcaklığa çıkmıştır. Aynı çalışma koşullarında B1 numunesindeki sıcaklık artışı A1 numunesine göre daha fazla olmuştur.



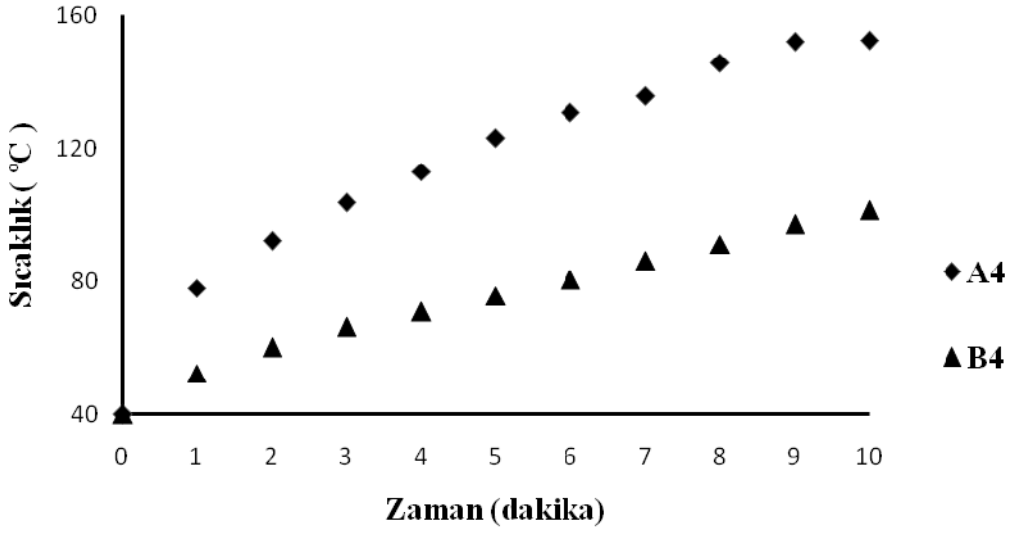
Şekil 5.4 150 N Pedal kuvvetinde A2-B2 numunelerinin sıcaklık değişimi

Şekil 5.4'de grafit bileşimli A2 numunesinin 40 °C sıcaklıktan 146 °C sıcaklığa çıktığı, karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinin sıcaklığının 40 °C sıcaklıktan 132 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %9,58 oranında düşerek iki numune arasındaki sıcaklık farkının 14 °C olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.3 ve şekil 5.4 incelendiğinde, A1 ve A2 numuneler arasındaki sıcaklık değerinin değişmediği, B1 ve B2 numuneler arasındaki sıcaklıkta %36,53 oranında 76 °C düşüş görülmektedir.



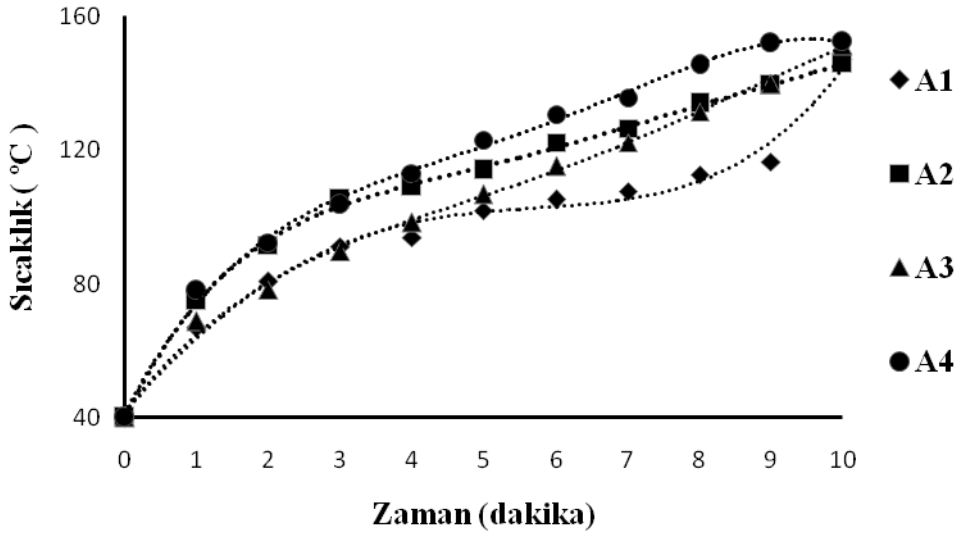
Şekil 5.5 150 N Pedal kuvvetinde A3-B3 numunelerinin sıcaklık değişimi

Şekil 5.5'de grafit bileşimli A3 numunesinin 40 °C sıcaklıktan 151 °C sıcaklığa çıktığı, karbon nano tüp bileşimli B3 numunesinin sıcaklığının 40 °C sıcaklıktan 121 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %19,86 oranında düşerek iki numune arasındaki sıcaklık farkının 30 °C olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.4 ve şekil 5.5 incelendiğinde, A2 ve A3 numuneler arasındaki sıcaklık aşırı değerde değişmemişken, B2 ve B3 numuneler arasındaki sıcaklıkta %8,33 oranında 11 °C düşüş görülmektedir.



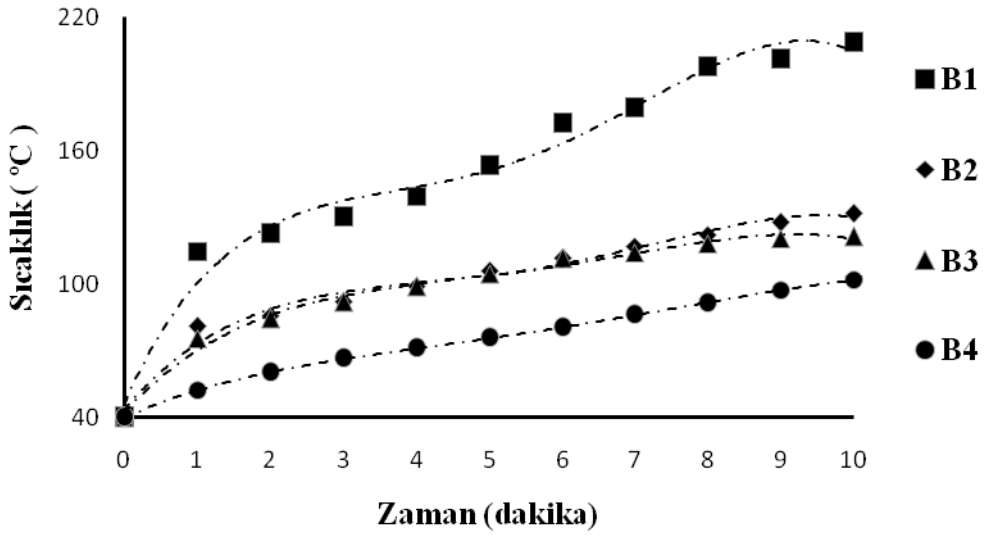
Şekil 5.6 150 N Pedal kuvvetinde A4-B4 numunelerinin sıcaklık değişimi

Şekil 5.6'da grafit bileşimli A4 numunesinin 40 °C sıcaklıktan 151 °C sıcaklığa çıktığı, karbon nano tüp bileşimli B4 numunesinin sıcaklığının 40 °C sıcaklıktan 101 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %33,11 oranında düşerek iki numune arasındaki sıcaklık farkının 50 °C olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.5 ve şekil 5.6 incelendiğinde, A3 ve A4 numuneler arasındaki sıcaklık değeri değişmemişken, B3 ve B4 numuneler arasındaki sıcaklıkta %16,52 oranında 20 °C düşüş görülmektedir.



Şekil 5.7 150 N Pedal kuvvetinde grafit numunelerin sıcaklık değişimi

Şekil 5.7'de grafit bileşimli numunelerin sıcaklıkları 40 °C sıcaklıktan 151 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. 150 N pedal kuvvetinde grafit bileşimli numunelerin sıcaklıklarında aşırı fark görülmemektedir.

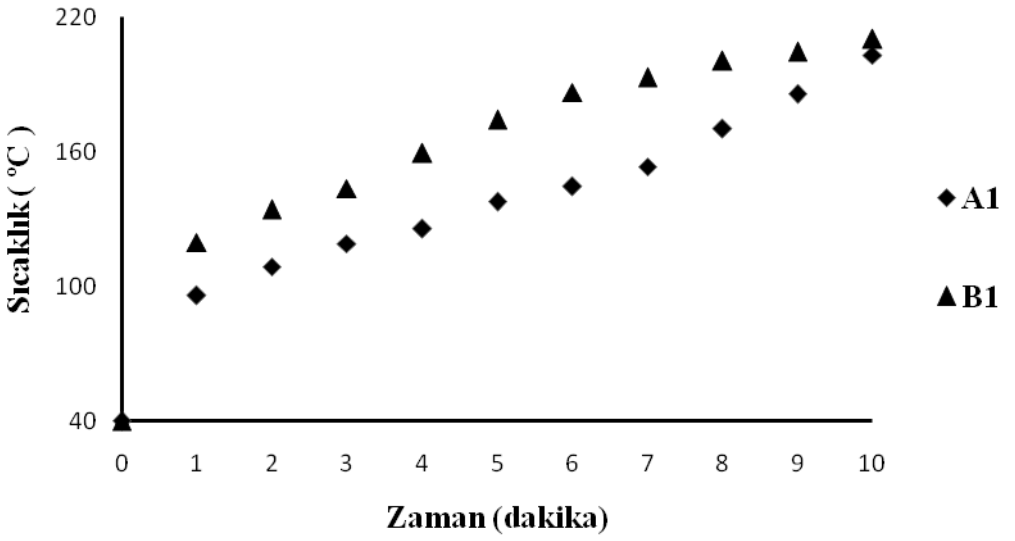


Şekil 5.8 150 N Pedal kuvvetinde karbon nano tüp numunelerin sıcaklık değişimi

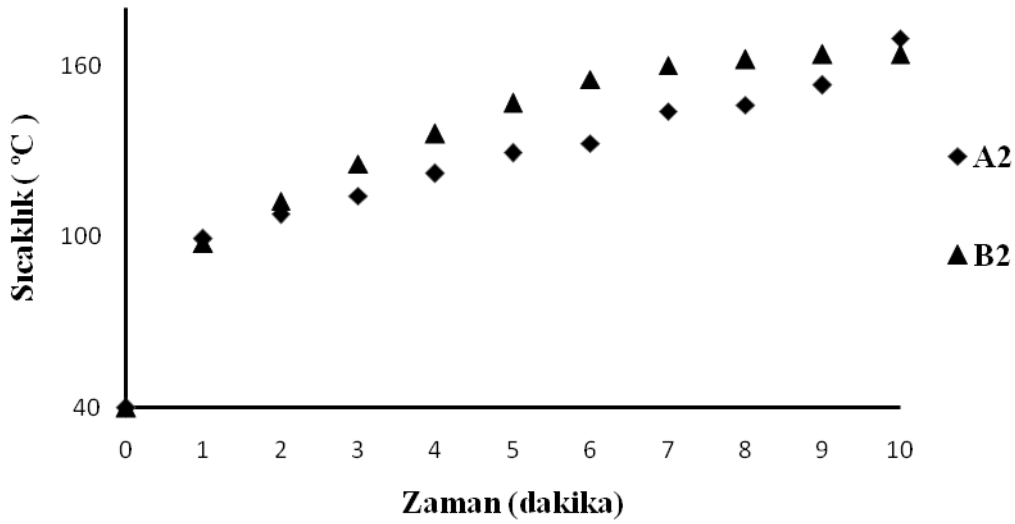
Şekil 5.8'de karbon nano tüp bileşimli numunelerin sıcaklıkları 40 °C sıcaklıktan maksimum 208 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. En yüksek sıcaklık bileşiminde %0,5 karbon nano tüp bulunan B1 numunesinde 208 °C iken, en düşük sıcaklık bileşiminde %4 karbon nano tüp bulunan B4 numunesinde 101 °C olarak tespit edilmiştir. Numuneler arasındaki sıcaklık farkı % 51,4 oranında 107 °C azaldığı görülmektedir. Numunelerin bileşimindeki karbon nano tüp oranı arttıkça numunelerin sıcaklık değerlerinde düşüş görülmektedir.

5.2.2. 200 N pedal kuvvetinde numunelerin zamana bağlı sıcaklık değişimleri

200 N pedal kuvvetinde numunelerin zamana bağlı sıcaklığı 10 dakikalık sürede, grafit bileşimli A1 numunesinin sıcaklığı 40 °C sıcaklıktan 203 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B1 numunesinin sıcaklığı 40 °C sıcaklıktan 210 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %3,33 oranında artarak iki numune arasındaki sıcaklık farkının 7 °C olduğu tespit edilmiştir.

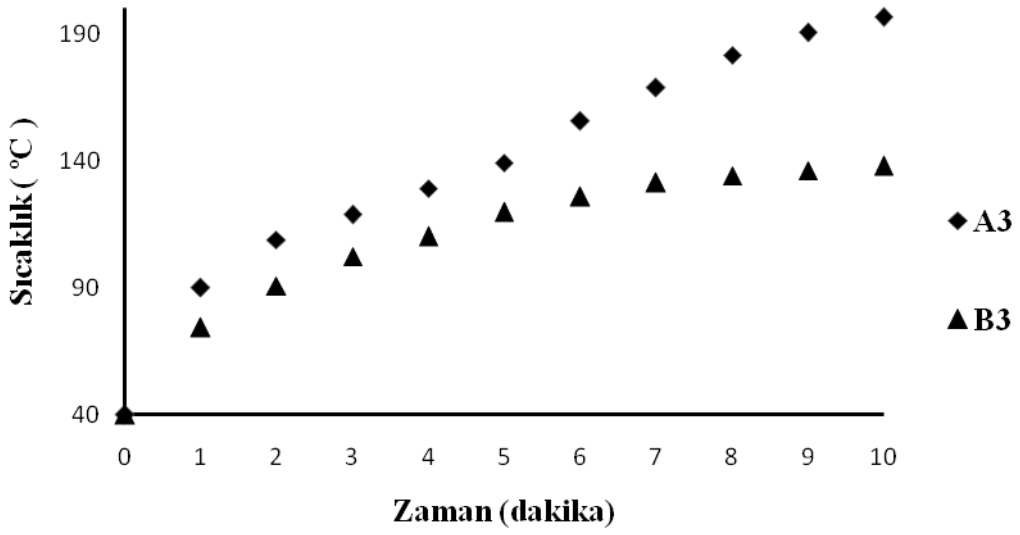


Şekil 5.9 200 N Pedal kuvvetinde A1-B1 numunelerinin sıcaklık değişimi



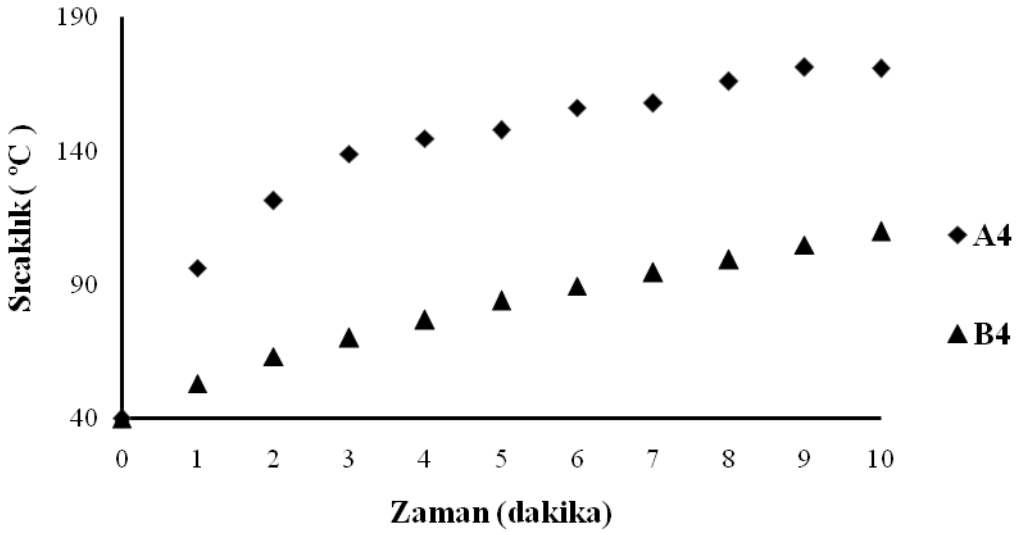
Şekil 5.10 200 N Pedal kuvvetinde A2-B2 numunelerinin sıcaklık değişimi

Şekil 5.10'da grafit bileşimli A2 numunesinin 40 °C sıcaklıktan 169 °C sıcaklığa çıktığı, karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinin sıcaklığının 40 °C sıcaklıktan 163 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %3,55 oranında düşerek iki numune arasındaki sıcaklık farkının 6 °C olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.9 ve şekil 5.10 incelendiğinde, A1 ve A2 numuneler arasındaki sıcaklık değeri %16,74 oranında 34 °C, B1 ve B2 numuneler arasındaki sıcaklıkta %22,38 oranında 47 °C düşüş görülmektedir.



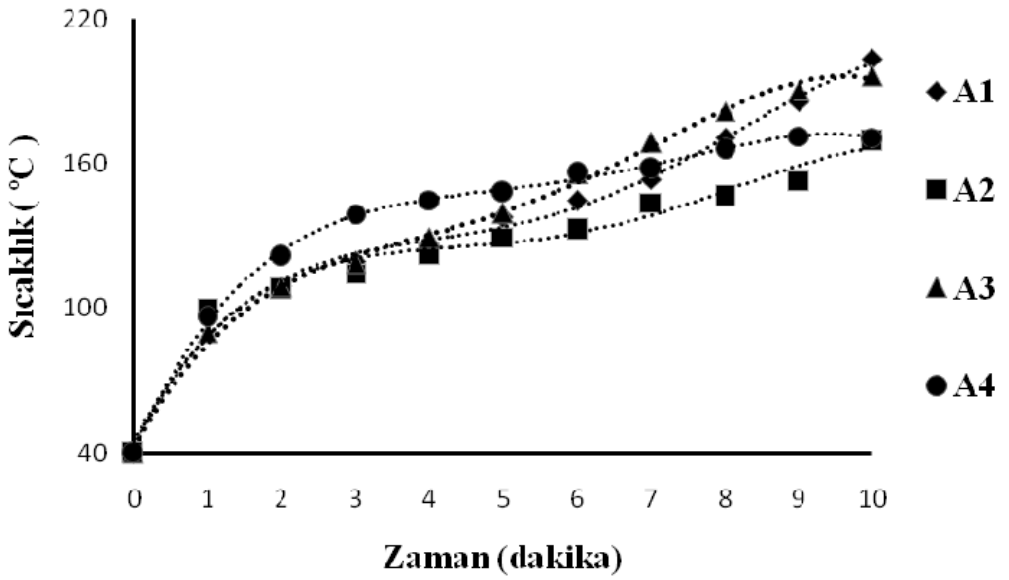
Şekil 5.11 200 N Pedal kuvvetinde A3-B3 numunelerinin sıcaklık değişimi

Şekil 5.11'de grafit bileşimli A3 numunesinin 40 °C sıcaklıktan 196 °C sıcaklığa çıktığı, karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinin sıcaklığının 40 °C sıcaklıktan 138 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %29,59 oranında düşerek iki numune arasındaki sıcaklık farkının 58 °C olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.10 ve şekil 5.11 incelendiğinde, A2 ve A3 numuneler arasındaki sıcaklık değeri %13,77 oranında 27 °C arttığı, B2 ve B3 numuneler arasındaki sıcaklıkta %15,33 oranında 25 °C düşüş görülmektedir.



