



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORGANİK MALZEME ESASLI HİBRİT SÜRTÜNME KOMPOZİTLERİNİN BALATA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

SAİT ARAS

DOKTORA TEZİ

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Mayıs - 2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ORGANİK MALZEME ESASLI HİBRİT SÜRTÜNME KOMPOZİTLERİNİN BALATA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Sait ARAS

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi-Otomotiv Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

2019, 116 Sayfa

Jüri

Danışman Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN
Prof. Dr. Mustafa ACARER
Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Prof. Dr. Recai KUŞ

Bu tez çalışmasında, organik malzemelerin fren balatası malzemesi olarak kullanılabilirliğini incelemek amacıyla önce; barit, kalsit, andız kozalağı tozu (AKT), midye tozu, salyangoz tozu ve yengeç tozu dolgu malzemesi olarak kullanılarak deneme numuneleri üretilmiştir. Üretilen deneme numunelerinin; yoğunluk, sertlik, aşınma oranı ve sürtünme katsayısı sonuçları incelenmiştir. Ardından; balata özelliklerine etki edeceği düşünülen 6 faktör belirlenmiştir. Bu faktörler, presleme süresi 2 seviyeli (10-15dk), elyaf çeşidi 3 seviyeli (cam elyaf-karbon elyaf-bazalt elyaf), presleme sıcaklığı 3 seviyeli (140-160-180°C), presleme basıncı 3 seviyeli (100-150-200 MPa), karıştırma süresi 3 seviyeli (10-15-20dk) ve AKT oranı (%10-%25-%40) 3 seviyeli olmak üzere Taguchi yöntemi kullanılarak L_{18} ortogonal dizin oluşturulmuştur. Numunelerin üretiminde; bazalt elyaf, cam elyaf ve karbon elyaf olmak üzere 3 çeşit takviye elemanı kullanılmıştır. Barit %50, elyaf %20, fenolik reçine %25 ve kok kömürü tozu %5 oranında katılarak bir içerik oluşturulmuştur. Hazırlanan bu içeriğe AKT, %10, %25 ve %40 oranında katılarak numuneler üretilmiştir. Numunelerin yoğunluk, sertlik, aşınma oranı, sürtünme katsayısı, iç kesme kuvveti ve mukavemeti özellikleri incelenmiştir. Daha sonra Minitab17™ programında varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Yoğunluk ve sertlik için AKT oranının, sürtünme katsayısı, iç kesme kuvveti ve mukavemeti için elyaf çeşidinin, aşınma oranı için presleme basıncının en etkili faktör olduğu bulunmuştur. ANOVA'dan faydalanılarak doğrulama numunelerinin üretilmesine karar verilmiştir. Doğrulama numuneleri için; presleme süresi 15 dk, karıştırma süresi 15 dk, presleme basıncı 100 MPa ve presleme sıcaklığı 160 °C olarak alınmış ve cam elyaf, karbon elyaf ve bazalt elyafa ayrı ayrı AKT %0, %5, %15 ve %20 oranında katılarak doğrulama numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin, yoğunluk, sertlik, aşınma oranı sürtünme katsayısı, iç kesme kuvveti ve mukavemeti sonuçları incelenmiştir. Doğrulama numunelerine yapılan testler aynı şartlarda ticari ön ve arka fren balatasından alınan numunelerede uygulanmıştır. Doğrulama numunelerinin ve ticari balata numunelerinin test sonuçları birbiri ile kıyaslanmıştır.

Çalışma sonunda, üretilen numunelerin sürtünme katsayılarının, ticari balataya göre düşük olduğu görülmüştür. Sertlik, iç kesme kuvveti ve mukavemeti değerleri, ticari balatanın değerlerinden yüksek, aşınma oranı ise düşük çıkmıştır. AKT'nin belirli bir orana kadar balata içeriği olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Andız, Bazalt elyaf, Cam elyaf, Fren balatası, Karbon elyaf, Taguchi yöntemi

ABSTRACT

Ph. D THESIS

INVESTIGATION OF THE USE OF ORGANIC MATERIAL BASED HYBRID FRICTION COMPOSITES IN PAD PRODUCTION

Sait ARAS

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL EDUCATİON-AUTOMOTIVE

Advisor: Prof. Dr. Necmettin TARAKCIOGLU

2019, 116 Pages

Jury
Advisor Prof. Dr. Necmettin TARAKCIOĞLU
Prof. Dr. Huseyin BAYRAKCEKEN
Prof. Dr. Mustafa ACARER
Prof. Dr. Omer Sinan SAHİN
Prof. Dr. Recai KUS

In this thesis, in order to investigate that organic materials can be used as brake lining material, trial samples were first produced by using barite, calcite, the juniperus drupacea cone powder (JDCP), mussel powder, winkle powder and crab powder as filler material. Trial samples produced; The results of density, hardness, wear rate and friction coefficient were investigated. Behind; six factors that were thought to affect the properties of lining were determined. These factors are the pressing time 2 level (10-15 min) fiber type 3 level (glass fiber-carbon fiber-basalt fiber) pressing temperature 3 level (140-160-180 ° C) pressing pressure 3 level (100-150-200 MPa) the mixing time was 3 levels (10-15-20 min) and the JDCP ratio was 3 levels (10%-25%-40%). For these factors and levels, the L18 orthogonal sequence was constructed using the Taguchi method. Basalt fiber, glass fiber and carbon fiber were used in the production of the samples. By weight, a composition of 50% barite, 20% fiber, 25% phenolic resin and 5%coke coal was formed. Samples were produced by adding 10%, 25% and 40% JDCP to this composition. Density, hardness, abrasion rate, friction coefficient, internal shear strength and strength properties of the samples were investigated. Then, variance analysis (ANOVA) was performed in Minitab17™ program. It has been found that for the density and stiffness, the JDCP ratio is the most effective factor for the friction coefficient, internal shear force and strength of the fiber type and the pressing pressure for the wear rate. It was decided to produce verification samples using ANOVA. For verification samples; pressing time 15 min, mixing time 15 min, pressing pressure 100 MPa and pressing temperature 160 °C and glass fiber, carbon fiber and basalt fiber separately JDCP 0%, 5%, 15% and 20% participation by verification samples are produced. The density, hardness, wear rate, friction coefficient, internal shear strength and strength of these samples were investigated. The tests performed on the validation samples were applied to the samples taken from the commercial front and rear brake pads under the same conditions. The test results of the validation samples and the lining samples were compared with each other. At the end of the study, the friction coefficients of the produced samples were found to be lower than the friction coefficient of the commercial lining. Hardness, internal shear force and strength values were higher than the values of commercial linings and wear rate was low. It has been determined that JDCP can be used as a lining content until a certain rate.

Keywords: Basalt fiber, Brake pads, Carbon fiber, Glass fiber, Juniperus drupacea, Taguchi method

ÖNSÖZ

Doktora eğitimim süresince, bilgi ve tecrübelerini aktaran, tezimin şekillenmesini ve ilerlemesini sağlayan danışmanım Prof. Dr. Necmettin Tarakçıoğlu'na ve tez izleme komitesinde yer alan, değerli fikirlerinden faydalandığım Prof. Dr. Ömer Sinan Şahin ile Prof. Dr. Recai Kuş hocalarıma teşekkürlerimi borç bilirim. Doktoraya başladığım günden itibaren her türlü bilgi ve tecrübe desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Ünaldı'ya, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Taşyürek'e, SÜ. Teknoloji Fakültesi Araştırma Görevlilerine ve diğer personele, Taguchi Yöntemi hakkında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Süleyman Neşeli'ye, andız ve diğer malzemelerin öğütülmesinde yardımlarından dolayı, Konya Teknik Ün. Maden Müh. Teknisyeni İbrahim Küçük'e, sertlik ölçümlerindeki yardımlarından dolayı Konya Teknik Ün. Metalurji Malzeme Müh. Teknisyeni Ali Özdoğan'a teşekkür ederim. Cam elyafın temini için, Cam Elyaf Sanayi A.Ş. ye, baritin temini için Barit Maden Türk A.Ş. ye teşekkürlerimi sunarım. Kalıp imalatı ve her türlü talaşlı üretim işlerinde yardımlarından dolayı, Metin Tuzcu'ya, aşınma test cihazının modernizasyonunda yardımlarından dolayı Dr. Hakan Terzioğlu ve İbrahim Kayhan'a teşekkür ederim. Aşınma disklerinin taşlanması, numune kalıplarının imalatındaki yardımlarından dolayı, öncelikle Serhan Ünsalan olmak üzere Selçuklu MTAL. Makine Teknolojisi Alanı şef ve öğretmenlerine ve Karatay Ahi Evran MEM. Makine öğretmeni Hacı Ali Ağaoğlu'na teşekkür ederim.

Doktora yapmam konusunda her zaman beni destekleyen ve her koşulda yanımda olan aileme göstermiş oldukları sabır ve yaptıkları fedakârlıklardan dolayı teşekkür ederim.

Yaptığımız bu çalışmanın araştırmacılara ve balata üreticilerine faydalı olacağını ümit ediyorum.

Sait ARAS
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Sürtünme 2
1.2. Aşınma 3
1.2.1. Aşınma mekanizmaları 4
1.2.2. Aşınma deneyleri ve ölçüm yöntemleri 5
1.3. Fren sistemleri 6
1.4. Balatalar 9
1.5. Taguchi yöntemi 10

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **13**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **23**

3.1. Materyal 23
3.1.1. Dolgu malzemeleri 26
3.1.2. Katı yağlayıcılar 29
3.1.3. Sürtünme ayarlayıcılar 30
3.1.4. Takviye malzemeleri 32
3.1.5. Bağlayıcılar 36
3.2. Deneme numunelerinin içeriğinin oluşturulması 37
3.3. Numune üretim şartları 38
3.4. Yöntem 40
3.4.1. Taguchi yöntemi 41
3.4.2. İncelenecek özellikler 45

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **53**

4.1. Ön araştırma (deneme) numunelerinin sonuçları 53
4.1.1. Yoğunluk sonuçları 53
4.1.2. Sertlik sonuçları 54
4.1.3. Sürtünme katsayısı sonuçları 55
4.1.4. Aşınma oranı sonuçları 55
4.1.5. Deneme numunelerinin sonuçlarının değerlendirilmesi 56
4.2. L_{18} Deneysel tasarım numunelerinin sonuçları 57
4.2.1. Yoğunluk sonuçları 58
4.2.2. Sertlik sonuçları 59
4.2.3. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) sonuçları 60

4.2.4. Aşınma oranı sonuçları 61
4.2.5. Sürtünme katsayısı sonuçları 62
4.2.6. İç kesme kuvveti sonuçları 63
4.2.7. İç kesme mukavemeti sonuçları 63
4.2.8. Sonuçların analizinin yapılması 64
4.3. Doğrulama deneylerinin sonuçları 76
4.3.1. Yoğunluk sonuçları 76
4.3.2. Sertlik sonuçları 77
4.3.3. Yüzey pürüzlülüğü 78
4.3.4. Aşınma oranı sonuçları 79
4.3.5. Sürtünme katsayısı sonuçları 80
4.3.6. İç kesme kuvveti sonuçları 81
4.3.7. İç kesme mukavemeti sonuçları 82
4.4. Ticari balatanın sonuçları 82
4.4.1. Ön fren balatasının deney sonuçları 83
4.4.2. Arka balatanın sonuçları 84
4.5. Doğrulama numunelerinin ticari balata ile kıyaslanması 84
4.6. Çözüm numuneleri 86

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 88

5.1 Sonuçlar 88
5.2 Öneriler 91

EKLER 92

KAYNAKLAR 97

ÖZGEÇMİŞ 105

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μ	: Sürtünme katsayısı
cm	: Santimetre
E_k	: Kinetik Enerji
F	: Sürtünme kuvveti (N)
F_s	: Statik sürtünme kuvveti
F_k	: Dinamik sürtünme kuvveti
g	: Gram
kg	: Kilogram
kgf	: Kilogramkuvvet
kPa	: Kilo paskal
m	: Kütle
m	: Metre
mm	: Milimetre
MPa	: Mega pascal
n	: Kampana devri
N	: Newton ($kg.m.s^{-2}$)
ºC	: Derece Selsiyus
Pa	: Pascal ($N.m^{-2}$)
r	: Yarıçap (m)
rpm	: Dakikadaki dönüş devri
s	: Saniye
SS	: Standart Sapma
TS	: Türk Standartları
V	: Hız
ω	: Çevresel hız (m/s)
Wa	: aşınma oranı ($mm^3.N^{-1}.m^{-1}$),
ΔG	: ağırlık kaybı (mg),
S	: kayma mesafesi (m),
M	: yükleme ağırlığı (N),
d	: aşınan malzemenin yoğunluğu (g/cm^3)

Kısaltmalar

HRR :Rocwell R skalasına göre sertlik değeri
AKT :Andız kozalağı tozu
JDCP :Juniperus drupacea cone powder
HB :Brinell sertlik değeri
CE :Cam elyaf
BE :Bazalt elyaf
KE :Karbon elyaf
Ps :Presleme Süresi
Eç :Elyaf çeşidi
Pb :Presleme basıncı
Pc :Presleme sıcaklığı
Ks :Karıştırma Süresi
Ao :Andız kozalağı tozu oranı
TÖ :Ticari ön balata
TA :Ticari arka balata
CBr :Cam elyaf-bronz
CLs :Cam elyaf-lastik tozu
CETP :Cam elyaf takviyeli plastik
KETP :Karbon elyaf takviyeli plastik

1. GİRİŞ

Karayolu taşıtları insanların ihtiyaçlarını karşılamak için bulunmuş ve sürekli geliştirilerek üretilmeye devam etmektedir.

İnsanlar kendilerini ve ihtiyacı olan malzemeleri bir yerden başka bir yere taşırken gerekli olan hareket enerjisini, farklı yakıtlar yakan içten yanmalı motorlardan, elektrik enerjisi ile çalışan elektrik motorundan alırlar. Motorda üretilen hareket güç aktarma organları tarafından hızı, yönü ve momenti ayarlanarak tekerleklere iletilir.

Tekerlekler taşıtların kütlesini taşıyarak zemin üzerinde hareket etmesini sağlarlar. Tekerlekler askı donanımları vasıtasıyla araca monte edilir.

Bilinen en eski tekerlek kalıntıları M.Ö 3000 – 2500 yıllarına aittir (http:ulkemiz, 2018). Her ne kadar tekerleğin icadı 5000 yıl kadar geriye gitse de motorlu taşıtların geçmişi yaklaşık 130 yıldır.

Motorlu araçlar icadından günümüze sürekli geliştirilmiştir. Buna bağlı olarak araçların ulaşabilecekleri maksimum hızları da artmıştır. Artan hız ve trafikteki araç sayısının artışına bağlı olarak güvenli sürüş ve güvenli durabilme büyük önem arz etmektedir. Hareket halindeki taşıt kinetik enerjiye sahiptir. Aracın sahip olduğu kinetik enerji kütleye ve hıza bağlı olarak değişir.

Hız, sürtünen malzemelerin temas durumunu etkileyen önemli faktörlerden biridir. Sürtünme kuvveti, hareket esnasında gerçek temas alanları ile iletilir. Fren balatalarında temas yüzeyde bulunan çıkıntılar ile sınırlıdır. Yüzeyde bulunan pürüzlerin yapısı bozulduğunda temas alanı değişir. Bundan dolayı temas durumu dinamiktir.

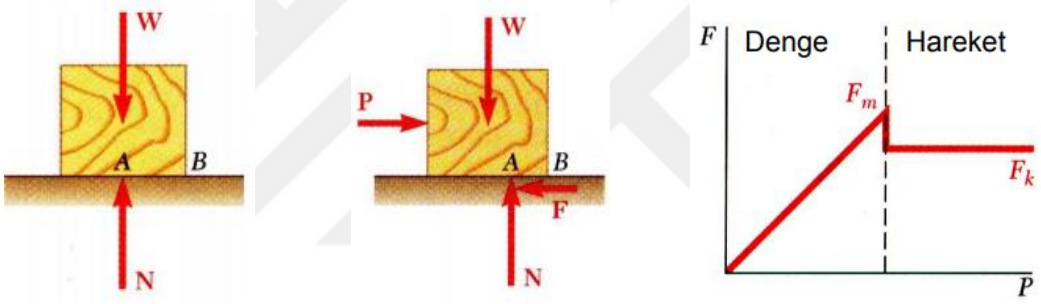
Taşıt hızının azaltılabilmesi için sahip olduğu enerjinin başka bir şekle dönüşümü gereklidir. Hızından dolayı sahip olduğu taşıtın kinetik enerjisi sürtünme yoluyla ısı enerjisine çevrilir. Frenleme esnasında oluşan ısı enerjisinin büyüyerek balata ve disk/kampanaya zarar verebilecek boyutlara ulaşmasını önlemek için oluşan ısının bir an önce atmosfere yayılması gerekir. Atmosfere yayılım ne kadar gecikirse, devam eden frenlemelerde sıcaklığın artmasına sebep olacaktır. Artan sıcaklık balata dayanımını ve frenlemeyi azaltacaktır.

Bir fren sisteminde frenleme görevini yerine getiren temel eleman çifti balata ve kampana/disktir. Sistemin frenleme performansı dönen diske (veya kampanaya) karşı baskı uygulayan balata ile arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Sürtünmenin düşük yâda yüksek olması durma mesafesini, sürtünme esnasında oluşan sıcaklığı, balata ve karşı yüzeyin ömrünü etkileyecektir.

1.1. Sürtünme

Temas halinde bulunan iki malzemenin, birinin diğeri üzerinde hareket etmesini engellemeye çalışan veya hareket esnasında hareketi zorlaştıran direnç sürtünme olarak adlandırılır. Temas yüzeyleri arasında gerçekleşen teğetsel kuvvetlere sürtünme kuvveti denir. Sürtünme kuvveti, parçalar arasında kayma hareketinin olduğu tüm durumlarda ısı şeklinde harcanan bir enerji kaybına neden olur. Sürtünmenin sayısal değeri, pürüzsüz yüzeylerde hesaba katılmayacak kadar küçük olsa dahi etkileşim halindeki tüm yüzeyler arasında her zaman mevcuttur. Sürtünmede pürüzlerin etkileşmesi en önemli faktördür.

Sürtünme, ilgili yüzeyler arasında belirli değerler içinde olmalıdır. Taşıt frenlerinde sürtünmenin azlığı nedeni ile taşıtın istenilen mesafe ve zamanda duramaması veya fazla sürtünme nedeni ile taşıtın frenlerinin bloke olması bu duruma tipik örnektir (Sugözü, 2009).



(a) (b) (c)

Şekil 1.1. Sürtünme kuvvetlerinin şematik gösterilmesi (http:itu, 2018)

Şekil 1.1(a)'da, W ağırlığındaki bir yük yatay yüzey üzerine yerleştirildiğinde, blok üzerine etkiyen kuvvetler; ağırlığı (W) ve yüzeydeki (N) tepki kuvvetidir. Şekil 1.1(b)'de, bloğa küçük bir yatay (P) kuvveti uygulandığında bloğun hareket etmesini engelleyecek sürtünme kuvveti (F) harekete ters yönde ve temas yüzeyine teğet olacaktır. Burada (F) statik sürtünme kuvvetidir (F_s). P kuvveti arttırılırsa, statik sürtünme kuvveti de maksimum değerine kadar artacaktır. Şekil 1.1(c)'de, P kuvveti daha da arttırılırsa blok hareket etmeye başlayacaktır. Bu durumda F kuvveti azalır ve kinetik sürtünme kuvveti (F_k) adını alır (http:itu, 2018). Sürtünme yaygın olarak sürtünme katsayısı ile ifade edilir. Sürtünme katsayısını tanımlamak için genellikle μ, f sembolleri kullanılır.

$$F_s = \mu_s.N \tag{1.1}$$

$$F_k = \mu_k.N \quad (1.2)$$

İki katı cismin yağlanmamış yüzeylerinin bir kayma oluşturacak veya kaymaya çalışacak şekilde temas ettiği durumda kuru sürtünme oluşur. Sürtünme kuvveti, kayma başlayıncaya kadar ve kayma esnasında oluşur. Sürtünme kuvvetinin yönü her zaman harekete veya hareketin muhtemel yönünün tersinedir. Bu tür kuru sürtünme Kolomb yasası olarak adlandırılmaktadır. Bu yasalar, çok genel terimlerle aşağıda gösterildiği biçimde açıklanabilir.

- Statik sürtünme, kinetik (ya da dinamik) sürtünmeden daha büyük olabilir.
- Sürtünme kuvveti normal kuvvetle doğru orantılı olup, aralarında sürtünme katsayısı olarak tanımlanan sabit bir oran vardır.
- Hareketi meydana getirmek için gereken yüzeysel kuvvet genelde tipik bir plastik deformasyondur.
- Harekete karşı koyan kuvvetin yönü zıttır.
- Gerçek temas alanı, görünürdeki temas alanından büyüktür ve daha fazla iki yüzey arasındaki etkileşimlere yön verir.
- Genel anlamda, sürtünme kuvveti ile kayma hızı arasındaki ilişki çok zayıftır.
- Yüzey pürüzlülüğü ile sürtünme kuvveti arasında çok zayıf bir ilişki vardır.

Dönen bir disk ve sabit balata arasındaki temasta, mikroskobik ölçeklerde yükseklikler arasındaki farklılıklar sebebiyle pürüzlü olan yüzeylerde dönme hareketine zıt yönde bir sürtünme meydana gelir. İki yüzeyin mikroskobik düzgünsüzlükleri arasındaki etkileşim sonucunda taşıtta teker dönme hareketinin engellenmesi ve taşıtın durması sonucunu doğurur (Ertan, 2008).

Sürtünme esnasında, öncelikle mekanik enerji temas bölgesinde ortaya çıkar ve gerçek temas alanın oluşumuna sebep olur. Daha sonra, mekanik enerji elastik deformasyon, plastik deformasyon, kızaklama (ploughing) ve adhezyon şeklinde gerçek temas bölgesinin içerisine doğru ilerler (Koç, 2009).

1.2. Aşınma

Sürtünme sonucunda temasta olan iki yüzeyden küçük parçacıklar kalkar. Malzemeden bu parçacıkların ayrılması ile meydana gelen kütle kaybı aşınma olarak isimlendirilir. Hareket eden her türlü makine parçasının ömürlerine aşınmanın etkisi büyüktür. Aşınma yağlama, yüzey pürüzlülüğü, çalışma şartları, çevre, sıcaklık, malzeme çifti gibi unsurlardan etkilenir.

Aşınmanın başlaması ve devam etmesi için sürtünmenin olması gerekir. Sürtünen iki yüzeyin temas alanına mekanik etkileşim alanı denir. Bu alanın aşınmaya etkisi büyüktür. Yüzeylerin gerçek temas alanı görünen temas alanından çok küçüktür. Çok hassas işlenen yüzeylerde dahi yüzeylerde pürüzler bulunur. Yüzeylerin etkileşimi bu pürüzlerde olur. Yüklemenin şekli ve değeri temas alanını, dolayısıyla aşınmayı etkileyen iki önemli faktördür. Yükün değeri arttıkça gerçek temas alanı artar (Boz, 2003).

1.2.1. Aşınma mekanizmaları

Sürtünerek çalışan malzemelerin, birbirini zorlaması sonucunda oluşan aşınma, hareketin tipi, hız, yağlayıcı tipi, sıcaklık, yük, sertlik ve süre gibi parametrelerden etkilenir. Malzemelerde oluşan aşınmalar çalışma şartlarına göre farklılıklar göstermekte ve farklı isimlendirilmektedirler.

Birbiri üzerinde hareket eden iki malzemenin, yüzeylerinin temas etmesi ve kayması sonucunda küçük parçacıkların yüzeyden ayrılmasıyla oluşan aşınma adhesiv aşınma olarak ifade edilir.

Sürtünen iki yüzey arasına dışarıdan giren ya da iki yüzey arasında oksitlenmeden dolayı meydana gelen daha sert bir maddenin yüzeylerde yaptığı hasar abrasiv aşınma olarak tanımlanır. Bu sert maddeler, yüzeylerde taşlama işleminde olduğu gibi bir malzemeden parça kopartılması olayı ile benzer işlem gösterirler.

Sürtünme esnasında sürtünen yüzeylerde sıcaklığın etkisi ile oluşan oksit filmi direk metalik teması keserek ve adezyonu engelleyerek aşınmayı azaltır. Oksidatif aşınma öncelikle fren disk veya kampanasında yaklaşık 180 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda meydana gelir. Fren diski üzerinde oksit filmi oluşumu, disk aşınmasında azalmaya ve genellikle sürtünme çiftleri arasındaki etkileşim sebebiyle balatada da aşınmanın azalmasına neden olur (Ertan, 2008).

Metalik malzemeler, içerdikleri alaşım elementinin cinsine ve miktarına göre bir miktar kadar doğal oksit tabakası içerir ve bu tabaka sayesinde korozif ortamlara direnç gösterirler. Tekrarlı darbelerin devam etmesi durumunda koruyucu tabakayı oluşturan elementlerin zamanla tükenmesi sonucu yeni tabaka oluşturulamaz ve korozyon aşınması meydana gelir (Akıncıoğlu ve ark., 2018).

Malzemenin yüzeyine yakın kısımlarında, sabit veya değişken dinamik sürekli zorlamalar sonucunda temas yüzeyinin altında veya yüzeye yakın bölgelerinin yorulması sonucu yüzeyden parçacıkların ayrılması yorulma aşınması olarak isimlendirilir.

Küçük genlikli izafi hareket yapan iki yüzey arasında bir miktar ince aşınma ürünü

meydana gelir. Yüzeyler arasında sıkışmış aşınma parçacıkları abrasiv aşınmanın ikinci bir aşamasına neden olur ve fretaj aşınması olarak adlandırılır.

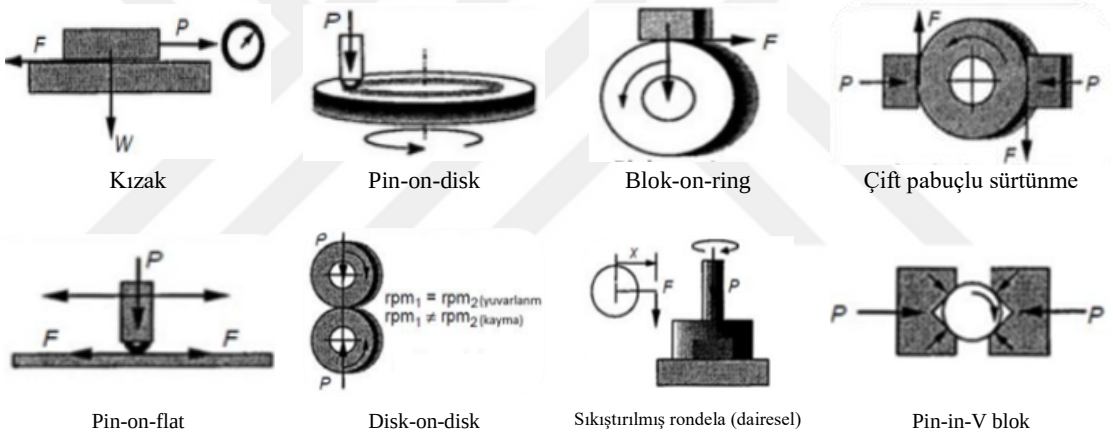
Kayma veya yuvarlanma sırasında ergime, ayrışma veya buharlaşma yüzünden malzemede oluşan kütle kaybı ısıl aşınma olarak tanımlanır.

1.2.2. Aşınma deneyleri ve ölçüm yöntemleri

Malzeme de kütle kaybı olarak tanımlanan aşınmanın ölçümü, temas eden parçalardan birinde veya her ikisindeki hacim veya ağırlık kaybı esas alınarak yapılır. Aşınma doğrudan veya dolaylı ölçümlerle verilebilir.

Evrensel bir aşınma türü olmadığı için, aşınmayı test edecek makine ve metot yoktur. Laboratuvar testleri, servis şartlarını taklit etmeyi amaçlar (Boz, 2003).

Şekil 1.2'de yaygın olarak kullanılan farklı geometrilerdeki sekiz tip tribometre gösterilmiştir (Algan, 2015).



Şekil 1.2. Genel tribometre cihaz tipleri

Aşınma ölçüm yöntemlerinden; kalınlık farkı yönteminde başlangıç ve test sonucu numune kalınlığı hassas ölçü aleti ile ölçülerek hacim kaybı hesap edilir. İz değişimi metodunda önceden oluşturulan izin çapı ölçülür, aşınma sonrasında mikroskop altında izin çapındaki değişimden aşınma miktarı belirlenir. Radyoizotop metodunda, aşınmanın büyük hassasiyetle ölçülmesi gereken özel durumlarda, sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya α parçacıkları ile bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilir. Ağırlık farkı metodunda ise numunenin test öncesi ve test sonrası kütlesi hassas olarak ölçülerek denklem (1.3)'de yerine yazılarak hesaplanır. Ağırlık farkı metodu ekonomik olması, kullanılan ölçme aletinin duyarlılık kapasitesine göre hassas olması sebebiyle oldukça sık olarak kullanılan bir metottur.

$$\boldsymbol{Wa = \frac{\Delta G}{d.M.S}} \qquad (1.3)$$

Burada;

Wa :aşınma oranı ($mm^3.N^{-1}.m^{-1}$),

ΔG :ağırlık kaybı (mg),

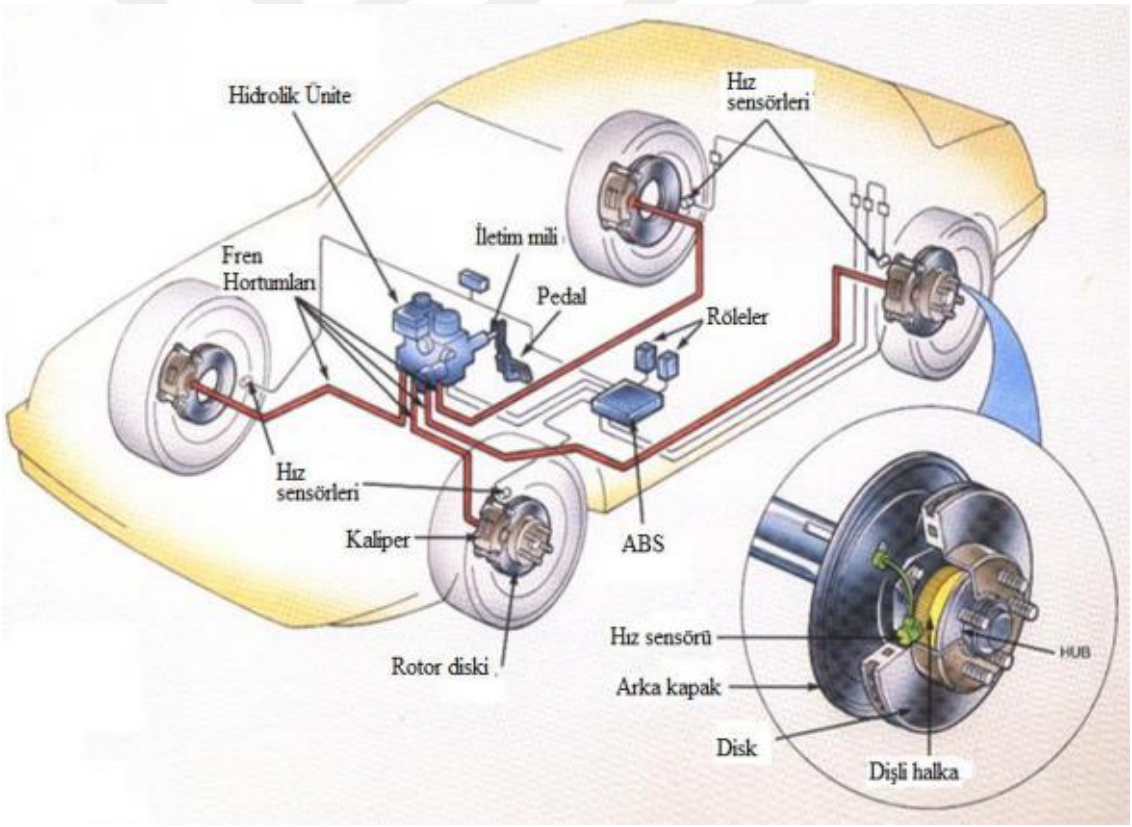
S :kayma mesafesi (m),

M :yükleme ağırlığı (N),

d :aşınan malzemenin yoğunluğu (g/cm^3), olarak verilmiştir.

1.3. Fren sistemleri

Fren sistemi (Şekil 1.3), bir aracın en önemli aktif güvenlik sistemidir. Fren sisteminden en zor şartlarda bile aracı emniyetli bir şekilde durdurması beklenir.



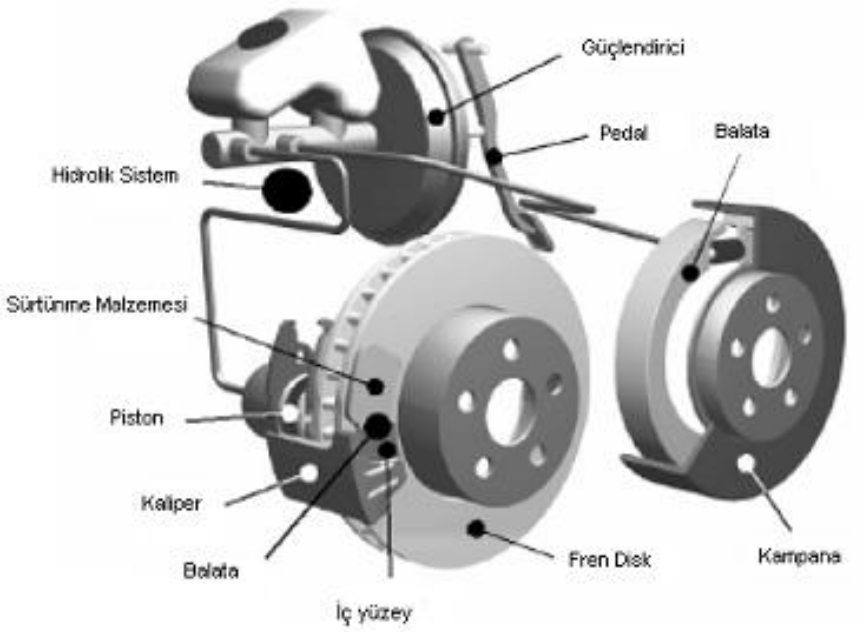
Şekil 1.3. Otomobil fren sistemi ve elamanları (Kocabaş, 2012)

Bir araç freninin asıl amacı hızı düşürmektir. Frenleme esnasında, kinetik enerji sürtünme işiyle ısıya dönüşür. Araçların frenleri, aracın hızının yaklaşık % 50'sinde kuru kayma teması yaşar. Tipik bir ön fren balatası yaklaşık 8 cm uzunluğunda ve 5 cm

genişliğindedir ve fren diskinin çapı 28 cm'dir. Balata, diskin ilgili sürtünme yüzeyinin yaklaşık % 10-15'ini kaplar. Normal ve nispeten yumuşak frenleme sırasında, balata tarafından diske baskı yapan kuvvet yaklaşık 5 kN' dur, bu da balata yüzeyinde 1,2 MPa' dan biraz fazla nominal bir basınç oluşturur. Aşırı durumlarda, basınç 10 MPa'a yakın olabilir. Sert frenler sırasında, bir fren balatasındaki güç dağıtımı 30 kW'ı kolayca geçer. Bu yüksek güç yoğunlukları, çok yüksek yüzey sıcaklıklarına neden olur ve bu nedenle sürtünme malzemelerine özel talepler getirir (Eriksson ve ark., 2002).