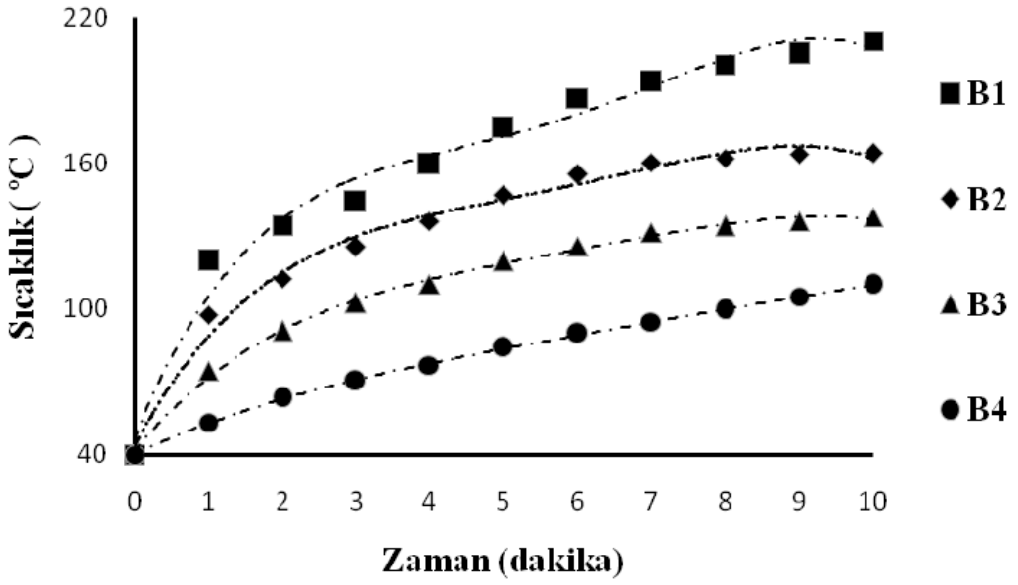
Şekil 5.12 200 N Pedal kuvvetinde A4-B4 numunelerinin sıcaklık değişimi

Şekil 5.12'de grafit bileşimli A4 numunesinin 40 °C sıcaklıktan 171 °C sıcaklığa çıktığı, karbon nano tüp bileşimli B4 numunesinin sıcaklığının 40 °C sıcaklıktan 110 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %35,67 oranında düşerek iki numune arasındaki sıcaklık farkının 61 °C olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.11 ve şekil 5.12 incelendiğinde, A3 ve A4 numuneler arasındaki sıcaklık değeri %12,75 oranında 25 °C, B3 ve B4 numuneler arasındaki sıcaklıkta %20,28 oranında 28 °C düşüş görülmektedir.



Şekil 5.13 200 N Pedal kuvvetinde grafit numunelerin sıcaklık değişimi

Şekil 5.13'de grafit bileşimli numunelerin sıcaklıkları 40 °C sıcaklıktan maksimum 203 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. En yüksek sıcaklık bileşiminde %0,5 grafit bulunan A1 numunesinde 203 °C iken, en düşük sıcaklık bileşiminde %1 grafit bulunan A2 numunesinde 169 °C olarak tespit edilmiştir. Numuneler arasındaki sıcaklık farkı %16,7 oranında azalarak 34 °C olarak tespit edilmiştir. Numunelerin bileşimindeki grafit oranı arttıkça numunelerin sıcaklık değerlerinde düşüş görülmektedir.

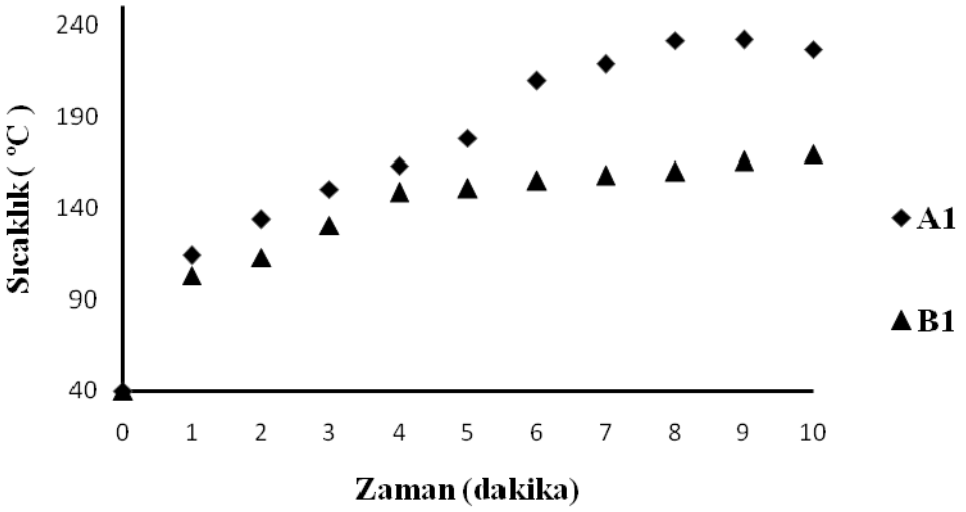


Şekil 5.14 200 N Pedal kuvvetinde karbon nano tüp numunelerin sıcaklık değişimi

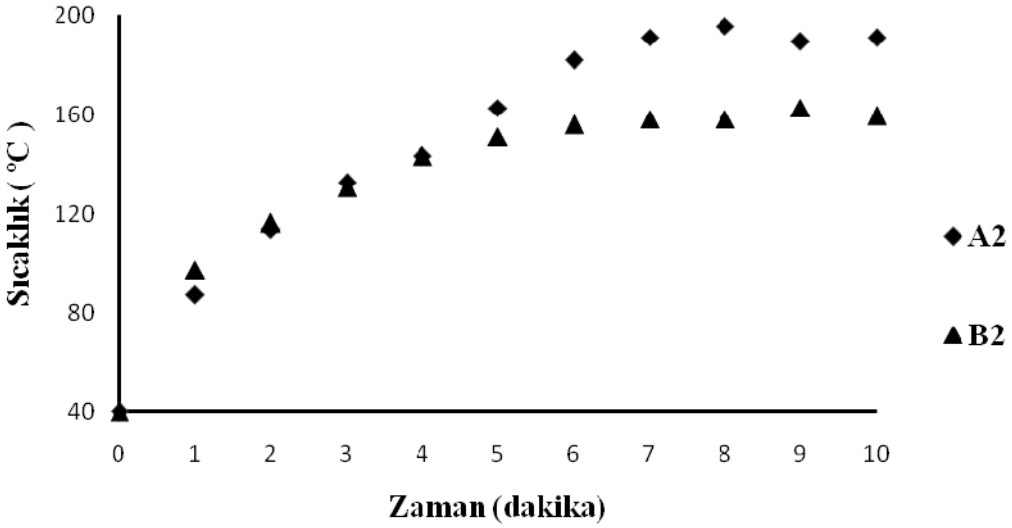
Şekil 5.14'de karbon nano tüp bileşimli numunelerin sıcaklıkları 40 °C sıcaklıktan maksimum 210 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. En yüksek sıcaklık bileşiminde %0,5 karbon nano tüp bulunan B1 numunesinde 210 °C iken, en düşük sıcaklık bileşiminde %4 karbon nano tüp bulunan B4 numunesinde 110 °C olarak tespit edilmiştir. Numuneler arasındaki sıcaklık farkı % 47,6 oranında azalarak 100 °C olarak tespit edilmiştir. 200 N pedal kuvvetinde 150 N pedal kuvvetinde olduğu gibi numunelerin bileşimindeki karbon nano tüp oranı arttıkça numunelerin sıcaklık değerlerinde düşüş görülmektedir.

5.2.3. 250 N pedal kuvvetinde numunelerin zamana bağlı sıcaklık değişimleri

250 N pedal kuvvetinde numunelerin zamana bağlı sıcaklığı 10 dakikalık sürede, grafit bileşimli A1 numunesinin sıcaklığı 40 °C sıcaklıktan 227 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B1 numunesinin sıcaklığı 40 °C sıcaklıktan 160 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %29,51 oranında düşerek iki numune arasındaki sıcaklık farkının 67 °C olduğu tespit edilmiştir. Karbon nano tüp bileşimli numuneler daha az ısınmışlardır.

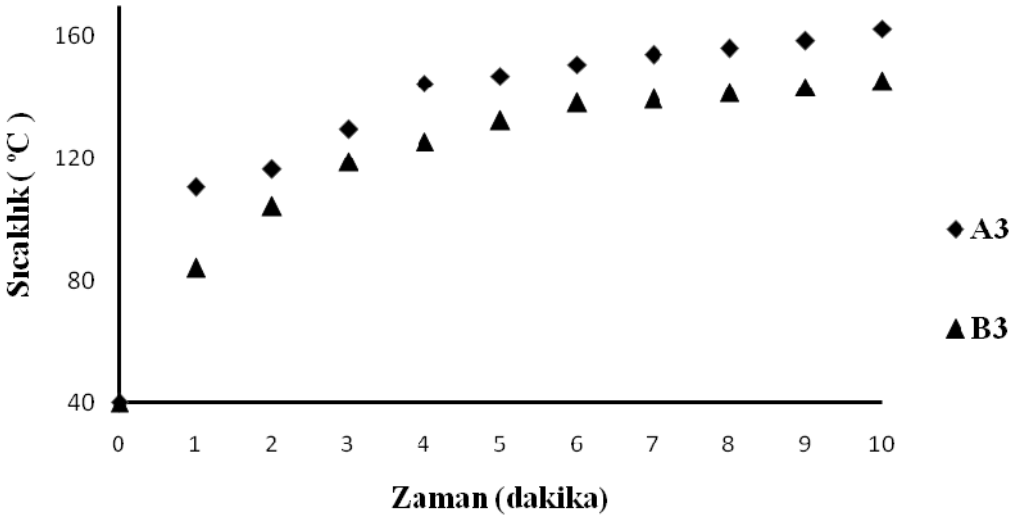


Şekil 5.15 250 N Pedal kuvvetinde A1-B1 numunelerinin sıcaklık değişimi



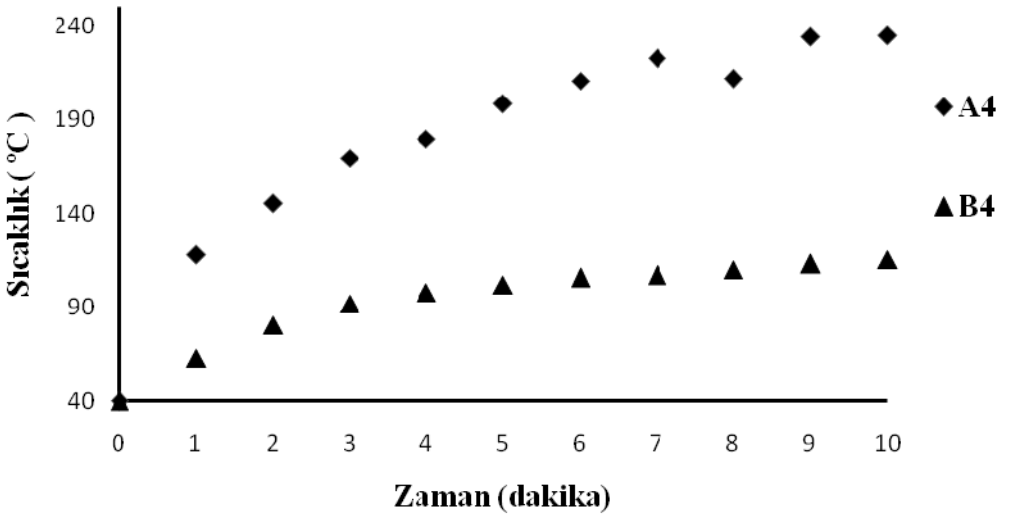
Şekil 5.16 250 N Pedal kuvvetinde A2-B2 numunelerinin sıcaklık değişimi

Şekil 5.16'da grafit bileşimli A2 numunesinin 40 °C sıcaklıktan 191 °C sıcaklığa çıktığı, karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinin sıcaklığının 40 °C sıcaklıktan 159 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %16,75 oranında düşerek iki numune arasındaki sıcaklık farkının 32 °C olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.15 ve şekil 5.16 incelendiğinde, A1 ve A2 numuneler arasındaki sıcaklık değeri %15,85 oranında 36 °C, B1 ve B2 numuneler arasındaki sıcaklıkta %0,62 oranında 1 °C düşüş görülmektedir.



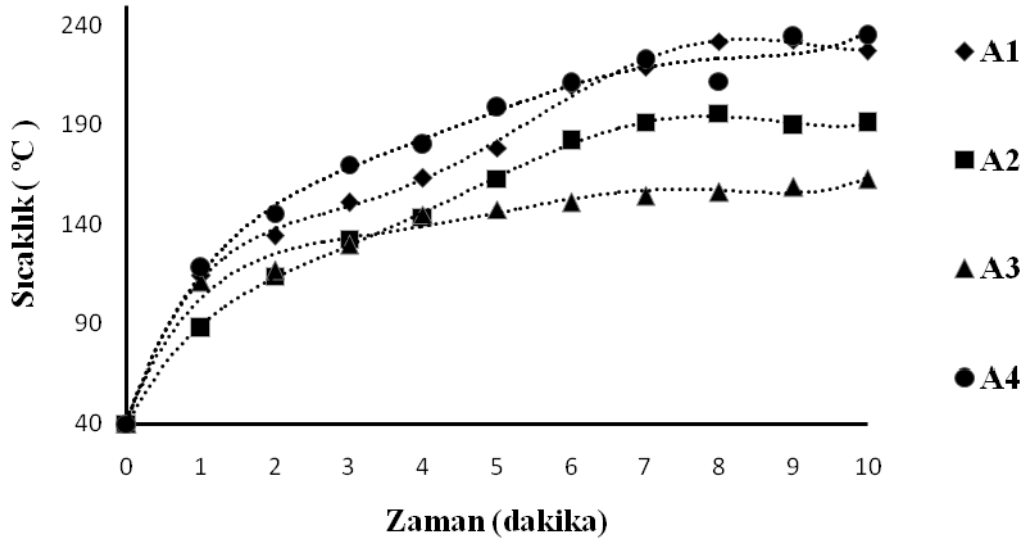
Şekil 5.17 250 N Pedal kuvvetinde A3-B3 numunelerinin sıcaklık değişimi

Şekil 5.17'de grafit bileşimli A3 numunesinin 40 °C sıcaklıktan 163 °C sıcaklığa çıktığı, karbon nano tüp bileşimli B3 numunesinin sıcaklığının 40 °C sıcaklıktan 145 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %11,04 oranında düşerek iki numune arasındaki sıcaklık farkının 18 °C olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.16 ve şekil 5.17 incelendiğinde, A2 ve A3 numuneler arasındaki sıcaklık değeri %14,65 oranında 28 °C, B2 ve B3 numuneler arasındaki sıcaklıkta %8,80 oranında 14 °C düşüş görülmektedir.



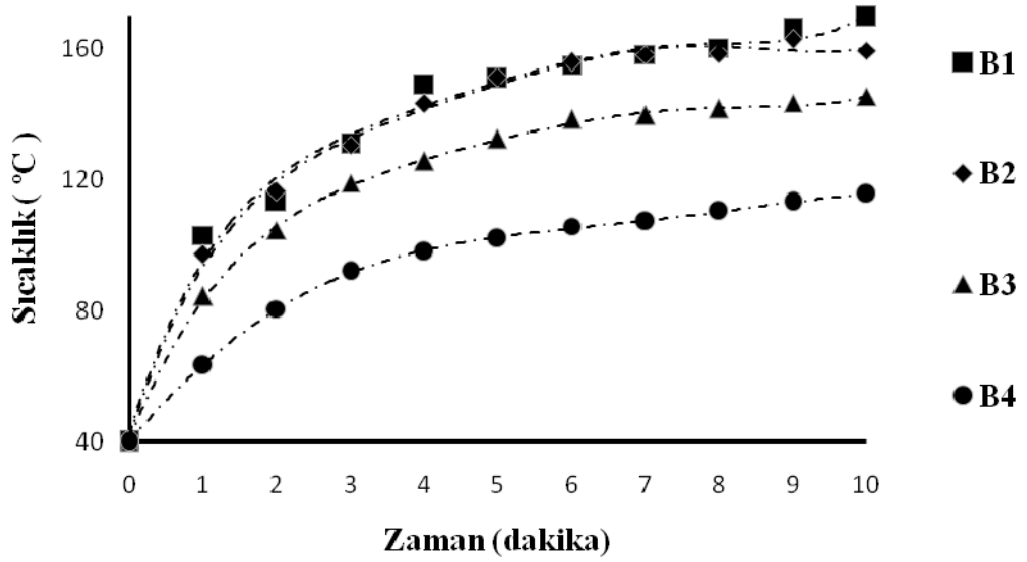
Şekil 5.18 250 N Pedal kuvvetinde A4-B4 numunelerinin sıcaklık değişimi

Şekil 5.18'de grafit bileşimli A4 numunesinin 40 °C sıcaklıktan 235 °C sıcaklığa çıktığı, karbon nano tüp bileşimli B4 numunesinin sıcaklığının 40 °C sıcaklıktan 115 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %51,06 oranında düşerek iki numune arasındaki sıcaklık farkının 125 °C olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.17 ve şekil 5.18 incelendiğinde, A3 ve A4 numuneler arasındaki sıcaklık değeri %30,63 oranında 72 °C yükseldiği, B3 ve B4 numuneler arasındaki sıcaklıklarda %20,68 oranında 30 °C düşüş görülmektedir.



Şekil 5.19 250 N Pedal kuvvetinde grafit numunelerin sıcaklık değişimi

Şekil 5.19'da grafit bileşimli numunelerin sıcaklıkları 40 °C sıcaklıktan maksimum 235 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. En yüksek sıcaklık bileşiminde %4 grafit bulunan A4 numunesinde 235 °C iken, en düşük sıcaklık bileşiminde %2 karbon nano tüp bulunan A3 numunesinde 163 °C olarak tespit edilmiştir. Numuneler arasındaki sıcaklık farkı %30,6 oranında azalarak 72 °C olarak tespit edilmiştir. A1, A2 ve A3 numunelerin bileşimindeki grafit oranı arttıkça numunelerin sıcaklık değerlerinde düşüş görülmekte, A4 numunesinin bileşimindeki grafit oranı sıcaklığı yükseltmiştir.



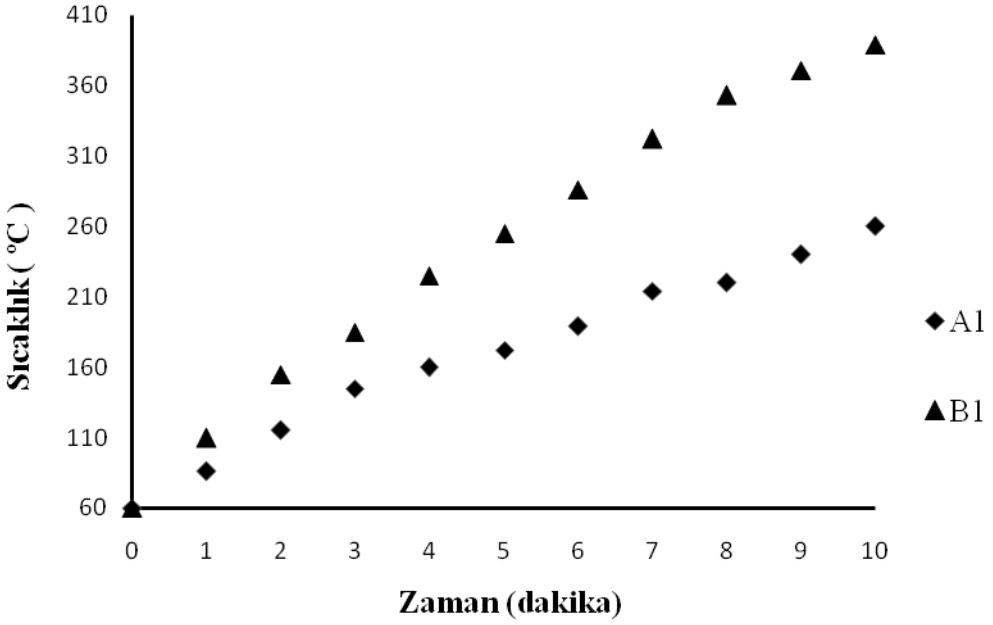
Şekil 5.20 250 N Pedal kuvvetinde karbon nano tüp numunelerin sıcaklık değişimi

Şekil 5.20'de karbon nano tüp bileşimli numunelerin sıcaklıkları 40 °C sıcaklıktan maksimum 160 °C sıcaklığa çıktığı görülmektedir. En yüksek sıcaklık bileşiminde %0,5 karbon nano tüp bulunan B1 numunesinde 160 °C iken, en düşük sıcaklık bileşiminde %4 karbon nano tüp bulunan B4 numunesinde 116 °C olarak tespit edilmiştir. Numuneler arasındaki sıcaklık farkı %27,5 oranında azalarak 44 °C olarak tespit edilmiştir. 250 N pedal kuvvetinde 150 N ve 200 N pedal kuvvetinde olduğu gibi numunelerin bileşimindeki karbon nano tüp oranı arttıkça numunelerin sıcaklık değerlerinde düşüş görülmektedir.

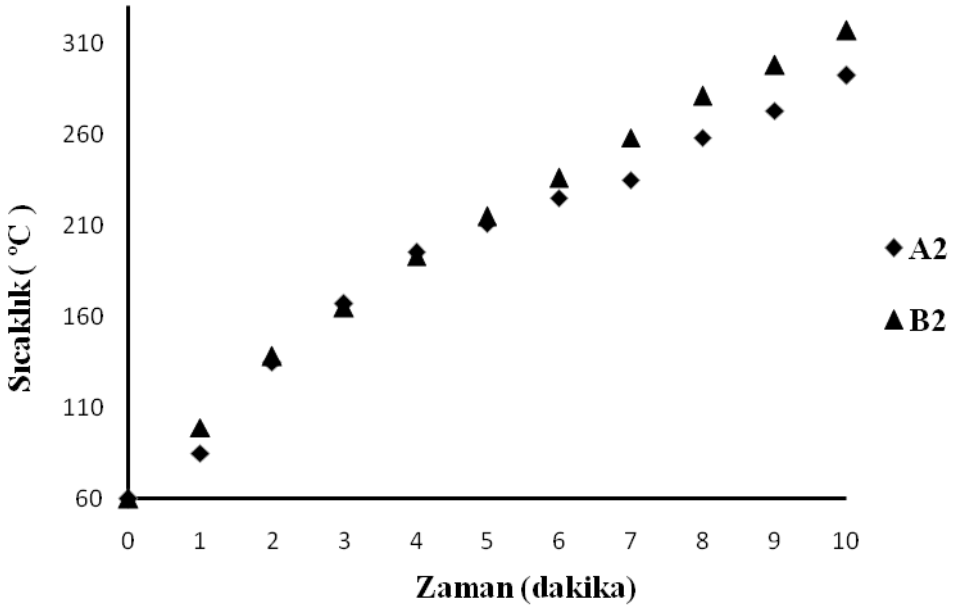
5.3. Diskin Zamana Bağlı Sıcaklık Değişimleri

5.3.1. 150 N pedal kuvvetinde diskin zamana bağlı sıcaklık değişimi

150 N pedal kuvvetinde diskin zamana bağlı sıcaklığı 10 dakikalık sürede, grafit bileşimli A1 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 260 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B1 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 389 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %33,16 oranında artarak, iki numune arasındaki sıcaklık farkının 129 °C olduğu tespit edilmiştir. Karbon nano tüp bileşimli numunelerde disk daha fazla ısınmıştır.



Şekil 5.21 150 N Pedal kuvvetinde A1-B1 numunelerinin disk sıcaklık değişimi

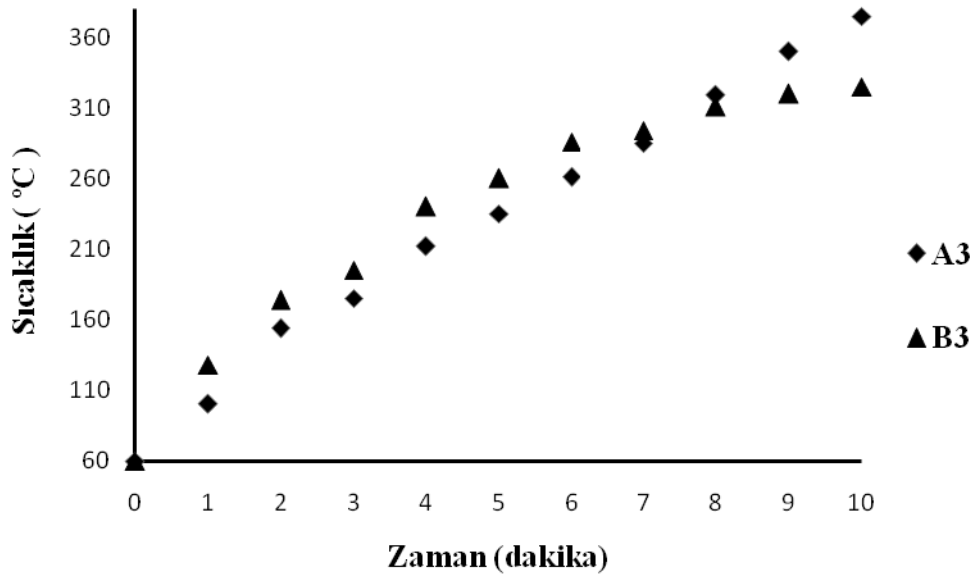


Şekil 5.22 150 N Pedal kuvvetinde A2-B2 numunelerinin disk sıcaklık değişimi

Şekil 5.22'de grafit bileşimli A2 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 292 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 317 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %7,88 oranında artarak, iki numune arasındaki sıcaklık farkının 25 °C olduğu tespit edilmiştir. Karbon nano tüp bileşimli numunelerde

disk daha fazla ısınmıştır. Şekil 5.21 ve şekil 5.22 incelendiğinde A1 ve A2 numunelerinde disk sıcaklığının %10,95 oranında 32 °C yükseldiği, B1 ve B2 numunelerinde disk sıcaklığının %18,50 oranında 72 °C düştüğü görülmektedir.

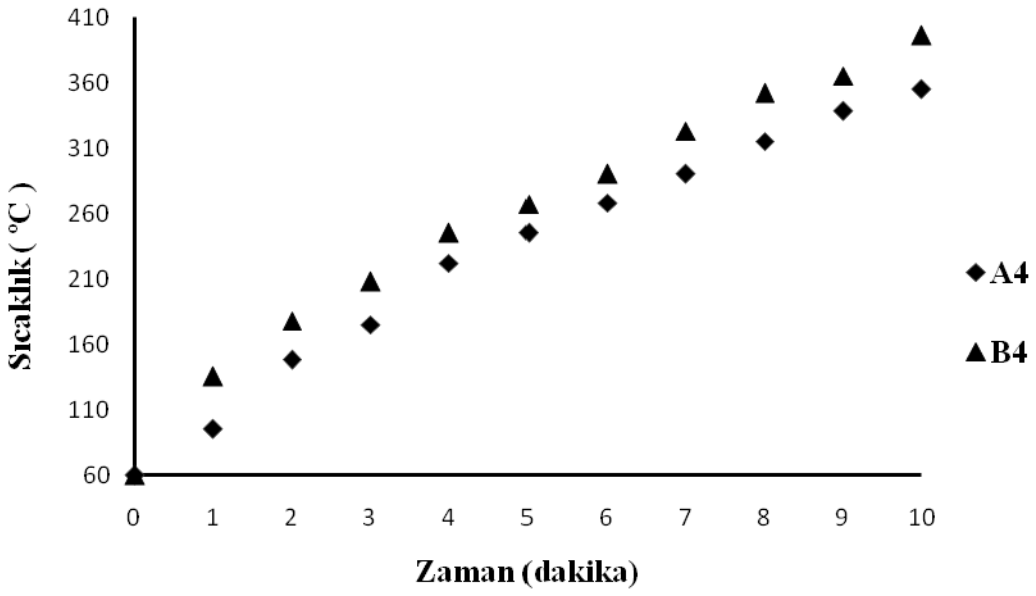
Şekil 5.23'de grafit bileşimli A3 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 375 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B3 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 325 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %13,33 oranında azalarak, iki numune arasındaki sıcaklık farkının 50 °C olduğu tespit edilmiştir. Karbon nano tüp bileşimli numunelerde disk daha az ısınmıştır. Grafit bileşimli numunelerde disk daha fazla ısınmıştır. Şekil 5.22 ve şekil 5.23 incelendiğinde A2 ve A3 numunelerinde disk sıcaklığının %22,13 oranında 83 °C, B2 ve B3 numunelerinde disk sıcaklığının %2,46 oranında 8 °C yükseldiği görülmektedir.



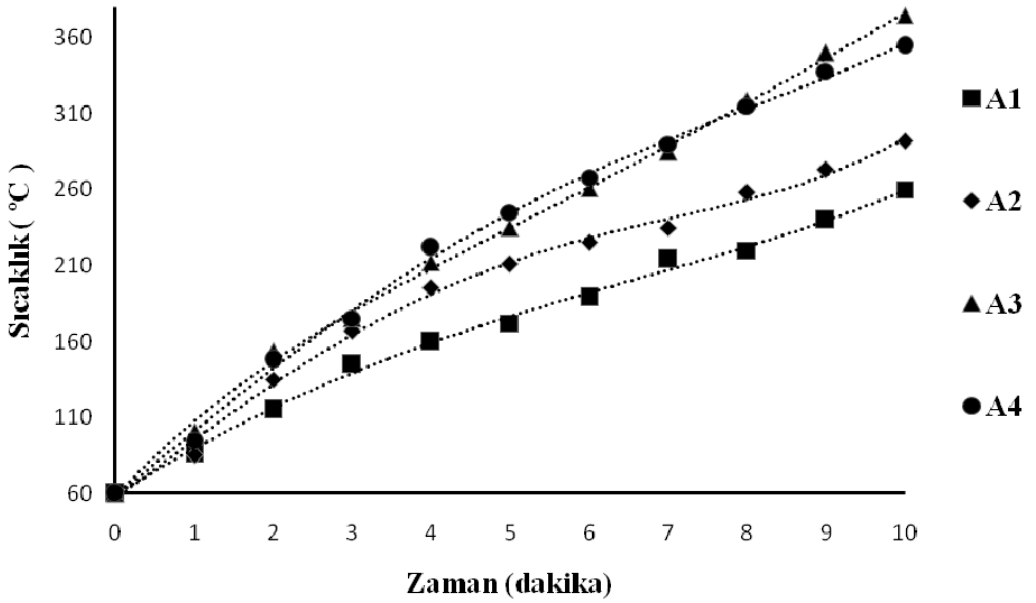
Şekil 5.23 150 N Pedal kuvvetinde A3-B3 numunelerinin disk sıcaklık değişimi

Şekil 5.24'de grafit bileşimli A4 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 355 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 396 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %10,35 oranında artarak, iki numune arasındaki sıcaklık farkının 41 °C olduğu tespit edilmiştir. Karbon nano tüp bileşimli numunelerde disk daha fazla ısınmıştır. Şekil 5.23 ve şekil 5.24 incelendiğinde A3 ve

A4 numunelerinde disk sıcaklığının %5,33 oranında 20 °C düştüğü, B3 ve B4 numunelerinde disk sıcaklığının %17,92 oranında 71 °C yükseldiği görülmektedir.



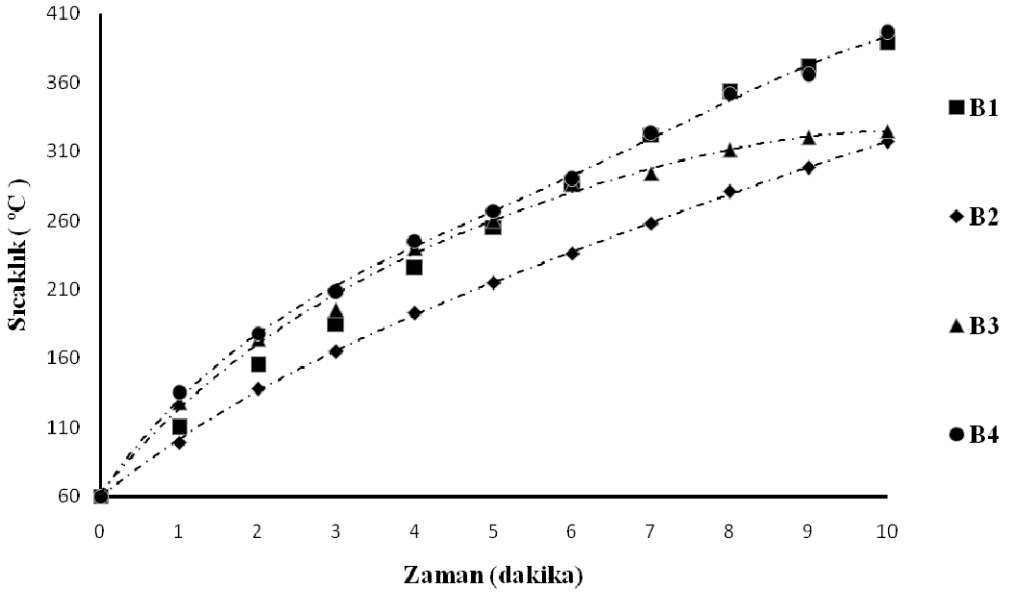
Şekil 5.24 150 N Pedal kuvvetinde A4-B4 numunelerinin disk sıcaklık değişimi



Şekil 5.25 150 N Pedal kuvvetinde grafit numunelerin disk sıcaklık değişimi

Şekil 5.25'de grafit bileşimli numunelerin disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan maksimum 375 °C sıcaklığa çıkmıştır. En yüksek disk sıcaklığı bileşiminde %2 grafit bulunan A3 numunesinde 375 °C , en düşük disk sıcaklığı bileşiminde %0,5 grafit

bulunan A1 numunesinde 163 °C olarak tespit edilmiştir. Numunelerin deneyinde disk sıcaklık farkı %56,5 oranında azalarak 212 °C olarak tespit edilmiştir. Numunelerin bileşimindeki grafit oranı arttıkça disk sıcaklığı artış göstermektedir.



Şekil 5.26 150 N Pedal kuvvetinde karbon nano tüp numunelerin disk sıcaklık değişimi

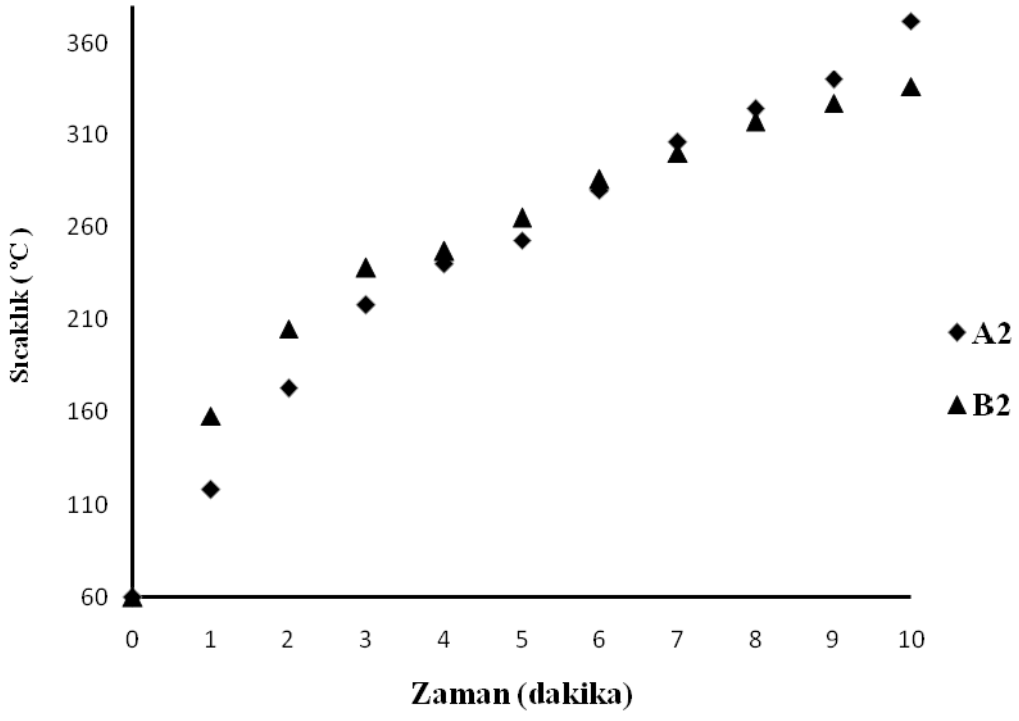
Şekil 5.26'da karbon nano tüp bileşimli numunelerin disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan maksimum 396 °C sıcaklığa çıkmıştır. En yüksek disk sıcaklığı bileşiminde %4 karbon nano tüp bulunan B4 numunesinde 396 °C, en düşük disk sıcaklığı bileşiminde %1 karbon nano tüp bulunan B2 numunesinde 317 °C olarak tespit edilmiştir. Numunelerin deneyinde disk sıcaklık farkı %19,9 oranında azalarak 79 °C olarak tespit edilmiştir.

5.3.2. 200 N pedal kuvvetinde diskin zamana bağlı sıcaklık değişimi

200 N pedal kuvvetinde diskin zamana bağlı sıcaklığı 10 dakikalık sürede, grafit bileşimli A1 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 362 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B1 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 395 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %8,35 oranında artarak, iki numune arasındaki sıcaklık farkının 33 °C olduğu tespit edilmiştir. Karbon nano tüp bileşimli numunelerde disk daha fazla ısınmıştır.