Taşıtın güvenliği fren sisteminin düzgün çalışmasına bağlıdır. Bundan dolayı frenler taşıt üzerindeki en önemli parçalardan biridir. Ortalama bir taşıtta frenlerin yılda 50,000 kez kullanıldığı tahmin edilmektedir (Kuş, 2014).

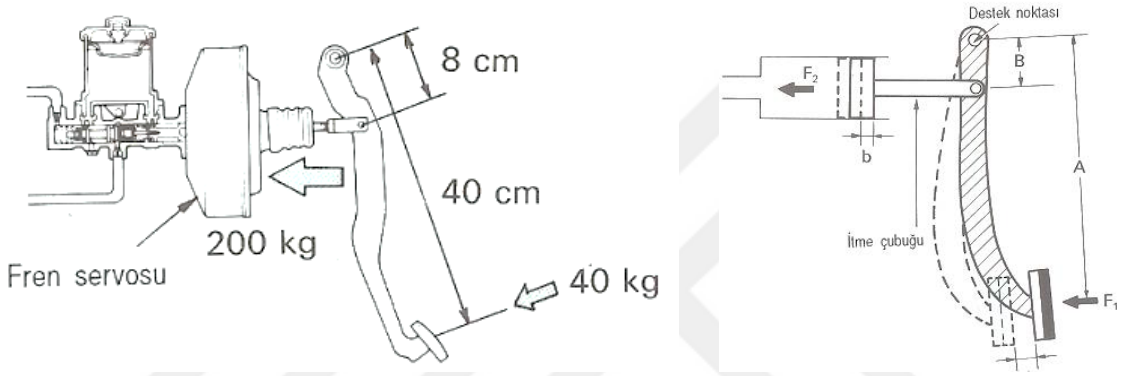
Sürtünmeye bağlı sıcaklık artışı nedeniyle disk veya kampananın bozulmadan, minimum deformasyon göstermesi için ısıl genleşme katsayısının büyük olması istenir. Frenleme esnasında kısa zamanda meydana gelen yüksek ısı miktarı, kampana veya disk tarafından alınıp iletilerek dışarıya verileceğinden, disk ve kampana malzemesinin yüksek ısı iletme kabiliyetine sahip olması istenir. Disk ve kampana üretiminde elastisite modülü daha yüksek olan perlitik yapılı dökme demir kullanılır. Bu dökme demirin sertliği 170-255 HB (kg/mm^2) arasında değişmektedir (Koca, 2011). İstenilen termal özelliklere sahip olmasının yanı sıra, perlittik gri dökme demir, yeterli mekanik mukavemete, tatmin edici aşınma direncine, iyi sönümleme özelliklerine sahiptir, ucuzdur ve dökülmesi ve işlenmesi de nispeten kolaydır (Satapathy ve Bijwe, 2004a).



Şekil 1.4. Kampanalı ve diskli frenin şematik görünümü (Eriksson, 2000)

Karayolu taşıtlarında kullanılan fren çeşitleri disk ve kampanalı fren (Şekil 1.4) olmak üzere ikiye ayrılır. Ayrıca frenleme gücünün iletim sistemlerine göre fren sistemleri, mekanik, hidrolik, havalı ve elektrikli frenler olmak üzere dörtte ayrılır.

Yapılan deneyler sonucunda diskli fren sistemlerinin daha yüksek frenleme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca oluşan sıcaklık diskin kanallı yapısından ve hava ile direkt temas etmesinden dolayı sistemde daha çabuk dışarı atılmaktadır ve su ile temasında da balataların ıslanmasını önleyerek su kolayca dışarı atabilmektedir. Yüksek frenleme performansı istenen araçlarda arka tekerleklerde de diskli fren sisteminin kullanılması yaygınlaşmaktadır (Koca, 2011).



Şekil 1.5. Fren pedalı ve fren servosu (Nilay, 2006)

Fren pedalına basıldığı zaman, fren ana merkezi bu kuvveti hidrolik basınca çevirir. Fren pedalı kaldıraç prensibine göre çalışır ve pedala uygulanan küçük bir kuvvet fren merkezine büyük bir kuvvet olarak iletilir (Şekil 1.5). Pascal kanununa göre, fren ana merkezi içinde oluşan hidrolik kuvvet fren hattı yoluyla tekerlek silindirlerin her birine ulaşarak, fren balatasında bir frenleme kuvveti oluşturur (Nilay, 2006). Frenleme kuvveti araç tekerleklerinin hareketine zıt yönde oluşan kuvvettir. Bu kuvvet, aracın hızını azaltarak aracı durdurmak için uygulanan dirençtir.

Otomobillerde ön tekerlek frenleri arka tekerlek frenlerine oranla daha büyük bir frenleme kuvveti oluşturacak şekilde düzenlenirler. Frenleme sırasında taşıtın arka tarafından öne doğru yük transferi olmaktadır. Bu bakımdan ön frenlerin yaklaşık %77, arka frenlerin ise %23 oranlarında frenleme kuvveti ortaya koymaları istenmektedir. Aracın durma mesafesine etkiyen faktörlerden birisi de fren verimidir. Fren verimi, frenleme kuvvetinin taşıt ağırlığına oranı olarak tanımlanır (Bayrakçeken ve Düzgün, 2005).

Frenleme esnasında fren faktörünü değiştirebilecek bir diğer durum ise ısınma

nedeniyle performans kaybı (fading)'dir (Çataltepe, 2008). Frenleme esnasında oluşan ısı en kısa sürede sistemden uzaklaştırılmalıdır. Frenleme sırasında tekrarlı veya sürekli frenlemede sistemin sıcaklığının hızlı artması önlenmezse balata ve disk zarar görür. Soğumanın yeterince sağlanması balata ve disk ömrünü artırır. Ayrıca frenleme performansını yükseltir.

Disk-balata arasında oluşan sıcaklık, balata malzemelerinin bütünlüğünü bozacak değeri aşarsa, fren solması, bölgesel kazınma, termoelastik kararsızlık, erken aşınma, fren hidroliği buharlaşması, rulman hatası, termal çatlaklar ve termal olarak uyarılmış titreşim gibi istenmeyen etkilere yol açar (Belhocine ve ark., 2015).

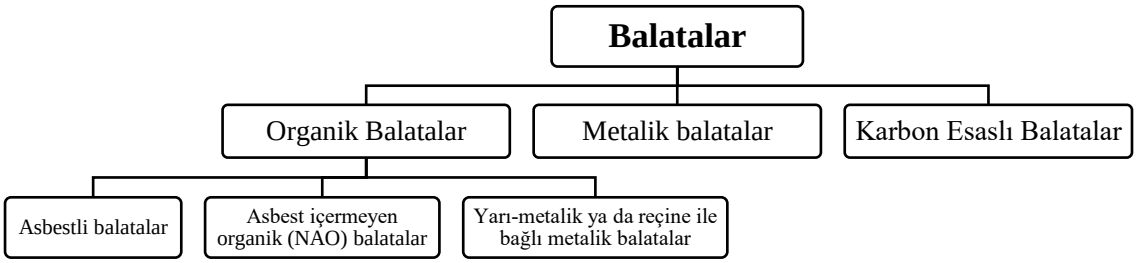
Frenleme esnasında diğer önemli bir etken ise yol ve lastiktir. Yolun eğimi, yolun zemin yapısı, lastiğin diş yapısı, diş derinliği, temas yüzeyi frenlemeye etki eden etkenlerdir.

Lastik hava basıncının azalması fren kuvvetini artırıcı yönde etki ederken, basıncın artması fren kuvvetinin azalmasına neden olmaktadır. Lastik hava basıncının azalması ile maksimum fren kuvvetlerinde artma görülmektedir. Bunun nedeni; lastik hava basıncının azalmasına bağlı olarak temas yüzeyinin artması ve tutunmanın artması olarak değerlendirilebilir. Buna karşılık, lastik hava basıncının artırılması ile maksimum fren kuvvetlerinde azalma olmaktadır. Lastik havasının artması ile lastiğin yola temas yüzeyi azalmış ve lastik ile yol arasındaki tutunma azaldığından frenleme kuvvetinde düşme olmuştur. Lastik dişlerinin basınca bağlı olarak açılması nedeniyle lastikteki kanallar genişleyerek lastiğin yola temasını azaltmaktadır (Bayrakçeken ve Altıparmak, 2007).

1.4. Balatalar

Balata, fren pedalına uygulanan kuvvet sonucunda oluşan fren kuvvetinin etkisi ile kampana iç yüzeyine yâda diske temas ederek sürtünür. Sürtünme katsayısına bağlı olarak değişen bir sürtünme kuvveti oluşur ve kinetik enerjiye sahip olan disk/kampananın enerjisini ısıya dönüştürür.

Otomotiv frenlerinin balata malzemeleri genellikle birçok farklı bileşeni içeren kaba tozlar ve takviye malzemelerinin sıcak olarak sıkıştırılmasıyla oluşturulan kompozitlerdir (Satapathy ve Bijwe, 2004a). Balatalar (Şekil 1.6) genellikle farklı özelliğe sahip bileşenlerden meydana gelir. Reçine ve katı yağlayıcılar en zayıf bileşenler olurken, abrasif parçacıklar ve elyaflar en sert bileşenler olmaktadır (Üstün, 2011).



Şekil 1.6. Balata çeşitleri

Otomotiv frenlemesi için balata malzemeleri genellikle sürtünme katsayısı istikrarı, disk parlatma veya gürültü azaltma gibi belirli işlevleri sağlayan çok sayıda bileşen içeren polimer matris kompozitlerdir. Balata üreticileri, bazı özelliklerin elde edilmesi için formülasyonların nasıl değiştirilmesi gerektiğini deneyimlediklerini bilseler de, balata malzemelerinin sürtünme ve aşınma özellikleri üzerindeki etkisi ile ilgili temel bilgi eksikliği vardır (Österle ve ark., 2007).

Balata malzemeleri sürtünme ısısından kaynaklanan frenleme yüzeyindeki ara yüzey sıcaklığını en aza indirgemek için iyi ısınma kabiliyetine sahip olmalıdır (Venkataraman ve Sundararajan, 2002).

Genel olarak bir fren balatasından;

Sürtünme katsayısının; sıcaklık, fren basıncı ve hızdan bağımsız olması veya sürtünme davranışındaki değişimin az olması,

Aşınma direncinin yüksek olması ve karşı yüzeyi az aşındırması,

Sıcaklığa karşı dayanıklı olması,

Balata malzemesinin sağlığa zararsız olması, beklenir.

1.5. Taguchi yöntemi

Taguchi yöntemi Dr. Genichi Taguchi tarafından 1950'lerde süreç en iyileme tekniği olarak geliştirilmiştir. Taguchi'nin kalite alanına getirmiş olduğu en dikkat çekici katkı, kalite sistemini üretim öncesi (offline) ve üretim süreci (online) olarak ikiye ayırarak bir ürünün kalitesini ve müşteri memnuniyetini, üretim öncesindeki aşamada tasarım ve geliştirmenin mükemmelliği ile yakından ilgili olduğunu gösteriyor olmasıdır (Yıldırım, 2011). Taguchi Yöntemi, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deney tasarım ve optimizasyon yöntemidir. En yaygın olarak, kalite güvence sistemleri kapsamında toplanan verilerin, istatistiksel analizinde kullanılmaktadır. Taguchi'nin deney tasarım yöntemi, farklı parametrelerin, farklı

seviyeleri arasından optimum kombinasyonu saptamak adına oldukça yararlı bir yöntemdir (Gökçe ve Taşgetiren, 2009).

Taguchi, felsefesini üç temel anlayış üzerine bina etmiştir. Sonradan geliştirilen tüm teknikler bu kavramlar ışığında oluşturulmuştur. Taguchi felsefesinin temel prensipleri:

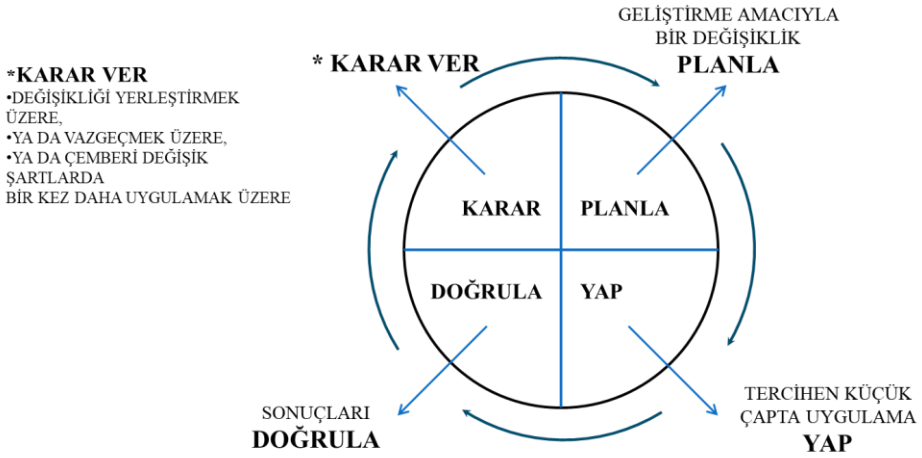
1–Kalite, ürünün tasarımı aşamasında göz önünde bulundurulması gereken bir kıstastır, sonradan ürüne katılamaz.

2–Kaliteye, hedef değerden sapmaların en aza indirilmesiyle en mükemmel düzeyde ulaşılır. Böylelikle ürün kontrol edilemeyen çevre faktörlerine (gürültü faktörleri) karşı dayanıklı hale gelir.

3–Kalitenin maliyeti standart değerlerden sapmanın bir fonksiyonu olarak hesaplanmalı ve kayıplar da sistem çapında ölçülmelidir (Durmaz, 2008).

Taguchi metodu ile deney tasarımında uygulanması gereken bazı temel prosedürler belirlenmiştir. Deneyin tam olarak Taguchi metoduna göre gerçekleştirilmesi için bu prosedürlerin uygulanması gerekmektedir (Gökçe ve Taşgetiren, 2009).

- Problemin tanımlanması
- Gürültü oranının seçimi ve ölçüm sisteminin belirlenmesi
- Deney parametrelerinin ve parametrelere ait seviyelerin belirlenmesi
- Parametrelerin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olarak ayrılması
- Parametreler arasında etkileşimin olup olmadığının kontrol edilmesi
- Deneye uygun ortogonal dizinin seçilmesi
- Tüm parametrelerin ortogonal sütuna atanması
- Kalite kayıp fonksiyonları ve performans istatistiklerinin seçilmesi
- Deneylerin belirli tekrarda yapılması ve sonuçların kaydedilmesi
- Varyans analizinin yapılması ve etkin parametrenin belirlenmesi
- İstenilen sonuca göre en iyi parametre seviye kombinasyonun belirlenmesi
- Doğrulama deneyinin yapılması ve deneyin sonuçlandırılması



Şekil 1.7. Deming'in PYDK çemberi (Şirvancı, 1997)

Taguchi metoduna göre gerçekleştirilmesi için uygulanması gereken prosedürler kısaca Şekil 1.7'de verilen Deming'in PYDK çemberi ile özetlenebilir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Fren sistemi, fren balatası, Taguchi yöntemi, andız hakkında yapılan çalışmalar ve fren balatası ile ilgili standartlar incelenmiştir. Yapılan çalışmaların, tez çalışmamızla ilgili olanlar aşağıda verilmiştir.

Abutu ve ark. (2018), deniz salyangozu kabukları, epoksi reçine (bağlayıcı), grafit (sürtünme düzenleyici) ve alüminyum oksit (aşındırıcı) kullandıkları çalışmalarında, üretim parametrelerini değiştirerek takviye malzemesi olarak deniz kabuğu kullanılarak yirmi yedi farklı numune üretmişlerdir. Karışımın formülasyonu için % 52'lik takviye, % 35'lik bağlayıcı, %8'lik aşındırıcı ve %5'lik sürtünme ayarlayıcı kütlesel yüzde de kullanmışlardır. Yapılan gri ilişkisel analizden, deniz kabuğu takviyeli fren balatasının 14 MPa kalıplama basıncı, 160 °C kalıplama sıcaklığı, 12dk kürleme süresi ve 1 saat ısıl işlem süresi kullanılarak üretilebileceği sonucuna varmışlardır.

Afolabi ve ark. (2015), palm çekirdeği kabuğu (PKS) ve inek kemiğini öğüterek iki farklı tane boyutunda toz haline getirmişler ve elde ettikleri tozları, %60 epoksi ve %10 sertleştirici ile karıştırmışlardır. Yaptıkları testler sonucunda, inek kemiği kullanılan numunelere göre PKS tozu kullanılan numunelerin; yoğunluğu daha düşük, sertliği daha yüksek, su ve yağ emmesi daha düşük, sürtünme katsayısı daha yüksek, basma dayanımı daha yüksek ve aşınma oranı daha düşük çıkmıştır.

Akinci ve ark. (2004), andızın bazı fiziksel ve besin özelliklerini inceledikleri çalışmalarında andız kozalağının 5 farklı nem oranında özelliklerini tespit etmişlerdir. Kozalak yoğunluğunu 0,465-0,488 g/cm^3, meyve yoğunluğunu ise 0,989-0,998 g/cm^3 olarak bulmuşlardır.

Akıncıoğlu ve ark. (2018), Bor oksit tozu ilave ettikleri balata malzemelerinin, sertlik, sıkıştırılabilirlik ve sürtünme testlerine tabi tutmuşlardır. Bor oksitli numunenin sertlik, sıkıştırılabilirlik ve soğuk, sıcak sürtünme katsayıları ticari balatanın değerlerinden yüksek çıkmıştır.

Akpınar (2008), karaçam kozalaklarını 185°C sıcaklıkta ki yağın içerisinde 1,5 dakika bekleterek modifiye etmiş ve daha sonra kuruttuktan sonra öğütmüştür. Modifiye edilmiş karaçam kozalaklarını, normal karaçam kozalaklarını ve cashew tozunu aynı oranlarda kullanarak farklı numuneler elde etmiştir. Yaptığı testler sonucunda modifiye karaçam kozalak tozunun kullanıldığı numunelerde sertlik ve yoğunluk değerlerini arttığını bulmuştur.

Amaren ve ark. (2013), deniz salyangozu kabuğu kullandıkları çalışmalarında,

125µm, 250µm, 355µm, 500µm ve 710µm tane boyutunda salyangoz tozunu fenolik reçine ile karıştırarak elde ettikleri numunelere farklı yük ve hızlarda testler uygulamışlardır. Artan yük, sıcaklık ve hızda aşınmanın arttığını ve en fazla aşınmanın tane boyutu büyük numunelerde olduğunu bulmuşlardır.

Aranganathan ve Bijwe (2016), %10 oranında iki farklı tip (daha yüksek ısıl iletkenliğe sahip sentetik grafit ve doğal grafit) grafit kullandığı çalışmalarında, 3000 d/d doğrayıcı hızında ki bıçaklı mikser de ilk olarak aramiti, etkisiz ve ağır dolgu baritle 5 dakika, ardından cam elyafı ilave ederek 1 dakika, daha sonra ise diğer elyaf ve toz içerikli maddeleri katarak 9 dakika ve son olarak elde edilen bu karışıma reçineyi de ilave ederek 4 dakika daha karıştırmışlardır. 100 t kapasiteli hidrolik preste 155–160 °C'ye ısıtılan kalıpta 7 dakika süre ile 130 kg/cm^2'lik bir basınç uygulanmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda, yoğunluk, sertlik, gözeneklilik, termo-fiziksel özellikler, fren sıcaklıklarında artış ve aşınma performansında yüksek ısıl iletkenliğe sahip sentetik grafitin mükemmel olduğunu belirtmişlerdir.

Baklouti ve ark. (2015), %14 fenolik reçine, %45 barit, %22 kaya yünü, %10 grafit, %7 kauçuk ve %2 alüminadan oluşan balata materyalinin barit oranını %4 azaltıp, yerine %4 karbon elyaf ilave ederek 2 faklı numune elde etmişlerdir. Karbon elyaf ilave edilen numunenin ısıl iletkenliği, yayılması ve etkinliğinin arttığını belirtmişlerdir. Bunun sonucunda fren balatasında daha fazla ısı yayılmasına, verimlilik veya feyd kaybının artmasına neden olur.

Başar ve ark. (2018b), en iyi sonuçları minimum sayıda deney ile elde etmek için Taguchi metodunda deneyler için L_9 ortogonal tasarımı seçmişlerdir. Hazırladıkları balata içeriğine 3 farklı oranda uçucu kül katarak 3 farklı sıcaklıkta üretim yapmışlardır. Ürettikleri numunelerin üç nokta eğme deneyleri sonrasında eğme mukavemetinin yüksek olması istendiğinden bağımlı değişkenin kalite karakteristiği sinyal/gürültü oranı (S/N) dB cinsinden "en büyük en iyi" amaç fonksiyonuna hesaplanmış ve S/N değerleri elde edilmiştir. En iyi sonuç, sıcaklığın 3. seviye ve kül takviyesinin 1. seviye olduğu durumda elde edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Cai ve ark. (2015), novolak fenolik reçine ve boronla modifiye edilmiş rezol fenolik reçineyi hacimce toplam numune içeriğinin %23,6 olacak şekilde karıştırarak 5 farklı numune elde etmişler ve reçinenin termal, mekanik ve tribolojik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları testler sonucunda, reçinelerin oranlarındaki değişim sertliğe çok az etki yaptığını, diğer özellikler üzerinde karmaşık bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Demir ve ark. (2019), cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitlerin abrasif aşınmaya etkisini inceledikleri çalışmalarında, CETP kompozit çubukların sürtünme katsayısının, KETP kompozit çubuklardan daha düşük olduğu belirlemişlerdir. KETP kompozitlerdeki kütle kaybının CETP kompozitlere kıyasla çok daha fazla olduğu görülmüştür.

Erdem ve Altıparmak (2014), hafif ticari araç üzerinde yaptıkları teste, aracı yüksüz, yarı yüklü ve yüklü olarak 3 farklı hızda ve 3 farklı fren pedal kuvveti uygulayarak, disk sıcaklığı ve aracın durma mesafesine etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada, ısınan fren disklerinin taşıtın frenleme performansını olumsuz etkilediği ortaya koymuştur. Pedala uygulanan kuvvetin azalması, sıcaklık artışı ile birlikte durma mesafesini artırdığı belirtilmiştir. Ayrıca, çalışmada ortaya konulan fren etkinliği kaybının en önemli nedeni fren disklerindeki sıcaklık artışı olduğu ifade edilmiştir.

Ertan ve Yavuz (2010), binek taşıtlarda kullanılan ve gri dökme demir ile eş çalışabilecek bir balata malzemesinin yapısal komponentlerinin tribolojik ve fiziksel özelliklere etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında, fenolik reçine, lastik tozu, grafit, kömür, ZnS, $ZrSiO_4$, Fe_2O_3, cashew tozu, $BaSO_4$, $CaCO_3$ ve wollastonite miktarını sabit tutarak bu malzemeler ile bakır tozu, kaya yünü ve aramid liflerini farklı oranlarda karıştırarak 7 adet farklı numune elde etmiştir. Yapılan testler sonucunda, kullanılan balata malzemesi için tespit dilen optimum özellikleri (düşük aşınma oranı ve kararlı sürtünme katsayısı değişimi) sağlayan %6 bakır, %14 kaya yünü ve % 5 oranında aramid lif kompozisyon içermekte olan numunenin sağladığını tespit etmiştir.

Etemoğlu ve ark. (2018), sürtünme katsayısının frenleme süresince aynı olduğu varsayılarak yaptıkları fren sistemlerinin ısıl performansının parametrik olarak inceleme çalışmasında; disk malzemesi olarak dökme demir, paslanmaz çelik ve karbon-karbon kompoziti, balata için ise seramik metal malzemesi kullanılmışlardır. Araç hızını 80,100 ve 120km/h, araç kütlesini 1000, 1500 ve 2000kg, sürtünme katsayısını da 0,2, 0,4 ve 0,6 almışlar ve yaptıkları analiz sonucunda; seçilen sürtünme katsayısı azaldıkça disk balata yüzeyinde daha düşük sıcaklık değerleri oluşmuştur. Disk ve balata arasında sürtünme katsayısı arttıkça aşırı ısınma meydana gelmiştir.

Fei ve ark. (2015), kevlar, selüloz fiber, fenolik reçine içeriğini sabit tutarak barit ve kaolin[1] içeriğini azaltırken karbon elyaf oranını artırarak 4 farklı numune üretmişlerdir.

[1] Kaolin ya da kaolen, granit kayaçlardan elde edilen bir kil türüdür. Bazı seramiklerin ve porselenlerin yapımında kullanılır. Türkiye'de arı kil olarak da bilinir. Beyaz ve yumuşak bir toprak türüdür.

Yaptıkları testlerin sonucunda karbon elyaf oranı artıkça çekme mukavemeti ve porozitenin düştüğünü tespit etmişlerdir. Artan karbon elyaf oranı dinamik sürtünme katsayısını ve aşınma oranını artırmıştır.

Gültekin (2007), tarafından Çevre ve Orman Bakanlığı için hazırlanan "Andız ve Fidan Üretim Teknikleri" kitapçığında; andız ağacı hakkında çeşitli bilgiler verilmiştir. Bu kitapçığa göre; andız, dünya üzerinde yalnızca, Türkiye, Suriye, Lübnan ve Yunanistan gibi Akdeniz ülkelerinde doğal olarak yetişmektedir. Bu genel yayılış alanı içerisinde ülkemizin Doğu ve Orta Akdeniz bölgesinin dağlık kesimlerinde 600 ile 1800 metreler arasında önemli yayılışa sahiptir.

Güney ve Mutlu (2015), derleme çalışmalarında, AB ve ABD'nde taşıtlara uygulanan fren test standartlarını incelemişlerdir. Taşıtların farklı gruplara ayrıldığını ve bununla ilgili farklı standartların olduğunu ifade ederek, bu standartların; FMVSS 105 Test Standardı, FMVSS 135 Test Standardı, SAE J2430 Test Standardı, SAE J2522 Test Standardı, SAE J2681 Test Standardı olduklarını bildirmişlerdir.

Gürlevik ve Gültekin (2008), andız kozalakların kırılmaya karşı oldukça dirençli ve kırılma direncinin kozalağın nem içeriği ile doğrudan ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Ho ve ark. (2005), elyaf takviyesinin, sürtünme malzemesinin mekanik ve tribolojik özelliklerine etkisini inceledikleri çalışmalarında, fenolik reçine ve bakır esaslı malzemeye, karbon fiber, doğranmış çelik lifi, bakır lifi, pirinç lifi, SiO_2-Al_2O_3-K_2O esaslı seramik elyafı ve selüloz polimerik elyafı ilave etmişlerdir. Metal lifleri içeren numunelerin sertlik ve basma dayanımı diğerlerine göre yüksek çıkmıştır. Ortalama sürtünme katsayısı çelik ve karbon fiber kullanılanlarda diğerlerinden fazladır. Kütle ve yoğunluk azalması en fazla selüloz elyaf içeren numunede bulunmuştur.

Idris ve ark. (2015), muz kabuklarını kurutarak bilyeli değirmende öğütmüşlerdir. Öğüttükleri muz kabuklarından asbestsiz çevre dostu, iki çeşit (karbonize edilmiş ve edilmemiş) toz elde ederek bu tozlara %5-%30 oranında reçine ilave etmiş ve numuneler elde etmişler ve bu numunelere testler yapmışlardır. Araştırmalarının sonucunda, muz kabuğu tozlarının fren balatası imalatında asbestin yerini alması için etkili bir şekilde kullanılabileceğini deklere etmişlerdir.

Kahya (2017), farklı bağlayıcı malzeme (karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstık çamı ve sedir ağaçlarının kozalakları) kullanımının frenleme performansına etkisini araştırmıştır. Çalışmasında, fren balatalarında bağlayıcı olarak kullanılan fenolik reçine, yerine karaçam, kızılçam, sarıçam, fıstık çamı ve sedir ağaçlarının kozalakları gibi organik atık ürünlerin öğütülmesi sureti ile elde edilen tozun içinde bulunan reçine fren

balata malzemesi içeriğine katılarak farklı bağlayıcı malzemeler içeren yeni bir formülasyona sahip fren balata numuneleri üretmiştir. Kullandığı orman ürünlerinin fenolik reçine yerine bağlayıcı malzeme olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Kara (2011), üç farklı boyda karbon elyafı, reçine, çelik fiber, cashew, bakır, Al_2O_3, grafit ve pirinç talaşının oranlarını değiştirmeden toz karbonla farklı oranlarda değiştirerek numuneler hazırlamıştır. Yaptığı çalışmada karbon elyaf boyunun balata özelliklerine etkisini incelemiştir. Karbon elyaf boyutunun ve oranının artması ile sürtünme performansı olumsuz olarak etkilenmiştir. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen sertlik testi sonucunda, numunelerin sertlik değerleri arasında büyük farklılıklar gözlemlenmemiştir. Numunelerin yoğunluk testi sonucunda en yüksek yoğunluk değerleri 5mm karbon elyaf katkılı numunelerde elde edilmiştir.

Kim ve ark. (2003). Fren balatası üretim parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi metodunu kullandıkları çalışmalarında, kalıplama zamanı, basıncı, sıcaklığı ile kürleme süre ve sıcaklığını etkin parametre olarak belirlemişler ve bu parametreleri 4 seviyede test etmişlerdir. Kalıplama basıncının ve kalıplama sıcaklığının sırasıyla yüzey sertliği ve gözeneklilik için baskın üretim parametreleri olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, 6 dk. kalıplama süresi, 225°C kalıplama sıcaklığı, 27 MPa kalıplama basıncı, 6 saat ısıl işlem süresi ve 200°C ısıl işlem sıcaklığının en iyi sonucu verdiğini ifade etmişlerdir.

Kim ve Jang (2000), iki farklı novalak fenolik reçine kullandıkları çalışmalarında, reçinenin birisi düz fenolik reçine iken diğeri, metilen bağlarının yüksek sıcaklık duyarlılığını azaltarak ısı direncini arttırmak için bir arakileter ve fenol reçinelerini yoğunlaştırmak suretiyle modifiye edilmiş reçinedir. Yaptıkları çalışma sonunda modifiye edilmiş reçineyi içeren sürtünme materyallerinin iyi bir termal stabilite gösterdiğini belirtmişlerdir.

Koca (2011), dolgu malzemesini değiştirdiği çalışmasında içeriğin %55'ini (çelik fiber, cashew, reçine, bakır, Al_2O_3, grafit ve pirinç tozu) oluşturan kısmı sabit tutmuş ve %45'lik kısmını ise barit ile birlikte uçucu kül, diatomit ve perliti değişik oranlarda katarak 15 farklı numune elde etmiştir. Balata malzemelerine ilave edilen uçucu kül, diatomit ve perlitin %'lik oranı arttıkça, yoğunluğun azaldığını, barit miktarı arttıkça yoğunluğun arttığını tespit etmiştir. Balata içeriğindeki barit oranı arttıkça yoğunlukta ve özgül aşınmada artış olurken sertlik değerlerinde ise azalma meydana geldiğini belirtmiştir.

Kocabaş (2012), balata numunelerin üretilmesinde dolgu malzemesi olarak midye, kemik, hayvan tırnağı ve hayvan boynuzu tozlarını kullanmıştır. Midye tozu

katkılı numunelerin aşınma miktarlarının, midye tozu miktarı arttıkça bir miktar azalış meydana geldiğini görmüştür. Bu durumum sebebini midye tozlarının deney sırasında yüzeyden koparak abrasif malzeme olarak görev yapmasından kaynaklandığına bağlamıştır.

Lijesh ve ark. (2017), Magneto-Rheological (MR) fren performansına disk sertliğinin etkisi üzerine yaptıkları deneysel çalışmada, 4 farklı sertlik değerinde disk kullanmışlardır. Disk sertliği arttıkça diskteki kütle kaybının ve sürtünme katsayısının azaldığını belirtmişlerdir.

Ma ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada 12 farklı malzemeyi karıştırmışlardır. Elde ettikleri numunelerin yoğunluklarını 2,00-2,34g/cm^3, sertliklerini 90,2-107,3HRR arasında bulmuşlardır. Kullandıkları malzemeler içinde, kok, barit, cam elyaf, fenolik reçine, kalsit, grafit gibi malzemelerin olması bizim çalışmamızda da bu malzemelerin kullanılması açısından önemlidir.

Malak (2014), 3 farklı boyda karbon elyaf farklı oranlarda kullanarak numuneler hazırlamıştır. Karıştırma süresini 10 dk olarak belirlemiş ve elyaf boyu uzun olduğu için homojenlik sağlanamamıştır. Bundan dolayı elyaf boyu arttıkça karıştırma süresinin artırılması gerektiğini bildirmiştir. Karbon elyaf oranının artmasının sürtünme katsayısını artırdığını ifade etmiştir. Karbon elyaf oranı arttıkça, yoğunluğun azaldığını fakat sertliğin arttığını belirtmiştir. Ayrıca karbon elyaf katkı oranındaki artışın ortalama sürtünme katsayısında genel anlamda olumlu etkisi olduğunu dile getirmiştir.

Mavi (2014), sıcaklığın etkisine bağlı olarak fren kuvveti değişimini 60, 80, 100 km/h farklı disk hız seviyelerinde değişen 2, 4, 6, 8, 10 bar fren basınçlarında deneyler her bir fren basıncı için üç farklı disk hızında 15 defa yapmıştır. Başlangıç olarak 50 °C sıcaklık değeri seçilip 400°C'ye kadar sıcaklık 50°C aralıklarda artırarak deneyleri tekrar etmiştir. Deneylerin sonucunda fren basıncının artmasına paralel olarak fren kuvveti değerinin arttığını tüm deneylerde gözlemlemiştir. Hızın artması ile fren kuvveti değerlerinin azaldığı, en yüksek fren kuvveti değerlerinin düşük devirlerde çıktığını gözlemlemiştir. Bunun sebebi olarak yüksek devirlerde meydana gelen kayma hızının yüksek olması sonucu sürtünme katsayısı değerlerinin daha küçük olmasına bağlamıştır.

Miceli ve ark. (2011), Türkiye'den topladıkları andız kozalaklarının fenolik kompozisyon ve biyolojik aktiviteleri incelemişlerdir.

Mutlu ve ark. (2016), 20mm uzunluğundaki karbon elyafı, %55 sabit içeriğin içerisine karbon tozu ile birlikte %45 (%5 elyaf - %40 toz, %25 elyaf - %20 toz gibi) oranında katarak 5 farklı numune elde etmişlerdir. Yaptıkları deneylerin sonucunda elyaf

oranı artıkça yoğunluk arttığını, sürtünme katsayısının 0,47-0,56 arasında değiştiğini, kütle kaybının elyaf oranına bağlı olarak önce arttığını, elyaf oranı en yüksek olan numunelerde yeniden azaldığını bulmuşlardır.