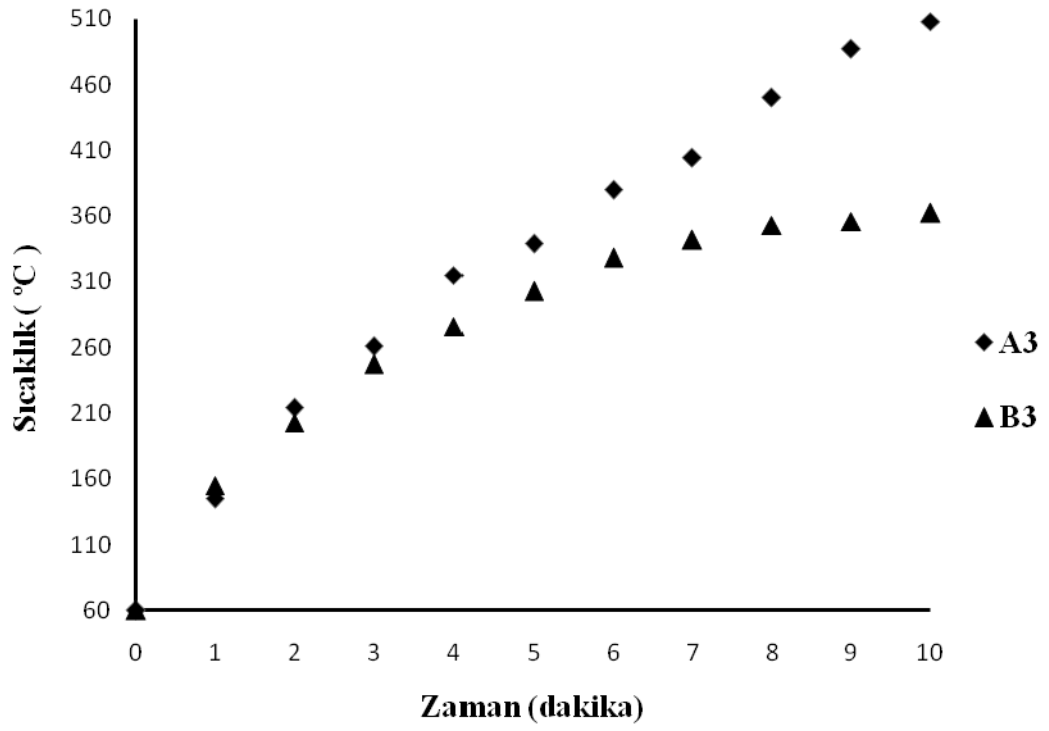
Şekil 5.27 200 N Pedal kuvvetinde A1-B1 numunelerinin disk sıcaklık değişimi



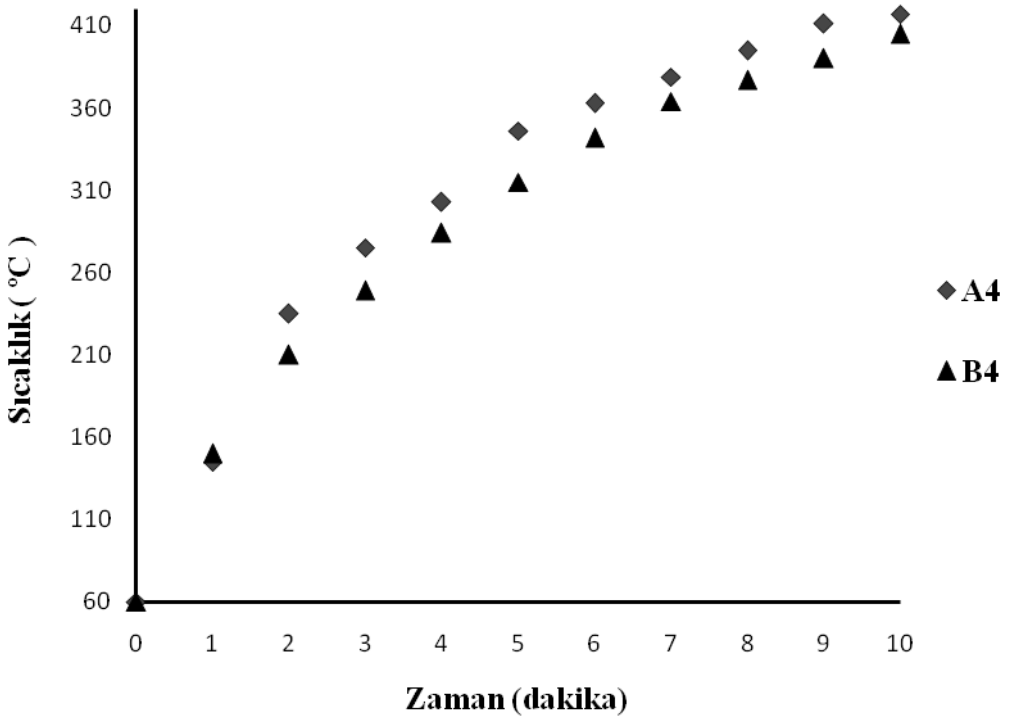
Şekil 5.28 200 N Pedal kuvvetinde A2-B2 numunelerinin disk sıcaklık değişimi

Şekil 5.28'de grafit bileşimli A2 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 372 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 336 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin disk sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %9,67 oranında azalarak, iki numune arasındaki disk sıcaklık farkının 36 °C olduğu tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde disk daha fazla ısınmıştır. Şekil 5.27 ve şekil 5.28 incelendiğinde A1 ve A2 numunelerinde disk sıcaklığının %2,68 oranında 10 °C yükseldiği, B1 ve B2 numunelerinde disk sıcaklığının %14,93 oranında 59 °C düştüğü görülmektedir.

Şekil 5.29'da grafit bileşimli A3 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 508 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B3 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 362 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin disk sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %28,74 oranında azalarak, iki numune arasındaki disk sıcaklık farkının 146 °C olduğu tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde disk daha fazla ısınmıştır. Şekil 5.28 ve şekil 5.29 incelendiğinde A2 ve A3 numunelerinde disk sıcaklığının %26,77 oranında 136 °C, B2 ve B3 numunelerinde disk sıcaklığının %7,18 oranında 26 °C yükseldiği görülmektedir.



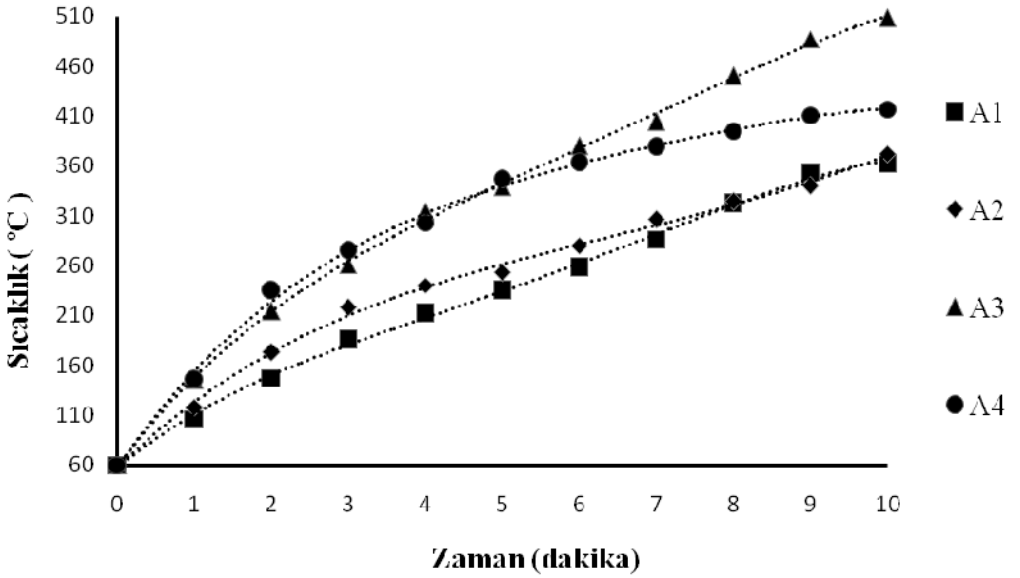
Şekil 5.29 200 N Pedal kuvvetinde A3-B3 numunelerinin disk sıcaklık değişimi



Şekil 5.30 200 N Pedal kuvvetinde A4-B4 numunelerinin disk sıcaklık değişimi

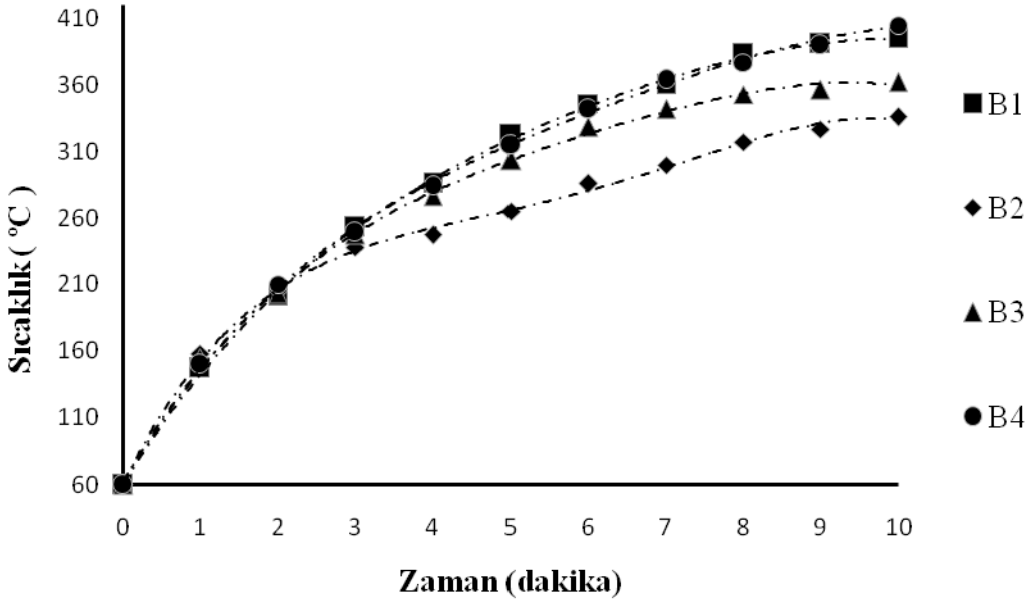
Şekil 5.30'da grafit bileşimli A4 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 417 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 405 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin disk sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %2,87 oranında azalarak, iki numune arasındaki disk sıcaklık farkının 12 °C olduğu tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde disk daha fazla ısınmıştır. Şekil 5.29 ve şekil 5.30 incelendiğinde A3 ve A4 numunelerinde disk sıcaklığının %17,91 oranında 91 °C düştüğü, B3 ve B4 numunelerinde disk sıcaklığının %10,61 oranında 43 °C yükseldiği görülmektedir.

Şekil 5.31'de grafit bileşimli numunelerin disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan maksimum 508 °C sıcaklığa çıkmıştır. En yüksek disk sıcaklığı bileşiminde %2 grafit bulunan A3 numunesinde 508 °C, en düşük disk sıcaklığı bileşiminde %0,5 grafit bulunan A1 numunesinde 362 °C olarak tespit edilmiştir. Numunelerin deneyinde disk sıcaklık farkı %28,7 oranında azalarak 145 °C olarak tespit edilmiştir. Numunelerin bileşimindeki grafit oranı arttıkça disk sıcaklığı artış göstermektedir.



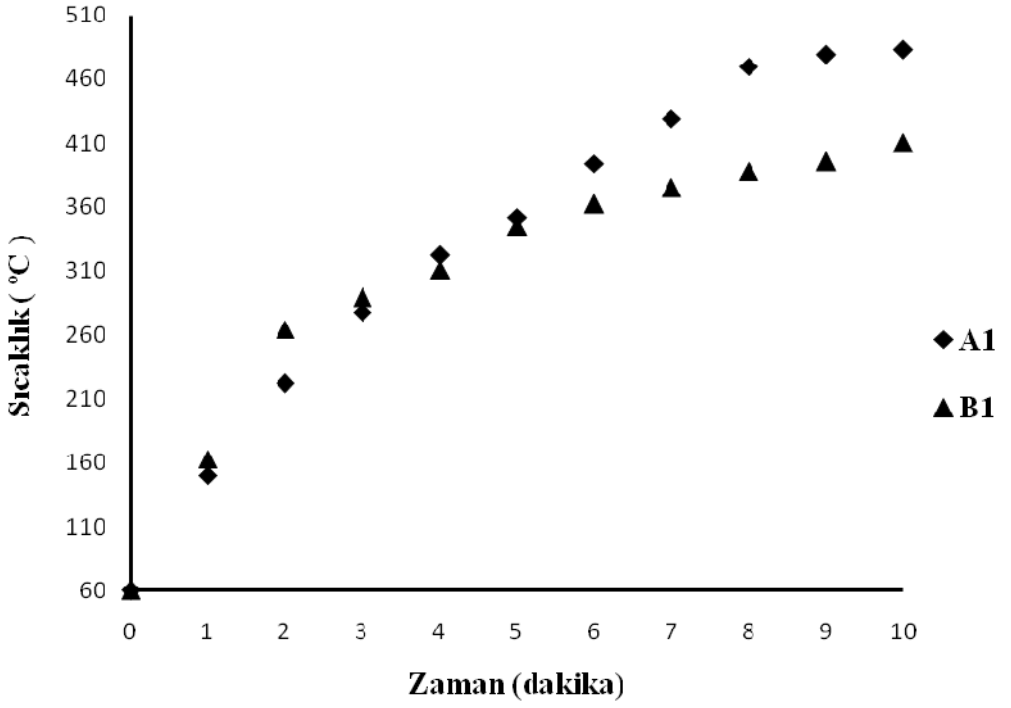
Şekil 5.31 200 N Pedal kuvvetinde grafit numunelerin disk sıcaklık değişimi

Şekil 5.32'de karbon nano tüp bileşimli numunelerin disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan maksimum 405 °C sıcaklığa çıkmıştır. En yüksek disk sıcaklığı bileşiminde %4 karbon nano tüp bulunan B4 numunesinde 405 °C, en düşük disk sıcaklığı bileşiminde %1 karbon nano tüp bulunan B2 numunesinde 336 °C olarak tespit edilmiştir. Numunelerin deneyinde disk sıcaklık farkı %17 oranında azalarak 69 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.32 200 N Pedal kuvvetinde karbon nano tüp numunelerin disk sıcaklık değişimi

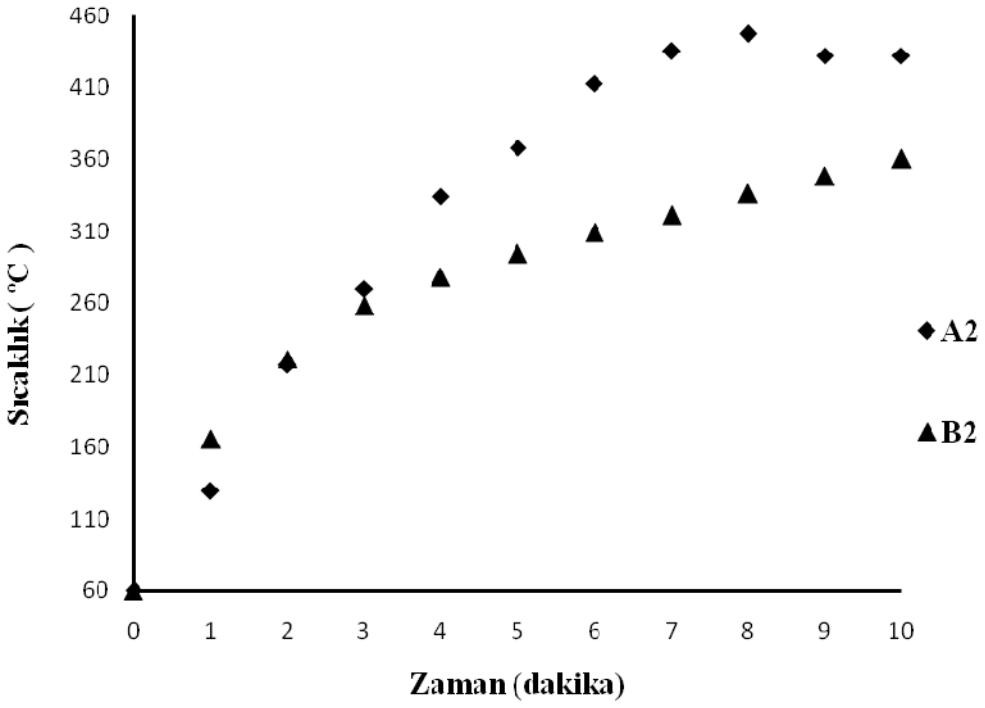
5.3.3. 250 N pedal kuvvetinde diskin zamana bağlı sıcaklık değişimi



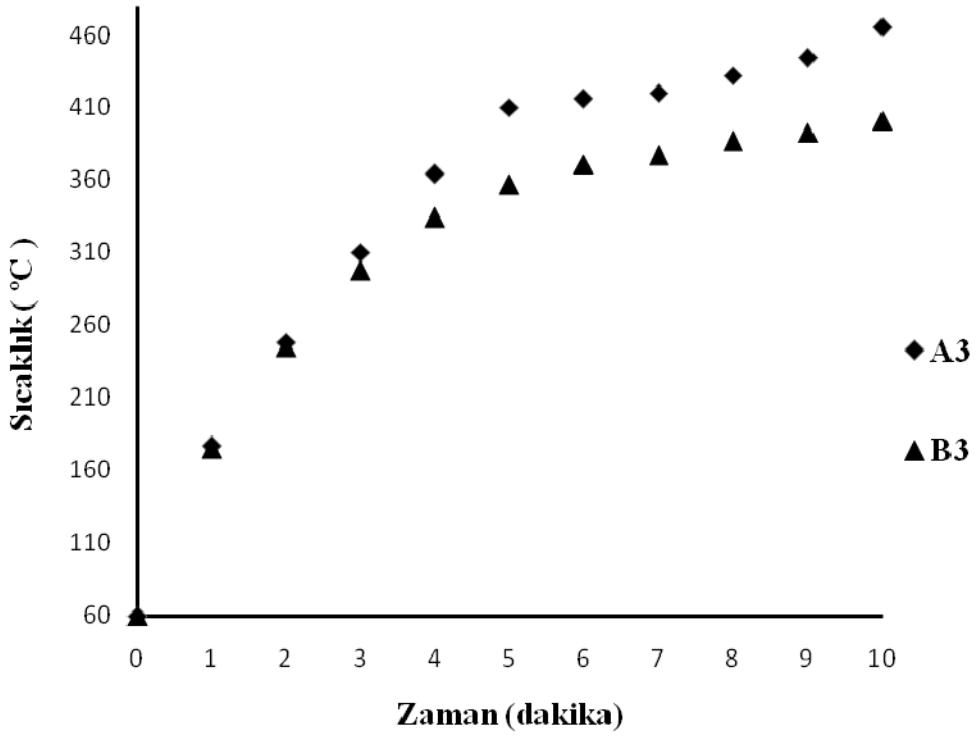
Şekil 5.33 250 N Pedal kuvvetinde A1-B1 numunelerinin disk sıcaklık değişimi

150 N pedal kuvvetinde diskin zamana bağlı sıcaklığı 10 dakikalık sürede, grafit bileşimli A1 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 483 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B1 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 410 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin disk sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %15,11 oranında azalarak, iki numune arasındaki disk sıcaklık farkının 73 °C olduğu tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde disk daha fazla ısınmıştır.