Nagesh ve ark. (2014), ürettikleri 4 adet balata numunesini, ticari balata ile kıyaslamışlardır. Ticari balata numunesi kendi ürettikleri numunelerin kesme dayanımı, sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir.

Nanda ve Satapathy (2018), kayma hızı, yük, kayma mesafesi ve elyaf oranını etkili parametre olarak belirlemişler ve bu parametreleri 4 seviyede test etmek için L_{16} ortogonal dizini kullanmışlardır. Numune üretim ve deney şartlarının birlikte faktör olarak alınması dikkat çekicidir. Elyaf oranının en etkili faktör olduğunu bulmuşlardır.

Öztürk (2004), yapmış olduğu doktora tez çalışmasında, fenolik reçine, cam elyaf, taş yünü elyafı, aramid elyaf, sepiyolit elyaf, basarit elyaf, fiberfrax elyaf, çelik elyaf, barit, alçı, grafit ve bronz kullanarak 25 adet farklı numune elde etmiştir. Çalışmasında, numunelerin yoğunluk, ısı iletim katsayısı, sertlik, elastisite modülü, basma dayanımı, eğilme dayanımı, kesme dayanımı, darbe dayanımı, yanma kaybı ve sürtünme katsayılarını inceleyerek kapsamlı bir araştırma yapmıştır.

Öztürk ve ark. (2007), elyaf oranı arttıkça sürtünme katsayısının arttığını, elyaf oranının %30 kadar numunelerde özgül aşınma oranının azaldığını, elyaf oranının daha da artırılırsa aşınmanın arttığını belirtmişlerdir.

Pavitra ve ark. (2018), çalışmalarında %75'i, 11 farklı malzemeden oluşan karışıma %25 oranında kısa cam elyaf ve ferro-silikonu karıştırarak 5 farklı numune elde etmişler ve ticari balata numunesi ile karşılaştırmışlardır. Kısa cam elyaf ve ferrosilikon kullanımının yoğunluk ve sertliği etkilediğini görmüşlerdir. Kütlece % 15 oranında kısa cam elyafı ve % 10 oranında ferrosilikon içeren numune en yüksek eğilme mukavemetine sahiptir. Basma dayanımı ferrosilikon oranı %10'a kadar olan numunelerde oran arttıkça artmış diğerlerinde oran arttıkça azalmıştır. Kısa cam elyaf oranı azaldıkça darbe dayanımı azalmıştır.

Prakash ve ark. (2017), CNT oranı, yük ve kayma mesafesini 4 seviyeli olarak denemek için L_{16} ortogonal deney tasarımını kullanmışlardır. Aşınma oranının en az olması için en etkin parametrenin CNT oranı olduğunu belirtmişlerdir.

Prabhakar ve ark. (2014), ürettikleri kompozit malzemenin aşınma ve sürtünme katsayısına yük, kayma hızı ve kayma mesafesi faktörlerinin etkisini incelemek için bu faktörleri üçer seviyede alarak, L_{27} deney tasarımı yapmışlardır. Yaptıkları deneyler ve analizler sonucunda uygulanan yükün aşınma oranına en fazla etkiyi yaptığını, sürtünme

katsayısına ise kayma mesafesinin en fazla etkiyi yaptığını bulmuşlardır.

Resmi Gazete 28539 (2013), de yayınlanan Asbestle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmeliğin 5. maddesinde; Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ilgili mevzuatındaki hükümler saklı kalmak kaydı ile,

a) Asbestin her türünün çıkarılması, işlenmesi, satılması ve ithalatı,

b) Asbest içeren her türlü ürünün ithalatı ve satılması,

c) Asbest ürünlerinin veya asbest ilave edilmiş ürünlerin üretimi ve işlenmesi yasaktır.

Satapathy ve Bijwe (2004b), ürettikleri 5 farklı numunede barit oranını %3 azaltarak yerine farklı elyaflar kullanmışlardır. Sürtünme katsayısı, aşınma hacmi, sıcaklık artışı gibi kriterleri esas alarak, Çok Kriterli Karar Modeli (MCDM)'ni kullanarak dengeleme ve sıralama yaparak optimizasyon yapmışlardır.

Satır (2006), asbestsiz taşıt fren balatalarının kuru ve yaş sürtünme davranışlarını incelediği çalışmasında, basarit, E-cam elyafı, taş yünü, reçine, kizelgür, alçı, bronz, grafit, alüminyum oksit ve silisyum oksit kullanarak 9 adet numune üretmiştir. Bu numunelerin ıslak ve kuru sürtünme katsayılarını incelemiştir. Kuru sürtünme katsayısını %46-%58 arasında, ıslak sürtünme katsayısını %19-%29 arasında bulmuşlardır.

Shanker (2018), yapmış olduğu derlemede, mekanik frenlerde en önemli parçanın disk olduğunu belirterek, diskte; yüksek ve tekrarlanabilir sürtünme katsayısı, çevresel koşullardan etkilenmezsizlik, yüksek sıcaklığa dayanabilirlik, yüksek aşınma direnci ve her yüzeyle esneklik ve uyumluluk gibi özelliklerin olması gerektiğini belirtmiştir.

Singh ve ark. (2016), çimento fırını tozu (CKD) kullandıkları çalışmalarında, kütlece %10 lapinus, %5 kevlar lifi, %5 grafit ve %70 CKD içeren sürtünme materyali formülasyonunu sabit tutarak içerisine, %10 miktarda farklı fenolik reçinelerle karıştırmışlardır. Düz fenolik, modifiye edilmiş kaju fıstığı kabuğu sıvısı (CNSL), modifiye edilmiş keten tohumu yağı, modifiye edilmiş alkil-benzen olmak üzere 4 farklı fenolik reçine ile numune üretmişlerdir.

Sudheer ve ark. (2014), %50 epoksi ile %50 cam elyaf karıştırmışlar, daha sonra epoksiyi azaltarak %7,5 potasyum titanat ilave etmişler, üçüncü olarak da epoksiyi biraz daha azaltarak %2,5 grafit ilavesi yapmışlardır. Potasyum titanat ilavesi sürtünme katsayısını artırırken, grafit ilavesi belirgin şekilde düşürdüğü görülmüştür. Yoğunluk ve sertlik potasyum titanat ve grafit ilavesi ile artmış, aşınma oranı ise azalmıştır.

Sugozu ve ark. (2014), kızılçam kozalağı kullandıkları çalışmalarında,

kullandıkları malzemelerin %76'lık kısmını sabit tutarak, %24 lük kısmında kızılçam kozalağı tozu ve boraks kullanmışlardır. Kızılçam kozalağı tozunu % 4, 8, 12, 16 ve 20 oranında kullanmışlardır. Sürtünme katsayısının, artan kozalak tozu oranı ile azaldığını, %4 lük numune hariç diğerlerinde sertliğin ise arttığını bulmuşlardır.

Sugözü ve ark. (2009), üretim basıncının performansa etkisini araştırmak için yaptıkları çalışmalarında, içeriği aynı olan numunelerin üretim şartlarından sadece basıncı 3 farklı değerde değiştirerek testler yapmışlardır. Üretim basıncındaki artışın yoğunluk ve sertliği artırırken, aşınma oranını düşürdüğünü bulmuşlardır.

Sugözü (2015), maun cevizi tozunu 3 farklı oranda katarak hazırlamış olduğu numunelerin özelliklerini incelemiştir. Maun cevizi oranı arttıkça yoğunluk ve sertlik değerlerinin arttığını bulmuştur.

Şeker (2013), Taguchi Yönteminde L_{18} deney tasarımına göre hazırladığı numunelerde, ortak içerik olarak 20 g reçine, 3 g Al_2O_3 ve 52 g barit kullanmıştır. Bu ortak içeriğe seviyelere göre; pirinç talaşından 1 ve 3 g olarak 2 seviyeli, cashew'den 6, 9, 12'şer, karbon elyaftan 9, 12, 15'şer, bakır tozundan 6, 9, 12'şer, grafitten 3, 6, 9'ar gram olarak 3 seviyeli olarak formülize etmiştir. Yaptığı analiz sonucunda, pirinç talaşından 3 g, cashew den 6 g, karbon elyaftan 9 g, bakır tozundan 9 g ve grafitten 9 g kullanmanın en büyük performans istatistiği değeri verdiğini bulmuştur.

Talib ve ark. (2003), 750 d/d hızda, 100, 200, 400, 600 ve 800 N yükte, 3, 5, 9, 12 ve15 dakika frenleme süresinde, numuneleri mekanik bir aşınma için, döner bir perlittik gri dökme demir rotoruna karşı bastırarak incelenmişlerdir. Frenleme sırasında gözlenen ana aşınma olaylarını; (i) abraziv, (ii) adheziv, (iii) yorulma, (iv) delaminasyon ve (v) termal olarak belirtmişlerdir. Mikro yapı incelemesinde, yüzey altında oluşan mikro çatlakların, şu sebeplerden dolayı olduğunu belirtmişlerdir. (i) mikro boşlukların büyümesi, (ii) mikro boşlukların birleşmesi, (iii) ikinci faz partiküllerinin birleşmesi ve (iv) mikro boşlukların birleşmesi ve ikinci faz parçacıkları.

Tiwari ve ark. (2014), barit ve cenosphere[2] içeren numuneler üreterek, elde edilen numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Cenosphere kullanılan numunelerin, yoğunluk ve porozite değerlerinin barit kullanılan numunelere göre daha düşük olduğunu bulmuşlardır.

TS 555 (1992), karayolu taşıtlarının sürtünmeli frenlerinde kullanılan balataların tarifine, sınıflandırma ve özelliklerine, numune alma, muayene ve deneyleri ile piyasaya

[2] Piroliz sırasında veya kömürün yanması sırasında oluşan gözenekli veya içi boş karbonlu küre benzeri bir parçacık

arz şekline dairdir. Bu standart balata konusunda ülkemizdeki en kapsamlı standarttır.

Bu standartta balata ile ilgili;

- Sürtünme katsayısı ● Yoğunluk ● Özgül aşınma ● Sertlik,
- Kesme kuvveti ● Eğilme ● Isı geçirgenliği ● Kalınlaşma
- İç kesme dayanımı, ● Esneklik ● Sıkıştırılabilirlik ●Yanma kaybı
- Yağ, fren sıvısı, su ve tuzlu suya dayanım ● Genleşme(kampana)
- Korozyon sebebiyle demir yüzeylere tutunma ● Boyut muayenesi
- Yüzey düzgünlüğü ve pürüzlülük ● Pah
- İşaretleme ve ambalajlama özellikleri ve bu özellikler için yapılacak deney şartları yer alır.

TS 9073 (1991), karayolu taşıtlarında kullanılan disk fren ve kampana fren balatalarının iç kesme kuvvetinin ölçülmesi metoduna dayanır.

TS 9076 (1991), bu standard, fren balatalarının sürtünme özelliklerinin küçük deney parçaları kullanarak değerlendirilmesi ile ilgili deney metoduna dairdir.

Wahlström ve ark. (2011), pin on disc makinesi ile aşınma testi esnasında, havadaki aşınma parçacıklarına odaklanan çalışmalarında, disk, ortalama 7,5 m/sn'lik bir kayma hızı için 3000 rpm'lik sabit bir hızda döndürülmüştür. Nominal temas basıncı, aracın hızını azaltan, ancak onu durdurmayan hafif frenlemeye örnek olması için 0,4 MPa seçilmiştir. Numuneler 30 dakika ve buna karşılık gelen 13,5 km kayma mesafesinde denenmiştir. Deney esnasında, muhafaza altına alınan deney makinesinin içine pompa ile hava gönderilmiş ve kopan parçacıklar ortamdan uzaklaştırılmış ve toplanarak analiz edilmiştir.

Yawas ve ark. (2016), çalışmalarında, deniz salyangozu kabuğu tozunu 5 farklı tane boyutunda kullanmışlardır. En iyi sonucu en küçük tane boyutunun kullanıldığı numune vermiştir. En küçük tane boyutlu numune ile ticari balata numunesini kıyaslayınca, en küçük tane boyutlu numunenin daha olumlu sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Yıldırım (2011), Taguchi yöntemi hakkında bilgi vermektedir. Sonuca etki edeceğini düşündüğü 3 faktörü, 3 seviye olarak L_9 deney tasarımına göre çalışma yapmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez çalışmasına başlarken, konu hakkında ön bilgi sahibi olabilmek için, balata konusunda hangi çalışmalar yapılmış, bu çalışmalarda hangi değişkenler nasıl kullanılmış detaylı şekilde araştırılmıştır. Yapılan bu araştırma sonucunda öncelikle balata içeriğine karar verilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 3.1. Balata üretiminde kullanılan malzemeler ve kullanım oranları

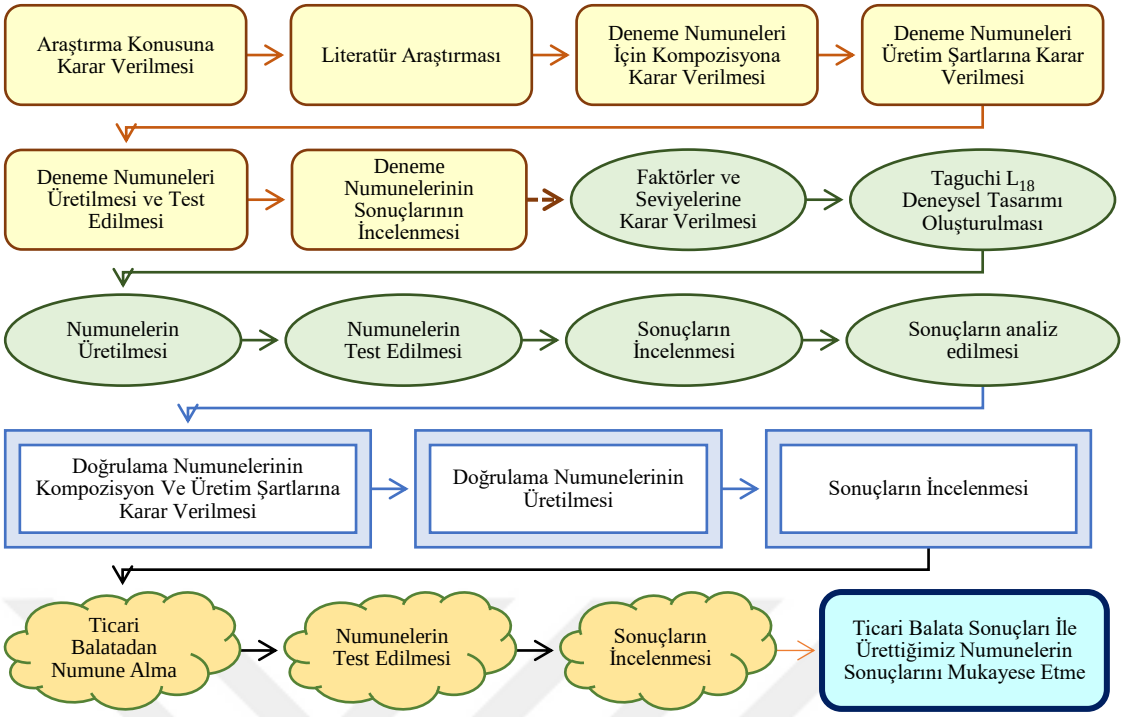
Malzemeler	İçerikteki Oranı %			Malzemeler	İçerikteki Oranı %		
	Min.	Ort.	Maks.		Min.	Ort.	Maks.
Alçı	8,06	13,93	15,00	Kauçuk Tozu	1,82	3,57	10,00
Alüminyum Oksit (Al2O3)	0,50	3,13	5,00	Kevlar	5,00	9,89	30,00
Antimon Sülfit (Sb2S3)	0,50	3,25	4,00	Kizelgur, diatomit	10,00	10,00	10,00
Aramid	2,50	8,81	30,00	Kok Kömürü	4,24	8,75	18,00
Bakır Tozu	2,00	17,09	75,00	Kolemanit (Ca2B6O11.5H2O)	4,00	12,00	20,00
Baryum Sülfat (BaSO4) Barit	4,85	27,62	60,00	Kurşun (Pb)	7,52	8,12	8,67
Basarit	10,00	29,05	52,70	Kurşun sülfür (PbS)	8,00	8,00	8,00
Bazalt	3,00	18,17	40,00	Kuvars (SiO_2)	0,50	3,44	8,00
Bor Nitrürü	2,00	6,25	10,00	Kükürt (S)	0,01	0,01	0,01
Borax (Na2B4O7.10H2O)	4,00	12,00	20,00	Lapinus Fiber	10,00	14,25	27,50
Borik Asit ($B(OH)_3$)	4,00	12,00	20,00	Lastik Tozu	2,00	2,00	2,00
Bronz	4,00	43,93	90,00	Magnezyum Oksit	5,00	5,00	5,00
Cam Elyafı	0,00	17,02	30,00	Mermer Tozu	43,00	49,00	55,00
Cashew particle	4,00	8,62	20,00	Molibden disülfit (MoS2)	1,00	3,85	8,00
Cellulose	3,00	17,17	30,00	PAN (poly-acrylo-nitrile)	3,00	3,00	3,00
Cenosphere	35,00	45,83	60,00	Fenolik Reçine	5,00	19,12	45,00
Çay Elyafı	13,86	22,95	30,00	Pik Tozu	10,00	15,67	35,00
Çelik Yünü	3,70	13,12	51,12	Pirinç Fiber	4,00	10,80	20,00
Çinko (Zn)	0,50	2,50	4,00	Pirinç Talaşı	1,00	2,31	3,00
Çinko Sülfür (ZnS)	4,00	4,00	4,00	Pirinç Tozu	2,00	4,65	12,73
Demir Tozu	4,00	10,52	25,00	Potasyum Titanate (K2O-6TiO2)	0,00	15,59	30,00
Diatomit	2,00	5,00	8,00	Sedir	4,00	12,00	20,00
Fe_2O_3	4,00	4,00	4,00	Sepiyolit (Lületaşı)	0,50	15,23	41,00
Fiberfrax	10,00	14,72	30,00	Seramik Fiber	4,00	16,00	30,00
Flax (Keten, Kendir)	3,00	4,50	6,00	Silisyum Dioksit (SiO_2)	2,00	4,00	5,00
Flyash	55,00	65,69	76,00	Silisyum Karbür (SiC)	3,00	4,13	6,00
Grafit, Alümina	8,00	10,46	12,00	Talk	5,00	22,27	45,96
Granit	2,00	8,00	14,00	Tanen	3,00	4,14	5,00
Graphite	1,00	5,27	15,00	Taş Yünü	5,00	17,36	40,00
Kalay (Sn)	5,00	7,48	10,05	Tungsten disulfide	0,00	7,50	15,00
Kalsiyum hidroksit Ca(OH)2	1,00	2,24	4,00	Üleksit (NaCaB5O9.8H2O)	4,00	12,00	20,00
Kalsiyum Karbonat CaCO3	7,00	9,51	13,32	Vermikülit	5,00	7,33	10,00
Karbon (C)	2,67	23,24	40,00	Wollastonite ($CaSiO_3$)	8,00	8,00	8,00
Karbon Elyaf	3,00	12,67	25,00	Zirkenyum Silikat (ZrSiO)	0,50	4,00	6,00

Çizelge 3.1'de daha önce balata içeriği olarak kullanılan malzemeler alfabetik sırayla verilmiştir. Çizelgede verilen malzemeler; kaynak araştırmasında incelenen bazı çalışmalar ile tez çalışmasının diğer kısımlarında atıf yapılan bazı çalışmaları içerir. İlave olarak (Boz, 1999; Dönmez, 2000; Kim ve Jang, 2000; Jang ve ark., 2001; Kim ve ark., 2001; Mutlu, 2002; Boz, 2003; Cho ve ark., 2003; Kim ve ark., 2003; Jang ve ark., 2004; Öztürk, 2004; Satapathy ve Bijwe, 2004a; Cho ve ark., 2006; Satapathy ve Bijwe, 2006; Gurunath ve Bijwe, 2007; Öztürk ve ark., 2007; Bijwe ve ark., 2008; Chen ve ark., 2008; Stadler ve ark., 2008; Albayrak, 2009; Dadkar ve ark., 2009; Dante ve ark., 2009; Gurunath ve Bijwe, 2009; Sugözü, 2009; Sugözü ve ark., 2009; Akdoğu, 2010; Berek, 2010; Dadkar ve ark., 2010; Ertan ve Yavuz, 2010; Kumar ve Bijwe, 2010a; 2010c; 2010b; Patnaik ve ark., 2010; Kara, 2011; Kumar ve Bijwe, 2011a; Kumar ve ark., 2011a; Kumar ve ark., 2011b; Liew ve Nirmal, 2013; Şeker, 2013; Timur ve Kılıç, 2013; Kachhap ve Satapathy, 2014; Malak, 2014; Tiwari ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2014; Singh ve Patnaik, 2015; Ilanko ve Vijayaraghavan, 2016; 2017; Ma ve ark., 2018) çalışmalarını içeren toplam 50 farklı çalışmadan alınmıştır.

Bu çalışmaların tamamında, kullanılan malzemelerin elde edilen numunelerde hangi oranlarda kullanıldığı verilmiştir. Yapılan çalışmalarda farklı malzemeler farklı oranlarda, farklı üretim şartlarında çalışılmıştır. Ayrıca üretilen numunelerin hangi özelliklerinin incelendiğine bakıldığında, yoğunluk, sertlik, sürtünme katsayısı, aşınma oranı gibi çok farklı özellikler karşımıza çıkmaktadır. Yaptığımız bu inceleme ışığında Şekil 3.1'de verilen akış şeması oluşturulmuş ve bu şemaya göre işlemler yapılmıştır.

Bu çalışmanın farklı aşamalarında, kullanılan malzemeler ve oranları aşağıda verilmiştir.

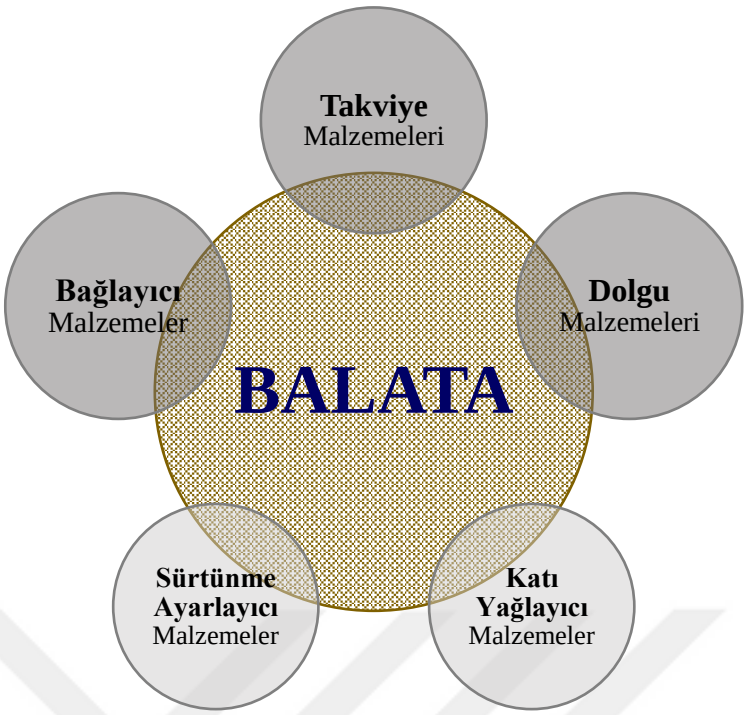
- Deneme numunelerinde; Barit(%25, %55), kalsit(%25, %55), salyangoz tozu(%30, %55), midye tozu(%30, %55), yengeç tozu(%30, %55), andız kozalağı tozu(%30, %55), fenolik reçine(%20), kok kömürü(%5) ve cam elyaf(%20)
- L_{18} numunelerinde; temel içerik [(barit %50, fenolik reçine%25, kok kömürü%5, elyaf türleri (cam elyaf, karbon elyaf ve bazalt elyaf) %20], ilave olarak andız kozalağı tozu (%10,%25,%40)
- Doğrulama numunelerinde; temel içerik [(barit %50, fenolik reçine%25, kok kömürü%5, elyaf türleri (cam elyaf, karbon elyaf ve bazalt elyaf) %20], ilave olarak andız kozalağı tozu (%0,%5,%15,%20)
- Çözüm numunelerinde; barit %36, fenolik reçine%18, kok kömürü%3,6, cam elyaf %14,4, andız kozalağı tozu %18 ve ayrı ayrı bronz tozu %10, lastik tozu %10



Şekil 3.1. Çalışmada takip edilen akış şeması

Sürtünme malzemeleri esas olarak dört içerikten oluşur. Bunlar; bağlayıcı, elyaf, sürtünme düzenleyiciler ve dolgu maddeleridir. Reçine veya matris olarak bilinen bağlayıcı, sürtünme ve aşınmaya katkıda bulunmanın yanı sıra kompozitin mekanik bütünlüğünü sağlar. Çok fonksiyonlu elyaflar, frenleme esnasında oluşan kayma gerilmelerin absorbe edilmesinde kritik bir rol oynar, aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda balata bütünlüğünü koruyarak sürtünme katsayısı (μ) ve aşınmayı da etkiler. Sürtünme düzenleyicileri, μ ortalamasını ve dalgalanmalarını en aza indirgemek için eklenir. Dolgu maddeleri, fonksiyonel dolgular (solmaya karşı direnç, gözeneklilik, ısıl iletkenlik, vb.) ve boşluk dolgu maddeleri (esas olarak maliyeti düşürmek için) olarak tekrardan kategoriye ayrılır (Kumar ve Bijwe, 2011b).

Literatürde balata içeriği malzemeleri bazı araştırmacılar en az üç gruba ayılmaktadırlar. Bu malzeme grupları; takviye malzemeleri, bağlayıcı malzemeler ve dolgu malzemeleridir (Dönmez, 2000; Öztürk ve ark., 2007; Gümüş, 2012). Bunun yanı sıra bazı bilim insanları malzeme gruplarına; sürtünme ayarlayıcılar, renklendiriciler, aşındırıcılar, yağlayıcılar, temizleyiciler ve metalik dolguları da eklemektedirler (Baklouti ve ark., 2015; Demir ve ark., 2019). Balata bazen 3-4 farklı malzemeden oluşurken, bazen bu sayı 10-15 malzemeye kadar çıkmaktadır.



Şekil 3.2. Balatayı meydana getiren malzeme grupları

Numuneler de kullanılan malzemeler ve malzeme oranları ile malzeme özellikleri (tane boyutu, elyaf boyu, saflık) değiştikçe, numunelerin özellikleri de değişmektedir. Literatürde balatayı oluşturan malzeme grupları daha önce yapılan çalışmalarda farklı gruplandırmalar olmakla birlikte en çok Şekil 3.2 de verildiği gibi 5 gruptan oluşmaktadır.

3.1.1. Dolgu malzemeleri

Dolgu maddeleri istenen sürtünme özelliklerini bozmadan, hacim doldurmak ve maliyeti düşürmek amacıyla katılır. Isının homojen bir şekilde dağılması ve sürtünme katsayısının ayarlanması, mukavemetin ve korozyon direncinin artırılması ve balatanın renklendirilmesi dolgu maddelerinin yardımıyla sağlanmaktadır (Ayar, 1991).

Balatalarda birçok dolgu malzemesi kullanılmış ve denenmiş olmasına rağmen, literatürde en çok kullanılan barit ve alternatifi olan kalsit ile çalışmamızda kullanılanlar hakkında bilgi verilmiştir.

3.1.1.1.Barit

Barit minerali ($BaSO_4$) baryum (Ba) elementinin ve bileşiklerinin ana kaynağını teşkil eder (Koca, 2011). Balatalarda barit çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan barit 5µm tane boyutunda, Barit Maden Türk A.Ş. firmasından temin edilmiş olup teknik özellikleri ve resmi Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Baritin teknik özellikleri (http:baritmaden, 2017) ve resmi

BaSO4	%	91-93	
Yoğunluk	g/cm^3	4,25 (min.)	
Sertlik	Moh's	3-3,5	
Nem / Fabrika Çıkışı	%	0,1 (maks.)	
Yağ Emme Değeri	ml/100g	15-16	
Asitlik Değeri(pH)	%	6-8	

3.1.1.2.Kalsit ($CaCO_3$)

Kalsit bir diğer adı ile kalsiyum karbonat, halk arasında kireç taşı olarak bilinen bir tür kimyasal bileşiktir. Baritin ucuz bir alternatifidir. Kullanıldığı yere göre kompozitin mekanik dayanımını, elektriksel direncini ve rijitligini artırmaktadır. Kalsiyum karbonat düşük maliyetinden ve yüksek sıcaklıklara dayanımından ötürü balata sektöründe de dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Çiftçi, 2010; Demirhan, 2017).

Çizelge 3.3. Kalsit'in özellikleri (Ünaldı, 2016) ve tozunun resimi

Kimyasal Bileşimi	**Değer (%)**	**Fiziksel Özelliği**	**Değer**	
$CaCO_3$	99,79	Sertlik (Moh's)	3	
MgO	0,431	Yoğunluk (g/cm^3)	2,7	
Na_2O	0,224	Oluşum entalpisi (kg.cal/mol)	288,45	
SiO_2	0,034	Özgül ısı (cal/g.°C)	0,2	
P_2O_5	0,073	Isıl İletkenlik (g.cal/sn)	0,0071	

Deneme numunelerinde kullanılan kalsit, Konya-Selçuklu ilçesinde taş kırma tesisi olarak faaliyet gösteren Yapıtaş Madencilik firması tarafından taş kırma tesisinde oluşan tozların filtrelenmesi esnasında elde edilmiş ve ilgili firmadan temin edilmiştir. Kalsitin özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

3.1.1.3.Midye tozu

Midye kabuğu, Ordu-Ünye ilçesinde faaliyet gösteren "Güneş Dede Midye Kırma Tesisi" firmasından kırılmış olarak temin edilmiştir. Çubuklu değirmende öğütülerek toz haline getirilmiş ve 1 mm'lik elekte elenerek kullanılmıştır.

Midye kabuğunun ana maddesi kalsiyum karbonat ($CaCO_3$)'tır. Çizelge 3.4'de iki

farklı tane boyutunda midye tozunun kimyasal kompozisyonu ve resmi görülmektedir.

Çizelge 3.4. Midye kumunun kimyasal kompozisyonu (Martínez-García ve ark., 2019) ve resmi

İçerik %	Midye Kumu (Tozu)	
	Kalın (0-4mm)	İnce (0-1mm)
$CaCO_3$	95,088	94,664
SiO_2	1,112	2,580
Na_2O	0,354	0,508
MgO	0,205	0,277
SrO	0,116	0,192
P_2O_5	0,087	0,105
Br	0,009	0,012
CuO	0,010	0,011
Al_2O_3	<0,010	<0,010
Cl	<0,009	<0,009
ZrO_2	0,005	0,010
K2O	<0,006	<0,006
Fe_2O_3	<0,005	<0,005
ZnO	<0,004	<0,004



3.1.1.4.Salyangoz tozu

Salyangoz kabuğu % 99 oranında $CaCO_3$ yapısında olup deri salgılarıyla oluşturulur. Diğer % 1'ini ise MgO, NaCl, FeO, SiO_2 ve protein eteri ekstraktı (yağ) oluşturur (https://bakkakutuphane). Salyangoz kabuğu, Ordu-Ünye ilçesinde faaliyet gösteren "Güneş Dede Midye Kırma Tesisi" firmasından kırılmış olarak temin edilmiştir. Çubuklu değirmende öğütülerek toz (Şekil 3.3) haline getirilmiş ve 1 mm'lik elekte elenerek kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Salyangoz tozu resmi

3.1.1.5.Yengeç tozu

Yengeç kabuğu tozu, kitin[3] ($C_8H_{13}O_5N$), kalsiyum karbonat ve proteinler içerir (Samadi ve ark., 2018). Yaklaşık olarak, %31 kalsiyum, %0,6 sodyum, %0,4 stronsiyum içerir (Zeng ve ark., 2018).

Yengeç tozu (Şekil 3.4) ithal olarak temin edilmiştir ve 1 mm'lik elekte elenerek kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Yengeç tozu resimi

3.1.2. Katı yağlayıcılar

Sürtünme stabilitesi, solmaya karşı direnç ve gri dökme demir disklerin ve sürtünme materyallerinin aşınması, sürtünme materyallerine ilave edilen katı yağlayıcı maddeden etkilenir (Cho ve ark., 2006). Katı yağlayıcı maddeler, sürtünme ara yüzeyinde ve özellikle dökme demirden imal edilen karşı yüzeyde ara malzeme oluşumuna yardım ederler. Belirli sıcaklık aralığında sürtünme kararlılığı sağlayarak, sürtünme malzemesinin aşınmasını azaltır. Genellikle Grafit, MoS_2, Sb_2S_3 ve çeşitli metal sülfürler katı yağlayıcı olarak kullanılırken, bunların dışında daha ucuz olan karbon siyahı ve petrol koku da yağlayıcı olarak kullanılır (Öztürk, 2004).

3.1.2.1.Kok kömürü

Kömür, grafit ve elmas gibi bir karbon mineralidir. Elmasın yoğunluğu 3,5 g/cm^3, grafitin 2,1-2,3 g/cm^3 iken, kömürün yoğunluğu 1,3-1,9 g/cm^3, dür (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018). Kok kömürü, bazı taşkömürlerinin havasız ortamda uçucu bileşenleri

[3] Eklembacaklılar tarafından dış iskeletin kurulmasında kullanılan ve mantarların hücre çeperini oluşturan karbonhidrata verilen isimdir.

uzaklaştırılana kadar ısıtılmasından sonra kalan katı artıktır. Petro-kok ise ham petrolün refinasyonu esnasında elde edilen yan üründür.

Kok, balata malzemesi içerisinde yağlayıcı olarak görev alan ve karışım içerisine %5-10 civarında katıldığında sürtünme katsayısını ayarlama özelliğine sahiptir. Partikül boyutu ve malzeme içerisindeki konsantrasyonu arttıkça sürtünme katsayısını azaltma, aşınma özelliklerini iyileştirme etkisine sahiptir. Özellikle balata da en çok kullanılan türü petro-kok'tur (Ertan, 2008). Petrokokun kimyasal içeriği ve tozunun resmi Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Petrol kokunun karakteristikleri(Marsh ve Rodríguez-Reinoso, 2006) ve resmi

İçerik	wt%	
Karbon	88,61	
Hidrojen	2,80	
Azot	1,06	
Kükürt	7,30	
Oksijen	0,00	
Kül	0.23	
Nem	8,37	

3.1.3. Sürtünme ayarlayıcılar

Sürtünme ayarlayıcı veya sürtünme düzenleyici malzemeler balatanın sürtünme katsayısını istenilen değere getirmek için ilave edilirler. Sürtünme katsayısı, fren kuvvetini ve durma mesafesini etkileyecektir. Sürtünme ayarlayıcılar, sürtünme katsayısını kararlı tutarak, balatanın ve karşı yüzeyin aşınma oranlarını kontrol etmek amacıyla kullanılır.

Kaynak araştırması yapılırken birçok çalışmada sürtünme ayarlayıcı olarak, kaju (cashew) tozu kullanıldığı görülmüştür. Kajunun meyve kabuğu tozu olması ve bazı çalışmalarda bu meyve kabuğundan elde edilen reçinenin kullanılması, ülkemizde meyvelerinden kaynatılarak pekmez elde edilen veya tespih yapımında kullanılan, kırılmaya karşı dayanıklı sert bir meyve olan andız ağacı kozalağı tozunun da kaju tozu yerine sürtünme ayarlayıcı olarak kullanılabileceği düşünülmüş ve çalışmada kullanılmıştır.

3.1.3.1.Andız

Andız, Cupressaceae familyasına ait bir türdür. Çok geniş olan bu familya dört alt

familyayı ihtiva etmekte ve andız ağacı juniperoidea alt familyası içinde kendine yer bulmaktadır. Bu alt familya Juniperus taksonlarını içermekte ve andız, juniperus'lar içerisinde oxycedrus seksiyonunda (Juniperus drupacea) yer almaktadır. Fakat daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda andız ağacının juniperus'lar içerisinde ayrı bir seksiyonda incelenmesi kanısına varılmıştır (Dönmez, 2005).

Andızın mevcut coğrafi aralığı, Yunanistan'ın Mora Yarımadası'nın güney kısımları, Türkiye'nin güney kısımları ve Suriye ile Lübnan dağlarıdır (Yavuz ve Yilmaz, 2017). Ülkemizde andızın egemen olduğu orman alanı yaklaşık 20.000ha, diğer türlerle grup yâda münferit olarak karışıma girdiği orman alanı ise en az 150.000ha, münferit olarak yayıldığı alan ise çok daha fazladır (Gültekin, 2007).

Andız kozalağının kimyasal özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir. Andız kozalağının kimyasal yapısında bulunan lipit ve potasyum değeri ilgi çekicidir.

Çizelge 3.6. Andız kozalağının kimyasal özellikleri (Akinci ve ark., 2004)

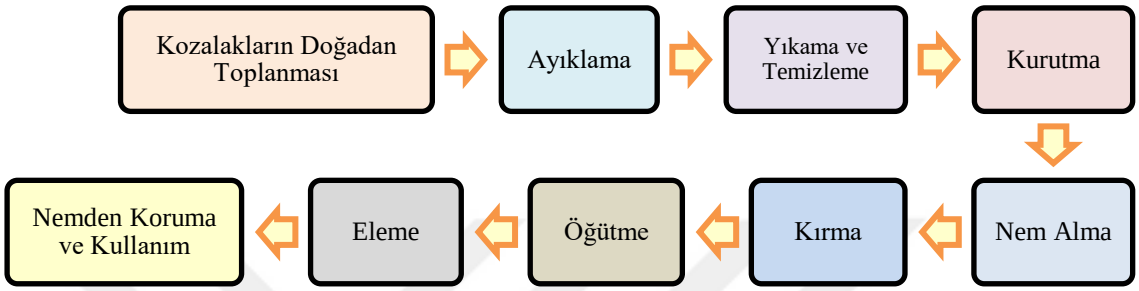
Özellik	**Değer**
İndirgeyici Şeker (g/kg)	212.9±14.7
Sükroz (g/kg)	105.7±6.1
Toplam Kuru Madde (g/kg)	765.7±12.8
Çözünür Katı (g/kg)	336.8±5.9
pH	5.77±0.03
Protein (g/kg)	24.5±0.4
Lipit (g/kg)	42.8±0.37
Kül (g/kg)	25.1±0.8
K (g/kg)	10.01±0.21
Ca (g/kg)	1.06±0.064
Mg (g/kg)	0.48±0.015
P (g/kg)	0.83±0.011
Na (g/kg)	0.09±0.025
Fe (g/kg)	0.02±0.005
Cu (g/kg)	0.03±0.006
Mn (g/kg)	0.009±0.0004
Zn (g/kg)	0.014±0.002

Çizelge 3.7. AKT'nun EDX analiz sonuçları

C	**O2**	**S**	**Ca**	**Fe**	**Mg**	**Si**	**Al**	**Ba**	**Ti**	**K**
36,05	57,92	1,24	0,56	0,97	0,13	2,09	0,11	0,16	0,01	0,79

Çalışmamızda kullandığımız andız kozalakları, Karaman ili Sarıveliler ilçesinden doğadan kabuklu, güneşte kurumuş olarak toplanmıştır. Kabuğu hasar görmüş, çatlamış

vb. olanları ayıkladıktan sonra sağlam kozalakların dışında bulunan yabancı maddelerin temizlenmesi için su ile yıkanmıştır. Kozalaklar açık havada kurutulmuştur. EDX analizi sonuçları Çizelge 3.7'de verilen AKT'nun üretim akış diyagramı, Şekil 3.5'de verilmiştir. Kozalaklar, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında çubuklu değirmende öğütülerek toz haline getirilmiştir. Elde edilen tozlar 1 mm'lik elek ile elenmiştir.



Şekil 3.5. AKT'nun üretim akış diyagramı

Andız kozalağının resimleri şekil 3.6'da verilmiştir.



Kozalak | Kozalak kesiti | Kozalak tozu

Şekil 3.6. Andız kozalağı ve tozunun fotoğrafları (Aras ve Tarakçıoğlu, 2016)

3.1.4. Takviye malzemeleri

Kompozitlerde takviye elemanının esas fonksiyonu, matrisin rijitliğini ve dayanımını artırarak yükü taşımaktır. Matris malzemesinin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan elyaflar sürekli veya kesikli olmak üzere iki farklı fazda bulunabilirler. Takviye elemanı, kompoziti oluşturan en önemli elemanlardan biri olup malzeme üzerine gelen yükün büyük kısmını taşır. Elyafın kimyasal yapısı, çapı, boyu malzeme içerisindeki oranı kompozit malzemenin başta mekanik özellikleri olmak üzere tüm özelliklerini belirleyen etkenlerdir.

Elyaf balata içinde her tarafa dağılarak, bütünlüğü sağlayarak dayanımı artırır.

İlave olarak balatanın aşınma ve sürtünme özelliklerine de etki etmektedir.

Bazalt elyafın bazı özelliklerinin, cam elyaf ve karbon elyafın özellikleri ile karşılaştırılması Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Bazalt elyafın mekanik özelliklerinin diğer elyaflarla karşılaştırılması (Pavlovski ve ark., 2007; Colombo ve ark., 2012)

Özellikler	**Bazalt Elyaf**	**E-Camı Elyafı**	**Karbon Elyaf**
Çekme Mukavemeti (MPa)	3000 - 4840	3100 - 3800	3500 - 6000
Elastisite Modülü (GPa)	79,3 - 93,1	72,5 - 75,5	230 - 600
Kopma Uzaması (%)	3,1	4,7	1,5-2
Yoğunluk (g/cm^3)	2,65-2,80	2,50-2,62	1,75-1,95
Elyaf Çapı (µm)	6 - 21	6 - 21	5 - 15
Kullanım sıcaklığı (°C)	-260…..+700	-50…..+380	-50…..+700
Maliyet (kg/$)	2,5	1,1	30

3.1.4.1.Cam elyaflar

Cam elyafı silis-kum (SiO_2)'dan meydana gelmekle birlikte belirli oranlarda Çizelge 3.9'da oranları verilen alüminyum, kalsiyum ve potasyum gibi elementlerden oluşur.

Çizelge 3.9. Cam elyafın kimyasal kompozisyonu (Chairman ve Kumaresh Babu, 2013)

Element	**O**	**Si**	**Ca**	**Al**	**K**	**Mo**	**Ti**
Kütlece (%)	45.76	31.14	10.05	9.91	1.21	1.45	0.47

Cam elyaflarının yaygın olarak E, S ve C camı olmak üzere 3 tipte bulunur. E camı boron silikat içerir. E harfi elektriğe karşı dirençli (electricity resistance) olduğunu ifade eder. S camı alüminyum ve magnezyum silikat içerir. S harfi kuvvetlere karşı dirençli (Strenght Resistance) olduğunu ifade eder. C camı kalsiyum borosilikat içerir. C harfi de korozyona karşı dirençli (Corrosion Resistance) olduğunu belirtir. E tipi cam elyaflar kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılır.

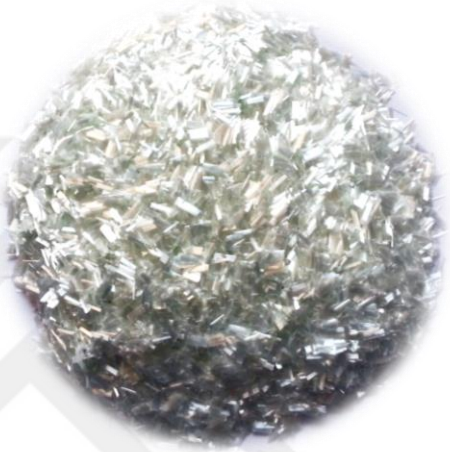
Çalışmamızda, Cam Elyaf Sanayi A.Ş. Gebze/Kocaeli firmasının üretmiş olduğu, özellikleri ve resmi Çizelge 3.10'da verilen fenolik balata üretimi için uygun 3 mm kırpılmış cam elyafı demeti (PH2) kullanılmıştır.

Firma ürün tanıtımında, PH2 kırpılmış demetleri;

- "E" camı elyafından üretilmekte,
- Yüksek integrite (bütünlük)

- Kolay akma
- İyi işlenebilirlik
- İyi mekanik özelliklere sahip olup
- Silan esaslı bağlayıcısı, fenolik reçineleri ile uyumludur demektedir(http:sisecam, 2016).

Çizelge 3.10. E-Cam elyafının özellikleri (Knox, 1982; http:sisecam, 2016) ve resmi

Özellik	**Değer**	
Cam Tipi	E	
Elyaf Çapı	13 µm	
Akma Özellikleri	Çok iyi	
Nem Miktarı	% 0,07	
Reçine Uyumu	Fenolik	
Kırpılma Boyu	3 mm	
Yoğunluk	2,54 gr/cm3	
Mohs Sertliği	6.5	
Çekme Mukavemeti (22 ºC'de)	3448 MPa	
Çekme Mukavemeti (371 ºC'de)	2650 MPa	
Elastisite Modülü	72,4 GPa	
Kopma Uzaması	% 4,8	
Özgül Isı	0,197 kJ/kgK	
Yumuşama Sıcaklığı	841 ºC	

3.1.4.2.Karbon elyaflar

Karbon elyaf, sentetik elyaf türlerinden biri olup poliakrilonitril (PAN), selüloz (Rayon) ve zift (Pitch)'ten üretilebilmektedir. PAN esaslı karbon elyaflar, %93-95 arasında karbon içerirler. Metal malzemelere göre oldukça düşük yoğunluğa sahip karbon elyaf, yüksek sıcaklıklarda boyutsal kararlılık gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir.

Kompozit malzemelerde karbon elyaflar, sürekli lifler ve demetler, kırpılmış, örgü, dokunmuş ve öğütülmüş elyaf tiplerinde kullanılmaktadır.

Tez çalışmasında kullandığımız özellikleri ve resmi Çizelge 3.11'de verilen karbon elyaf, 3 mm boyunda kırpılmış elyaf olup, Dost Kimya Tuzla/İstanbul firmasından temin edilmiş ve firma ürün tanıtımında şu bilgiyi vermektedir.

Kırpılmış karbon fiberler yüksek mekanik mukavemetleri, elektrik iletkenlikleri, termal mukavemetleri ile termoplastik enjeksiyon parçalarının mekanik olarak güçlendirilmesinde ve elektrik iletkenliği sağlanmasında; antistatik özellik istenen

endüstriyel zeminlerde; yüksek aşınma dayanımı gereken fren balataları gibi ürünlerde sahip olduğu üstün özellikleri ile katkı maddesi olarak kullanılır (http:dostkimya, 2018).

Çizelge 3.11. Karbon elyafın özellikleri (http:dostkimya, 2018) ve resmi

Teknik Özellik	**Değer**	
Çekme Dayanımı	3800 MPa	
Elastisite Modülü	228 GPa	
Elektrik İletkenliği	0,00155 ohm-cm	
Özgül Ağırlık	1,81 gr/cc	
Elyaf Çapı	7,2 mikron	
Karbon Yüzdesi	%95	
Elyaf Uzunluğu	3mm	

3.1.4.3.Bazalt elyaflar

Bazalt elyaf, özellikleri Çizelge 3.12'de verilen volkanik bazalt kayacının çekilmesiyle elde edilir. Erime sıcaklığı 1350-1700°C arasındadır. Bazalt elyafı 2,6-2,8 gr/cm^3 gibi düşük bir yoğunluğa sahiptir.

Çizelge 3.12 Bazaltın kimyasal bileşimi (Prasad ve Talupula, 2018)

Kimyasal bileşimi	**Yüzde(%)**
Silisyum dioksit (SiO_2)	52.8
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	17.5
Demir oksit (Fe_2O_3)	10.3
Magnezyum oksit (MgO)	4.63
Kalsiyum oksit (CaO)	8,59
Sodyum oksit (Na_2O)	3.34
Potasyum oksit (K_2O)	1.46
Titanyum oksit (TiO_2)	1,38
Fosforlu pentoksit (P_2O_5)	0.28
Manganez oksit (MnO)	0.16
Krom oksit (Cr_2O_3)	0,06

Bazalt elyaflar, ince toz haline getirilmiş bazaltın 1500-1700°C sıcaklıklarda eritilen ve sonra ince ipliklere ekstrüde edilen camsı erimiş sıvı ile üretilir (Prasad ve Talupula, 2018). Son yıllarda bazalt elyaflar, çeşitli uygulamalarda kullanışlı kompozit yapılar üretmek için epoksi, polyester ve vinil ester reçineleri gibi termoset polimerlerin güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bazalt elyaflar çevre dostu ve tehlikeli olmayan

malzemeler olarak kabul edilir ve ekonomiktir (Fiore ve ark., 2015).

Bazalt elyaf, E camından daha yüksek mekanik özelliklere sahip olup, maliyeti E-cam elyaftan yüksek, karbon elyaftan daha ucuzdur. Çizelge 3.8'de görüldüğü gibi, karbon elyafların mekanik özelliklerinin bazalt elyaflardan yüksek olmasına karşın, maliyetinin yaklaşık 12 katı olması nedeniyle karbon elyafların hafifliğinin aranmadığı yerlerde bazalt elyaflar karbon elyaflara alternatif olmaktadır.



Şekil 3.7. Bazalt elyaf resmi

Çalışmamızda Şekil 3.7'de resmi verilen 3 mm kırpılmış bazalt elyaf ithal olarak temin edilmiş ve kullanılmıştır.

3.1.5. Bağlayıcılar

Balata kompozisyonunu kullanım öncesinde ve kullanım sırasında bir arada tutan matrisi oluşturan yapıştırıcılardır. Birçok termoset reçineyi bağlayıcı olarak kullanmak mümkün olmakla birlikte fenol formaldehitler otomotiv sektöründe kullanılan en yaygınıdır. Fenolik reçinelerin çoğu fenol (C_6H_5OH) ile formaldehit (CH_2O)ten elde edilir. Fenol formaldehit reçineleri, ısı ve basınç altında kalıplandıklarında, iyi ısıl ve kimyasal direnç, iyi boyutsal kararlılık ve düşük maliyette kalıplaşabilme özelliğine sahip olmaları nedeniyle tercih edilen ürünlerdir. Isıya ve neme karşı dirençleri yüksektir.

3.1.5.1.Fenolik reçine

Fenolik reçineler çeşitli dolgu maddeleri ile birleştirilerek fenolik kalıplama bileşikleri meydana getirilir. İki tip fenolik reçine vardır. Birinci tip fenolik reçine bazik katalizörün etkisiyle bir mol fenolün, bir mol formaldehit ile reaksiyona sokulmasından elde edilir. Elde edilen reçine herhangi bir sertleştirici madde katmaksızın ısı ile sertleşir.

İkinci tip fenolik reçineye novalak denir. Her bir mol fenole karşı bir molden az formaldehit kullanarak elde edilen reçine olup, asit katalizör kullanılır.

Fenolik reçine, asit katalizörle üretilmişse ve formaldehit / fenol molar oranı 0,9 dan küçükse novolak olarak adlandırılır. Eğer reçine alkali katalizörle üretilmiş ve formaldehit / fenol molar oranı 0,9'dan büyük ise resol olarak adlandırılır. Novolakların sentezinde oksalik ve sülfürik asit kullanılır. Resollerde ise hidroksit, sodyum, lityum, potasyum, baryum ve kalsiyum elementlerinin hidroksitleri veya alifatik aminleri kullanılır (Issoupov ve ark., 2001).



Şekil 3.8. Fenolik reçine resmi

Şekil 3.8'de resmi verilen, ÇK 82790 tipi, disk ve kampana balatası için uygun olan reçine, Çukurova Kimya Endüstrisi A.Ş. den temin edilmiştir ve numune üretiminde kullanılmıştır.

3.2. Deneme numunelerinin içeriğinin oluşturulması

En doğru malzeme seçimini yapabilmek için deneme numuneleri üretilmiştir. Deneme numunelerinin içeriğine karar verebilmek için, balatayı oluşturan malzemelerden literatürde en çok kullanılanlar ve bu malzemelerin hangi oranda kullanıldığını tespit etmek için, yapılan çalışmaların verileri oluşturulan Excel tablosuna işlenmiş ve özeti Çizelge 3.1'de verilmiştir. Excel tablosunda gerekli formüller girilerek malzemelerin kaç tane numunede kullanıldığı, en az, en çok ve ortalama olarak hangi oranda kullanıldığı tespit edilmiştir. Yapılan araştırmadan sonra, en çok kullanılan barit ve barite alternatif olabilecek kalsit, midye tozu, salyangoz tozu, yengeç tozu ve AKT kullanılarak deneme numunesi üretilmeye karar verilmiş ve içerikleri oluşturulmuştur.

Numune içeriğini oluşturan malzemeler ve kütlece oranları Çizelge 3.13'de verilmiştir. Numune kodlarındaki harfler, kullanılan değişken içeriğin baş harfini, rakam ise kütlece oranını göstermektedir. Deneme numunelerinin içeriği kütlece %45 i sabit tutulmuş diğer %55'i farklı organik malzemelerden dolgu malzemesi olarak belirlenmiştir. Sabit içerikler olarak kütlece, %5 kok kömürü tozu, %20 fenolik reçine ve %20 cam elyaf olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.13. Deneme numunelerinin içeriği ve oranları

Numune Kodu	**Değişken İçerikler (%)**		**Sabit İçerikler (%)**		
			Kok Kömürü Tozu	Fenolik Reçine	Cam Elyaf
A55	-	55	5	20	20
B55	-	55	5	20	20
K55	-	55	5	20	20
M55	-	55	5	20	20
S55	-	55	5	20	20
Y55	-	55	5	20	20
B25A30	25	30	5	20	20
B25M30	25	30	5	20	20
B25S30	25	30	5	20	20
B25Y30	25	30	5	20	20
K25A30	25	30	5	20	20
K25M30	25	30	5	20	20
K25S30	25	30	5	20	20
K25Y30	25	30	5	20	20

(**A**: AKT, **B**: barit, **K**: kalsit, **M**: midye tozu, **S**: salyangoz tozu, **Y**: yengeç tozu)

Değişken içerik olarak kütlece %55, barit, kalsit, midye tozu, salyangoz tozu, yengeç tozu ve AKT katılmıştır. Kullanılan dolgu malzemeleri öncelikle %55 olarak katılmış daha sonra, barit ve kalsit kütlece %25'te sabit tutulmuştur. %30'luk kısım, midye tozu, salyangoz tozu, yengeç tozu ve AKT ayrı ayrı katılarak elde edilmiştir.

Numunelerde kullanılacak malzemeler 1mg (0,001g) hassasiyetli terazide tartılmış ve numune içerikleri hazırlanmıştır.

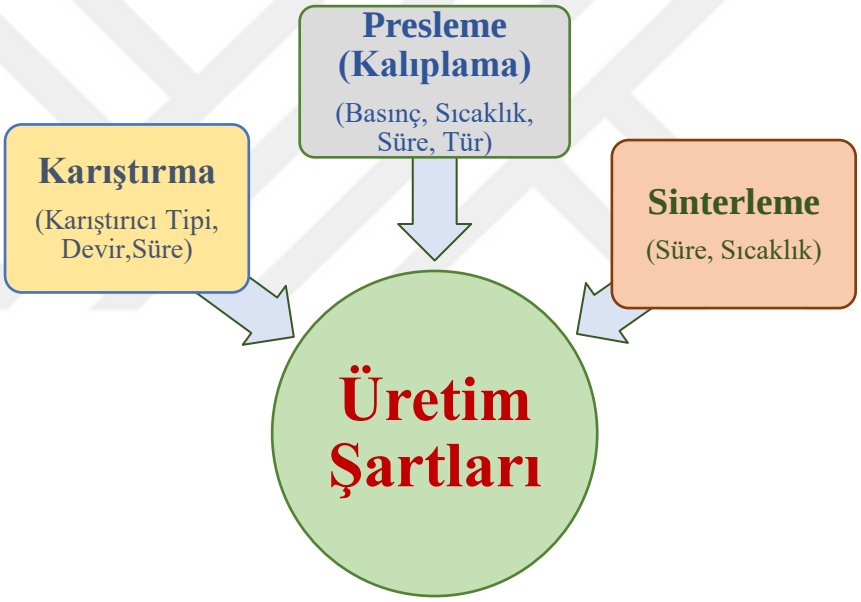
3.3. Numune üretim şartları

Balata üretiminde dikkat edilmesi gereken diğer önemli bir husus ise üretim şartlarıdır. Kaynak araştırması yapılırken, balata kompozisyonunu oluşturan Çizelge 3.1'de ki malzemelerin hangi numune üretim şartlarında kullanıldığı özet olarak Çizelge 3.14'de verilmiştir. Çizelge 3.14'den faydalanılarak balata üretimine etki eden üretim şartlarının karıştırma, kalıplama ve sinterleme olduğu söylenebilir.

Çizelge 3.14. Literatürde karşılaşılan balata numunesi üretim şartları

Presleme Basıncı	1-500 MPa
Presleme Yöntemi	Soğuk Presleme, Sıcak Presleme, Soğuk + Sıcak Presleme
Presleme Süresi	2,5-20 Dakika
Presleme Çeşidi	Tek Yönlü, 3-5 kez kesikli
Presleme Sıcaklığı	Oda Sıcaklığı – 190 °C
Sinterleme	1-24 saat, 100-970 °C
Elyaf Boyutu	2-40mm
Karıştırıcı Tipi	Bıçaklı mikser, Bilyeli döner değirmen, Turbula T2C, Döner kollu (8'li), I ve V tipi karıştırıcı
Karıştıra Süresi	1-30 Dakika

Numune üretim şartları Şekil 3.9'da verildiği gibi genellikle üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar karıştırma, presleme ve sinterlemedir.



Şekil 3.9. Numune üretim şartları

Numune üretim şartları ile ilgili farklı çalışmaların bir kısmı aşağıda Çizelge 3.15'de verilmiştir. Bazı araştırmacılar, karıştırma işlemini bütün malzemeleri karıştırıcıya doldurup tek seferde karıştırırken, bazı araştırmacılar ise elyaf ve ağır tozları önce karıştırıp, daha sonra diğer tozları ve en sonunda da reçineyi ilave ederek kademeli karıştırma yapmaktadırlar. Ayrıca presleme soğuk ve sıcak şekilde yapılabilmektedir. Soğuk preslemeden sonra genellikle sinterleme işlemi yapılmaktadır. Isıtma işlemi karıştırılmış numune malzemeleri kalıp içerisine doldurulduktan sonra yapılırken, bazen de önce kalıp ısıtılıp daha sonra malzeme kalıp içerisine doldurulmaktadır.

Çizelge 3.15. Literatürdeki farklı numune üretim şartları

Karıştırma Süresi (Dk.)	Presleme Basıncı	Presleme Sıcaklığı (°C)	Çalışmayı Yapan
7	10 MPa	150	(Üstün, 2011)
10	10 MPa	150	(Sugözü ve Dağhan, 2017)
10	10 MPa	150	(Kus ve Unaldi, 2012)
10	10 MPa	150	(Başar ve ark., 2018a)
30	10 MPa	180	(Akıncıoğlu ve ark., 2018)
	15 MPa	180	(Timur ve Kılıç, 2013)
	15 MPa	150	(Singh ve ark., 2017)
2	15 MPa	150	(Öztürk ve ark., 2007)
3	15 MPa	150	(Algan, 2015)
10	15 MPa	155	(Singh ve ark., 2016)
10	15 MPa	155	(Zhang ve ark., 2014)
3-4	25 MPa	150	(Adıgüzel, 2015)
15-30	25 MPa	180	(Akagündüz, 2014)
10	100 MPa	160	(Demirhan, 2017)
10	10, 15, 20 MPa	180	(Sugözü ve ark., 2009)
30	45000N	180	(Plachá ve ark., 2016)
30	500MPa	Soğuk	(Berek, 2010)

Yapılan incelemeler sonunda Çizelge 3.13'de içerikleri verilen deneme numuneleri, Çizelge 3.16'da ki şartlarda üretilmiştir.

Çizelge 3.16. Deneme numuneleri üretim parametreleri

Toz Boyutu	≤ 1 mm
Elyaf Boyutu	3 mm
Karıştırma Süresi	10 dakika
Karıştırıcı Tipi	Bıçaklı mikser
Presleme Basıncı	150 MPa
Presleme Süresi	10 dakika
Presleme Yöntemi	Sıcak presleme
Presleme Çeşidi	Tek yönlü presleme

3.4. Yöntem

Kaynak araştırması yapılırken, 3 husus dikkat çekmiştir. Bunlardan birincisi balata içeriği, ikincisi balata üretim şartları ve üçüncüsü üretilen numunelerin hangi özelliklerinin incelendiğidir. Literatürde en çok incelenen balata özellikleri; yoğunluk, sertlik, sürtünme katsayısı ve aşınma oranıdır.

Bu sebeple öncelikle, üretilen deneme numunelerinin, literatürde en çok incelenen

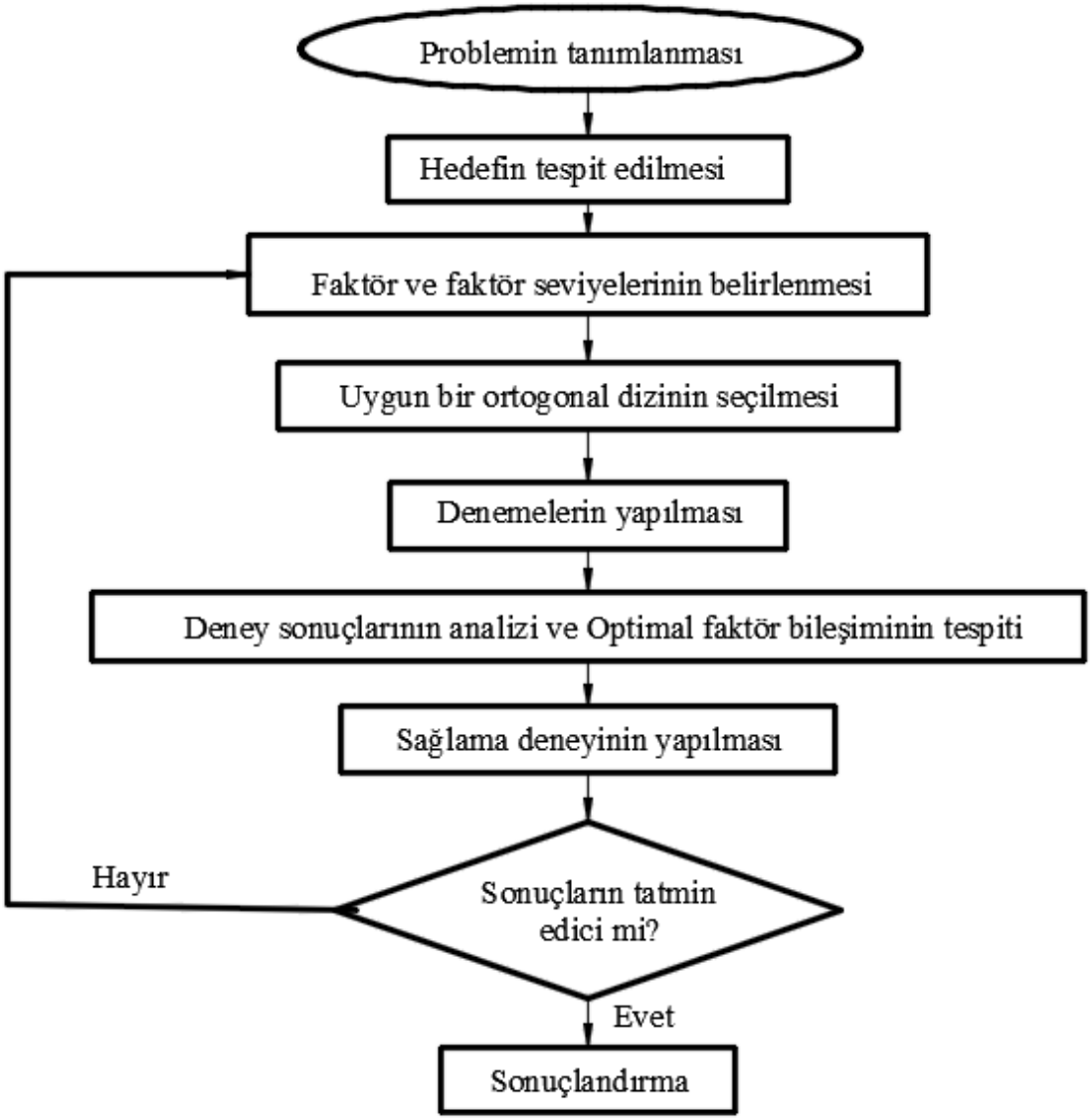
yoğunluk, sertlik, sürtünme katsayısı ve aşınma oranı sonuçlarının incelenmesine karar verilmiştir.

Deneme numunelerinin deney sonuçları ve literatür incelenmesi sonucunda daha önce kullanılmamış olan andız ağacı kozalağı tozunun kullanılmasına, farklı elyaf türlerinin denenmesine karar verilmiştir. Çizelge 3.12'de verilen numune üretim parametrelerinden; karıştırma süresi, presleme basıncı, presleme sıcaklığı, presleme süresinin sonuca en çok etki edeceği düşünülmüştür. Sonuca etki edecek faktörlerin farklı seviyelerde denenmesi, faktör sayısına ve faktörlerin seviye sayısına göre değişmektedir. İncelmek istediğimiz faktör ve bu faktörlerin seviye sayısı arttıkça deney sayısı da artmaktadır. Bundan dolayı, fazla parametrenin farklı seviyelerde etkilerini incelemek için, yapılan araştırma sonucunda çok fazla deney yapmadan, farklı parametrelerin, farklı seviyelerde etkilerini inceleme ve sonuçlarının analiz edilebileceği Taguchi yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir

3.4.1. Taguchi yöntemi

Dr. Taguchi, gürültü(hata)'ya veya varyasyona (değişkenliğe) duyarlılığı en aza indirmeye odaklanan ürün veya süreç tasarımı için bir mühendislik yöntemi olan güçlü parametre tasarımıyla ilgilenmektedir. Güçlü parametre tasarımı, Taguchi tasarımlarını (ortogonal dizi) kullanır ve bu da birçok faktörü daha az çalışma ile analiz etmenize olanak sağlar. Taguchi tasarımı veya ortogonal bir dizi, tam faktörün kombinasyonunun sadece bir kısmını gerektiren deneyleri tasarlama yöntemidir (Saravanakumar ve ark., 2018). Her bir parametrenin, her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda Taguchi yönteminde ortogonal dizi tablosu kullanılarak çok daha az sayıda deneysel çalışmayla sonuca ulaşmak mümkündür (Yıldırım, 2011).

Taguchi yönteminin esas amacı; hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılmasıdır. Temeli deney tasarımına dayanmaktadır. Üründeki veya prosesteki değişkenliği, değişkenliğe sebep olan faktörlere dokunmadan ortadan kaldırmayı hedefler. Bir diğer ifade ile ürünü veya prosesi "değişkenliğe duyarsız" hale getirmeye çalışır.



Şekil 3.10 Taguchi parametre tasarımı akış şeması (Durmaz, 2008)

Numune içeriğini oluşturan, barit, reçine, kok kömürü ve elyaf oranı sabit tutulmuştur. Balata özelliklerine en fazla etki edeceği düşünülen etkenlerden 6 faktör seçilmiştir. Bu faktörlerden presleme süresi 2 seviyeli, elyaf çeşidi, presleme basıncı, presleme sıcaklığı, karıştırma süresi ve AKT oranı 3 seviyeli olarak incelenmeye karar verilmiştir. 3 seviyeli 5 faktör ve 2 seviyeli 1 faktörün etkilerini görmek için Taguchi yöntemi kullanılmadan numune üretilseydi, toplam 486 adet numune (ek-1) üretmek gerekirdi. 486 tane numuneyi üretmek ve bunların sonuçlarını incelemek yerine, Taguchi metodundan faydalanılarak 18 numune ile 6 faktörün etkileri incelenebilecektir.

Taguchi yöntemi ve yapılan çalışma aşağıda verilmiştir. Deneyde kullanılacak parametreler ve seviyeleri Çizelge 3.17'de sunulmuştur.

Çizelge 3.17. Faktörler ve seviyeleri

Faktörler	Seviyeler		
	1	2	3
A-Presleme Süresi (d)	10	15	-
B-Elyaf Çeşidi	Cam elyaf	Karbon elyaf	Bazalt elyaf
C-Karıştırma Süresi (d)	10	15	20
D-Presleme Basıncı (MPa)	100	150	200
E-Presleme Sıcaklığı (°C)	140	160	180
F-Andız Kozalağı Tozu Oranı (%)	10	25	40

Çizelge 3.17'de ki faktörler ve seviyeler göz önünde bulundurularak, deneysel çalışma için Taguchi L_{18} ortogonal dizin seçilmiştir. Çizelge 3.18'de Minitab 17™ istatistik yazılımı yardımı ile belirlenen L_{18} deney tasarımı görülmektedir.