Şekil 5.34'de grafit bileşimli A2 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 432 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 360 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin disk sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %16,66 oranında azalarak, iki numune arasındaki disk sıcaklık farkının 72 °C olduğu tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde disk daha fazla ısınmıştır. Şekil 5.33 ve şekil 5.34 incelendiğinde A1 ve A2 numunelerinde disk sıcaklığının %10,55 oranında 51 °C, B1 ve B2 numunelerinde disk sıcaklığının %12,19 oranında 50 °C düştüğü görülmektedir.



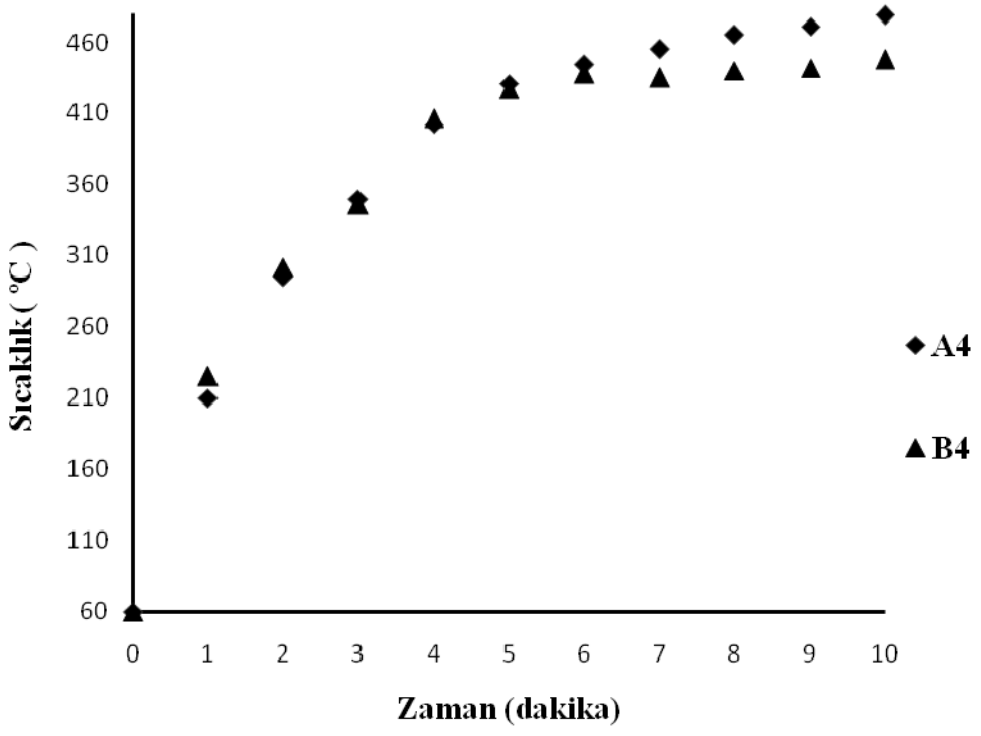
Şekil 5.34 250 N Pedal kuvvetinde A2-B2 numunelerinin disk sıcaklık değişimi



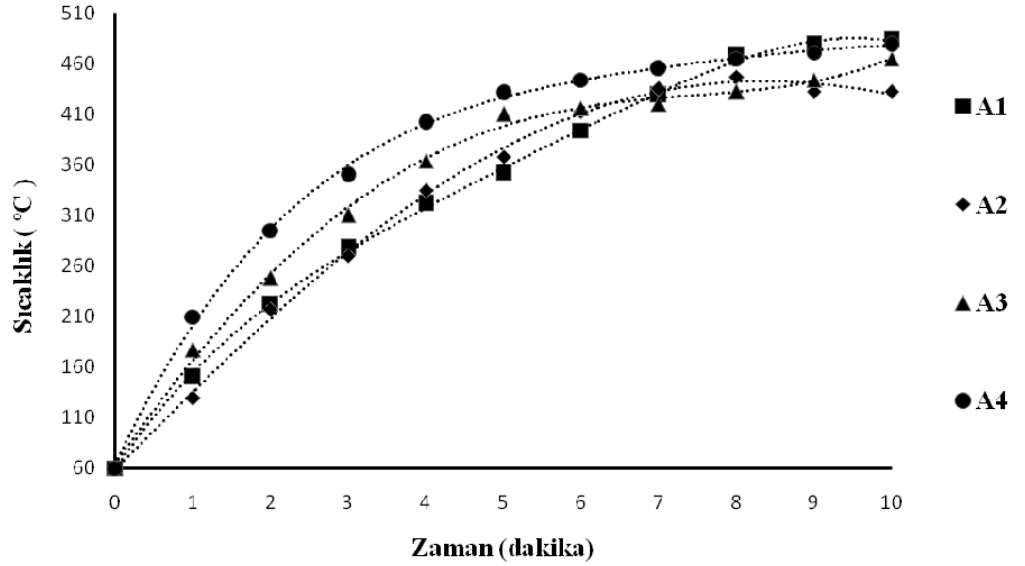
Şekil 5.35 250 N Pedal kuvvetinde A3-B3 numunelerinin disk sıcaklık değişimi

Şekil 5.35'de grafit bileşimli A3 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 465 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B3 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 401 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin disk sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %13,76 oranında azalarak, iki numune arasındaki disk sıcaklık farkının 64 °C olduğu tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde disk daha fazla ısınmıştır. Şekil 5.34 ve şekil 5.35 incelendiğinde A2 ve A3 numunelerinde disk sıcaklığının %7,09 oranında 33 °C, B2 ve B3 numunelerinde disk sıcaklığının %10,24 oranında 41 °C yükseldiği görülmektedir.

Şekil 5.36'da grafit bileşimli A4 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 479 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinde disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan 448 °C sıcaklığa çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numunenin disk sıcaklığı grafit bileşimli numuneye göre %6,47 oranında azalarak, iki numune arasındaki disk sıcaklık farkının 31 °C olduğu tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde disk daha fazla ısınmıştır. Şekil 5.35 ve şekil 5.36 incelendiğinde A3 ve A4 numunelerinde disk sıcaklığının %2,92 oranında 14 °C, B3 ve B4 numunelerinde disk sıcaklığının %10,49 oranında 47 °C yükseldiği görülmektedir.

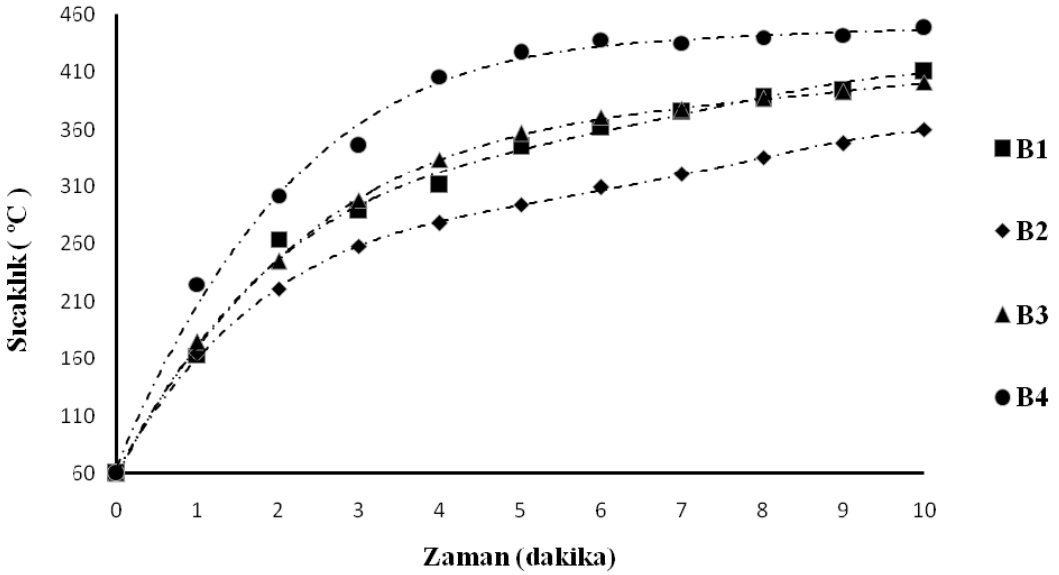


Şekil 5.36 250 N Pedal kuvvetinde A4-B4 numunelerinin disk sıcaklık değişimi



Şekil 5.37 250 N Pedal kuvvetinde grafit numunelerin disk sıcaklık değişimi

Şekil 5.37'de grafit bileşimli numunelerin disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan maksimum 483 °C sıcaklığa çıkmıştır. En yüksek disk sıcaklığı bileşiminde %0,5 grafit bulunan A1 numunesinde 483 °C, en düşük disk sıcaklığı bileşiminde %1 grafit bulunan A2 numunesinde 432 °C olarak tespit edilmiştir. Numunelerin deneyinde disk sıcaklık farkı %10,5 oranında azalarak 51 °C olarak tespit edilmiştir. Numunelerin bileşimindeki grafit oranı arttıkça disk sıcaklığı düşüş göstermektedir.



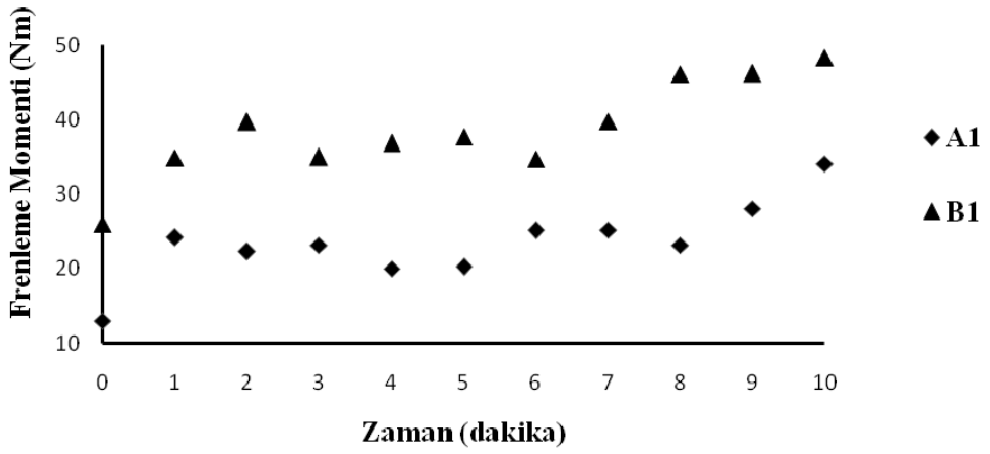
Şekil 5.38 250 N Pedal kuvvetinde karbon nano tüp numunelerin disk sıcaklık değişimi

Şekil 5.38'de karbon nano tüp bileşimli numunelerin disk sıcaklığı 60 °C sıcaklıktan maksimum 448 °C sıcaklığa çıkmıştır. En yüksek disk sıcaklığı bileşiminde %4 karbon nano tüp bulunan B4 numunesinde 448 °C, en düşük disk sıcaklığı bileşiminde %1 karbon nano tüp bulunan B2 numunesinde 360 °C olarak tespit edilmiştir. Numunelerin deneyinde disk sıcaklık farkı %19,6 oranında azalarak 88 °C olarak tespit edilmiştir.

5.4. Frenleme Momenti Test Sonuçları

Ortalama fren sistemi basıncında sabit fren pedalı kuvvetinde ve bir saniye periyodik zaman aralıklarında gerçekleştirilen deneyler sonunda frenleme momenti hesaplanmıştır. Pedal kuvveti sabit tutularak frenleme yapıldığında, fren diski ısınarak genleşmekte ve numuneleri diske doğru iten pistonlara ters yönde bir kuvvet uygulanmaktadır. Bunun sonucu olarak pedala uygulanan kuvvet sabit olduğu halde, deney setinde pedal kuvveti önce yükselmekte, sıcaklık kararlı hale geldikten sonra kuvvet sabitlenmektedir.

5.4.1. 150 N Pedal kuvvetinde frenleme momentinin zamana göre değişimi

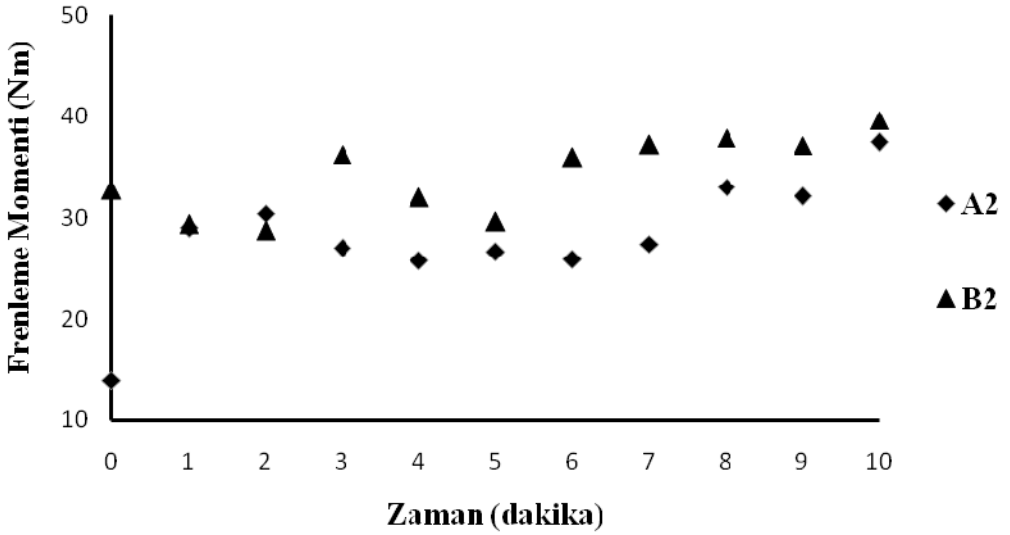


Şekil 5.39 A1-B1 numunelerinin frenleme momentinin zamana göre değişimi

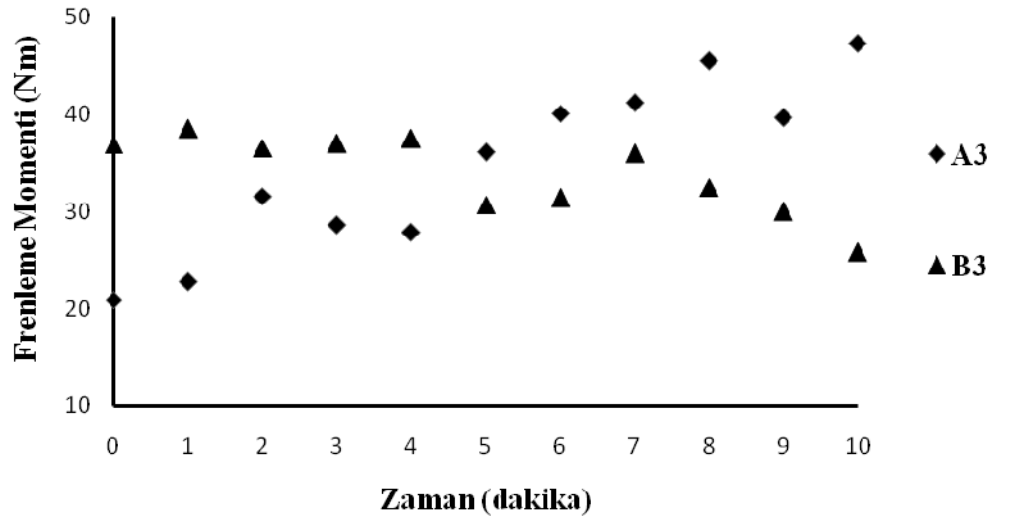
150 N pedal kuvvetinde numunelerin zamana bağlı frenleme momentleri 10 dakikalık sürede, grafit bileşimli A1 numunesinde 13 Nm' den 34 Nm' ye çıkmıştır.

Karbon nano tüp bileşimli B1 numunesinde 26 Nm' den 48,3 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numune ile grafit bileşimli numunenin deneyinde frenleme momentlerinde %29,6 oranında 14,3 Nm artış tespit edilmiştir. Karbon nano tüp bileşimli numunelerde frenleme momenti daha fazla olmuştur.

Şekil 5.40'da frenleme momenti grafit bileşimli A2 numunesinde 13,9 Nm' den 37,4 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinde 32,7 Nm' den 39,6 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numune ile grafit bileşimli numunenin deneyinde frenleme momentlerinde %5,5 oranında 2,2 Nm artış tespit edilmiştir. Karbon nano tüp bileşimli numunelerde frenleme momenti daha fazla olmuştur.

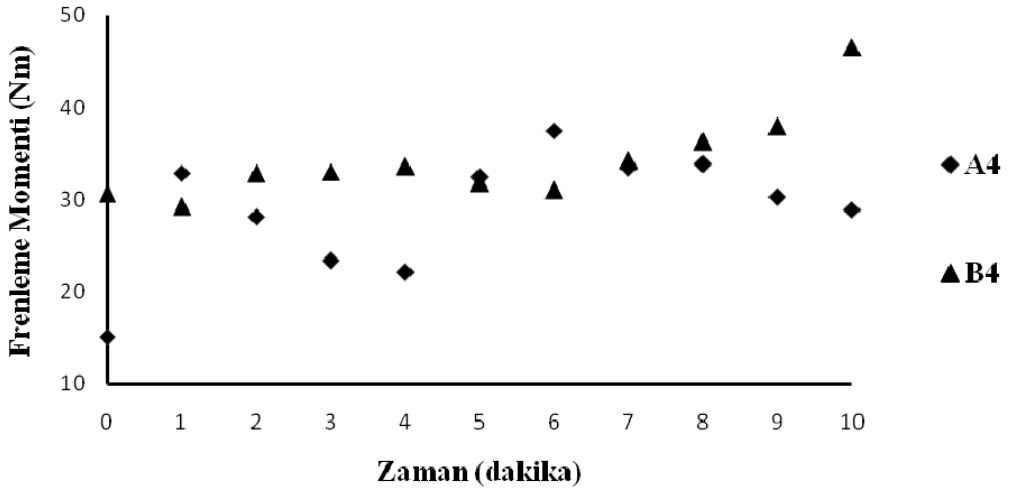


Şekil 5.40 A2-B2 numunelerinin frenleme momentinin zamana göre değişimi



Şekil 5.41 A3-B3 numunelerinin frenleme momentinin zamana göre değişimi

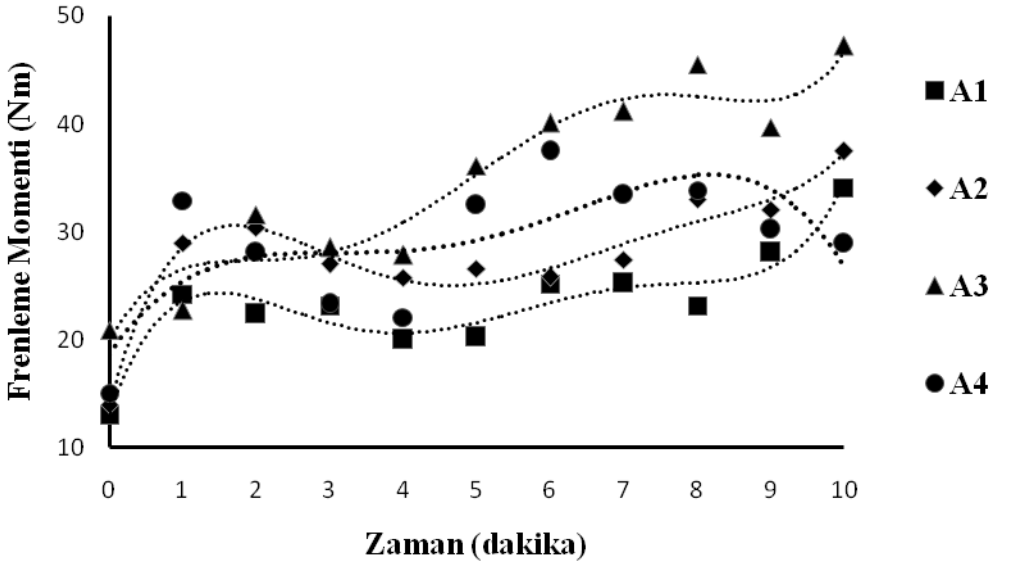
Şekil 5.41'de frenleme momenti grafit bileşimli A3 numunesinde 20,89 Nm' den 47,2 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B3 numunesinde 36,9 Nm' den 25,8 Nm' ye düşmüştür. Karbon nano tüp bileşimli numune ile grafit bileşimli numunenin deneyinde frenleme momentlerinde %45,3 oranında 11,4 Nm düşüş tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde frenleme momenti daha fazla olmuştur.