Çizelge 3.18. Taguchi L_{18} deney tasarımı

Numune No	Numune Kodu	Değişkenler (Faktörler)					
		A	B	C	D	E	F
1	A1B1C1D1E1F1	1	1	1	1	1	1
2	A1B1C2D2E2F2	1	1	2	2	2	2
3	A1B1C3D3E3F3	1	1	3	3	3	3
4	A1B2C1D1E2F2	1	2	1	1	2	2
5	A1B2C2D2E3F3	1	2	2	2	3	3
6	A1B2C3D3E1F1	1	2	3	3	1	1
7	A1B3C1D2E1F3	1	3	1	2	1	3
8	A1B3C2D3E2F1	1	3	2	3	2	1
9	A1B3C3D1E3F2	1	3	3	1	3	2
10	A2B1C1D3E3F2	2	1	1	3	3	2
11	A2B1C2D1E1F3	2	1	2	1	1	3
12	A2B1C3D2E2F1	2	1	3	2	2	1
13	A2B2C1D2E3F1	2	2	1	2	3	1
14	A2B2C2D3E1F2	2	2	2	3	1	2
15	A2B2C3D1E2F3	2	2	3	1	2	3
16	A2B3C1D3E2F3	2	3	1	3	2	3
17	A2B3C2D1E3F1	2	3	2	1	3	1
18	A2B3C3D2E1F2	2	3	3	2	1	2

Taguchi deney tasarımı metodunda kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt, ölçülmek istenen sinyalin (S), gürültü faktörüne (N) oranıdır. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil eder (Savaşkan ve ark., 2010).

L_{18} Taguchi deney tasarımında faktörlerin belirlenen seviyeleri işlenerek Çizelge 3.19 elde edilmiştir.

Çizelge 3.19. Faktör ve seviyelerin L_{18} deney tasarımına işlenmesi

Numune No	Presleme Süresi (Dakika)	Elyaf Türü	Karıştırma Süresi (Dakika)	Presleme Basıncı (MPa)	Presleme Sıcaklığı (°C)	Andız Oranı (%)
1	10	Cam Elyaf	10	100	140	10
2	10	Cam Elyaf	15	150	160	25
3	10	Cam Elyaf	20	200	180	40
4	10	Karbon Elyaf	10	100	160	25
5	10	Karbon Elyaf	15	150	180	40
6	10	Karbon Elyaf	20	200	140	10
7	10	Bazalt Elyaf	10	150	140	40
8	10	Bazalt Elyaf	15	200	160	10
9	10	Bazalt Elyaf	20	100	180	25
10	15	Cam Elyaf	10	200	180	25
11	15	Cam Elyaf	15	100	140	40
12	15	Cam Elyaf	20	150	160	10
13	15	Karbon Elyaf	10	150	180	10
14	15	Karbon Elyaf	15	200	140	25
15	15	Karbon Elyaf	20	100	160	40
16	15	Bazalt Elyaf	10	200	160	40
17	15	Bazalt Elyaf	15	100	180	10
18	15	Bazalt Elyaf	20	150	140	25

Taguchi ürün ve süreç parametrelerini belirlemek ve performans varyansını azaltmak için istatistiksel olarak planlanmış deneylerden yararlanmıştır. Taguchi, sinyal(S)/gürültü(N) oranı adını verdiği kıstasların kullanımını önermiştir. Belirli bir hedefi olan, devamlılığı olan ve negatif olmayan performans karakteristikleri için üç çeşit kayıp fonksiyonuna bağlı olarak üç çeşit sinyal/gürültü oranı belirlemiştir (Sarı, 2014).

Buna göre, amacın ‘en küçük en iyi’, ‘en büyük en iyi’ ve ‘nominal en iyi’ olmasına göre aşağıdaki eşitlikler kullanılarak S/N oranları hesaplanır.

En düşük (küçük) en iyi olduğu durumda;

$$S/_N = -10\,log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i{}^2\right) \tag{3.1}$$

En yüksek (büyük) en iyi olduğu durumda;

$$S/_N = -10\,log\left(\frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}}\frac{1}{{y_i}^2}\right) \quad (3.2)$$

Nominal en iyi olduğu durumda;

$$S/_N = 10\,log\left(\frac{\bar{\mathrm{y}}^2}{S^2}\right) \quad (3.3)$$

$$\bar{\mathrm{y}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \quad (3.4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{\mathrm{y}})^2 \quad (3.5)$$

Eşitliklerde y_i: performans yanıtının i. gözlem değeri, n: bir denemedeki test sayısı, ȳ:Gözlem değerlerinin ortalaması ve S^2: Gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir.

3.4.2. İncelenecek özellikler

(TS 555)'de balatalarda yapılacak deneyler ve bu deneylerle ilgili standartlarda, bu deneylerin nasıl yapılacağı, deney sonuçlarının hangi değerlerde olması gerektiği açıklanmıştır. Ayrıca yapılan kaynak araştırmasında farklı çalışmalarda balatanın 25-30 kadar farklı özelliğinin incelendiği görülmüştür. Bunların içerisinden literatürde en çok incelenen ve balata için önemli olduğu düşünülen özelliklerden, aşağıdaki özelliklerinin incelenmesine karar verilmiştir.

3.4.2.1.Yoğunluk

Deneme numunelerinin yoğunlukları (ρ), farklı içeriğe sahip her numune türünden üçer adet numunenin kütleleri (m) üçer kez 1mg hassasiyetinde terazi ile tartılmış ve çap (D) ve yükseklikleri (h) de üçer kez 0,01mm hassasiyetinde dijital kumpas ile ölçülerek (3.6) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\boldsymbol{\rho = \frac{m}{\frac{\pi . D^2 . h}{4}}\,(g.cm^{-3})} \quad (3.6)$$

L_{18} ortogonal diziye göre üretilmiş numuneler ve doğrulama için üretilen numunelerin yoğunlukları ölçmek için, Arşimet prensibine göre ölçüm yapabilen 0,1 mg hassasiyetindeki Precisa XB-220 hassas terazi kullanılmıştır. Terazinin ölçümlere

başlamadan önce kalibrasyonu yapılmıştır. Yoğunluk ölçümü için önce kullanılacak saf suyun yoğunluğu 10 cm^3 hacmindeki standardize edilmiş aparat kullanılarak belirlenmiştir. Saf suyun yoğunluğunu belirlemek için aparatlar, teraziye yerleştirildikten sonra 10 cm^3 lük standart aparat askıya takılarak havadaki kütlesi belirlenir, daha sonra saf suyun içerisindeki kütlesi belirlenir. Ölçüm yapılırken suyun sıcaklığı ölçülür ve terazinin programına sıcaklık değeri girilerek saf suyun yoğunluk değerinde düzeltme yapılır.

Saf suyun yoğunluğu belirlendikten sonra, numune yoğunluklarını ölçebilmek için gerekli aparatlar teraziye yerleştirilir. Ölçümü yapılacak numunenin önce havadaki kütlesi daha sonra saf su içerisindeki kefeye konularak sudaki kütlesi ölçülür. Bu iki değer, denklem (3.7) de yerine yazılarak numunelerin yoğunlukları hesaplanmıştır.

$$\boldsymbol{d = \frac{m_1}{m_1 - m_2} . \rho} \qquad (3.7)$$

d :Yoğunluk, (g/cm^3)

m_1 :Numunenin havadaki kütlesi (g)

m_2 :Numunenin sudaki kütlesi (g)

ρ :Suyun yoğunluğu (21°C, ρ= 0,9989 g/cm^3) (g/cm^3)

Yoğunluk ölçümü yapılırken numunelerin su emmesini önlemek için, sudaki tartma işlemi mümkün olduğu kadar çabuk yaklaşık 15s içinde yapılmalıdır (TS 555, 1992).

3.4.2.2.Sertlik ölçümleri

Sertlik ölçümleri, Konya Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında, Şekil 3.11'de resmi verilen "Bulut Makine Sertlik Ölçme Cihazı" nda, rockwell R skalasında (1/2" bilye 10kgf ön yük, 60kgf toplam yük) ölçülmüştür. Ölçümler her numune türü için 3 numuneden, üçer ölçüm olarak yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.11. Sertlik ölçme cihazı

3.4.2.3.Aşınma deneyleri

Deneme numunelerinin aşınma testleri, SÜ. Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) koordinatörlüğü tarafından desteklenen proje (No:131011024) kapsamında temin edilen Şekil 3.12'da görülen pin-on disk tribometre de yapılmıştır .

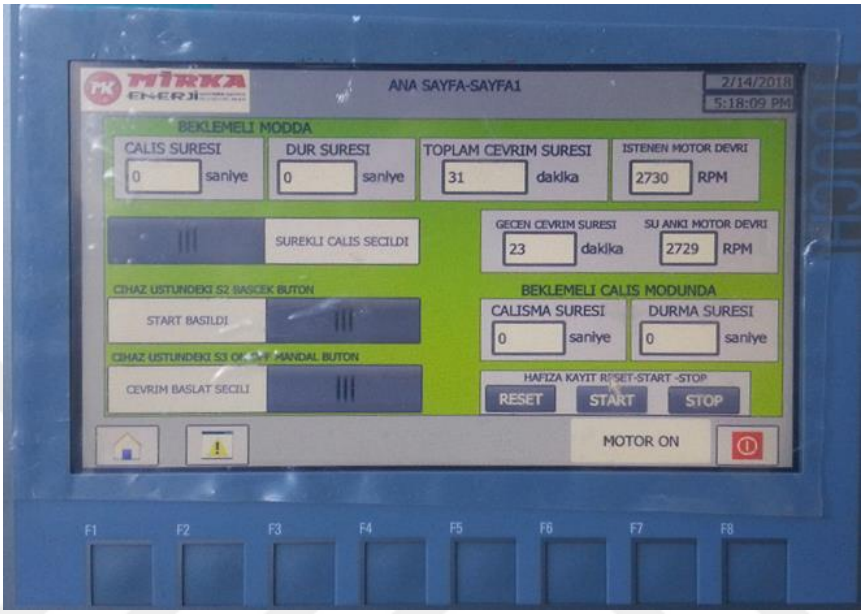


Şekil 3.12. Tribometre

Deneme numunelerinin aşınma testleri, 180mm çapında 360d/d ile dönen diskte 5000m kayma mesafesinde 65N yük uygulanarak yapılmıştır.

Tribometrenin hızının TS 9076'da belirtilen değere göre yetersiz olması ve yükleme kapasitesinin sınırlı olmasından dolayı modernizesine ihtiyaç duyulmuştur. SÜ. Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) koordinatörlüğü tarafından desteklenen 16201089

nolu tez projesi kapsamında, cihazın modernizasyonu için gerekli malzemeler satın alınmıştır. Cihaza PLC ilave edilerek, cihaz devrinin Şekil 3.13'de resmi verilen dokunmatik ekrandan kolayca değiştirilebilmesi, devir ve zaman bilgisinin anlık olarak hafızaya ve usb belleğe kaydedilmesi sağlanmıştır. Cihazda sürekli ve beklemeli mod olmak üzere 2 çalışma modu oluşturulmuştur.



Şekil 3.13. Modernize edilen aşınma cihazının dokunmatik ekranı

- Sürekli çalışma modu; ekrandan motor devir bilgisi, toplam çevrim süresi bilgisi girilir. Ekrandan sürekli çalışma modu seçilir. Ekrandan veya makine üzerinden başlat butonuna basılır. İstenilen devirde istenilen süre kadar çalışır ve durur.
- Beklemeli çalışma modu; ekrandan motor devir bilgisi ve toplam çevrim süresi girilir. Makinenin kaç saniye çalışıp kaç saniye duracağı bilgisi ilgili kutucuklara girilir. Ekrandan beklemeli mod seçilerek ekrandan veya makine üzerinden başlat butonuna basılır. İstenilen devirde istenilen süre kadar çevrim devam eder ve toplam süre bitiminde durur.

L_{18} numuneleri ve devamında yapılan doğrulama numunelerinin aşınma deneyleri modernize edilen test cihazında yapılmıştır. Tez çalışmamızın temelini teşkil eden L_{18} deney tasarımına uygun üretilen numunelerin aşınma testlerinin parametrelerini belirlerken, ilgili standart olan (TS 9076) incelenmiştir. Balata numunelerinin sürtünme özelliklerini ve deney şartlarını belirleyen bu standartta testler 280 mm iç çapa sahip kampana için 310 ve 420 d/d kampana devirlerinde, yapılması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmamız da kullanılan test cihazında 170 mm ortalama temas çapına sahip disk

kullanıldığı için gerekli devir düzenlemelerinin yapılması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Aşağıda bu düzenleme ile ilgili bilgiler verilmektedir.

TS 9076 standardına göre 310 ve 420 d/d devrine karşılık gelen çevresel hızlar denklem (3.8) ile hesaplanırsa sırasıyla 4,54m/s ve 6,16m/s olarak bulunur.

$$\omega=n.2\pi.r/60 \quad (3.8)$$

$$n=(\omega.60)/2\pi.r \quad (3.9)$$

ω :kampananın çevresel hızını (m/s),

n :kampana devrini (d/d),

r :kampana yarıçapı (m)'dır.

Denklem (3.9) da ω değerleri ve disk temas yarıçapı olarak 0,085 m değerleri yerine yazılacak olursa disk devirleri; sırasıyla 512 d/d ve 692 d/d bulunur. Kayma mesafesini ve kayma süresini hesaplarken kolaylık sağlaması ve oluşabilecek beklenmedik hataları yok sayabilmek için, disk yarıçapı 1mm düşük kabul edilmiş ve buna karşılık gelen disk devri 700 d/d olarak hesaplanmıştır. Cihaza monte edilen elektrik motoru üzerinde bulunan redüktörün redüksiyon oranı 3,9 dur. Bu sebeple cihazın ekranından, devir 2730 d/d olarak girilmiştir. Kayma mesafesi 12000 m olarak belirlenmiştir. Aşınma testi TS 9076'a uygun olarak 1050 kPa basınçta yapılmıştır. Aşınma testi başlangıcında ve bitişinde numunelerin kütleleri 1mg hassasiyetinde terazide tartılarak kaydedilmiştir. Aşınma oranı değeri denklem (1.3) kullanılarak hesaplanmıştır.

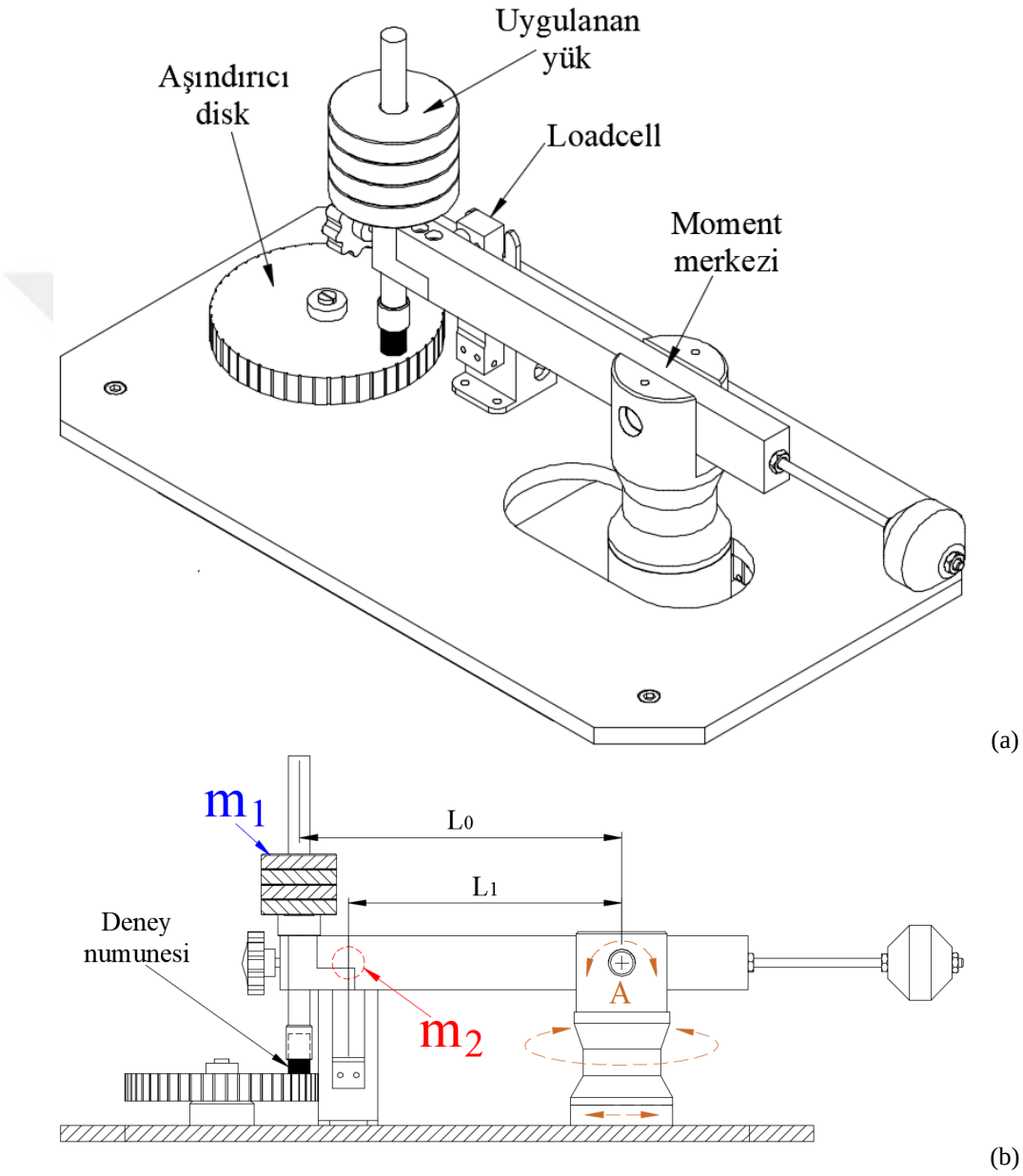
3.4.2.4.Sürtünme katsayısının belirlenmesi

Aşınma cihazı modernize edilirken üzerinde bulunan 3 kg kapasiteli loadcell, Şekil 3.14'de resmi verilen 6 kg kapasiteli loadcelle değiştirilmiştir.



Şekil 3.14. Loadcell (http:esit, 2018)

Aşınma test cihazının motor miline bağlı olan aşındırıcı disk dönerken, üzerine temas eden numune ve numune üzerine uygulanan kuvvetten dolayı bir sürtünme kuvveti oluşmaktadır. Bu sürtünme kuvvetinden dolayı numunenin bağlı olduğu numune tutucu loadcell'e bir kuvvet uygulamaktadır. Bu kuvvet anlık olarak bilgisayar tarafından kaydedilmektedir.



Şekil 3.15. Aşınma test cihazının sürtünme katsayısı hesaplamak için çizilen teknik resmi

Sürtünme katsayısı, her numune çeşidinden üçer adet numuneye aynı aşındırıcı disk devri ve aynı kayma mesafesinde ve Şekil 3.15 (a)'da gösterildiği şekilde uygulanan aynı (m1) yükü altında aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testi esnasında Şekil 3.15

(a)'da cihaz üzerindeki yeri gösterilen loadcell den okunan yük (m_2) değerlerinin denklem (3.10) yerine yazılmasıyla elde edilen değerlerin aritmetik ortalamasıdır.

$$\mathbf{S.K.}\,(\mu) = \frac{\boldsymbol{L_1.m_2}}{\boldsymbol{L_0.m_1}} \qquad (3.10)$$

μ :Sürtünme katsayısı (%)

L_1 :Mafsal ile loadcell arası uzaklık (mm)

L_0 :Mafsal ile uygulanan yük arası uzaklık (mm)

m_2 :Loadcell'den okunan yük (g)

m_1 :Uygulanan yük (g)

3.4.2.5.Yüzey Pürüzlüğünün Ölçülmesi

Aşınma testlerine başlamadan önce her numune için ayrı ayrı aşınma diskleri belirlenmiş ve bu disklerin yüzeyleri taşlama tezgâhında taşlanmıştır. Diskler numaralandırılmıştır. Her diskin numunelerin temas edeceği üç noktasına işaretleme yapılmıştır. Üç noktadan yüzey pürüzlülük değerleri Mahr marka cihaz (Şekil 3.16) ile ölçülmüştür. Deney sonrasında yaklaşık aynı noktalardan tekrar ölçüm yapılmıştır.

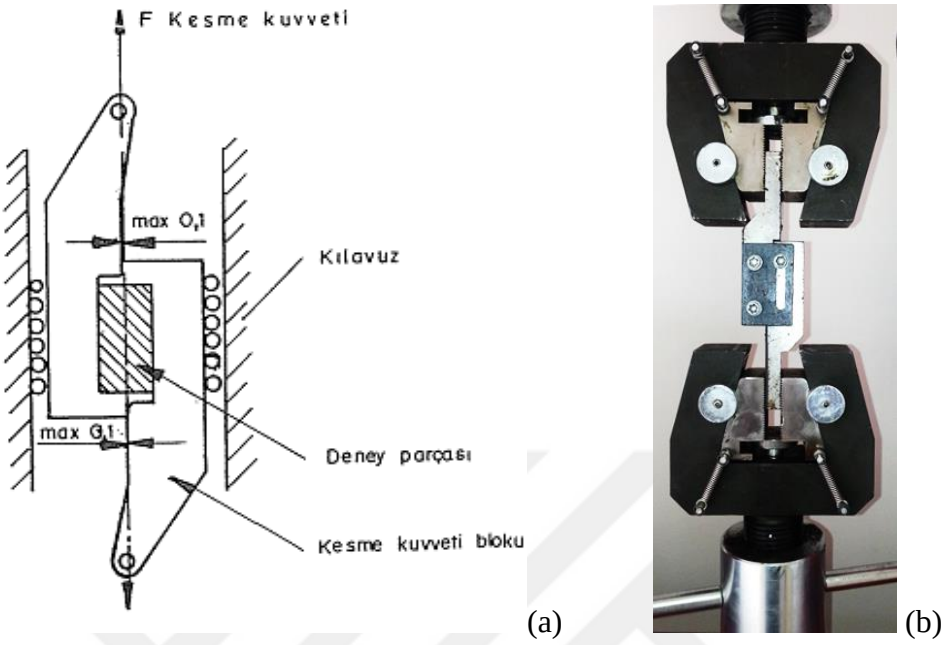


Şekil 3.16. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı

3.4.2.6.İç kesme kuvveti deneyi

Fiili koşullarda frenler aracın durması için uygulanır ve bunun için, fren balataları kesme işlemine maruz kalan döner diske sürtünür (Nagesh ve ark., 2014). (TS 9073) ve (TS 555)'de kesmeyi meydana getiren, balata veya pabuca dik olan kuvvet, kesme kuvveti olarak tanımlamıştır. Ayrıca iç kesme dayanımı, kesme kuvvetinin gerilmeye maruz kalmış alana oranıdır. Kesme gerilmesi normal hizmet şartlarında fren yaparken disk fren balatalarında ve kampana fren balatasında ise geometrik şekil etkisiyle artan bir

kesme gerilmesi olup, fren pabucunda en fazla gerilme meydana getiren değeridir, denmektedir.



Şekil 3.17. İç kesme kuvveti test aparatı

İlgili standartta iç kesme kuvveti Şekil 3.17 (a) teknik resmi verilen aparatla yapılacağı ve deney cihazının, gereken yükü önceden belirtilen şekilde uygulayabilen bir cihazı bulunan, çekme veya basma deneyi makinesidir. Cihazda yükün ortalama artış hızı 4500±500N/s olacak şekilde uygulanabileceği bir kontrol aleti bulunmalıdır şeklinde ifade edilmiştir. İç kesme kuvveti deneyleri Şekil 3.17 (b) resmi verilen aparatla çekme deneyi makinesinde yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

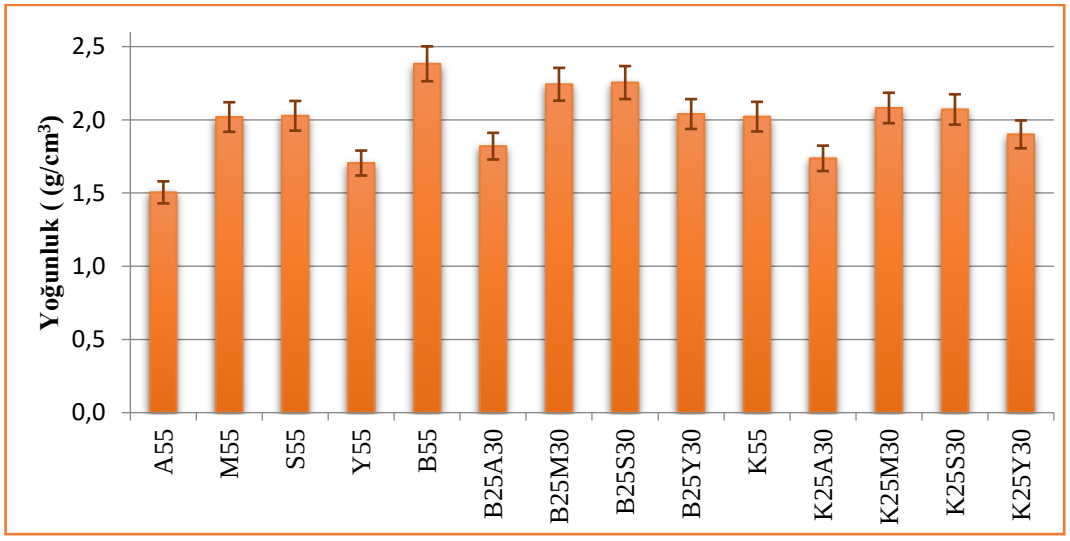
Araştırma sonuçları, 4 başlık altında verilmiştir. Öncelikle deneme numunelerinin sonuçları, L_{18} ortogonal dizine göre üretilmiş numunelerin sonuçları, ANOVA'dan sonra üretilen doğrulama numunelerinin sonuçları, ticari balata ile kıyaslama sonuçları ve son olarak da, çözüm numunelerinin sonuçları verilecektir.

4.1. Ön araştırma (deneme) numunelerinin sonuçları

Bölüm 3'de açıklandığı gibi çalışmaya başlarken öncelikle sadece dolgu malzemesini değiştirerek, farklı malzemelerin barit, kalsit, salyangoz tozu, midye tozu, yengeç tozu ve andız tozunun dolgu malzemesi olarak kullanımının, yoğunluk, sertlik, aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerlerine nasıl etki ettiği incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Yoğunluk sonuçları

Deneme numunelerinin yoğunluk değerleri bir önceki bölümde açıklandığı gibi, numunelerin çap, yükseklik ve kütleleri üçer kez ölçülerek aritmetik ortalamaları alınmış ve denklem (3.6) ile hesaplanmıştır. Yoğunluklar 1,51-2,38g/cm^3 arasında değişmektedir, Şekil 4.1'de yoğunluk grafiği verilmiştir.



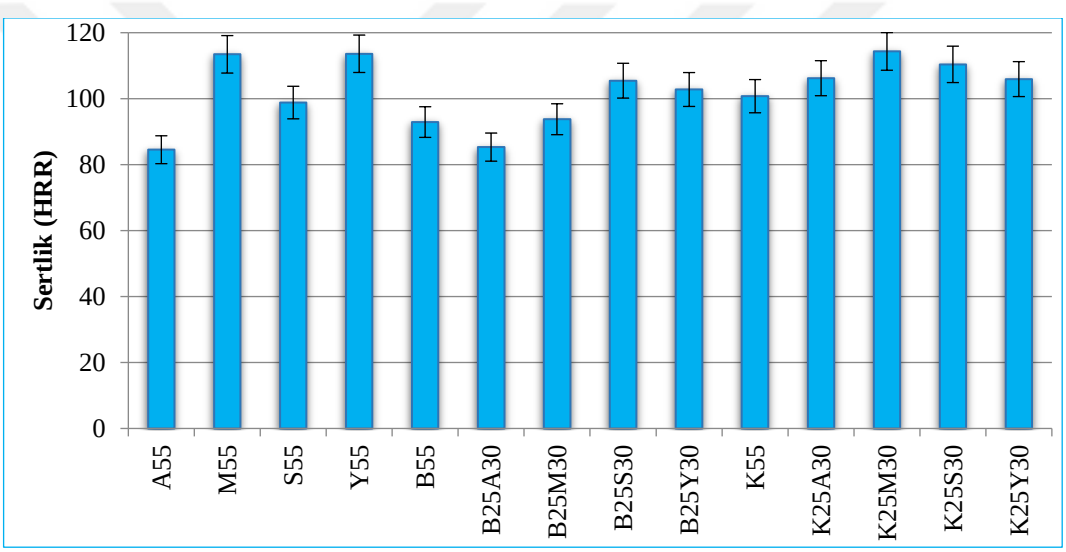
Şekil 4.1. Deneme numunelerinin yoğunluk grafiği

Dolgu malzemelerinin yalnız kullanıldığı, baritle ve kalsitle beraber kullanıldığı numune gruplarının tamamında, AKT kullanılan numunelerin yoğunluk değerleri diğerlerinden düşük çıkmıştır. Andız kozalağının ortalama yoğunluğu 0,906 g/cm^3'dür.

Andız kozalağının yoğunluğunun düşük olması kullanıldığı numunelerin yoğunluğunu da düşürmektedir. Bu numunelerin yoğunluğunun düşük olması, aşınma oranının fazla çıkmasında da bir etkendir. Barit kullanılan numunelerin yoğunluğu kalsit kullanılan numunelere göre yüksektir. Bu sonuç baritin yoğunluğunun, kalsitin yoğunluğundan yüksek olması ile açıklanabilir.

4.1.2. Sertlik sonuçları

Sertlik değerleri Rockwell R skalasında her numunenin 3 noktasından ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır. Sertlik değerleri 84-114 arasında değişmektedir. En düşük sertlik A55 numunesinde, en yüksek sertlik K25M30 numunesindedir. Şekil 4.2'de sertlik grafiği verilmiştir.

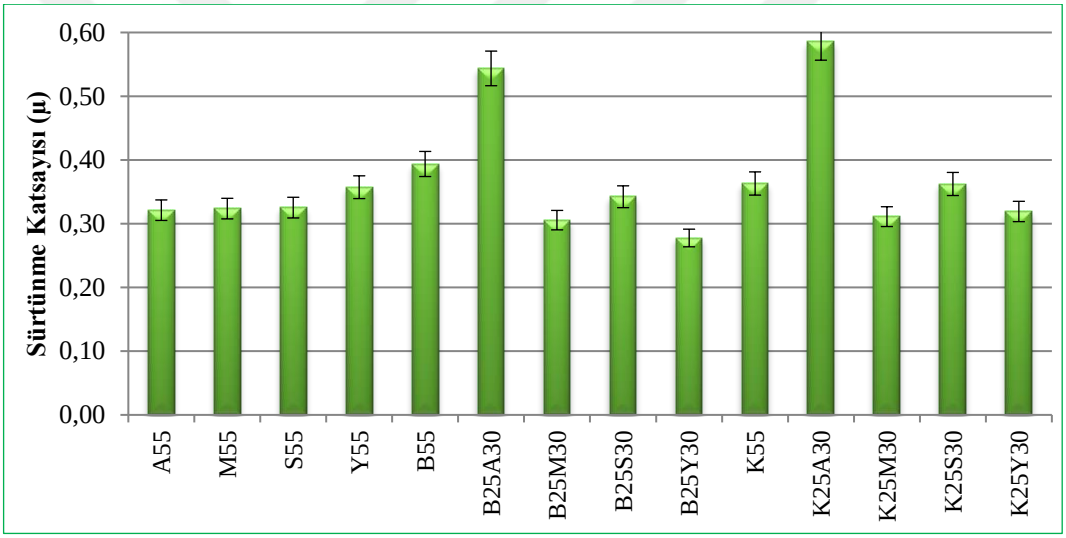


Şekil 4.2. Deneme numunelerinin sertlik grafiği

Yoğunluk değerlerinde olduğu gibi dolgu malzemelerinin yalnız kullanıldığı, baritle ve kalsitle beraber kullanıldığı numune gruplarının tamamında, AKT kullanılan numunelerin sertlik değerleri diğerlerinden düşük çıkmıştır. Andız kozalağının meyve kısmının sertliği 89,13HRR dir. Kabuk ve embriyo kısımlarından sertlik ölçülememiştir. AKT kullanılan numunelerde, kozalak kabuğu ve embriyo kısmının yumuşak olmasından dolayı sertliği düşürdüğü düşünülmektedir. Bu numunelerin sertliğinin düşük olması, aşınma oranının fazla çıkmasında da bir etkendir. Kalsitli numunelerin sertliği, baritli numunelerin sertliğine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum kalsitin bünyesinde bulunan kalsiyumdan kaynaklı olarak yorumlanmıştır. En yüksek sertlik değerinin de %95 civarında kalsiyum karbonat içeren %30 midye tozu ile %25 kalsit tozu içeren numunede elde edilmesi bu durumu doğrulamaktadır.

4.1.3. Sürtünme katsayısı sonuçları

Sürtünme katsayıları aşınma testi esnasında elde edilen değerlerin denklem 3.10'a göre her numune için hesaplanmış ve 0,28-0,59 arasında değişmektedir. Bu değerler TS555'te belirtilen değerlerle kıyaslandığında bütün numunelerin standarda uygun olduğu görülmüştür. AKT ile barit ve kalsitin beraber kullanıldığı numunelerde sürtünme katsayısı belirgin olarak yüksek çıkmıştır. Andız kozalağının yapısında bulunan doğal reçinenin sürtünme katsayısını artırdığı düşünülmektedir. Bu sebeple AKT'nun sürtünme ayarlayıcı bileşen olarak kullanılabileceği düşünülmüştür. AKT haricinde kullanılan diğer bileşenlerin sürtünme katsayısına etkisi hemen hemen eşittir. Bu da malzemelerin bünyesinde bulunan elementlerin aynı olması ile açıklanabilir. Sürtünme katsayılarını gösteren grafik Şekil 4.3'te verilmiştir.



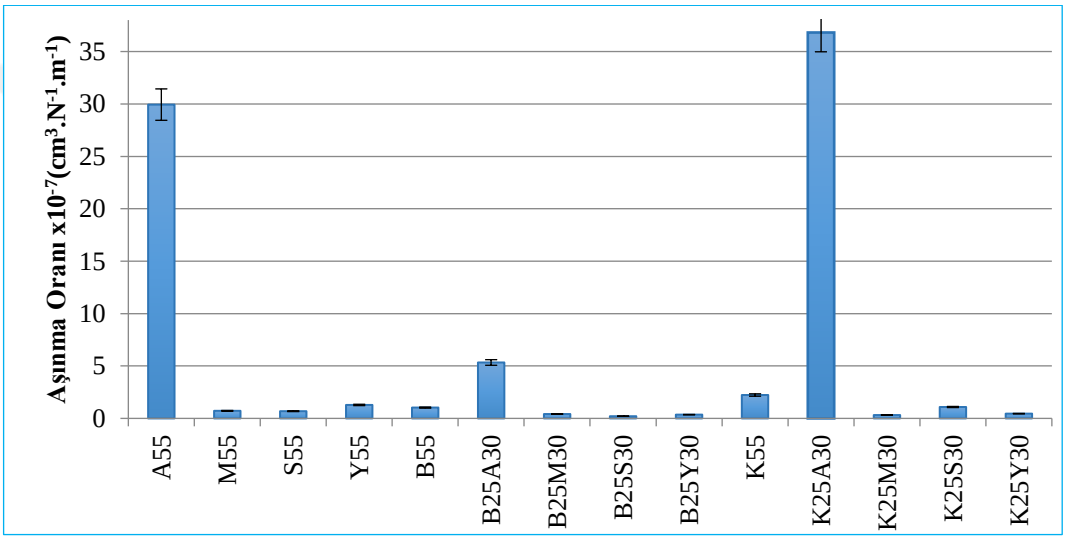
Şekil 4.3. Deneme numunelerinin sürtünme katsayısı grafiği

4.1.4. Aşınma oranı sonuçları

Aşınma testi 3. bölümde açıklandığı şartlarda yapılmış ve denklem (1.3) kullanılarak hesaplanmıştır. Aşınma oranı değerlerini gösteren grafik Şekil 4.4'de verilmiştir. Aşınma oranı değerleri $0{,}207.10^{-7}$-$36{,}814.10^{-7}$($cm^3.N^{-1}.m^{-1}$) arasında değişmektedir.

Andız ağacı kozalağı tozu (AKT) içeren numunelerin aşınma oranı değerleri diğerlerine göre çok yüksektir ve bu numunelerin aşınma oranı değerleri TS 555 standardına uygun değildir. AKT içeren numunelerin yoğunluğunun ve sertliğinin düşük olması ile sürtünme katsayısının yüksek olması aşınma oranını artırdığı düşünülmektedir.

AKT içeren numunelerin aşınma oranları standarda uygun olmamasına rağmen diğer numunelerin aşınma oranları standarda uygundur. Deneme numunelerinden en düşük aşınma oranı barit ile salyangoz kabuğu tozu karışımını içeren B25S30 numunesinde olduğu görülmüştür. Bu numunenin yoğunluğu ve sertliğinin yüksek olması dikkat çekicidir. Salyangoz tozunda bulunan yüksek orandaki kalsiyum karbonatın aşınmayı azaltıyor olarak yorumlanmıştır. AKT içeren numunelerin aşınma oranı değerleri, TS 555'e uygun olmamakla birlikte, sürtünme katsayısının diğerlerine göre yüksek olması, AKT'nun farklı ilave oranlarında ve üretim şartlarında yeni numune üretilerek çalışılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4.4. Deneme numunelerinin aşınma oranı grafiği

4.1.5. Deneme numunelerinin sonuçlarının değerlendirilmesi

Yoğunluk; barit ve kalsit kullanılan numuneler beraber incelendiğinde, barit kullanılan numunelerin tamamında, kalsit kullanılan numunelere göre artmıştır. Baritin yoğunluğunun kalsitin yoğunluğundan yüksek olması baritli numunelerin yoğunluğunu artırmıştır. Sertlik; barit kullanılan numunelerin tamamında, kalsit kullanılan numunelere göre biraz azalmıştır. Kalsitin bünyesinde bulunan kalsiyum karbonatın sertliği artırdığı düşünülmektedir. Aşınma oranı; midye tozu ilave edilerek kullanılan numuneler hariç (K25M30 ve B25M30) barit kullanılan numunelerde kalsit kullanılan numunelere göre daha düşüktür. Aşınma oranı ve yoğunluk göz önünde bulundurulduğunda barit kullanımı, kalsit kullanımına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Andız ağacı kozalağı tozu içeren numunelerin aşınma oranı TS555 standardına uygun değildir. Kalsit ve baritin tek başına dolgu malzemesi olarak kullanıldığı K55 ve B55 numunelerinde sürtünme

katsayısı B55 numunesinin daha yüksek iken, diğer numunelerde kalsitli numunelerin sürtünme katsayısı daha yüksektir.

Çizelge 4.1. Deneme numunelerinin deney sonuçları

Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm^3)	Aşınma Oranı ($cm^3.N^{-1}.m^{-1}$) $x10^{-7}$	Sürtünme Katsayısı	Sertlik (HRR)
A55	1,5046	29,9338	0,32	84,52
B55	2,3829	1,0341	0,39	92,91
K55	2,0218	2,2308	0,36	100,75
M55	2,0191	0,7223	0,32	113,45
S55	2,0275	0,6867	0,33	98,82
Y55	1,7050	1,2838	0,36	113,62
B25A30	1,8201	5,3349	0,54	85,32
B25M30	2,2427	0,4156	0,31	93,76
B25S30	2,2546	0,2068	0,34	105,45
B25Y30	2,0396	0,3591	0,28	102,78
K25A30	1,7369	36,8139	0,59	106,20
K25M30	2,0809	0,3185	0,31	114,33
K25S30	2,0709	1,0872	0,36	110,40
K25Y30	1,9006	0,4537	0,32	105,93

TS555'de ki normal (soğuk) sürtünme katsayılarına göre, balata sınıflandırması ile karşılaştırıldığında, 8 numune E sınıfı (0,25–0,34), 4 numune F sınıfı (0,35–0,44), 1 numune G sınıfı (0,45 – 0,54) ve 1 numunede H sınıfı (0,55 ve daha yukarısı) balata grubunda ve standarda uygundur. Andız ağacı kozalağı tozu kullanılan numunelerin sürtünme katsayısı diğerlerine göre yüksektir. Kalsit içeren numunelerin sürtünme katsayısı ve sertlik değeri barit içeren numunelere göre genel olarak daha yüksektir.

Deneme numunelerine yapılan testlerin sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda, baritin kalsite göre yoğunluk, sertlik ve aşınma oranı değerlerindeki olumlu sonuçlar vermesinden dolayı, dolgu malzemesi olarak kullanılmasına karar verilmiştir.

Andız kozalağı tozunun, yoğunluk, sertlik ve aşınma oranındaki olumsuz sonuçlarına rağmen sürtünme katsayısını artırması göz önünde bulundurularak, kütlesel yüzdesi ve balata üretim şartları değiştirilerek yoğunluğu artırılabilirse, aşınma oranı problemi çözülebileceği düşünülmüştür.

4.2. L_{18} Deneysel tasarım numunelerinin sonuçları

Aşınma testleri için kullanılacak disklerin test öncesi ve test sonrası yüzey

pürüzlülüğü (R_a), L_{18} deneysel tasarıma göre üretilen numunelerin, yoğunluk, sertlik, aşınma oranı, soğuk sürtünme katsayısı, iç kesme kuvveti ve iç kesme mukavemeti değerleri incelenmiş ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Yoğunluk sonuçları

Yoğunluklar, Arşimet prensibine göre, her numune çeşidinden üçer tekrar şeklinde ölçülmüş olup, ölçüm sonuçları ve ortalamaları ile standart sapma (SS) değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Numunelerin tamamında AKT oranı arttıkça yoğunluk azalmıştır. Andızın yoğunluğunun düşük olması numunelerin yoğunluğunu düşürdüğü görülmüştür. Aynı AKT oranına sahip numunelerde, karbon elyaf kullanılan numunelerin yoğunluğu diğerlerine göre daha düşüktür. Karbon elyafın yoğunluğunun düşük olması yoğunluğu düşürmüştür.

Çizelge 4.2. L_{18} numuneleri yoğunluk sonuçları

Numune No	Numune Kodu	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm	Ortalama	SS
1	A1B1C1D1E1F1	2.125	2.066	2.084	**2,09**	0,030
2	A1B1C2D2E2F2	2.007	2.003	1.987	**2,00**	0,011
3	A1B1C3D3E3F3	1.814	1.802	1.822	**1,81**	0,010
4	A1B2C1D1E2F2	1.849	1.821	1.858	**1,84**	0,019
5	A1B2C2D2E3F3	1.792	1.779	1.768	**1,78**	0,012
6	A1B2C3D3E1F1	1.827	1.763	1.823	**1,80**	0,036
7	A1B3C1D2E1F3	1.859	1.835	1.844	**1,85**	0,012
8	A1B3C2D3E2F1	2.202	2.200	2.196	**2,20**	0,003
9	A1B3C3D1E3F2	1.986	2.031	1.993	**2,00**	0,024
10	A2B1C1D3E3F2	2.004	1.990	2.002	**2,00**	0,008
11	A2B1C2D1E1F3	1.813	1.788	1.816	**1,81**	0,015
12	A2B1C3D2E2F1	2.178	2.182	2.206	**2,19**	0,015
13	A2B2C1D2E3F1	1.972	1.997	2.048	**2,01**	0,039
14	A2B2C2D3E1F2	1.909	1.920	1.905	**1,91**	0,008
15	A2B2C3D1E2F3	1.745	1.738	1.748	**1,74**	0,005
16	A2B3C1D3E2F3	1.824	1.798	1.771	**1,80**	0,027
17	A2B3C2D1E3F1	2.206	2.221	2.218	**2,22**	0,008
18	A2B3C3D2E1F2	1.903	1.985	1.956	**1,95**	0,042

Değişken olarak kullanılan parametreler içinde AKT oranının yoğunluğa direkt etki ettiği görülmüştür. AKT'den sonra, yoğunluğa etki eden parametre elyaf çeşidi olmuştur. Bazalt elyafın yoğunluğunun yüksek olması, yoğunluğu artırırken, karbon elyaf yoğunluğu düşük olmasından dolayı numune yoğunluğunu düşürmüştür. Presleme sıcaklığının 180°C olan numunelerde presleme süresinin düşük olması yoğunluğu

düşürmüştür. Yüksek sıcaklıklarda presleme süresi kısa tutulursa malzeme katılaşmasını tamamlamadan kalıptan çıkarıldığı için hacimce büyüme olmakta bu durumda yoğunluğu düşürmektedir. SS'nin büyük olması ölçüm tekrarları arasındaki farkın büyük olması anlamına gelir. 6, 13 ve 18 nolu numunelerin SS'si diğerlerine büyüktür. 6 ve 13 nolu numuneler karbon elyaf takviyeli ve AKT oranı %10 olan numunelerdir. 18 nolu numune %25 AKT oranına sahip bazalt elyaflı numunedir. Numune içerikleri ve numune üretim şartları incelendiğinde karıştırma süresinin yüksek seviye (20dk) ve AKT oranının SS'yi etkilediği göürülmüştür.

Parametrelerin yoğunluğa olan etkileri, sonuçların analizi başlığı altında verilecektir.

4.2.2. Sertlik sonuçları

Oda sıcaklığında, her numune türünden 5'er tane numunenin üçer noktasından Rockwell R (1/2" bilye 10kgf ön yük, 60kgf toplam yük) skalasında ölçülmüştür. Her numune türünde, 5 adet numunenin her birinden üçer ölçüm yapılarak aritmetik ortalaması alınmıştır. Numunelerin en büyük, en küçük ve ortalama sertlik değerleri ve standart sapmaları (SS) Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. L_{18} numuneleri sertlik sonuçları

Numune No	Numune Kodu	Ortalama	En Büyük	En Küçük	Fark	SS
1	A1B1C1D1E1F1	**113,98**	115,30	112,40	2,90	1,12
2	A1B1C2D2E2F2	**110,04**	111,30	108,30	3,00	1,40
3	A1B1C3D3E3F3	**86,35**	89,70	80,53	9,17	3,99
4	A1B2C1D1E2F2	**101,68**	106,53	94,53	12,00	5,00
5	A1B2C2D2E3F3	**101,54**	102,40	99,50	2,90	1,17
6	A1B2C3D3E1F1	**110,48**	114,93	106,90	8,03	3,04
7	A1B3C1D2E1F3	**110,15**	112,90	108,30	4,60	1,68
8	A1B3C2D3E2F1	**110,50**	117,37	99,10	18,27	7,09
9	A1B3C3D1E3F2	**105,61**	107,53	103,63	3,90	1,66
10	A2B1C1D3E3F2	**108,99**	112,07	107,40	4,67	1,91
11	A2B1C2D1E1F3	**106,21**	109,23	104,17	5,07	1,87
12	A2B1C3D2E2F1	**115,61**	116,63	114,77	1,87	0,70
13	A2B2C1D2E3F1	**100,29**	111,27	92,00	19,27	7,26
14	A2B2C2D3E1F2	**115,46**	116,43	114,77	1,67	0,75
15	A2B2C3D1E2F3	**101,23**	109,17	87,67	21,50	8,38
16	A2B3C1D3E2F3	**88,53**	94,63	82,63	12,00	4,94
17	A2B3C2D1E3F1	**117,49**	118,87	116,10	2,77	1,01
18	A2B3C3D2E1F2	**100,22**	105,87	91,87	14,00	5,13

Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında gelen sertlik ile aşınma direnci arasındaki ilişki belli bir düzeye kadar doğrusal değişim gösterir. Yani sertliğin artması ile aşınma direnci de artar. (Kocabaş, 2012).

Sertlik ve aşınma oranı değerleri birlikte incelendiğinde, genellikle yüksek sertliğe sahip numunelerin yoğunluğunun da yüksek fakat aşınma oranının düşük olduğu görülmüştür. Elde ettiğimiz bu sonuç yukarıdaki bilgi ile örtüşmektedir.

Sertlik değerine etki eden etkin parametrenin AKT oranı olmuştur. AKT'nin numune yoğunluğunu düşürmesinin yanında, kozalak sertliğinin de düşük olması numune sertliklerini düşürdüğü tespit edilmiştir.

4.2.3. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) sonuçları

Her numune için, aşınma testinde aynı özelliklere sahip farklı aşındırıcı diskler kullanılmıştır. Diskler ayrı ayrı numaralandırılmış ve her diskin numune ile temas edeceği yüzeyden 3 nokta numaralandırılmış ve bu noktalardan disk merkezine doğru, test öncesi ve test sonrası 17,5mm uzunlukta pürüzlülük (R_a) ölçümü yapılmıştır. Bu değerlerin ortalaması disk pürüzlülük (R_a) değeri olarak alınmıştır.

Çizelge 4.4. L_{18} numuneleri için disk pürüzlülüğü (R_a) değerleri

Disk No	Deneyden Önce	Deneyden Sonra	Fark
1	1,017	0,809	-0,208
2	0,967	0,687	-0,280
3	1,102	0,890	-0,213
4	1,076	0,838	-0,238
5	1,167	0,824	-0,344
6	1,015	0,756	-0,259
7	1,256	0,738	-0,518
8	1,008	0,630	-0,378
9	0,470	0,442	-0,028
10	0,326	0,538	0,212
11	1,294	0,822	-0,472
12	0,885	0,749	-0,137
13	0,308	0,240	-0,068
14	0,272	0,285	0,013
15	0,291	0,346	0,054
16	0,273	0,240	-0,033
17	0,341	0,557	0,216
18	0,348	0,665	0,317

Yüzey pürüzlülüğünün aşınmaya etkisi büyüktür. Pürüzlülüğün yüksek olduğu

yüzeylerde temas alanı küçük, birim yüzeye tesir eden kuvvet büyük olacaktır. Bu sebeple yüzey pürüzlülüğü yüksek olan malzemelerde aşınma miktarı daha fazla olmaktadır. (Kocabaş, 2012).

Çizelge 4.4'de disklerin R_a değerlerinin deney öncesi ve deney sonrası ölçülen sonuçları verilmiştir. Fark ise deney sonrasında ölçülen değerden, deney öncesi değerin çıkarılması ile bulunmuştur. Farkın negatif olması disk pürüzlülüğünün azalması, farkın pozitif olması disk pürüzlülüğünün artması anlamına gelir. Disklerin çoğunluğunun pürüzlülüğü deney sonrası azalmıştır. Bunun sebebi aşınma deneyi esnasında numuneden kopan parçacıkların disk yüzeyine yapışması ve disk yüzeyindeki boşlukları doldurması olabilir. Pozitif çıkmasının sebebi ise numuneden kopan tozların disk yüzeyinde çizikler oluşturması ile açıklanabilir. Ayrıca pürüzlülük ölçümü çizgiseldir, deney öncesi ve sonrası yaklaşık aynı çizgiden ölçüm yapılmaya çalışılsa da tam olarak aynı çizgiden ölçmek neredeyse imkânsızdır.

4.2.4. Aşınma oranı sonuçları

Aşınma deneyi, 700 d/d devirle dönen bir aşındırıcı disk üzerine temas eden numunelerin üzerine 1050 kPa basınç oluşturacak kuvvet uygulayarak, 12000 m kayma mesafesinde her numune türü için üçer tekrar yapılmıştır. Aşınma deneyi başlamadan önce ve deney sonunda numune kütleleri hassas terazi ile ölçülmüş ve bu değerler denklem (1.3)'de yerine yazılarak aşınma oranları hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. L_{18} Numunelerinin aşınma oranı değerleri ($x10^{-7}$),($cm^3.N^{-1}.m^{-1}$)

Numune	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Wa	0,104	0,248	0,240	0,107	0,191	0,390	0,260	0,239	0,114
Numune	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**
Wa	0,098	0,186	0,097	0,189	0,184	0,263	0,356	0,108	0,251

Aşınma oranı ile parametreler arasında doğrudan bağlantı kurulamamıştır. Fakat cam elyaf kullanılan numunelerin aşınma oranı değerleri diğerlerine göre biraz düşük çıkmıştır. Cam elyafın kopma uzaması karbon elyaf ve bazalt elyafa göre yüksektir. Cam elyaflı numunelerin aşınma oranının düşük olması elyafın kopma uzaması ile ilgili olarak yorumlanmıştır. Ayrıca en az aşınma oranına sahip 12 numaralı numunenin yoğunluğunun yüksek olması ve en fazla aşınma oranına sahip 6 numaralı numunenin ise yoğunluğunun düşük olması, yoğunluğun aşınma oranına etkisini ortaya çıkarmıştır. TS555'de belirtilen en düşük aşınma oranı 100°C'de $5.10^{-7}(cm^3.N^{-1}.m^{-1})$ dir. Ürettiğimiz

numunelerin en yüksek aşınma oranına sahip olan 6 numaralı numunenin bile aşınma oranı standarttaki verilen değerin çok çok altındadır. Bu olumlu bir durumdur. Aşınma oranının düşük çıkması, sürtünme katsayısının düşük olmasına bağlanmıştır.

4.2.5. Sürtünme katsayısı sonuçları

Sürtünme katsayısı, aşınma deneyi esnasında tribometre üzerinde bulunan yük hücresinden bilgisayara aktarılan yük bilgisinin denklem (3.10)'da yerine konulması ile elde edilmiştir. Aşınma deneyleri üçer tekrar yapıldığı için, her numune türü için üçer tane sürtünme katsayısı değeri elde edilmiştir. Sürtünme katsayısı aşınma testi süresinde değişkenlik göstermektedir. Her numune için yapılan aşınma testinde elde edilen en düşük, en yüksek ve aşınma testi süresince elde edilen bütün sürtünme katsayılarının aritmetik ortalaması alınmış ve Çizelge 4.6'da verilmiştir. Aşınma testi esnasında elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinin genel ortalaması numune sürtünme katsayısı olarak alınmıştır.

Çizelge 4.6. L_{18} numunelerinin sürtünme katsayısı değerleri

N.No	Numune Kodu	En Küçük	En Yüksek	Ortalama
1	A1B1C1D1E1F1	0,10	0,46	0,16
2	A1B1C2D2E2F2	0,10	0,48	0,19
3	A1B1C3D3E3F3	0,10	0,43	0,18
4	A1B2C1D1E2F2	0,09	0,35	0,15
5	A1B2C2D2E3F3	0,10	0,45	0,16
6	A1B2C3D3E1F1	0,10	0,52	0,19
7	A1B3C1D2E1F3	0,10	0,49	0,20
8	A1B3C2D3E2F1	0,13	0,50	0,18
9	A1B3C3D1E3F2	0,12	0,60	0,24
10	A2B1C1D3E3F2	0,13	0,52	0,24
11	A2B1C2D1E1F3	0,12	0,44	0,20
12	A2B1C3D2E2F1	0,15	0,48	0,21
13	A2B2C1D2E3F1	0,13	0,43	0,20
14	A2B2C2D3E1F2	0,09	0,45	0,19
15	A2B2C3D1E2F3	0,14	0,42	0,21
16	A2B3C1D3E2F3	0,16	0,55	0,31
17	A2B3C2D1E3F1	0,14	0,53	0,27
18	A2B3C3D2E1F2	0,16	0,50	0,22

Çizelge 4.6'da L_{18} numunelerinin aşınma testi esnasında oluşan minimum, maksimum ve ortalama sürtünme katsayıları verilmiştir. Sürtünme katsayısına, özellikle elyaf çeşidinin ve presleme süresinin etki ettiği görülmüştür. Bazalt elyaf takviyeli

numunelerin ve 15 dakika presleme süreli numunelerin sürtünme katsayıları diğerlerine göre biraz yüksek çıkmıştır. Bazalt elyafı meydana getiren, bazaltın kimyasal yapısındaki silisyum, alüminyum ve demir oksitlerin sürtünme katsayısına etki ettiği düşünülmüştür. TS555 standardında balatalar normal sürtünme katsayılarına göre gruplara ayrılmışlardır. Üretilen numunelerin 2 tanesi E sınıfı (0,25-0,34), 16 tanesi D sınıfı (0,15-0,24) sürtünme katsayısı grubundadır. Bu değerler, Berek (2010)'in, daha önce yapmış olduğu çalışmada elde ettiği 0,12–0,29 değerleri ile benzerdir.

4.2.6. İç kesme kuvveti sonuçları

TS 9073 belirtilen şartlarda iç kesme kuvveti testleri yapılmıştır. Her tür numuneden üçer tekrar olarak yapılan testlerin sonuçlarının aritmetik ortalaması numune iç kesme kuvveti olarak alınmış ve sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. L_{18} numunelerinin iç kesme kuvveti değerleri (N)

Numune		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
İç Kesme Kuvveti	I.Ölçüm	3983	5488	2320	3407	2970	2118	2511	5131	2531
	II. Ölçüm	3364	4640	3339	3143	3323	2435	1246	3776	3959
	III. Ölçüm	4690	5337	2586	2801	2891	2471	1862	2420	3245
	Ortalama	**4012**	**5155**	**2748**	**3117**	**3061**	**2341**	**1873**	**3776**	**3245**
Numune		**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**
İç Kesme Kuvveti	I.Ölçüm	4718	2874	5394	2452	5218	3053	2790	4905	2590
	II. Ölçüm	4982	6375	6194	2838	4938	3340	2368	4761	1542
	III. Ölçüm	4454	3471	6616	2645	4552	3642	2463	5884	1330
	Ortalama	**4718**	**4240**	**6068**	**2645**	**4903**	**3345**	**2540**	**5183**	**1821**

İç kesme kuvvetine elyaf çeşidinin etkili olduğu, cam elyaf takviyesinin daha olumlu katkı sağladığı görülmüştür. Diğer bir etken karıştırma süresi olmuştur. Karıştırma süresinin orta seviye olduğu 15 dakika karıştırmanın daha yüksek iç kesme kuvveti sağladığı görülmüştür.

İç kesme kuvvetinin yüksek olduğu numunelerin yoğunluğunun ve sertliğinin yüksek olması, AKT oranının düşük olması dikkat çekicidir. Andız oranının artışına bağlı olarak kompozisyon içerisindeki elyaf oranı azalmıştır. Buda kesme kuvvetinin düşmesine sebep olmuştur.

4.2.7. İç kesme mukavemeti sonuçları

TS 9073'de, iç kesme mukavemeti (τ), (F) kesme kuvvetinin gerilme meydana gelen kesite oranıdır, denmektedir. Bundan dolayı, numunelerin kesit alanları (A)

denklem (4.1)'e göre hesaplanmıştır. Yapılan iç kesme kuvveti testleri sonucunda elde edilen kuvvet (F) değerleri ve numunelerin kesilmeye maruz kalan alanları (A) denklem (4.2)'de yerine yazılarak hesaplanmıştır.

$$\boldsymbol{A = \frac{\pi . d^2}{4}} \tag{4.1}$$

$$\boldsymbol{\tau = \frac{F}{A}} \tag{4.2}$$

Çizelge 4.8. L_{18} Numunelerinin iç kesme mukavemeti değerleri (N/mm^2)

Numune	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
İç Kesme Mukavemeti	12,71	16,24	8,78	9,83	9,68	7,31	5,92	12,00	10,31
Numune	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**
İç Kesme Mukavemeti	14,97	13,42	19,28	8,33	15,49	10,59	8,00	16,46	5,76

Numunelerin hepsinin kesmeye maruz kalan alanı yaklaşık olarak aynıdır. İç kesme mukavemeti, iç kesme kuvvetinin bir sonucudur. İç kesme kuvvetine etki eden parametreler dolayısı ile iç kesme mukavemetine de etki etmiş olur.

4.2.8. Sonuçların analizinin yapılması

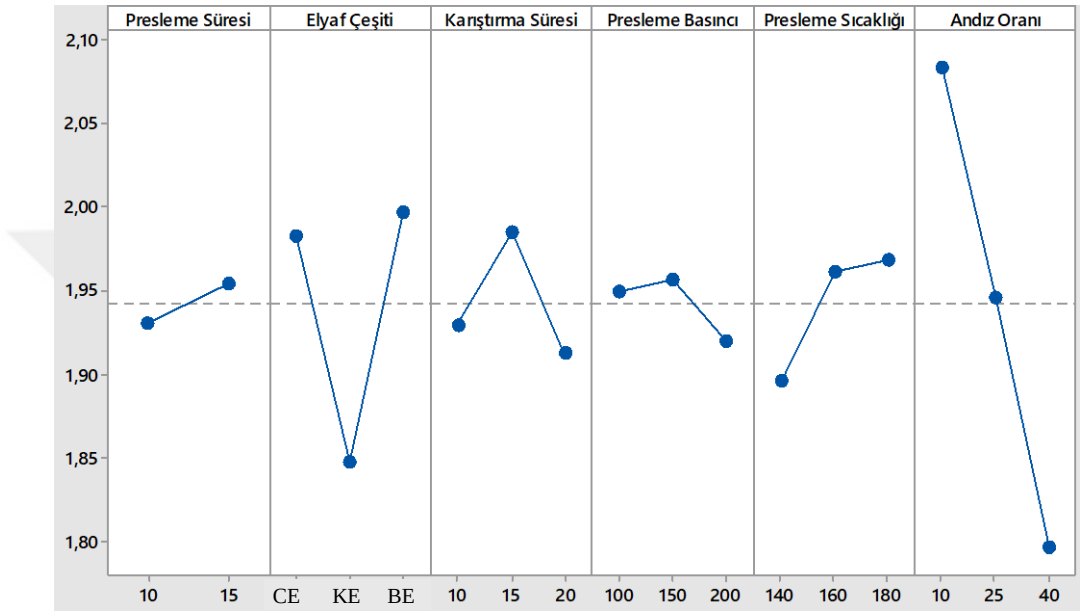
Deneyler sonucunda elde değerler, analiz için Minitab 17 programına işlenmiştir. Burada incelenen her sonuç için ayrı ayrı etkin parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.

4.2.8.1.Yoğunluk sonuçlarının analizi

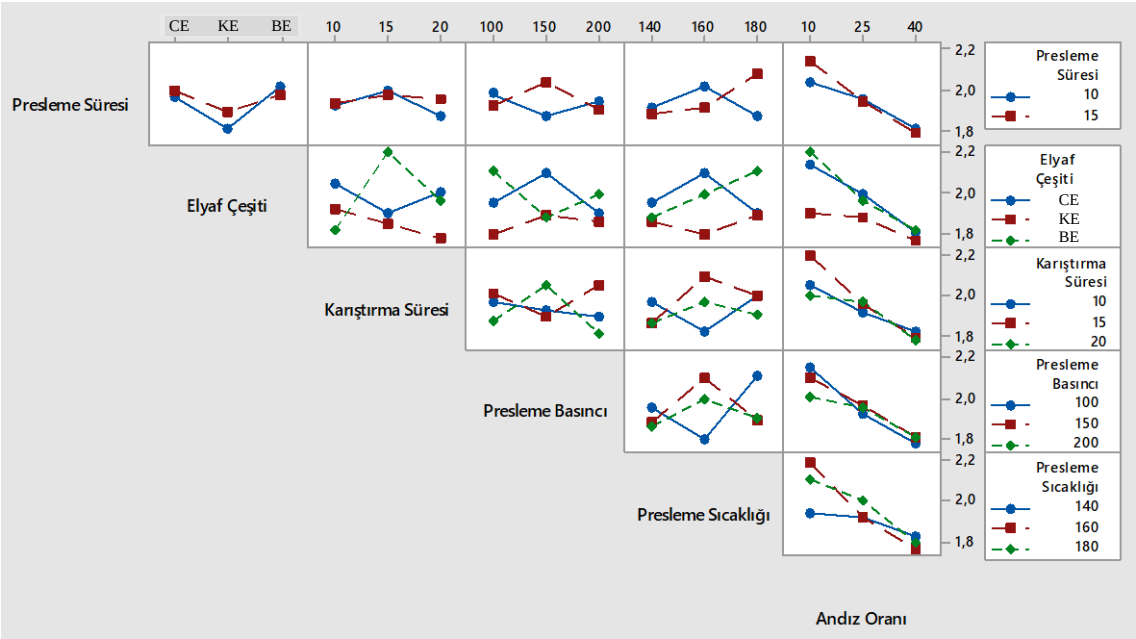
Yoğunluğun yüksek olması aşınma direnci için istenilen bir durumdur, bunun için seçilen faktörlerden presleme süresinin 2. seviyesi (15dk) yoğunluğu artırmaktadır. Elyaf çeşitlerinden bazalt elyaf yoğunluğu artırırken, karbon elyaf yoğunluğu düşürmektedir. Elyafların yoğunluğu numune yoğunluğunu etkilemiştir. Karıştırma süresinin orta seviyesi (15dk) yoğunluğu artırmaktadır. Presleme basıncının öncelikle orta seviyesi (150MPa) olmak üzere düşük ve orta seviye olumlu, yüksek seviye olumsuz etki yapmıştır. Presleme sıcaklığının artması yoğunluğu olumlu yönde etkilemiştir. AKT'nun yoğunluğu düşük olmasından dolayı numunelerdeki AKT miktarı arttıkça yoğunluk düşmüştür.

Parametrelerin ve seviyelerinin yoğunluğa etkisini gösteren grafik Şekil 4.5'de, parametrelerin birbiri ile olan etkileşimini gösteren grafik Şekil 4.6'da verilmiştir. Ayrıca yoğunluk için en büyük en iyi yaklaşımına göre S/N oranları gösteren Çizelge 4.8'de

verilmiştir. Grafikler incelendiğinde AKT oranının artışına bağlı olarak numune yoğunluğunun azaldığı görülecektir. Elyaf çeşidinden, cam elyaf ve bazalt elyafın yoğunluğunun birbirine yakın olması etkisinin de yakın çıkmasına sebep olmuştur. En yüksek yoğunluğun bazalt elyaf takviyeli, %10 AKT ilavesi içeren, 15dk karıştırma süresinde, 15dk presleme süresinde, 150MPa kalıplama basıncında ve 180°C presleme sıcaklığında numunelerde elde edilebileceği tahmin edilmektedir.



Şekil 4.5. Yoğunluk için faktörlerin temel etki grafiği



Şekil 4.6. Yoğunluk için etkileşim grafiği

Şekil 4.6'da faktörlerin birbiri ile olan etkileşimi görülmektedir. AKT oranının %10 olduğu numunelerin bütün faktörlerin, her seviyesinde yoğunluğu artırdığı, bazalt elyaflı numunelerde artan kalıplama sıcaklığına bağlı olarak yoğunluğun artacağı grafikten görülmektedir.

Çizelge 4.9. Yoğunluk için S/N oranları

Seviye	Presleme Süresi	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi	Presleme Basıncı	Presleme Sıcaklığı	Andız Oranı
1	5,693	5,924	5,700	5,771	5,550	**6,356***
2	**5,793***	5,324	**5,923***	**5,813***	5,816	5,780
3	-	**5,981***	5,607	5,646	**5,863***	5,092
Delta	0,099	0,657	0,316	0,167	0,312	1,264
Rank	**6**	**2**	**3**	**5**	**4**	**1**

*Optimum seviye

Çizelge 4.9'da ki değerler yoğunluk için hangi parametrenin hangi seviyesinin en iyi sonuç verdiğini gösterir. Her faktörde, değerlerin büyüklüğü, yoğunluğu olumlu etkilediği, düşük olması olumsuz etkilediği anlamına gelir. Delta değeri en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farktır. Delta değerinin büyük olması etkinin büyük olduğunu gösterir. Rank değeri faktörlerin etki sırasını ifade eder. Bu sebeple yoğunluğa etki eden birinci faktör AKT oranıdır. Parametrelerin yoğunluğa etki sırası büyükten küçüğe Ao>Eç>Ks>Pc>Pb>Ps şeklinde olmuştur.

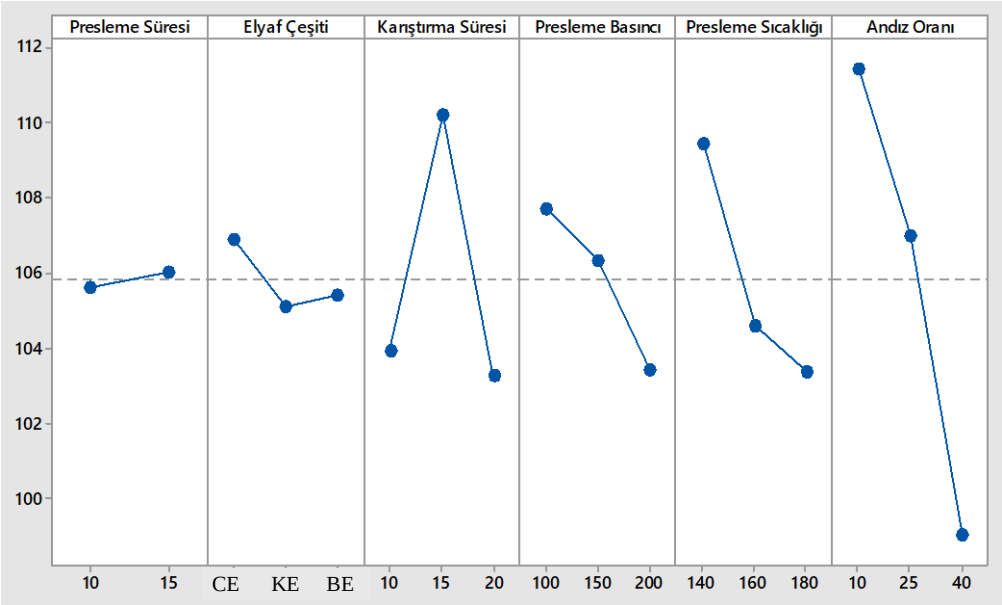
4.2.8.2.Sertlik sonuçlarının analizi

Sertliğin yüksek olması, aşınma direnci açışından önemlidir. Yüksek sertlik değeri için, AKT'nun birinci seviyesi (%10), presleme sıcaklığının birinci seviyesi (10°C), presleme basıncının birinci seviyesi (100MPa), karıştırma süresinin ikinci seviyesi (15dk), cam elyaf takviyesi ve presleme süresinin ikinci seviyesi (15dk) olması durumunda sertlik değerinin yüksek olması beklenir.