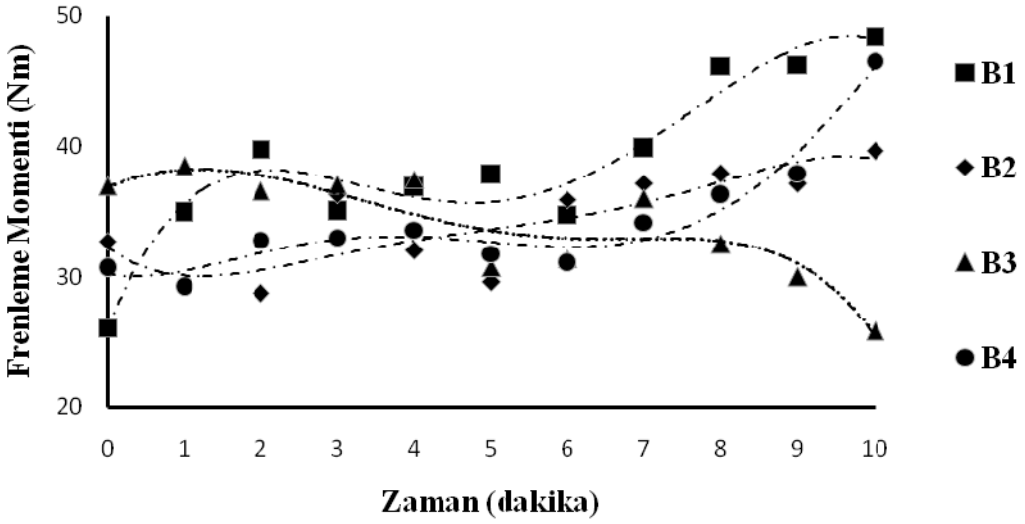
Şekil 5.42 A4-B4 numunelerinin frenleme momentinin zamana göre değişimi

Şekil 5.42'de frenleme momenti grafit bileşimli A4 numunesinde 15 Nm' den 28,9 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B4 numunesinde 30,6 Nm' den 46,5 Nm' ye düşmüştür. Karbon nano tüp bileşimli numune ile grafit bileşimli numunenin deneyinde frenleme momentlerinde %37,8 oranında 17,6 Nm artış tespit edilmiştir. Karbon nano tüp bileşimli numunelerde frenleme momenti daha fazla olmuştur.

Şekil 5.43'de grafit bileşimli numunelerde en yüksek frenleme momenti bileşiminde %2 grafit bulunan A3 numunesinde 47,22 Nm, en düşük frenleme momenti bileşiminde %4 grafit bulunan A4 numunesinde 28,9 Nm olarak tespit edilmiştir. Numunelerin deneyinde frenleme momenti farkı %38,79 oranında 18,32 Nm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.43 Grafit numunelerin frenleme momentinin zamana göre değişimi

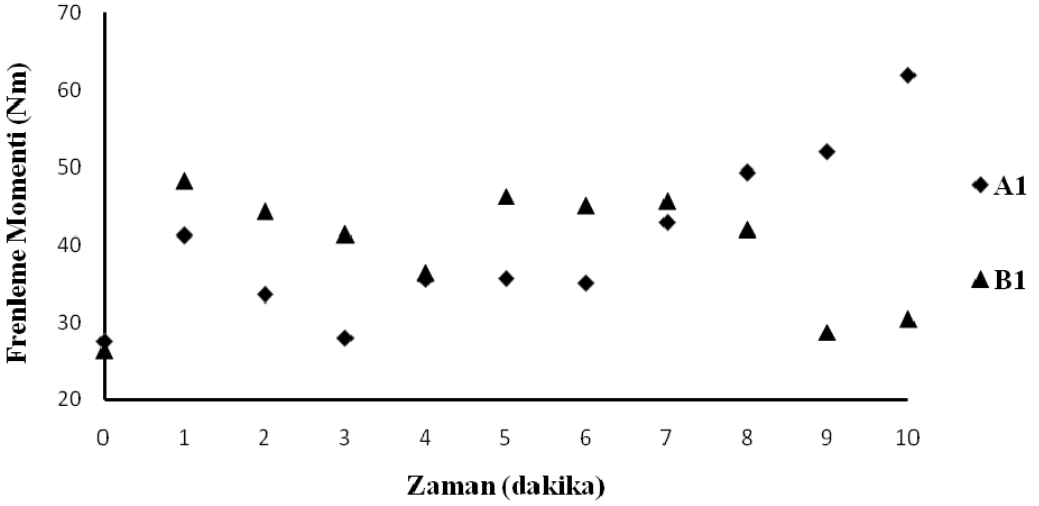


Şekil 5.44 Karbon nano tüp numunelerin frenleme momentinin zamana göre değişimi

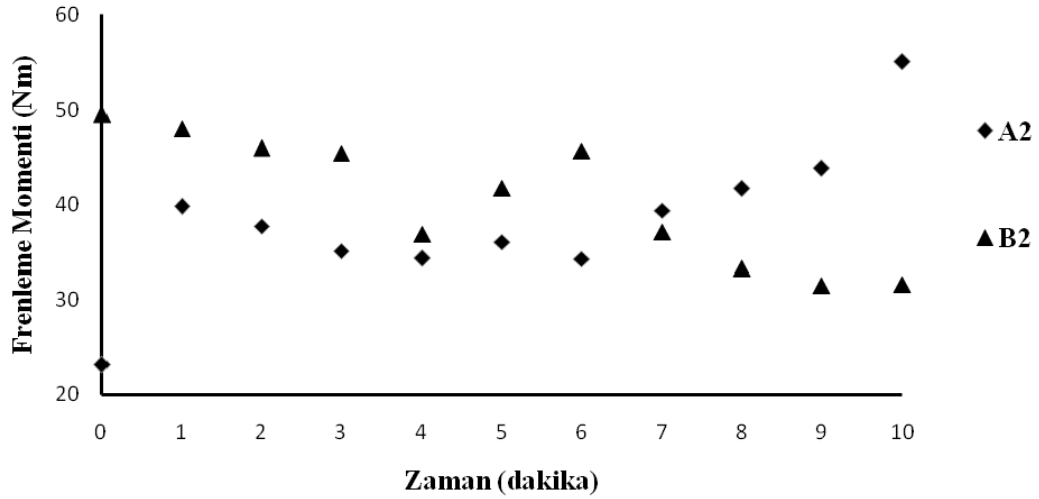
Şekil 5.44'de karbon nano tüp bileşimli numunelerde en yüksek frenleme momenti bileşiminde %0,5 karbon nano tüp bulunan B1 numunesinde 48,34 Nm en düşük frenleme momenti bileşiminde %2 grafit bulunan B3 numunesinde 25,81 Nm olarak tespit edilmiştir. Numunelerin deneyinde frenleme momenti farkı %46,6 oranında 22,53 Nm olarak tespit edilmiştir.

5.4.2. 200 N Pedal kuvvetinde frenleme momentinin zamana göre değişimi

200 N pedal kuvvetinde numunelerin zamana bağlı frenleme momentleri 10 dakikalık sürede, grafit bileşimli A1 numunesinde 27,49 Nm' den 61,89 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B1 numunesinde 26,30 Nm' den 30,41 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numune ile grafit bileşimli numunenin deneyinde frenleme momentlerinde %50,84 oranında 31,48 Nm düşüş tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde frenleme momenti daha fazla olmuştur.

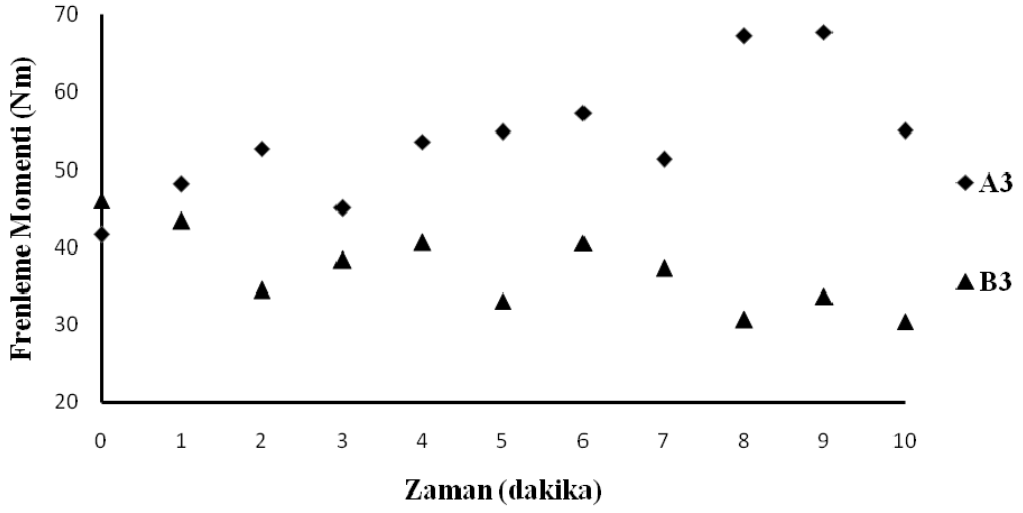


Şekil 5.45 A1-B1 numunelerinin frenleme momentinin zamana göre değişimi



Şekil 5.46 A2-B2 numunelerinin frenleme momentinin zamana göre değişimi

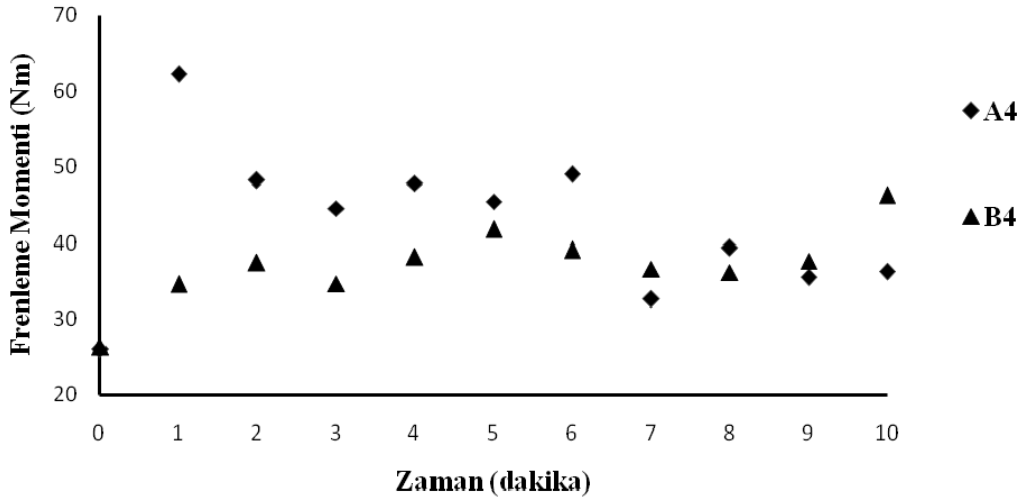
Şekil 5.46'da frenleme momenti, grafit bileşimli A2 numunesinde 23,14 Nm' den 55,05 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinde 49,54 Nm' den 31,65 Nm' ye düşmüştür. Karbon nano tüp bileşimli numune ile grafit bileşimli numunenin deneyinde frenleme momentlerinde %42,5 oranında 23,40 Nm düşüş tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde frenleme momenti daha fazla olmuştur.



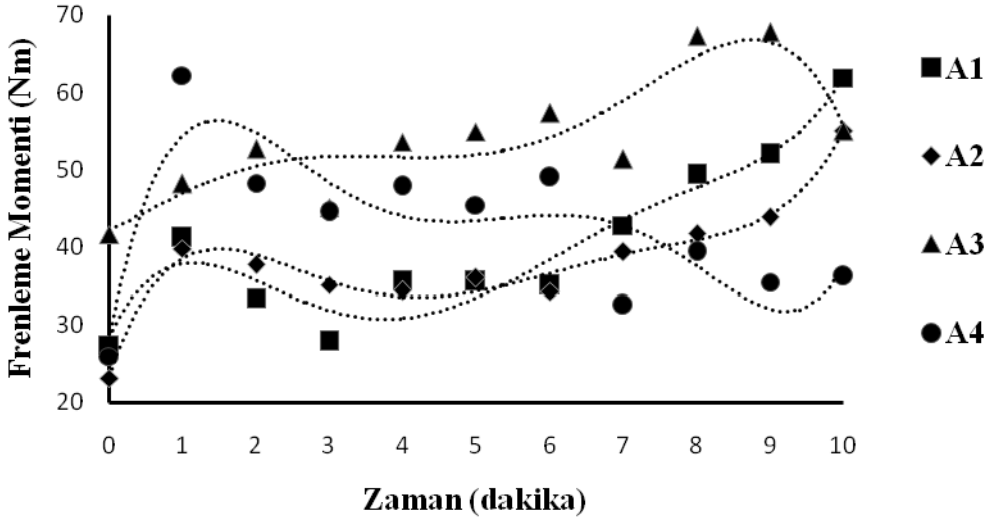
Şekil 5.47 A3-B3 numunelerinin frenleme momentinin zamana göre değişimi

Şekil 5.47'de frenleme momenti grafit bileşimli A3 numunesinde 41,60 Nm' den 55 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B3 numunesinde 46 Nm' den 30,39 Nm' ye düşmüştür. Karbon nano tüp bileşimli numune ile grafit bileşimli numunenin deneyinde frenleme momentlerinde %44,74 oranında 24,61 Nm düşüş tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde frenleme momenti daha fazla olmuştur.

Şekil 5.48'de frenleme momenti grafit bileşimli A4 numunesinde 25,97 Nm' den 36,16 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B4 numunesinde 26,24 Nm' den 46,25 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numune ile grafit bileşimli numunenin deneyinde frenleme momentlerinde %21,81 oranında 10,09 Nm artış tespit edilmiştir. Karbon nano tüp bileşimli numunelerde frenleme momenti daha fazla olmuştur.

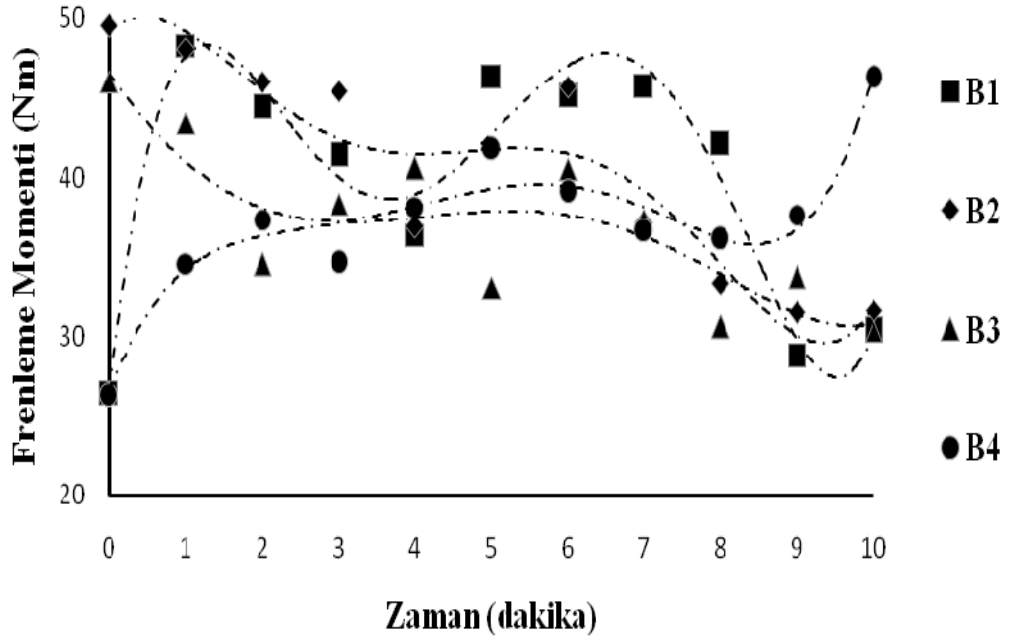


Şekil 5.48 A4-B4 numunelerinin frenleme momentinin zamana göre değişimi



Şekil 5.49 Grafit numunelerin frenleme momentinin zamana göre değişimi

Şekil 5.49'da grafit bileşimli numunelerde en yüksek frenleme momenti bileşiminde %0,5 grafit bulunan A1 numunesinde 61,89 Nm , en düşük frenleme momenti bileşiminde %4 grafit bulunan A4 numunesinde 36,16 Nm olarak tespit edilmiştir. Numunelerin deneyinde frenleme momenti farkı %41,57 oranında 25,73 Nm olarak tespit edilmiştir.