Çizelge 4.10. Sertlik için S/N oranları

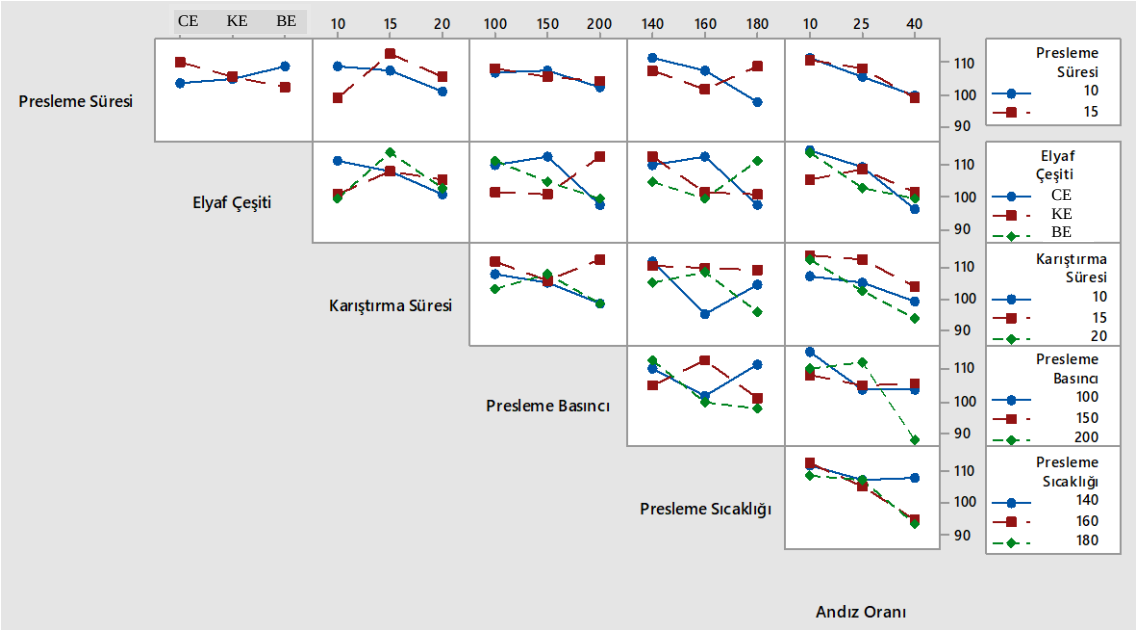
Seviye	Presleme Süresi	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi	Presleme Basıncı	Presleme Sıcaklığı	Andız Oranı
1	40,45	**40,54***	40,31	**40,63***	**40,77***	**40,93***
2	**40,47***	40,42	**40,83***	40,52	40,36	40,58
3	-	40,42	40,24	40,23	40,25	39,88
Delta	0,03	0,12	0,59	0,4	0,52	1,05
Rank	**6**	**5**	**2**	**4**	**3**	**1**

*Optimum seviye



Şekil 4.7. Sertlik için faktörlerin temel etki grafiği

Parametrelerin ve seviyelerinin sertliğe etkisini gösteren grafik Şekil 4.7'de, parametrelerin birbiri ile olan etkileşimini gösteren grafik Şekil 4.8'da verilmiştir. Ayrıca sertlik için en büyük en iyi yaklaşımına göre S/N oranları gösteren Çizelge 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.8. Sertlik için etkileşim grafiği

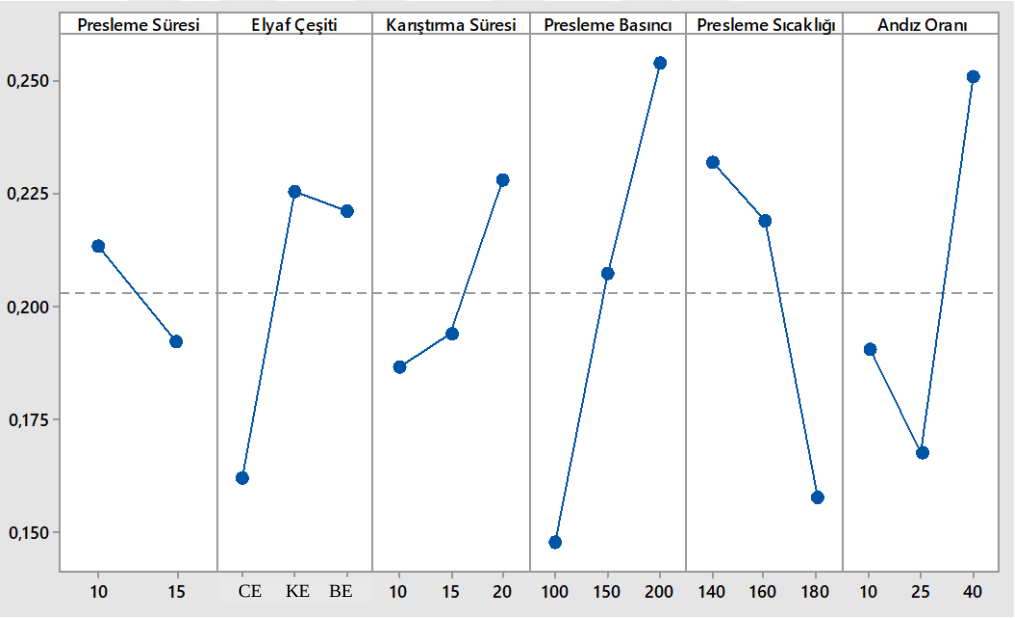
Çizelge 4.10'da ki değerler sertlik için hangi parametrenin hangi seviyesinin en iyi (en yüksek) sonuç verdiğini gösterir. Her faktörde, değerlerin büyüklüğü, sertliği

olumlu etkilediği (artırdığı), düşük olması olumsuz etkilediği (düşürdüğü) anlamına gelir. Delta değeri en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farktır. Delta değerinin büyük olması etkinin büyük olduğunu gösterir. Rank değeri faktörlerin etki sırasını ifade eder. Bu sebeple sertliğe etki eden birinci faktör AKT oranıdır.

Parametrelerin sertliğe etki sırası büyükten küçüğe şu şekilde olmuştur. Ao>Ks>Pc>Pb>Eç>Ps

4.2.8.3.Aşınma oranı sonuçlarının analizi

Balatalarda sürtünme esnasında aşınma miktarı balata ömrü için önemli bir faktördür ve mümkün olduğunca az olması istenir. Bu sebeple, en küçük en iyi amaçlanmış ve buna göre analiz yapılmıştır. Aşınma oranının düşük olabilmesi için, presleme sıcaklığının üçüncü (20°C), presleme süresi (15dk) ve AKT'nun ikinci seviye (%25), cam elyaf takviyeli, karıştırma süresi birinci seviye (10dk) ve presleme basıncı (100MPa) olması gerekir.



Şekil 4.9. Aşınma oranı için faktörlerin temel etki grafiği

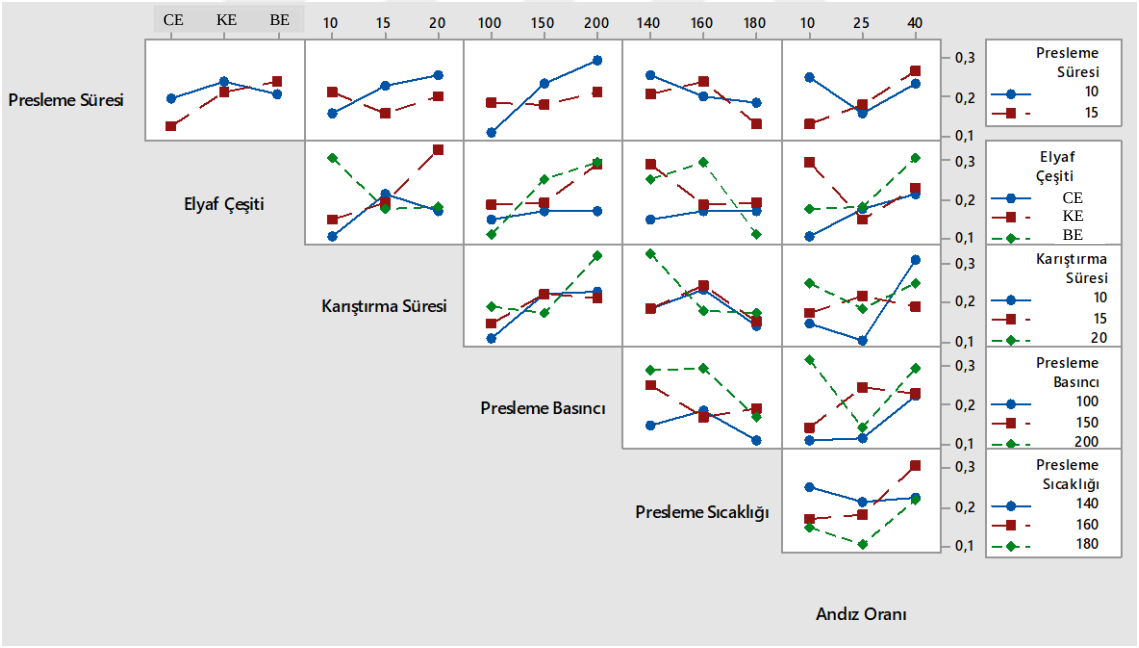
Parametrelerin ve seviyelerinin aşınma oranına etkisini gösteren grafik Şekil 4.9'da, parametrelerin birbiri ile olan etkileşimini gösteren grafik Şekil 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.11. Aşınma Oranı için S/N oranları

Seviye	Presleme Süresi	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi	Presleme Basıncı	Presleme Sıcaklığı	Andız Oranı
1	14,13	**16,22***	**15,11***	**16,92***	13,23	15,42
2	**14,52***	13,35	14,23	13,85	13,44	**15,91***
3	-	13,41	13,63	12,21	**16,3***	11,65
Delta	0,38	2,88	1,48	4,71	3,07	4,26
Rank	**6**	**4**	**5**	**1**	**3**	**2**

*Optimum seviye

Çizelge 4.11'de ki değerler aşınma oranı için hangi parametrenin hangi seviyesinin en iyi sonuç verdiğini gösterir. Her faktörde, değerlerin büyüklüğü, aşınma oranını olumlu etkilediği (azalttığı), düşük olması olumsuz etkilediği (artırdığı) anlamına gelir. Delta değeri en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farktır. Delta değerinin büyük olması etkinin büyük olduğunu gösterir. Rank değeri faktörlerin etki sırasını ifade eder. Bu sebeple aşınma oranına etki eden birinci faktör presleme basıncıdır.



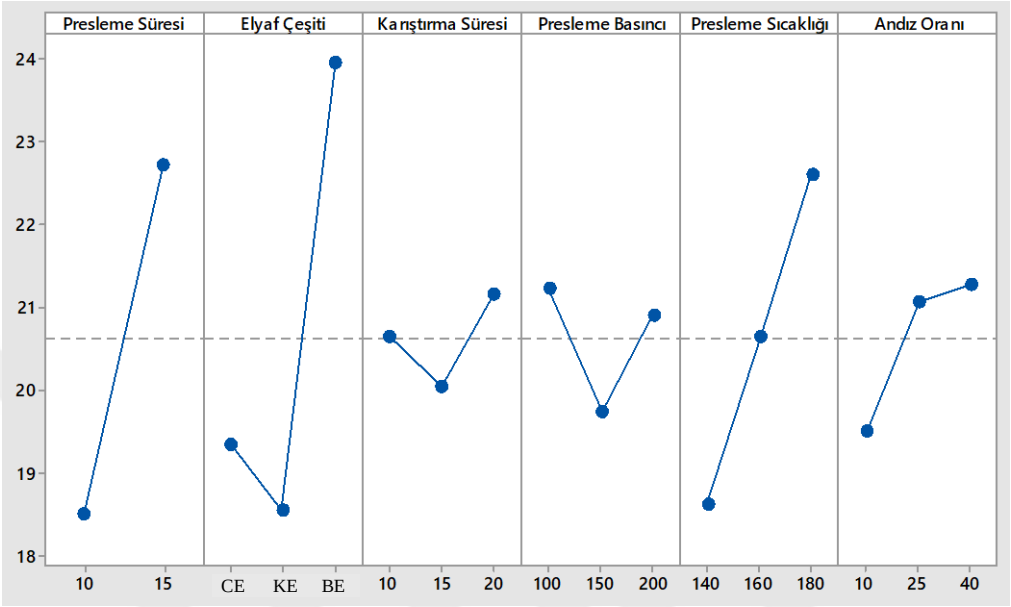
Şekil 4.10. Aşınma oranı için etkileşim grafiği

Parametrelerin aşınma oranına etki sırası büyükten küçüğe şu şekilde olmuştur. Pb>Ao>Pc>Eç>Ks>Ps

4.2.8.4.Sürtünme katsayısı değerlerinin analizi

Fren sistemlerinde, frenlemenin iyi olabilmesi için, balata-disk/kampana arasındaki sürtünme katsayısının yüksek olması istenir. Bundan dolayı analiz yapılırken

en büyük en iyi yaklaşımına göre analiz yapılmıştır. Sürtünme katsayısının yüksek olabilmesi için, presleme süresinin 2. seviyesi (15dk), bazalt elyaf takviyesi, karıştırma süresinin 3. seviyesi (20dk), presleme basıncının 1. seviyesi (100MPa), presleme sıcaklığının 3. seviyesi (180°C) ve AKT'nun üçüncü seviyede (%40) olması gerekir.



Şekil 4.11. Sürtünme katsayısı için faktörlerin temel etki grafiği

Parametrelerin ve seviyelerinin sürtünme katsayısına etkisini gösteren grafik Şekil 4.11'de, parametrelerin birbiri ile olan etkileşimini gösteren grafik Şekil 4.12'de verilmiştir.

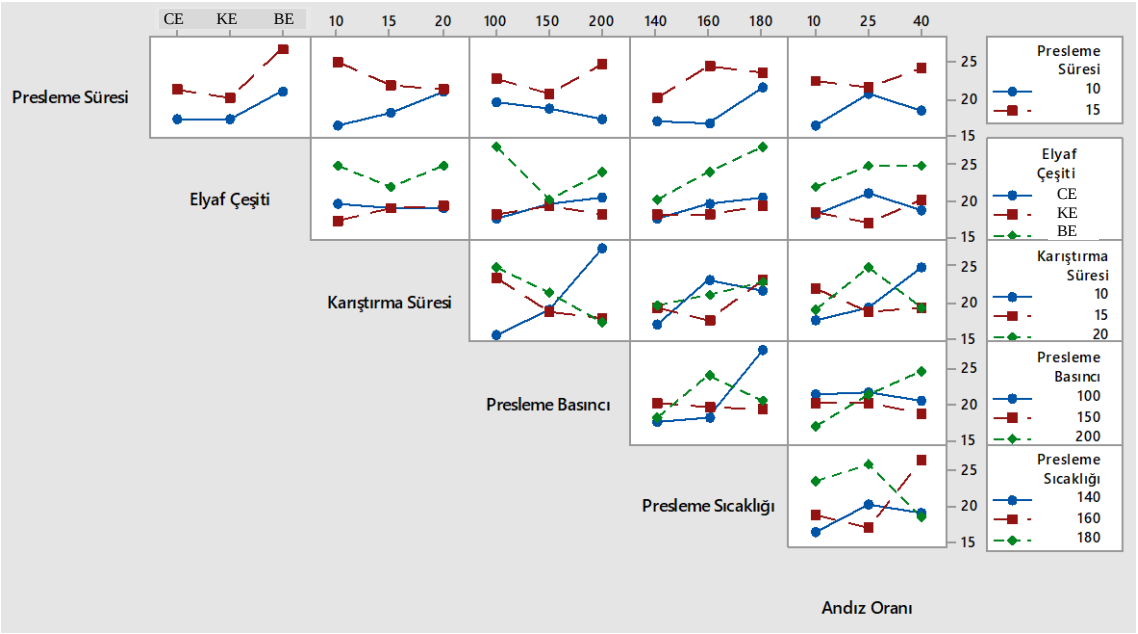
Sürtünme katsayısı için en büyük en iyi yaklaşımına göre S/N oranları gösteren Çizelge 4.12'de verilmiştir. Delta değeri, en büyük S/N değeri ile en küçük S/N değeri arasındaki farktır. Delta değerinin büyük olması daha etkili olduğu anlamına gelir. Rank değeri faktörlerin etki sırasını ifade eder. Sürtünme katsayısına etki eden birinci faktör elyaf çeşididir.

Elyaf çeşitleri incelendiğinde, sürtünme katsayısını yükselttiği görülen bazalt elyafı oluşturan bazaltın kimyasal içeriğindeki, SiO_2, Al_2O_3 Fe_2O_3,CaO ve MgO dikkat çekmektedir. Karbon elyafın, bünyesinde bulunan karbondan dolayı yağlayıcı etkisi gösterip sürtünme katsayısını azalttığı düşünülmektedir. Ayrıca AKT oranının sürtünme katsayısının artmasına olumlu etki ettiği görülmüştür.

Çizelge 4.12. Sürtünme katsayısı için S/N oranları

Seviye	Presleme Süresi	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi	Presleme Basıncı	Presleme Sıcaklığı	Andız Oranı
1	25,57	26,04	26,45	26,64	26,12	26,03
2	**27,69***	25,70	26,31	**26,65***	26,47	**27,03***
3	-	**28,15***	**27,13***	26,60	**27,29***	26,82
Delta	2,12	2,45	0,81	0,05	1,18	1
Rank	**2**	**1**	**5**	**6**	**3**	**4**

*Optimum seviye



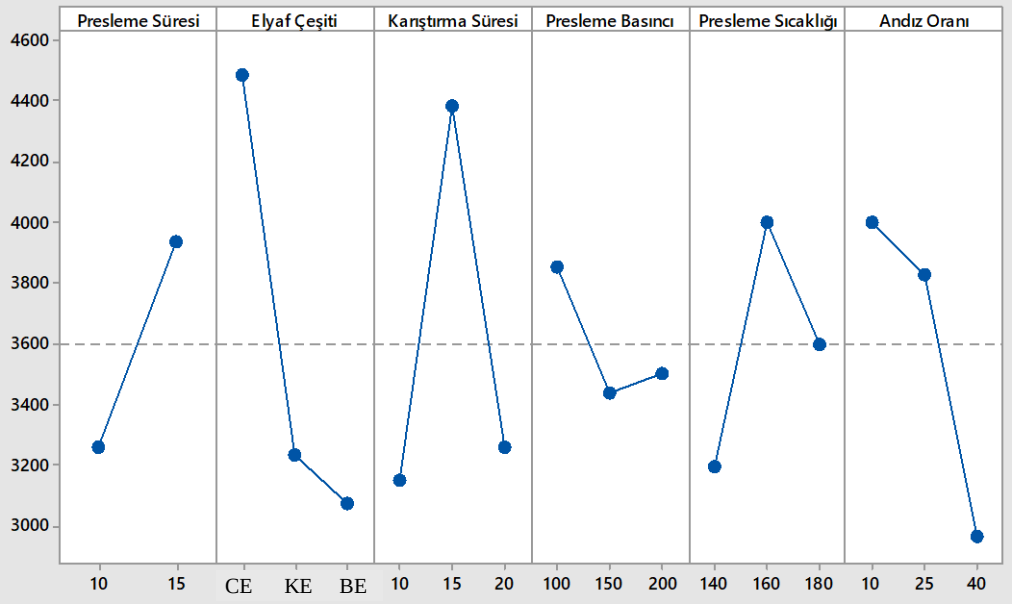
Şekil 4.12. Sürtünme katsayısı için etkileşim grafiği

Parametrelerin sürtünme katsayısına etki sırası büyükten küçüğe Eç>Ps>Pc>Ao>Ks>Pb şeklinde olmuştur.

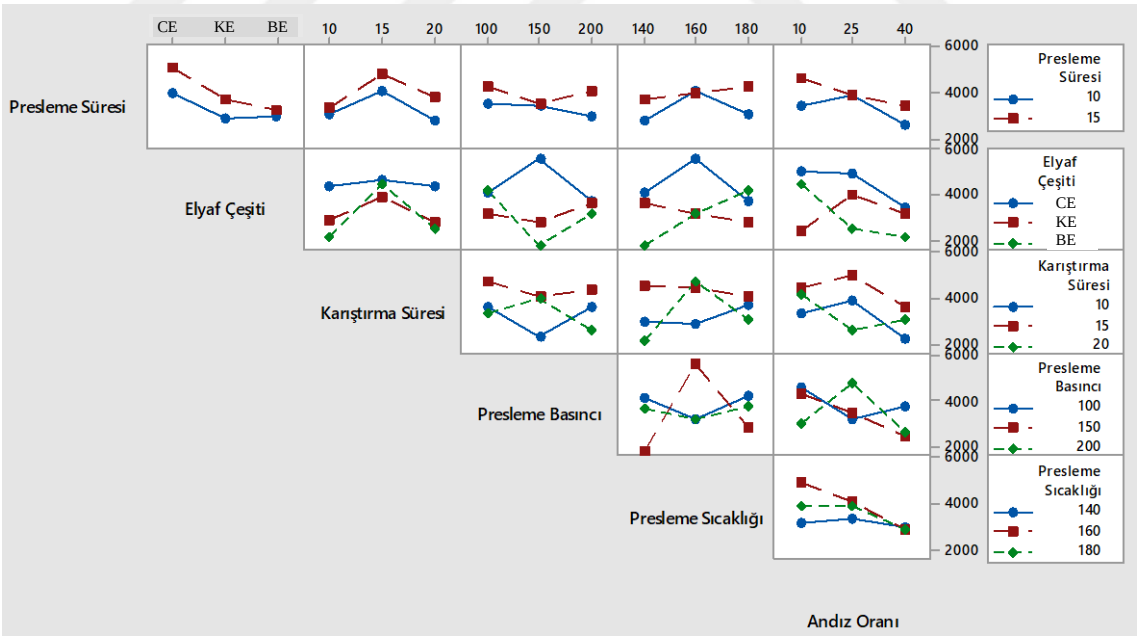
4.2.8.5.İç kesme kuvveti sonuçlarının analizi

Frenleme esnasında, disk/kampana balatayı sürtünmenin etkisi ile aşındırmaya çalışır. Balata ömrünün uzun olabilmesi için iç kesme kuvvetinin yüksek olması istenir. Bunun için en büyük en iyi yaklaşımına göre; AKT oranının birinci seviye (%10), presleme sıcaklığının ikinci seviye (160°C), presleme basıncının birinci seviye (100MPa), karıştırma süresinin ikinci seviye (15dk), presleme süresinin ikinci seviye (15dk) ve cam elyaf takviyesi gerekir. E-Cam elyafının kopma uzaması, bazalt elyaf ve karbon elyafa daha yüksektir. Kopma uzamasının fazla olması cam elyaflı numunelerin sünek davranış sergilemesine sebep olarak yorumlanmış ve bundan dolayı cam elyaflı numunelerin kesme kuvveti fazla çıkmıştır. Ayrıca cam elyafın elyaf çapının

diğerlerinden biraz fazla olması da kesme kuvvetini etkilemiş olarak düşünülmüştür. Cam elyafın kayma modülü 30-36GPa (https://azom) iken karbon elyafın kayma modülü 10-15GPa (https://link.springer) dır.



Şekil 4.13. İç kesme kuvveti için faktörlerin temel etki grafiği



Şekil 4.14. İç kesme kuvveti için etkileşim grafiği

Parametrelerin ve seviyelerinin iç kesme kuvvetine etkisini gösteren grafik Şekil 4.13'de, parametrelerin birbiri ile olan etkileşimini gösteren grafik Şekil 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. İç kesme kuvveti için S/N oranları

Seviye	Presleme Süresi	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi	Presleme Basıncı	Presleme Sıcaklığı	Andız Oranı
1	69,92	**72,80***	69,57	**71,58***	69,41	**71,57***
2	**71,34***	69,95	**72,69***	69,79	**71,65***	71,14
3	-	69,13	69,62	70,52	70,82	69,18
Delta	1,41	3,66	3,12	1,79	2,24	2,39
Rank	**6**	**1**	**2**	**5**	**4**	**3**

*Optimum seviye

Çizelge 4.13'de ki değerler aşınma oranı için hangi parametrenin hangi seviyesinin en iyi sonuç verdiğini gösterir. Her faktörde, değerlerin büyüklüğü, iç kesme kuvvetini olumlu etkilediği, düşük olması olumsuz etkilediği anlamına gelir. Delta değeri en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farktır. Delta değerinin büyük olması etkinin büyük olduğunu gösterir. Rank değeri faktörlerin etki sırasını ifade eder. İç kesme kuvvetine etki eden birinci faktör elyaf çeşididir.

Parametrelerin iç kesme kuvvetine etki sırası en etkiliden az etkiliye Eç>Ks>Ao>Pc>Pb>Ps şeklinde olmuştur.

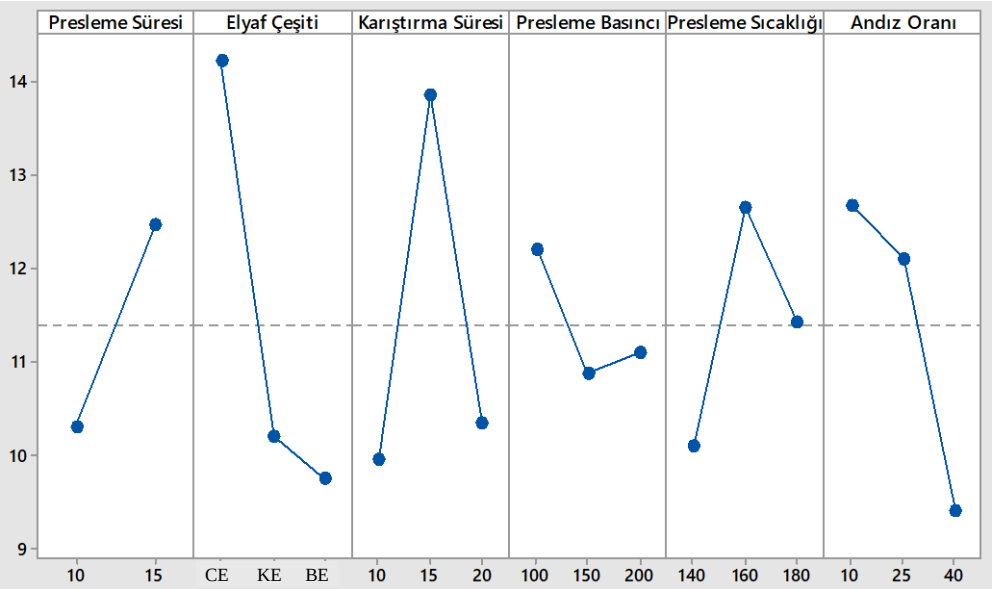
4.2.8.6.İç kesme mukavemeti sonuçlarının analizi

İç kesme mukavemeti, frenleme esnasında iç kesme kuvvetine karşı oluşan mukavemettir ve iç kesme kuvvetinin etki ettiği alana bölünmesi ile bulunur. İç kesme mukavemeti ne kadar büyükse balata ömrünün o kadar uzun olması beklenir. İç kesme mukavemeti, iç kesme kuvvetinin bir sonucu olduğu için; AKT oranının birinci seviye (%10), presleme sıcaklığının ikinci seviye (160°C), presleme basıncının birinci seviye (100MPa), karıştırma süresinin ikinci seviye (15dk), presleme süresinin ikinci seviye (15dk) ve cam elyaf takviyesi iç kesme mukavemetini artıracaktır. Cam elyafın kayma modülünün yüksek olması, cam elyaf takviyeli numunelerin kesme dayanımını artırmıştır. AKT oranının yüksekliği kesme dayanımına olumsuz etki yapmıştır.

Çizelge 4.14. İç kesme mukavemeti için S/N oranları

Seviye	Presleme Süresi	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi	Presleme Basıncı	Presleme Sıcaklığı	Andız Oranı
1	19,92	**22,82***	19,56	**21,60***	19,39	**21,57***
2	**21,34***	19,93	**22,70***	19,78	**21,65***	21,14
3	-	19,15	19,64	20,52	20,85	19,19
Delta	1,42	3,67	3,14	1,81	2,26	2,38
Rank	**6**	**1**	**2**	**5**	**4**	**3**

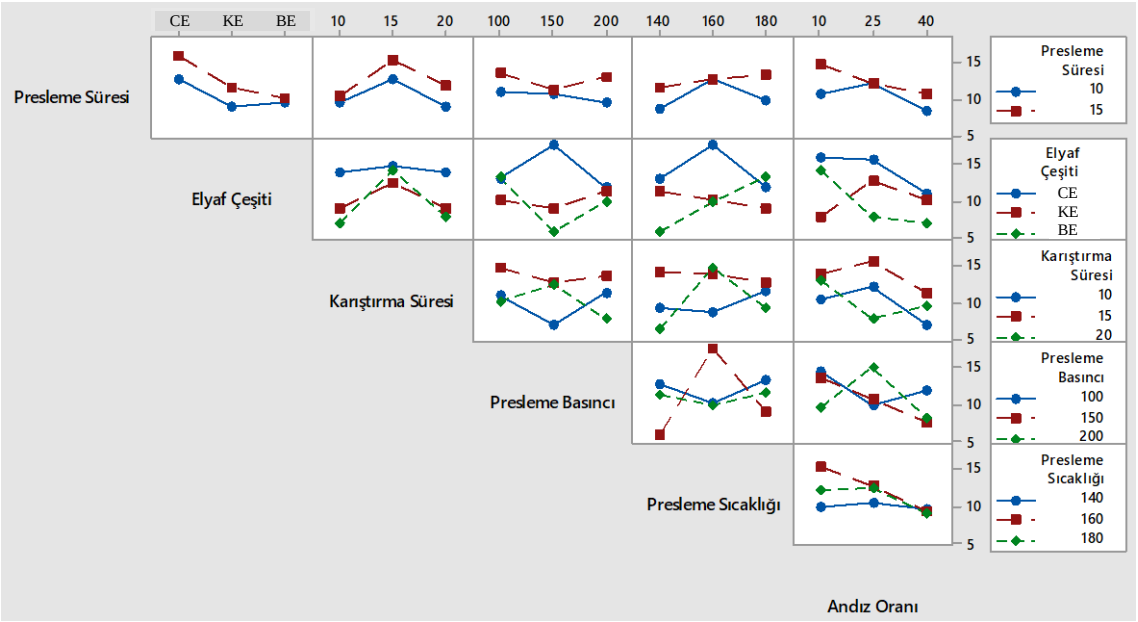
*Optimum seviye



Şekil 4.15. İç kesme mukavemeti için faktörlerin temel etki grafiği

Parametrelerin ve seviyelerinin iç kesme mukavemetine etkisini gösteren grafik Şekil 4.15'de, parametrelerin birbiri ile olan etkileşimini gösteren grafik Şekil 4.16'da verilmiştir.

İç kesme mukavemeti için en büyük en iyi yaklaşımına göre S/N oranları gösteren Çizelge 4.14'de verilmiştir. Tablodaki seviyelerde koyu renkli yazılan değerler, ilgili faktör için ideal olan seviyeyi ifade eder. Rank değeri faktörlerin etki sırasını ifade eder. İç kesme mukavemetine etki eden birinci faktör elyaf çeşididir.



Şekil 4.16. İç kesme kuvveti için etkileşim grafiği

İç kesme kuvvetinin bir sonucu olan kesme dayanımına da faktörlerin etki sırası, en etkiliden az etkiliye Eç>Ks>Ao>Pc>Pb>Ps şeklinde olmuştur.

4.2.8.7.Doğrulama numunelerine karar verilmesi

L_{18} numunelerinin sonuçlarının incelenmesi ve bu sonuçların analizinin yapılması sonucunda hangi parametrelerin hangi deney sonuçlarına daha etkin olduğu bölüm (4.2.8)'de sonuçların analizinde açıklanmıştır. Her sonuç için, çizelgelerde verilen faktörlerden rank değerinin büyük olması ilgili parametrenin, en etkin parametre olduğu belirtilmiştir. Bütün sonuçlar için faktörlerin etkinliğini sıralayabilmek için, yukarıda bölüm (4.2.8)'de verilen çizelgelerdeki delta ve rank değerleri bir çizelgede birleştirirlirse ve her parametrenin delta ve rank değerleri alt alta toplanırsa, parametrelerin bütün sonuçlar için delta ve rank değerini bulmuş olunur. Bu da bize faktörlerin etkinlik sırasını verir. Çizelge 4.15'i incelediğimizde sonuçlara en etkili parametreler olarak elyaf çeşidi ve AKT oranı olduğu görülmüştür. En az etkili parametrenin ise presleme süresi olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.15. Parametrelerin rank ve delta değerleri

	AKT Oranı		Elyaf Çeşidi		Karıştırma Süresi		Presleme Sıcaklığı		Presleme Basıncı		Presleme Süresi	
	Rank	Delta	Rank	Delta	Rank	Delta	Rank	Delta	Rank	Delta	Rank	Delta
Yoğunluk	**1**	1,05	2	0,12	3	0,59	4	0,52	5	0,40	6	0,02
İç Kesme Kuvveti	3	1,26	**1**	0,66	2	0,32	4	0,31	5	0,17	6	0,10
Aşınma Oranı	2	1,00	4	2,45	5	0,81	3	1,18	**1**	0,05	6	2,12
Sertlik	**1**	2,38	5	3,67	2	3,14	3	2,26	4	1,81	6	1,42
Sürtünme Katsayısı	4	2,39	**1**	3,66	5	3,12	3	2,24	6	1,79	2	1,41
Gerilme	3	4,26	**1**	2,88	2	1,48	4	3,07	5	4,71	6	0,38
Toplam	**14**	**11,29**	**14**	**13,32**	**19**	**8,87**	**21**	**9,06**	**26**	**8,53**	**32**	**5,43**

Sonuçların analizi bölümünde verilen S/N grafiklerinde parametrelerin hangi seviyesinin en iyi sonucu vereceği belirtilmiştir. Faktörlerin incelenen her sonuç için etkili seviyeleri ve bu seviyelerin değerleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.15'ten faydalanılarak, presleme süresi, karıştırma süresi presleme sıcaklığı ve presleme basıncının optimum seviyeleri Çizelge 4.16'ya işlenmiştir. Buna göre, presleme süresinin 15 dakika, karıştırma süresinin 15 dakika, presleme basıncının 100MPa ve presleme sıcaklığının 160°C seçilmesine, sonuçlara en fazla etki ettiği görülen elyaf çeşidinin ve AKT oranının %0, %5, %15 ve %20 oranlarında değiştirilerek 12 adet doğrulama numunesinin üretimine karar verilmiştir.

Çizelge 4.16. Parametrelerin etkili seviyeleri

	Presleme Süresi	**Elyaf Çeşidi**	**Karıştırma Süresi**	**Presleme Basıncı**	**Presleme Sıcaklığı**	**Andız Oranı**
Yoğunluk	15	BE	15	150	180	10
İç Kesme Kuvveti	15	CE	15	100	160	10
Aşınma Oranı	15	CE	10	100	180	25
Sertlik	15	CE	15	100	140	10
Sürtünme Katsayısı	15	BE	20	150	180	25
Gerilme	15	CE	15	100	160	10
Yapılan Seçim	**15dk**	**CE, KE, BE**	**15dk**	**100MPa**	**160°C**	**%0,5,15,20**

Çizelge 4.17'de doğrulama numunelerinin kütlece malzeme % içeriği ve üretim şartları toplu olarak görülebilir.