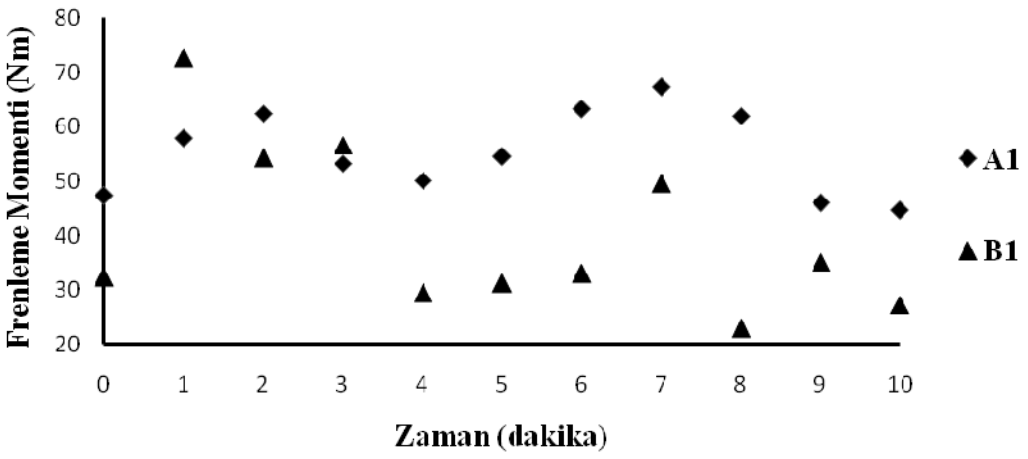


Şekil 5.50 Karbon nano tüp numunelerin frenleme momentinin zamana göre değişimi

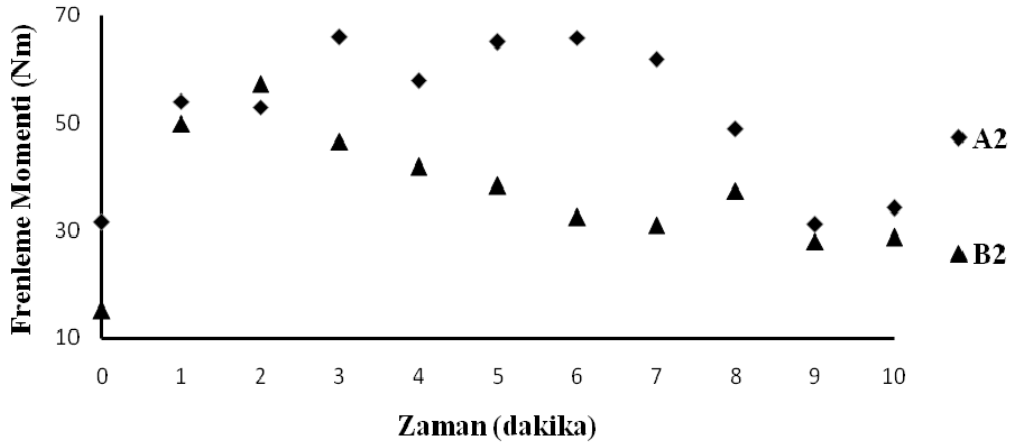
Şekil 5.50'de karbon nano tüp bileşimli numunelerde en yüksek frenleme momenti bileşiminde %4 karbon nano tüp bulunan B4 numunesinde 46,25 Nm , en düşük frenleme momenti bileşiminde %2 grafit bulunan B3 numunesinde 30,39 Nm olarak tespit edilmiştir. Numunelerin deneyinde frenleme momenti farkı %34,29 oranında 15,86 Nm olarak tespit edilmiştir.

5.4.3. 250 N Pedal kuvvetinde frenleme momentinin zamana göre değişimi

250 N pedal kuvvetinde numunelerin zamana bağlı frenleme momentleri 10 dakikalık sürede, grafit bileşimli A1 numunesinde 47,26 Nm' den 44,65 Nm' ye düşmüştür. Karbon nano tüp bileşimli B1 numunesinde 32,26 Nm' den 27,25 Nm' ye düşmüştür. Karbon nano tüp bileşimli numune ile grafit bileşimli numunenin deneyinde frenleme momentlerinde %41,48 oranında 17,40 Nm düşüş tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde frenleme momenti daha fazla olmuştur.

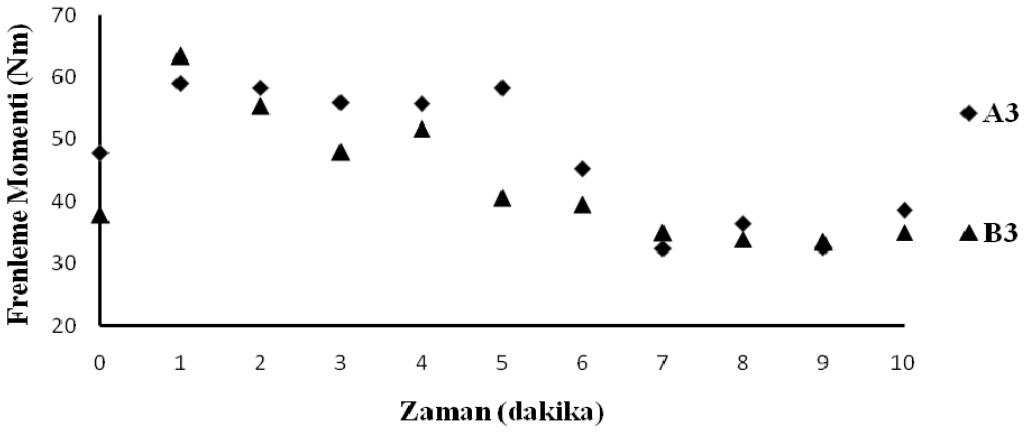


Şekil 5.51 A1-B1 numunelerinin frenleme momentinin zamana göre değişimi



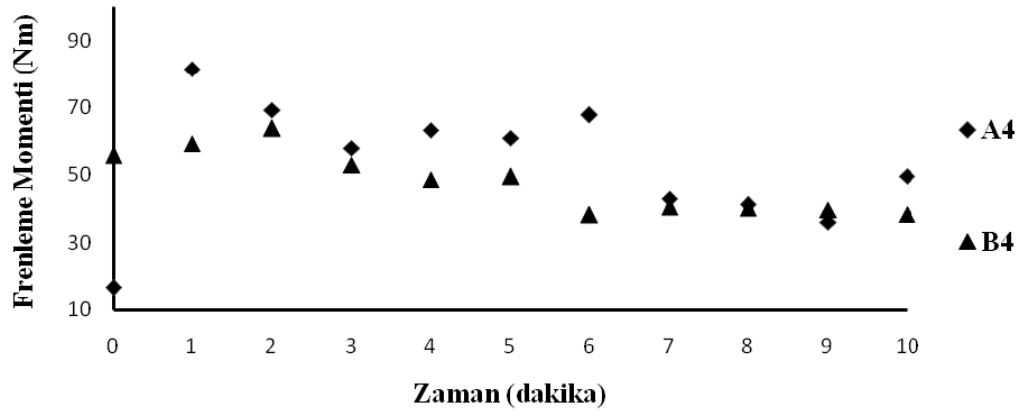
Şekil 5.52 A2-B2 numunelerinin frenleme momentinin zamana göre değişimi

Şekil 5.52'de frenleme momenti, grafit bileşimli A2 numunesinde 31,61 Nm' den 34,13 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B2 numunesinde 15,18 Nm' den 28,74 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli numune ile grafit bileşimli numunenin deneyinde frenleme momentlerinde %15,79 oranında 5,39 Nm düşüş tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde frenleme momenti daha fazla olmuştur.



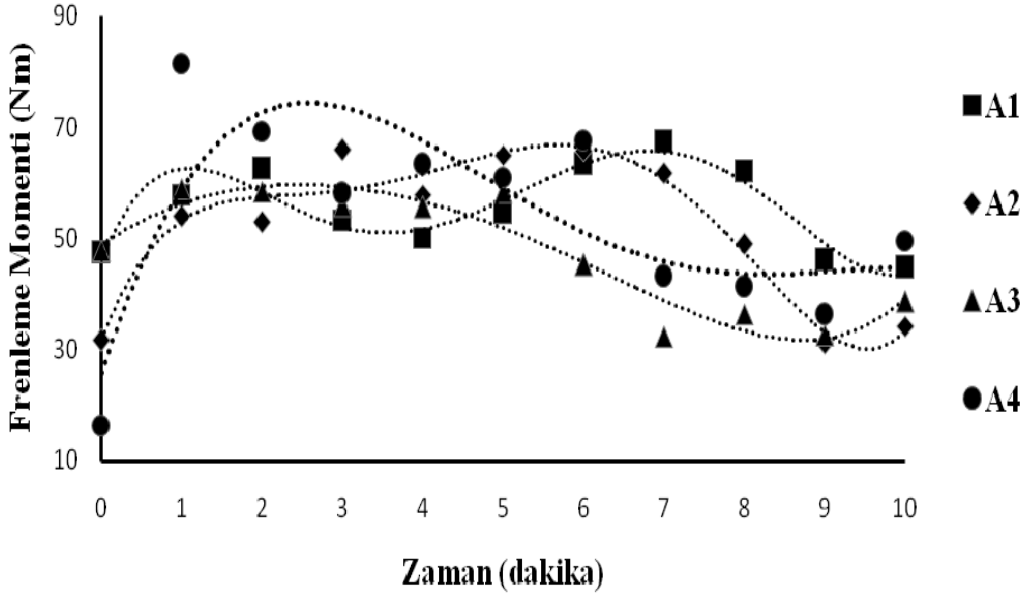
Şekil 5.53 A3-B3 numunelerinin frenleme momentinin zamana göre değişimi

Şekil 5.53'de frenleme momenti grafit bileşimli A3 numunesinde 47,74 Nm' den 38,49 Nm' ye düşmüştür. Karbon nano tüp bileşimli B3 numunesinde 37,74 Nm' den 34,97 Nm' ye düşmüştür. Karbon nano tüp bileşimli numune ile grafit bileşimli numunenin deneyinde frenleme momentlerinde %9,14 oranında 3,52 Nm düşüş tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde frenleme momenti daha fazla olmuştur.



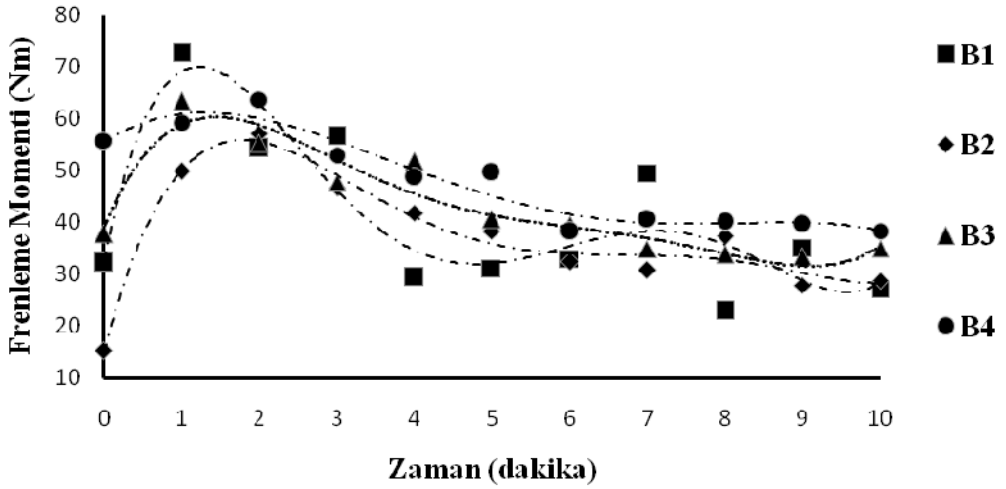
Şekil 5.54 A4-B4 numunelerinin frenleme momentinin zamana göre değişimi

Şekil 5.54'de frenleme momenti grafit bileşimli A4 numunesinde 16,35 Nm' den 49,61 Nm' ye çıkmıştır. Karbon nano tüp bileşimli B4 numunesinde 55,82 Nm' den 38,40 Nm' ye düşmüştür. Karbon nano tüp bileşimli numune ile grafit bileşimli numunenin deneyinde frenleme momentlerinde %22,59 oranında 11,21 Nm düşüş tespit edilmiştir. Grafit bileşimli numunelerde frenleme momenti daha fazla olmuştur.



Şekil 5.55 Grafit numunelerin frenleme momentinin zamana göre değişimi

Şekil 5.55'de grafit bileşimli numunelerde en yüksek frenleme momenti bileşiminde %4 grafit bulunan A4 numunesinde 49,61 Nm , en düşük frenleme momenti bileşiminde %1 grafit bulunan A2 numunesinde 34,13 Nm olarak tespit edilmiştir. Numunelerin deneyinde frenleme momenti farkı %31,20 oranında 15,48 Nm olarak tespit edilmiştir.



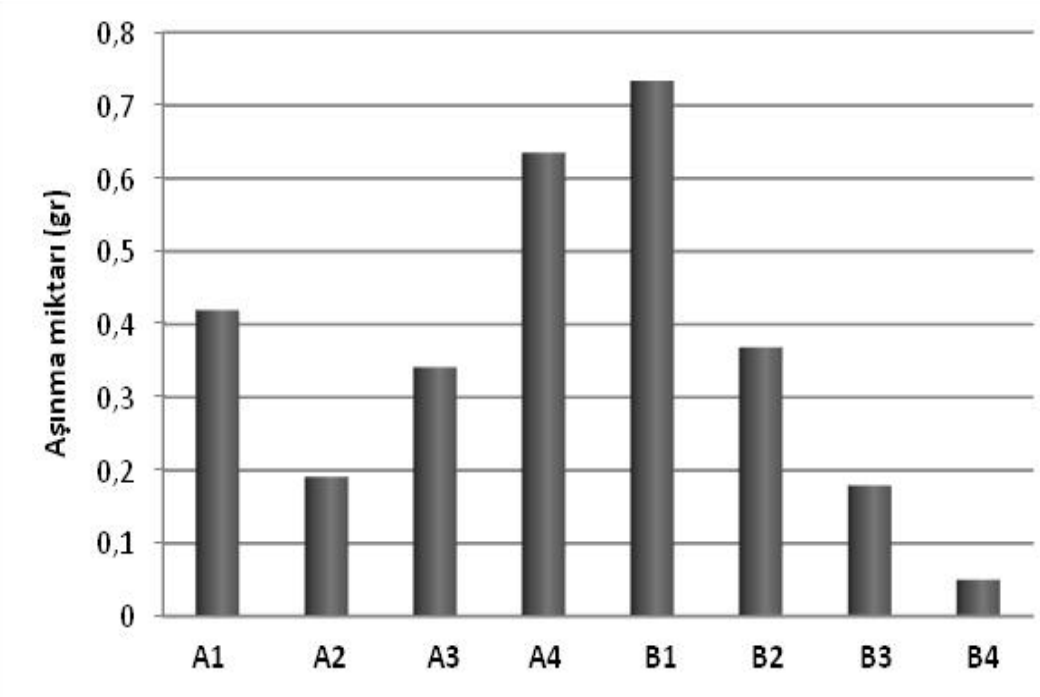
Şekil 5.56 Karbon nano tüp numunelerin frenleme momentinin zamana göre değişimi

Şekil 5.56'da karbon nano tüp bileşimli numunelerde en yüksek frenleme momenti bileşiminde %4 karbon nano tüp bulunan B4 numunesinde 38,40 Nm , en düşük frenleme momenti bileşiminde %0,5 grafit bulunan B1 numunesinde 27,25 Nm olarak tespit edilmiştir. Numunelerin deneyinde frenleme momenti farkı %29,03 oranında 11,15 Nm olarak tespit edilmiştir.

5.5. Numunelerin Aşınma Değişimleri

150-200-250 N yük altında, 6,16 m/s hızda, 600 saniye süre ile frenlemeye tabi tutulan tüm fren balatası numunelerinin deney sonunda aşınma miktarlarını belirlemek için hassas teraziyle yapılan ölçümlerle elde edilen grafikleri şekil 5.57-60'da verilmiştir. Numunelerin kütlesel kayıpları ölçülmeden önce basınçlı hava ile temizlenmiştir.

5.5.1. 150 N Pedal kuvvetinde aşınma



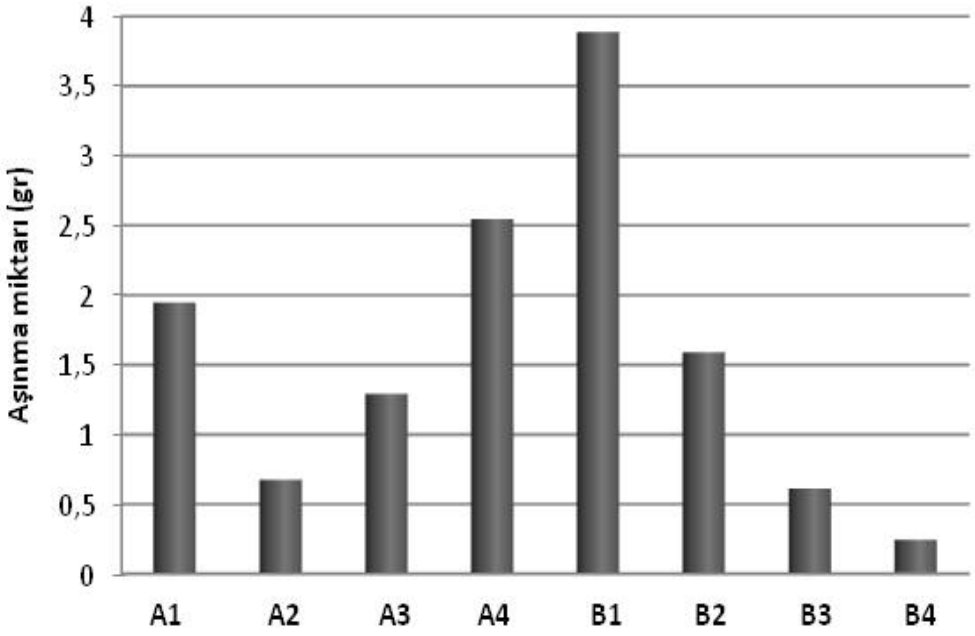
Şekil 5.57 Numunelerinin 150 N pedal kuvvetinde % aşınma oranları

Fren pedalına 150 N pedal kuvveti uygulandığında 600 saniye sonunda grafit malzeme katkılı numunelerde grafit oranı arttıkça numunelerdeki aşınmanın arttığı,

karbon nano tüp katkılı numunelerde bileşimdeki oranı arttıkça numunelerde aşınmanın azaldığı görülmektedir.

5.5.2. 200 N Pedal kuvvetinde aşınma

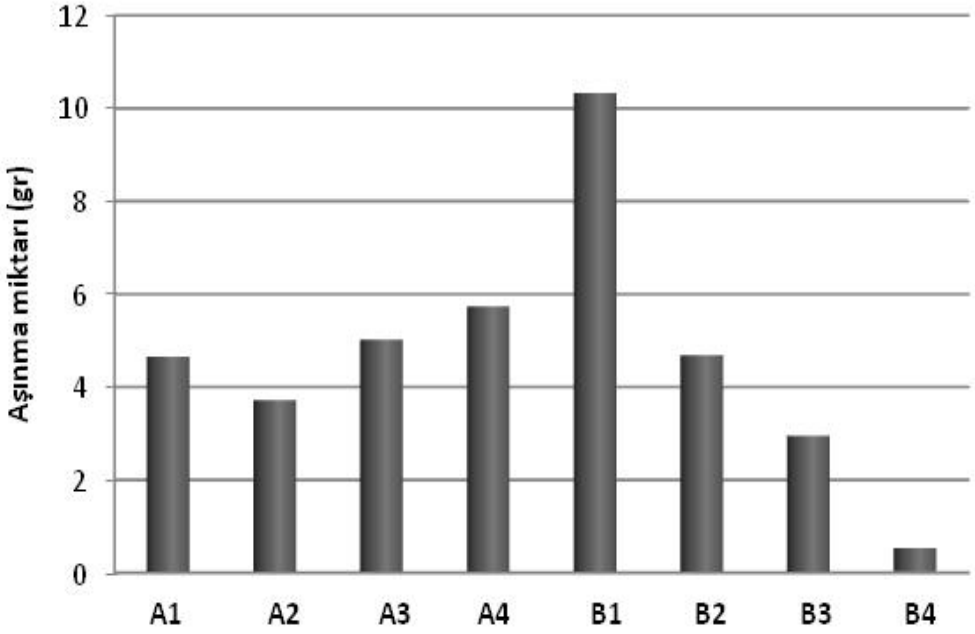
Fren pedalına 200 N pedal kuvveti uygulandığında 600 saniye sonunda bileşimdeki grafit oranı arttıkça numunelerin aşınma miktarlarının arttığı, karbon nano tüp katkılı numunelerde bileşim oranı arttıkça numune balatalardaki aşınmanın azaldığı görülmektedir.



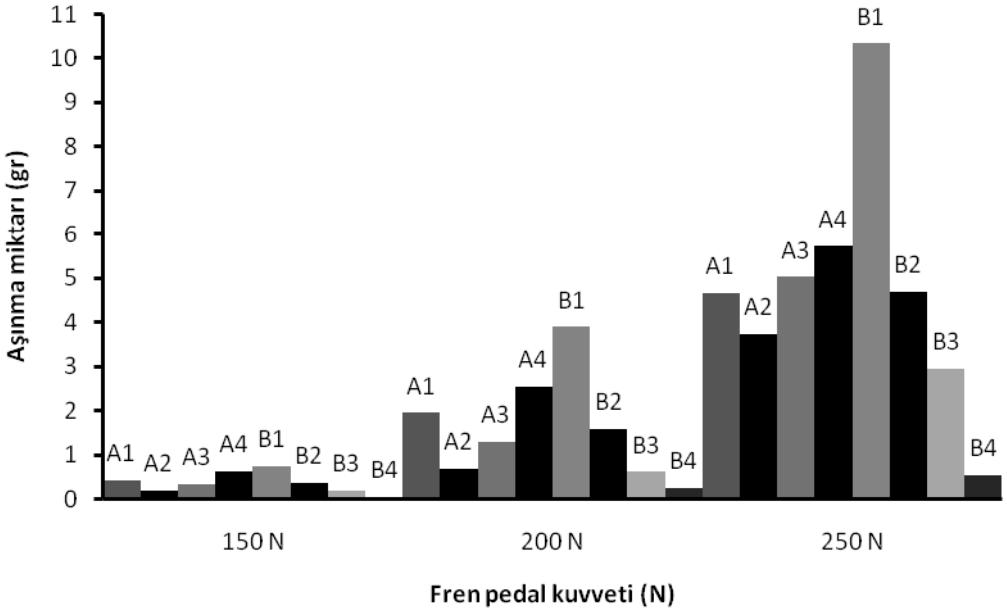
Şekil 5.58 Numunelerinin 200 N pedal kuvvetinde % aşınma oranları

5.5.3. 250 N Pedal kuvvetinde aşınma

Fren pedalına 250 N pedal kuvveti uygulandığında 600 saniye sonunda grafit katkılı balatalarda bileşimdeki grafit oranı arttıkça aşınmanın da arttığı, karbon nano tüp katkılı numunelerde bileşimdeki oranı arttıkça aşınmanın azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.59 Numunelerinin 250 N pedal kuvvetinde % aşınma oranları



Şekil 5.60 Numunelerinin toplu aşınma değişimleri

Deney sonuçlarına göre karbon nano tüp katkılı numunelerin bileşimdeki oranı arttıkça aşınmanın daha az olduğu görülmektedir. Bütün pedal kuvvetlerinde en fazla aşınma %0,5 karbon nano tüp katkılı B1 numunesinde ve %4 grafit katkılı A4 numunesinde olduğu görülmektedir.

Tüm numunelerin aşınma miktarları pedal kuvvetiyle doğru orantılı olarak artmıştır. A2, A3 ve A4 numunelerinin aşınma miktarları birbirleriyle orantılı olmasına rağmen A1 numunesi bunlardan farklı miktarda aşınmıştır.

Karbon nano tüplü numunelerde pedal kuvvetine göre aşınma miktarı düzgün bir şekilde gerçekleşmiştir. Karbon nano tüp oranı arttıkça aşınma azalmıştır.

Üretilen numuneler arasında en az aşınma sırasıyla B4, B3 ve B2 numunelerinde olmuştur.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, karbon nano tüpün fren balatalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bunun aynı kimyasal bileşime sahip fren balata numunelerinde ağırlıkça aynı oranlarda grafit ve karbon nano tüpün etkisini görebilmek için grafit yerine karbon nanotüp kullanılmıştır. Üretilen numunelerin frenleme karakteristiğini belirlemek için 150 - 200 – 250 N pedal kuvvetinde yapılan deneylerde, "frenleme momenti – zaman" , "balata sıcaklık–zaman", "diskin sıcaklık – zaman" grafikleri oluşturularak numunelerin aşınma miktarları yoğunluk değişimi deneysel olarak araştırılmıştır.

Karbon nano tüp katkılı numunelerdeki frenleme momentinin düşmesi, sürtünme tabakasını oluşturan balata numunesinin disk'e tutunma özelliği gösteremediği gözlenmiştir.

Karbon nano tüpün artan oranına bağlı olarak numunelerin sertlik değerleri de artmaktadır, bu sertlik artışına bağlı olarak da kütle kaybı azalmaktadır.

Karbon nano tüpün oranındaki artışa bağlı olarak malzemelerde oluşan karbür içeriği artmakta ve bu karbürler birbirlerine yakın bir şekilde sıkı bir ağ oluşturarak matris içerisinde homojen bir şekilde dağılmaktadırlar. Bu sıkı karbür ağları, matrisi desteklemekte ve karbon nano tüp oranındaki artışa bağlı olarak numunelerde aşınma miktarı düşmektedir.

Sürtünme ayarlayıcı olarak kullanılan karbon nano tüpün grafite oranla daha kaydırıcı özelliği olduğu düşünülmekte. Bu özelliğinden karbon nano tüpün % oranı arttıkça aşınma miktarının azaldığı gözlenmiştir.

Frenleme sonunda en yüksek disk sıcaklığına bütün yüklerde B4 ve A3 numunelerinin kullanılmasında ulaşılmıştır. Sadece disk sıcaklığına bakıldığında frenleme kuvvetinin bu numuneler için maksimum olması düşünülebilir. Ancak B4 numunesinin sadece 250 N yükte maksimum olduğu, A3 numunesinin 150-200 N yükte frenleme kuvvetinin maksimum olduğu görülmektedir.

Deney sonuçlarına göre;

1. Numuneler içinde ağırlıkça % 2 seviyelerinde nano karbon kullanılabileceği,
2. Numunelerde karbon nano tüp oranı arttıkça numunelerde aşınmanın yavaş olduğu,
3. Grafit bileşimli numuneler, karbon nano tüplü numunelere göre frenleme momentinin daha kararlı olduğu,

4. Numunelerdeki karbon nano tüp oranı arttıkça frenleme esnasında oluşan sıcaklıkta düşme olduğu ve frenleme momentinin düşen sıcaklık göre yükseldiği,
5. Karbon nano tüplü numunelerin diske tutunma özelliği göstermemesi sebebiyle grafitli numunelere göre frenleme momentinin düştüğü,
6. Numune bileşimine ilave edilen karbon nano tüpün % oranında artışına bağlı olarak sinterleme sonrası yoğunluğu aynı oranda düşürdüğü,
7. Grafit ve karbon nano tüp bileşimli numunelerde, sabit hızda ve basınçta frenleme kuvvetinin farklılık göstermeyerek belli bir zamandan sonra kararlılık göstererek sabit kaldığı,
8. Karbon nano tüp bileşimli numunelerden en iyi frenleme momenti, % 2 ile % 4 karbon nano tüp katkılı numunelerden alındığı,
9. Numunelerin bileşiminde % 0,5 oranında karbon nano tüp katkılı numunelerde en fazla aşınmanın olduğu, en az aşınma ise % 4 karbon nano tüp katkılı numunelerde görülmüştür.

Karbon nano tüp oranının bileşim içerisine uygun miktarda tespit edilmesiyle, frenleme momentini arttıracağı, açığa çıkacak aşınma miktarını ve sıcaklığa etkisinin azalacağı düşünülmektedir. Bu konuda yapılacak sonraki çalışmalarda bu konular daha detaylı incelenmelidir.

7. KAYNAKLAR

Akkurt, S., 1991, Plastik Malzeme Bilgisi, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Alision, V.V., Krogelsky, I.V., "Tribology Handbook", Pergamon Press, Oxford, 2:35-56, 1981.

Asbest 1991, "Toplum ve Çevre Sağlığı Açısından Soru Cevaplarla", Türk Sağlık Ajansı Yayınları 1, Ankara.

Ayar. H. H., 1991, ''Disk Fren Balatalarında Bileşimin Performansa Etkilerinin Deneysel İncelenmesi'', Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversite-si Fen Bilimleri Enstitüsü.

Baker, R., 1992, Changes Caused By Legislation Against Asbestos, Powder Metallurgy, 35, 4, 255-256.

Bettge, D. ve Starcevic, J., 2003, "Topographic Properties of The Contact Zones of Wear Surfaces in Disc Brakes", Wear 254, 2003, 195-202.

Bijwe, J., 1997, "Composites as a friction material recent developmets in nonsbestosfiber reinforced friction materials a reveiw'', Polimer Composites, 18, 3, 378-396.

Blau, P.J., 2001, Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Materials and Their additives, Oak Rıdge Natıonal Laboratory.

Boz, M., ve Kurt, A., 2005, Wear Behavior of Organic Asbestos Based and Bronze Based Powder Metal Brake Linings, Materials and Design,, Volume 25, Issue 4, Pages 343-347.

Boz, M., 1999, Toz Metalürjisi ile Üretilmiş Bronz Esaslı Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Boz, M., ve Kurt, A., 2006, Antimon Trisülfit'in Bronz Esaslı Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Özelliklerine Etkisi, Teknoloji, Cilt 9, Sayı 2, 79-90

Boz, M. ve Kurt, A. 2006, Bronz Esaslı Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma özelliklerine Çinko 'nun Etkisi, Gazi Üniversitesi, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 21, No 1, 115-121.

Bowden, F. P., ve Tabor, D., 1994, The friction and lubrication of solids, pp. 12-16, 29-31, 52-55, 78-79, 187-191.

Callister, W.D. 2000, Materals Science and Engineering An Introduction, 5th Edition, John Wiley & Sons, Inc, USA.

Chan, D. ve Stachowiak, G.H., 2004, Rewiev of Automotive Friction Materials, School of Enginering, University of Western Australia.

Cho, M. H., Kim, S. J., Basch, R. H., Fash, J. W., Jang, H., 2003, "Tribological Study of Gray Cast Iron with Automotive Brake Linings: The Effect of Rotor Microstructure ", Tribology International 36, 2003, 537-545.

Cho, H., Jang, H., Hong, Y. S., Kim, S. J., Basch, R. H., Fash, J. W., 2008, The Size Effect of Zircon Particles on The Friction Characteristics of Brake Lining Materials, Wear, Vol.264, pp. 291–297.

Çiftçi, B., 2010, Fren balatalarında cam elyaf kullanımının sürtünme özelliklerine etkisinin araştırılması.

Dönmez, A. G., 2000, Asbest dışı elyaflarla üretilen balata malzemelerinin özelliklerinin incelenmesi, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Eriksson, M., 2000, Friction and contact phenomena of disc brakes related to squeal. Comprehensıve Summaries Of Uppsala Dissertations From The Faculty Of Science And Technology.

Gemalmayan, N., 1984, Sürtünme Malzemelerinin Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.

Gökçe, S., 2006, Disk fren balatası imalatı ve balata performans deneyleri

Handa, Y. ve Kato, 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.

Hee, K. ve W., Filip P., 2005, Performance of Ceramic Enhanced Phenolic Matrix Brake Lining Materials for Automotive Brake Linings, Wear, Vol.259, pp. 1088–1096.

Holman, J.P. 2002 Heat Transfer, 8th edition, Pp.641-642 McGraw-Hill, Singapor.

İzocam Genel ürün kataloğu, İzocam Ticaret ve Sanayi A.S., 41810 Gebze/Kocaeli.

Jang, H., Koa, K., Kim, S. J., Basch, R. H., Fash, J. W., 2004, The Effect of Metal Fibers on The Friction Performance of Automotive Brake Friction Materials, Wear, Vol.256, pp. 406–414.

Kapoor, A. ve ark., 2001, "Automotive Tribology", 32.1, CRC Pres .

Karaoğlu, Y., 2006, Bir aşınma test cihazının tasarımı ve imalatı.

Kevlar 1992 Kevlar Techical Guide.

Kılıç, H., 2010, Mermer atıklarının otomotiv fren balata üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması.

Klar, E., 1983, Powder metallurgy, Metals Handbook 9th edition, by the American society for metals, Chapter 25, pp. 1-14, USA.

Kondoh, K., Takano, Y., Takeda, Y., 1997, "Friction and wear properties of integrated composite copper-based friction materials'', SAE 970979.

Liu, T.ve ark, 1978, "High Temperature Wear of Semimetallic Disc Brake Pads", Wear, Cilt 46, 213-218.

Liu, Y., Fan, Z., Ma, H., Tan, Y., Qiao, J., 2005, Application of Nano Powdered Rubber in Friction Materials, Wear, Vol.261, pp. 225–229.

Ma, Y., Martynkova, G. S., Valaskova, M., Matejka, V., Lu, Y., 2008, Effects of ZrSiO4 in Non-Metallic Brake Friction Materials on Friction Performance, Tribology International, Vol.41, pp. 166–174.

Matejka, V., Lu, Y., Fan, Y., Kratosova, G., Leskova, J., 2008, Effects of Silicon Carbide in Semi-Metallic Brake Materials on Friction Performance and Friction Layer Formation, Wear, Vol.265, pp. 1121–1128.

Mosleh, M. ve ark., 2003 , "Characteristics and Morphology of Wear Particles from Laboratory Testing of Disk Brake Materials", Wear 352, 114-120.

Mutlu, İ., Çevik, İ., Öner, C., 2002, Borik Asit Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, 3rd International Powder Metallurgy Conference September 4-8, Turkish Powder Metallurgy Association, pp.1307-1314, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Mutlu, İ. ve Öner, C., 2002, Cam Elyaf Takviyeli Disk Fren Balatalarının Özelliklerinin İncelenmesi Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş M.Y.O.

Mutlu, İ., 2002, ''Seramik katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi'', Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Mutlu, İ., Öner C., Fındık F., 2007, Boric Acid Effect in Phenolic Composites On Tribological Properties in Brake Linings, Materials and Design 28, 480-487.

Mohanty, S., ve Chugh, Y. P., 2007, Development of Fly Ash-based Automotive Brake Lining, Tribology International, Vol.40, pp. 1217–1224.

Natarajan, N., Vijayarangan, S., Rajendran, I., 2006, Wear Behavior of A356/25SiCp Aluminum Matrix Composites Sliding Against Automobile Friction Material, Wear, Vol.261, pp. 812–822.

Paustenbach, D. ve ark., 2004, Environmental and occupational health hazards associated with the presence of asbestos in brake linings and pads (1900 to present): a state-of-the-art review. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, 7:33–110.

Severin, D. ve Dörsch, S., 2001, "Friction Mechanism in Industrial Brakes", Wear 249, 2001, 771-779.

Sophie, K. T. and Mason, E., 2002 Asbestos: Mineral and Fibers, Division of Chemical Health and Safety of the American Chemical Society.

Stringham, W., 2001, "Bosch braking systems, 401 IN. bendix drive, south bend", IN46634- 4001, pp. 34-36.Tekinel, O. ve ark., 1999, İnşaat Malzeme Bilgisi, K.S.Ü. Rektörlüğü Yayın no 58.

Sugözü, İ., 2009, Bor katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin incelenmesi.

Sugözü, İ. ve Mutlu, İ., 2009 Fren balatası üretiminde toz karıştırma süresinin frenleme karakteristiği ne etkisinin araştırılması.

Thimmler, F., Oberacker, R., "Introduction to powder metallurgy", Printed and Bound in Great Britain at the University Press, Cambridge, 99-126, 1993.

TS 555, 1992, Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler için, Türk Standartları Enstitüsü, 1. Baskı, Ankara.

TS 9076, ''Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları İle Değerlendirilmesi'', T.S.E., 1. Baskı, Ankara, Nisan, 1991.

Tuç, B., "Tribology", Basılmammış Ders Notları, Gazi Üniversitesi, Ankara,2003.

UK Royal Society (2004), "The Royal Society and the Royal Academy of Engineering. Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties", http://www.nanotec.org.uk/finalreport.htm (15 Nisan 2007).

Uygur, M. E., 1996, Balata üretim teknolojisi, I.Ulusal Toz metalürjisi kongresi, Bildiriler kitapçığı, Gazi Üniversitesi, sf. 17, Ankara.

Vishwanath, B., Verma, A. P., Kameswaro Rao, C. V. S., 1993, Effect of Reinforcement on Friction and Wear of Fabric Reinforced Polymer Composites, Wear, Vol.167, pp.93-99.

Yavuzaslan, N., 2006, Otomobillerde fren sistemleri ve incelenmesi.

Washabaugh, F. J., 1987, EMCOR 66 Ultra-Short Fibers for Asbestos-Free Friction Materials, SAE 860630.

Anonim a, www.cheaptubes.com[Erişim Tarihi: 01 Şubat 2011]

Anonim b, www.bekbars.com [Erişim Tarihi: 11 Nisan 2011]

Anonim c, www.familycar.com/brakes.htm [Erişim Tarihi 11 Nisan 2011]

Anonim d, www.esnaflarhirdavat.com [Erişim Tarihi 11 Nisan 2011]

Anonim e, www.ua.all-biz.info/tr/g271152/[Erişim Tarihi 11 Nisan 2011]

Anonim f, www.asalmetal.com/aluminyumoksit.html[Erişim Tarihi 11 Nisan 2011]

Anonim g, www.nano-arge.com.tr/dokuman.asp?id=133[Erişim Tarihi 11 Nisan 2011]

Anonim h, www.istekpatent.com [Erişim Tarihi 11 Nisan 2011]

Anonim ı, www.new-flow.com [Erişim Tarihi 11 Nisan 2011]

Anonim i, www.Puls.com.tr [Erişim Tarihi 11 Nisan 2011]

Anonim j, www.netes.com.tr [Erişim Tarihi 10 Nisan 2011]

Anonim k, www.gv.com.tr [Erişim Tarihi 10 Nisan 2011]

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:	Mustafa TOROS
Uyruğu	:	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	:	Adana 20.06.1971
Telefon	:	0 505 8965760
Faks	:	
e-mail	:	mtoros42@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Adana Motor Meslek Lisesi	1987
Üniversite	:	Elazığ Fırat Üniversitesi	1991
Yüksek Lisans	:	Konya Selçuk Üniversitesi	
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
1992	Sivas Endüstri Meslek Lisesi	Teknik Öğretmen
1997	Ilgın Çıraklık Eğitim Merkezi	Teknik Öğretmen
1998	Selçuklu Endüstri Meslek Lisesi	Teknik Öğretmen
2001	Selçuklu Endüstri Meslek Lisesi	Atelye Şefi

UZMANLIK ALANI
1. Otomotiv teknolojileri
2. Mesleki Teknik Eğitim

YABANCI DİL : İngilizce