Çizelge 4.17. Doğrulama numunelerinin içerik ve üretim şartları

Numune Kodu	**Elyaf Türü**	**AKT Oranı**	**Barit**	**Elyaf**	**Reçine**	**Kok Kömürü Tozu**	**Karıştırma Süresi**	**Presleme**		
								Süresi	**Basıncı**	**Sıcaklığı**
		%	%	%	%	%	Dakika	Dakika	MPa	°C
CA00	Cam E.	0	50	20	25	5	15	15	100	160
CA05	Cam E.	5	47,5	19,0	23,75	4,75	15	15	100	160
CA15	Cam E.	15	42,5	17,0	21,25	4,25	15	15	100	160
CA20	Cam E.	20	40	16,0	20	4,0	15	15	100	160
KA00	Karbon E.	0	50	20	25	5	15	15	100	160
KA05	Karbon E.	5	47,5	19,0	23,75	4,75	15	15	100	160
KA15	Karbon E.	15	42,5	17,0	21,25	4,25	15	15	100	160
KA20	Karbon E.	20	40	16,0	20	4,0	15	15	100	160
BA00	Bazalt E.	0	50	20	25	5	15	15	100	160
BA05	Bazalt E.	5	47,5	19,0	23,75	4,75	15	15	100	160
BA15	Bazalt E.	15	42,5	17,0	21,25	4,25	15	15	100	160
BA20	Bazalt E.	20	40	16,0	20	4,0	15	15	100	160

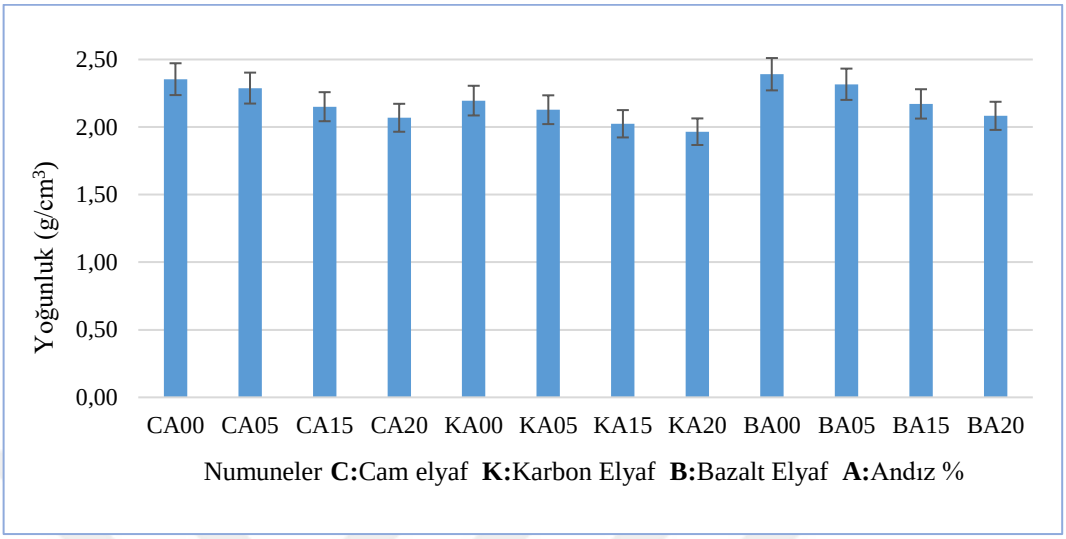
4.3. Doğrulama deneylerinin sonuçları

Doğrulama numuneleri de L_{18} numuneleri ile aynı şartlarda ve aynı testlere tabi tutulmuştur. Sonuçları aşağıda ayrı başlıklar halinde verilmiştir.

4.3.1. Yoğunluk sonuçları

Bütün elyaf gruplarında, AKT oranının artması, yoğunluğu düşürmüştür. Elyaf takviyelerinden, bazalt takviyeli numunelerin yoğunluğu yüksek, karbon elyaf takviyeli numunelerin yoğunluğu düşük çıkmıştır. Bu durum, Çizelge 3.4' de verilen elyaf yoğunluklarının farkından kaynaklanmaktadır. Doğrulama numunelerinin yoğunluk değerlerini gösteren grafik Şekil 4.17'de verilmiştir. Andız kozalağının yoğunluğu

0,906g/cm^3 olduğu göz önüne alındığında bütün elyaf türlerinde AKT oranının artışına paralel olarak yoğunluğun düşmesi beklenilen bir durumdur.



Şekil 4.17. Doğrulama numunelerinin yoğunluk grafiği

Numunelerin yoğunlukları, 1,97–2,39 g/cm^3 arasında değişmektedir. En yüksek yoğunluk bazalt elyaf takviyeli AKT'nun %0 olduğu BA00 numunesinde, en düşük yoğunluk ise karbon elyaf takviyeli AKT'nun %20 olduğu KA20 numunesinde elde edilmiştir. Elyafların yoğunluğu aynı AKT oranlarına sahip numunelerde numune yoğunlukların da belirleyici olmuştur.

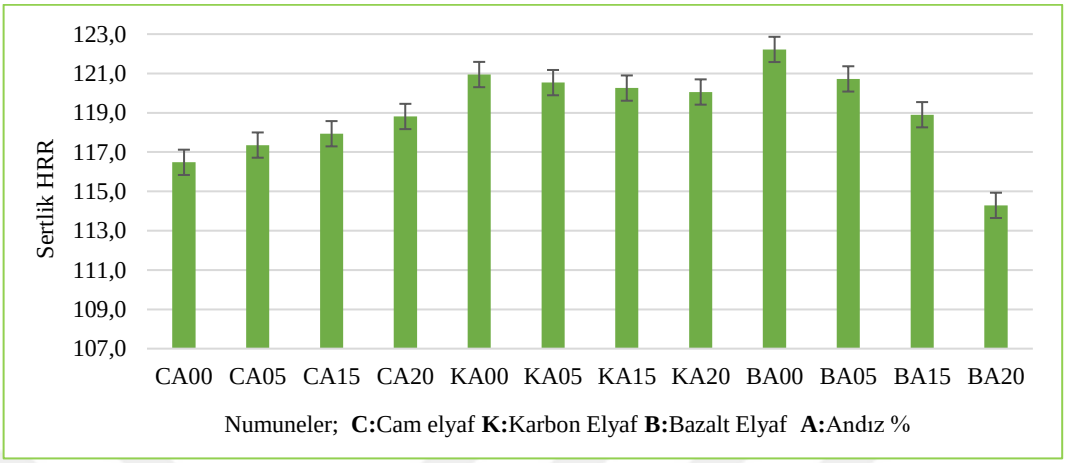
4.3.2. Sertlik sonuçları

Bazalt ve karbon elyaf takviyeli numunelerde, AKT oranı arttıkça sertlik düşerken, cam elyaf takviyeli numunelerde AKT oranı arttıkça numunelerin sertliği bir miktar artmaktadır. AKT'nun oranının artmasına rağmen, sertliğin sadece cam elyaf takviyeli numunelerde artması, L_{18} numunelerinin sonuçları analiz edilirken, AKT'nun sertliğe etkin parametre olması ve cam elyaf kullanılmasının sertliği artırmada etkili olması sebebiyle açıklanabilir.

Çelikçi (2013); aynı oranlarda hazırlanan kompozitlerde karbon elyaf takviyesinin cam elyaftan daha fazla sertlik değerini arttırdığı belirtmiştir. Bizim sonuçlarımızla örtüşmektedir.

Andız kozalağının meyve kısmının sertliği 89,23 HRR dir. Fakat kabuk ve embriyo kısmı daha yumuşaktır. AKT tozu ilavesinin sertliği karbon elyaf ve bazalt elyaf takviyeli numunelerde düşürmesi andızın sertliğinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. AKT oranındaki artışa göre cam elyaf takviyeli numunelerin

sertliğinin artması, cam elyafın elastisite modülünün düşük olmasından kaynaklanıyor olarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.18. Doğrulama numunelerinin sertlik grafiği

Numunelerin sertlik grafiği Şekil 4.18'de verilmiştir. Sertlik değerleri 114,3–122,2 arasında değişmektedir. %0 ve %5 AKT ilaveli numunelerde sertlik değeri bazalt elyaf takviyeli numunelerde yüksek, cam elyaf takviyeli numunelerde en düşüktür. %15 AKT ilaveli numunelerde karbon elyaf takviyeli numunenin sertliği en yüksek, cam elyaflı numunenin sertliği en düşüktür. %20 AKT ilaveli numunelerde ise karbon elyaf takviyeli numunenin sertliği en yüksek, bazalt elyaflı numunenin sertliği en düşüktür. AKT ilave oranı cam elyaf takviyeli numunelerde sertliği artırırken, karbon elyaf ve bazalt elyaf takviyeli numunelerde düşürmektedir.

4.3.3. Yüzey pürüzlülüğü

Doğrulama numunelerinin aşınma deneyi için daha önce kullanılan diskler yeniden taşlanarak, her numune için ayrı disk kullanılmıştır. Bu disklerin üçer noktasından deney öncesi ve deney sonrası yüzey pürüzlülüğü (R_a) ölçülmüş ve Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğündeki farkın negatif çıkması pürüzlülüğün azalması, farkın pozitif çıkması pürüzlülüğün artmasını ifade eder. Disklerin çoğunluğunun pürüzlülüğü deney sonrası azalmıştır. Bunun sebebi aşınma deneyi esnasında numuneden kopan parçacıkların disk yüzeyine yapışması ve disk yüzeyindeki boşlukları doldurması olabilir. Ayrıca numune aşınırken, diskte bir miktar aşınacaktır ve buda pürüzlülüğü azaltacaktır. Pozitif çıkmasının sebebi ise numuneden kopan tozların disk yüzeyinde çizikler oluşturması ile açıklanabilir. Ayrıca pürüzlülük ölçümü çizgiseldir, deney öncesi ve

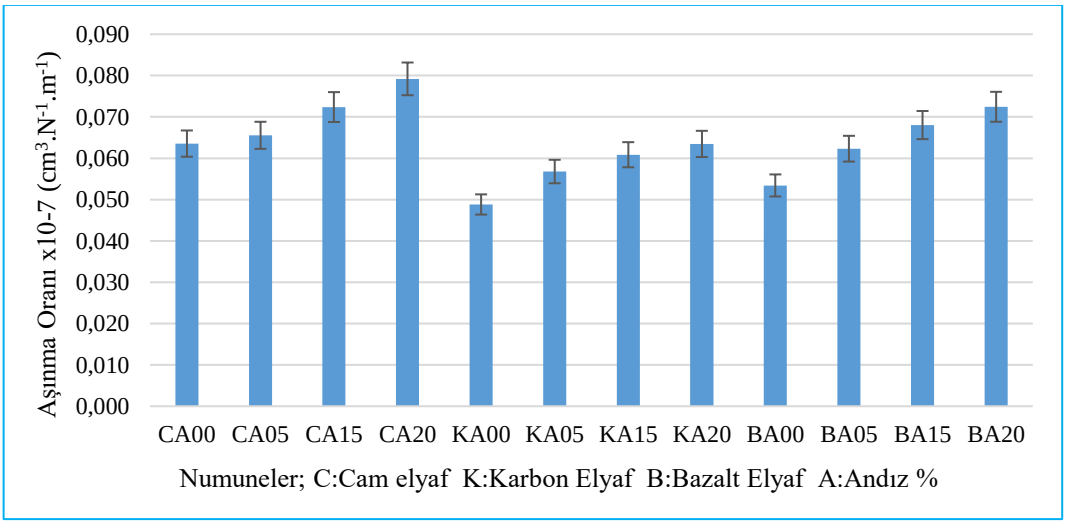
sonrası yaklaşık aynı çizgiden ölçüm yapılmaya çalışılsa da tam olarak aynı çizgiden ölçmek neredeyse imkânsızdır. Bu sebeple ölçüm hatası olarak ta yorumlanabilir.

Çizelge 4.18. Doğrulama numuneleri için disk pürüzlülüğü (R_a) değerleri

Disk No	**Deneyden Önce**	**Deneyden Sonra**	**Fark**
1	0,614	0,540	-0,073
2	0,646	0,479	-0,167
3	0,595	0,655	0,060
4	0,788	0,750	-0,038
5	0,777	0,709	-0,068
6	0,722	0,814	0,092
7	0,649	0,578	-0,071
8	0,730	0,683	-0,047
9	0,713	0,653	-0,061
10	0,665	0,613	-0,052
11	0,907	1,067	0,160
12	0,830	0,842	0,013

4.3.4. Aşınma oranı sonuçları

Bütün numunelerde aşınma oranı TS 555'de belirtilen minimum değerlerin çok altındadır. Bu yeterli sürtünme katsayısı oluşamamasından kaynaklanabilir. En az aşınma oranı 0,0296x10^{-7}(cm^3.N^{-1}.m^{-1}) bazalt elyaf takviyeli %15 AKT ilaveli BA20 numaralı numunede elde edilmiştir. En yüksek aşınma ise, 0,0792x10^{-7} (cm^3.N^{-1}.m^{-1}) cam elyaf takviyeli %20 AKT ilaveli CA20 numaralı numunede elde edilmiştir.

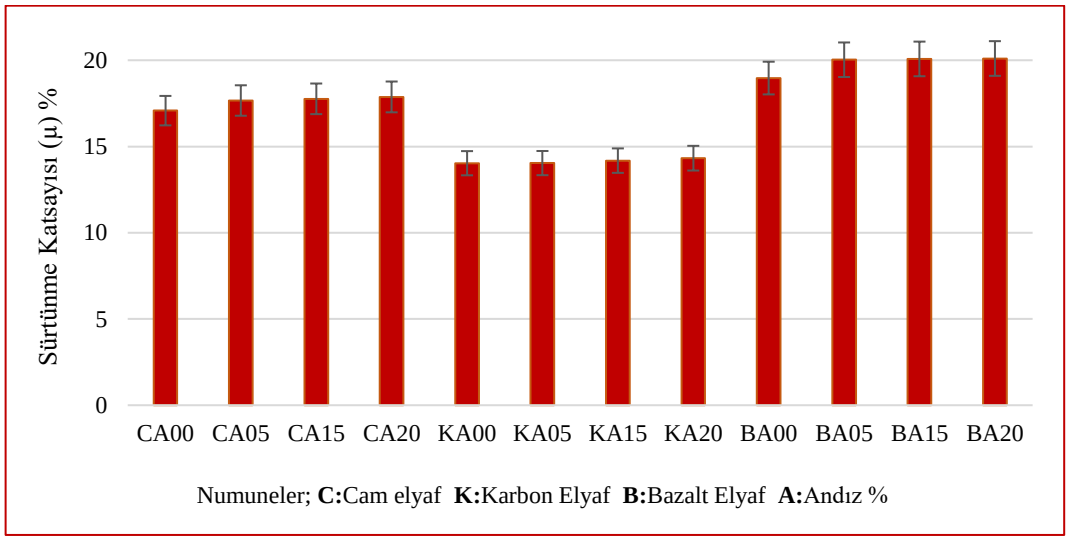


Şekil 4.19. Doğrulama numunelerinin aşınma oranı grafiği

En yüksek aşınma oranı bile TS 555'de belirtilen en düşük değerden yaklaşık altmış kat daha düşüktür. Bu durum ürettiğimiz numuneler için olumludur. Aşınma oranının düşük çıkması katı yağlayıcının oranının yüksekliği ile açıklanabilir. Bu durum literatürle de uyuşmaktadır. Şekil 4.19'da doğrulama numunelerinin aşınma oranı grafiği verilmiştir. Bütün AKT oranlarında aşınma oranı, cam elyaf takviyeli numunelerde diğerlerine göre fazla, karbon elyaf takviyeli numunelerde ise diğerlerine göre düşüktür. Yoğunluk, sertlik ve sürtünme katsayısı, aşınma oranına etki etmektedir. Karbon elyaflı numunelerin aşınmasının düşük olması sürtünme katsayısının düşük olması ile açıklanabilir. Cam elyaflı numunelerin aşınmasının diğerlerine göre yüksek olması ise bu numunelerin sertliğinin diğerlerine göre düşük olması ile açıklanabilir. Bütün elyaf çeşitlerinde AKT oranının artması numune yoğunluğundaki düşüşe bağlı olarak aşınma oranını artırmıştır.

4.3.5. Sürtünme katsayısı sonuçları

Numunelerin sürtünme katsayıları çok düşük çıkmıştır. Bunun sonucunda da aşınma düşük çıkmıştır. Sürtünme katsayısı, karbon elyaf takviyeli numunelerde diğerlerine göre daha düşük çıkmıştır. Sürtünme katsayıları %14–%20 arasında değişmektedir. Bu değerlerde ki numunelerin, TS555'deki sınıflandırmaya göre 4 tanesi C sınıfı, 8 tanesi D sınıfı balata sınıfına girmektedir.



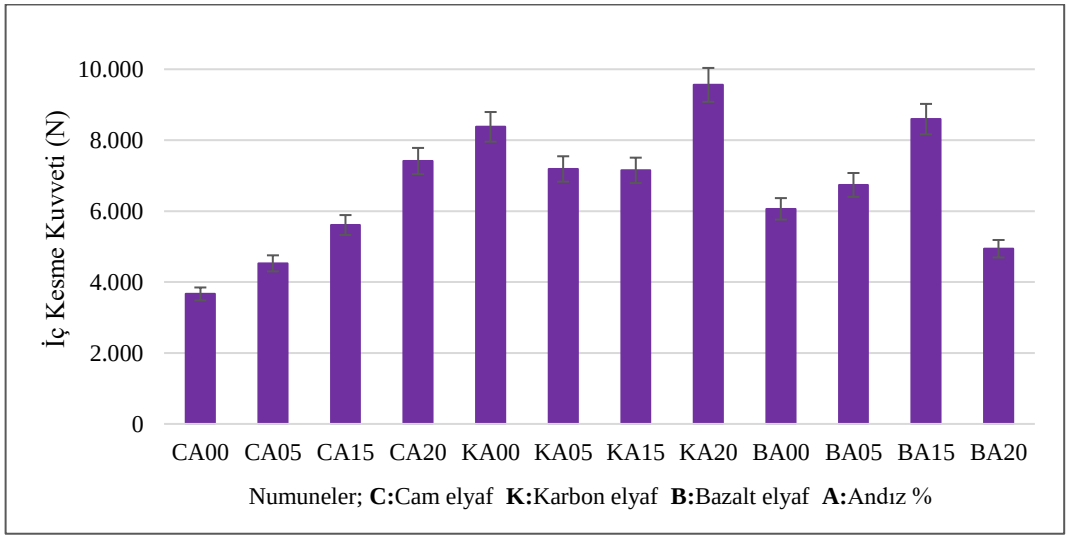
Şekil 4.20. Doğrulama numunelerinin sürtünme katsayısı grafiği

Şekil 4.11'de L_{18} deney numunelerinin sürtünme katsayısı sonuçlarına faktörlerin etkisini gösteren grafik incelendiğinde, sürtünme katsayısını karbon elyafın düşürdüğü, bazalt elyafın ise artırdığı görülmektedir. Ayrıca aynı grafikten AKT oranının da

artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir. Doğrulama numunelerinin sürtünme katsayılarını gösteren Şekil 4.20'de ki grafik incelendiğinde en yüksek sürtünme katsayısı bazalt elyaf takviyeli numunelerde, en düşük sürtünme katsayılarının ise karbon elyaf takviyeli numunelerde çıktığı dikkat çekicidir. Şekil 4.20'de ki grafikteki sürtünme katsayısı sonuçlarının Şekil 4.11'deki faktörlerin etkisi ile uyumlu olması Taguchi yönteminin doğruluğunu ortaya koyar. Sürtünme katsayısının düşük çıkmasının iki sebebi olabilir, bunlar katı yağlayıcı olarak ilave edilen kok kömürü oranının fazla olması veya andız kozalağının kimyasal yapısında bulunun yaklaşık %5 lipitlerdir. Sürtünme katsayısının bazalt elyaflı numunelerde cam elyaflı numunelere göre fazla çıkması, bazalt elyafın bünyesinde bulunan Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranlarının cam elyafa göre daha fazla bulunmasından kaynaklanıyor olarak yorumlanmıştır. Karbon elyafın bünyesinde bulunan, yüksek oranda karbonun yağlayıcı etki gösterip sürtünme katsayısını düşürdüğü düşünülmektedir.

4.3.6. İç kesme kuvveti sonuçları

İç kesme kuvveti değerleri aynı AKT oranı ilaveli numunelerde genellikle karbon elyaf takviyeli numunelerde yüksek çıkmıştır. Cam elyaf takviyeli numunelerde artan AKT ile iç kesme kuvveti artarken, diğer elyaf türlerinde bu durum söz konusu değildir.

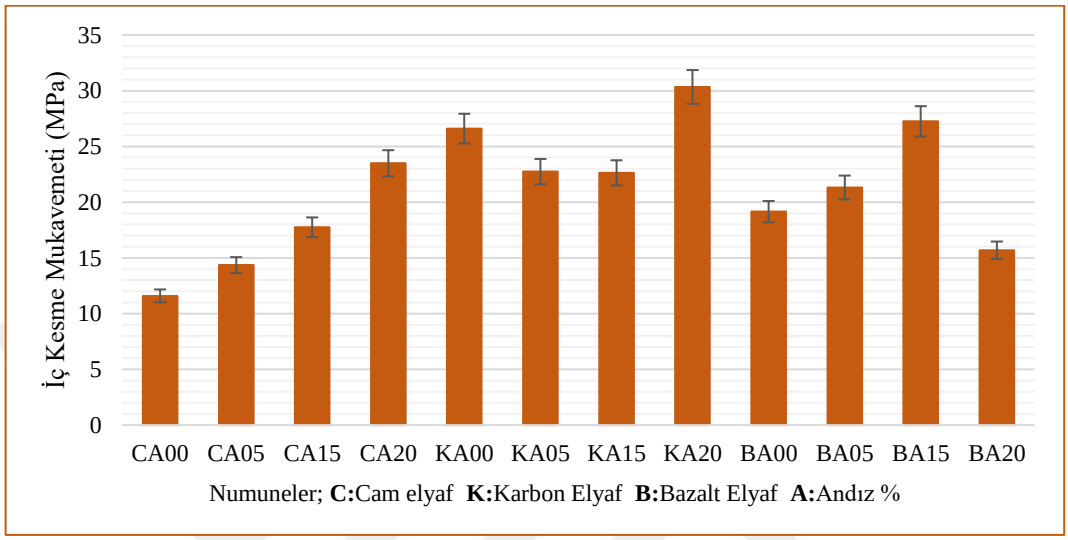


Şekil 4.21. Doğrulama numunelerinin iç kesme kuvveti grafiği

Şekil 4.21'de doğrulama numunelerin iç kesme kuvveti grafiği verilmiştir. En yüksek iç kesme kuvveti 9.559N ile karbon elyaflı %20 AKT ilaveli numunede, en düşük iç kesme kuvveti ise 3.664N ile cam elyaflı %0 AKT ilaveli numunede elde edilmiştir.

4.3.7. İç kesme mukavemeti sonuçları

İç kesme mukavemeti, iç kesme kuvvetinin bir sonucudur. Numunelerin alanları birbirine çok yakın olduğu için, iç kesme mukavemeti ve iç kesme kuvveti benzer şekilde çıkmıştır.



Şekil 4.22. Doğrulama numunelerinin iç kesme mukavemeti grafiği

İç kesme mukavemeti sonuçlarını gösteren grafik Şekil 4.22'de verilmiştir. En yüksek iç kesme mukavemeti 30,34MPa olarak KA20 numunesinde, en düşük iç kesme mukavemeti ise 11,59MPa olarak CA00 numunesinde elde edilmiştir.

4.4. Ticari balatanın sonuçları

Otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılan yerli üretim, hafif ticari araçlarda kullanılan Şekil 4.23 (a)'da resmi görülen ticari ön fren balatası ve Şekil 4.23 (b)'de resmi görülen arka fren balataları satın alınarak, ürettiğimiz numunelerle aynı çapta numuneler çıkartılmıştır. Ticari balatalardan çıkartılan numunelerin de doğrulama numuneleri ile aynı şartlarda yoğunluk, sertlik, aşınma oranı, sürtünme katsayısı, iç kesme kuvveti ve mukavemeti özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ön fren balatası ve arka fren balatası için ayrı ayrı aşağıda verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.23. Ticari ön fren (a) ve arka fren (b) balata numunelerinin fotoğrafı

4.4.1. Ön fren balatasının deney sonuçları

Hafif ticari araç için kullanılan ön fren balatasından 3 adet numune alınmış ve yöntem kısmında anlatılan testler, doğrulama numuneleri ile aynı şartlarda uygulanmıştır. Ticari ön fren balatasının yapılan EDX analizi sonucunda elde edilen kimyasal içeriği Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Ticari ön fren balatasının kimyasal içeriği

C	**O_2**	**Fe**	**Al**	**S**	**Si**	**Ca**	**Ba**	**Mg**	**Ti**	**Cu**	**K**	**Mn**	**Cl**	**V**
39,54	37,39	7,33	2,97	2,68	2,49	2,24	1,61	1,36	0,93	0,90	0,43	0,11	0,02	0,01

Ticari ön fren balatasına ait yoğunluk, sertlik, aşınma oranı, sürtünme katsayısı, iç kesme kuvveti ve mukavemeti sonuçları aşağıda Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Ticari ön fren balatasının test sonuçları

Yoğunluk	Sertlik	Aşınma Oranı $x(10^{-7})$	Sürtünme Katsayısı %			İç Kesme Kuvveti	İç Kesme Mukavemeti	Disk Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)		
g/cm^3	HRR	$cm^3.N^{-1}.m^{-1}$	Min	Ort	Maks	N	MPa	Önce	Sonra	Fark
2,84	**100,1**	**0,151**	**19,18**	**27,81**	**42,58**	**1.693**	**5,37**	**0,712**	**0,330**	**-0,382**

Ticari ön balatanın içeriğinde bulunan demir ve alüminyumun gibi malzemelerin yoğunluğu ve sürtünme katsayısını artırdığı düşünülmektedir. Sürtünme katsayısına bağlı olarak da aşınma oranı bir miktar fazla çıkmıştır. Sertliğin düşük olması kalsiyum oranının düşüklüğüne bağlı olarak yorumlanmıştır. İç kesme kuvveti ve mukavemetinin düşüklüğü ise metal tozlarının fazlalığın etkisi olarak düşünülmüştür.

4.4.2. Arka balatanın sonuçları

Hafif ticari araç için kullanılan arka fren balatasından 3 adet numune çıkarılmış ve yöntem kısmında anlatılan testler, doğrulama numuneleri ile aynı şartlarda uygulanmıştır. Aşınma testinde taşlanmış aşındırıcı disk kullanılmıştır. Ticari arka fren balatasının yapılan EDX analizi sonucunda elde edilen kimyasal içeriği Çizelge 4.21'de verilmiştir. Ticari arka fren balatasına ait test sonuçları aşağıda Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Ticari arka balatanın kimyasal içeriği

C	O_2	S	Ca	Fe	Na	Mg	Si	Zn	Al	Ba	Ti	K
46,80	33,39	3,38	3,35	3,03	2,93	2,14	1,97	1,21	0,71	0,54	0,41	0,14

Ticari arka fren balatasının yoğunluğunun, ön fren balatasına göre düşük olması, içeriğindeki karbon miktarının fazlalığı ve demirin azlığı ile açıklanabilir. Ticari arka fren balatasının sertliğinin ön fren balatasına göre düşük olması demir, alüminyum gibi sertliği yüksek bileşenler yerine sertliği düşük olan sodyum içermesi ile açıklanabilir. Sürtünme katsayısının yüksek olması bünyesinde bulunan ve gözle de görülebilen kauçuk (lastik) parçacıkları olabilir. İç kesme kuvveti ve mukavemetinin düşük olması sertliğinin düşük olması ile bağlantılı olmakla birlikte metal tozları ile kauçuk parçacıklarının birbiri ile birleşememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.22. Ticari arka balatanın test sonuçları

Yoğunluk	Sertlik	Aşınma Oranı $x(10^{-7})$	Sürtünme Katsayısı %			İç Kesme Kuvveti	İç Kesme Mukavemeti	Disk Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)		
g/cm^3	HRR	$cm^3.N^{-1}.m^{-1}$	Min.	Ort.	Maks	N	MPa	Önce	Sonra	Fark
2,25	**49,3**	**0,126**	**21,41**	**33,94**	**43,03**	**1.259**	**3,99**	**0,932**	**0,729**	**-0,204**

4.5. Doğrulama numunelerinin ticari balata ile kıyaslanması

Doğrulama numunesi olarak ürettiğimiz 12 adet numunelerin test sonuçları daha önce grafik olarak, ticari balataların test sonuçları ise çizelge olarak verilmiştir. Bunların tamamını kıyaslayabilmek için test sonuçları Çizelge 4.23'de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.23. Doğrulama numuneleri ve ticari balataların test sonuçları

Numune Kodu	Yoğunluk	Sertlik	Aşınma Oranı x(10^{-7})	Sürtünme Katsayısı %			İç Kesme		Disk Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)		
							Kuvvet	Gerilme			
	g/cm^3	HRR	cm^3.N^{-1}.m^{-1}	Min	Ort	Maks	N	MPa	Önce	Sonra	Fark
CA00	2,35	116,5	0,064	7,38	15,96	44,82	3.664	11,59	0,614	0,540	-0,073
CA05	2,29	117,4	0,051	8,53	17,05	36,42	4.528	14,35	0,646	0,479	-0,167
CA15	2,15	117,9	0,072	8,54	17,21	46,15	5.608	17,75	0,595	0,655	0,060
CA20	2,07	118,8	0,079	8,57	16,50	40,24	7.411	23,49	0,788	0,750	-0,038
KA00	2,20	120,9	0,049	5,91	13,51	32,77	8.376	26,60	0,777	0,709	-0,068
KA05	2,13	120,5	0,057	5,87	11,72	28,90	7.187	22,74	0,722	0,814	0,092
KA15	2,02	120,3	0,040	5,22	12,66	33,35	7.150	22,63	0,649	0,578	-0,071
KA20	1,97	120,1	0,063	7,36	13,49	31,97	9.559	30,34	0,730	0,683	-0,047
BA00	2,39	122,2	0,053	11,58	17,98	45,06	6.064	19,15	0,713	0,653	-0,061
BA05	2,32	120,7	0,047	9,40	18,86	44,68	6.738	21,32	0,665	0,613	-0,052
BA15	2,17	118,9	0,030	5,34	18,93	47,13	8.594	27,25	0,907	1,067	0,160
BA20	2,08	114,3	0,072	7,63	18,54	47,36	4.940	15,68	0,830	0,842	0,013
TÖ	2,84	100,1	0,151	19,18	27,81	42,58	1.693	5,37	0,712	0,330	-0,382
TA	2,25	49,3	0,126	21,41	33,94	43,03	1.259	3,99	0,932	0,729	-0,204

- Yoğunluklar incelendiğinde, ticari ön fren balata numunesinin yoğunluğu en yüksektir. Bunun sebebi içerinde bulunan metal tozlarının yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bazalt elyaf ve cam elyaf takviyeli AKT oranı %0–%5 olan numunelerin yoğunluğu arka fren balata numunesinin yoğunluğundan yüksek olduğu görülmüştür. Arka fren balatasının içeriğinde karbon oranı yüksek metal tozlarının oranı düşük olmasından dolayı yoğunluğu düşüktür.
- Sertlikler kıyaslandığında, doğrulama numunelerinin tamamının sertliğinin ön ve arka fren balatası numunelerinin sertliğinden yüksek olduğu görülmüştür. Doğrulama numunelerinin kompozisyonunda kullanılan elyafların içeriğinde bulunan kalsiyum oranının sertliği artırdığı bu sebeple de ön ve arka fren balatalarının sertliğinden yüksek çıkmış olarak yorumlanmıştır.
- Aşınma oranları mukayese edildiğinde, ticari ön ve arka fren balata numunesinin aşınma oranı değerlerinin doğrulama numunelerinin tamamından fazla olduğu görülmüştür. Bu sürtünme katsayısının fazlalığı ile açıklanabilir. Ticari arka fren balatasının aşınma oranının, daha düşük yoğunluğa sahip numunelerin aşınma oranından daha yüksek çıkmıştır. Bunun durum, ticari arka fren balatasının sertliğinin düşük olması ile açıklanabilir.
- Sürtünme katsayıları karşılaştırıldığında, ticari ön ve arka fren balata numunelerinin sürtünme katsayıları belirgin şekilde yüksek çıkmıştır. Sertlik değerlerinin

düşük olması ile birlikte düşünüldüğünde bu numunelerin aşınma oranının yüksek çıkması beklenen bir durumdur. Ticari ön ve arka fren balatalarının sürtünme katsayılarının yüksek olması içeriğinde bulunan metal tozları ve kauçuk parçacıklarına bağlı olduğu düşünülmektedir.

- İç kesme kuvveti ve iç kesme mukavemeti, ticari balata numunelerinin düşük çıkmıştır. İç kesme kuvveti ve mukavemetinin düşük olması sertliğinin düşük olması ile birlikte metal tozları ile kauçuk parçacıklarının birbiri ile birleşememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.6. Çözüm numuneleri

Doğrulama numunelerinin, sürtünme katsayılarının düşük çıkması bir olumsuzluk olarak görülmüştür. Bu olumsuzluğa çözüm olabilmesi için, doğrulama numunelerinden aşınma oranının en fazla olduğu CA20 kodlu numuneye sürtünme katsayısını artıracağı düşünülen %10 bronz tozu ve %10 geri dönüşümden elde edilmiş lastik (kauçuk) tozu ilave edilerek 2 tane yeni numune çeşidi üretilmiştir. Bu iki adet numune, doğrulama numunelerinin üretiminde olduğu gibi, 15dk karıştırma süresi, 100MPa presleme basıncı, 160°C presleme sıcaklığı ve 15dk presleme süresinde üretilmiştir. Bu numunelerin malzeme içerikleri Çizelge 4.24'de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Sonuç numunelerinin içerikleri

Numune Kodu	Elyaf Türü	AKT Oranı	Barit	Elyaf	Reçine	Kok	Bronz	Lastik Tozu
		%	%	%	%	%	%	%
CBr10	CE	18	36	14,4	18	3,6	10	-
CLs10	CE	18	36	14,4	18	3,6	-	10

Yukarıda içeriği verilen numunelere, daha önceki numunelere yapılan testler uygulanmış ve test sonuçları kıyaslama açısından CA20 numunesinin sonuçları ile birlikte Çizelge 4.25'de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Sonuç numunelerinin test sonuçları

Numune Kodu	Yoğunluk	Sertlik	Aşınma Oranı $x(10^{-7})$	Sürtünme Katsayısı	İç Kesme Kuvveti	İç Kesme Mukavemeti
	g/cm^3	HRR	$cm^3.N^{-1}.m^{-1}$	%	N	MPa
CA20	2,07	118,81	0,079	16,50	7.411	23,49
CBr10	2,21	115,44	0,103	27,82	5.823	18,37
CLs10	1,92	112,61	0,083	27,39	4.108	12,88

%10 bronz tozu ilavesi, bronzun yoğunluğuna (~8,85g/cm^3) bağlı olarak numune yoğunluğunu bir miktar artırırken, sertliği, iç kesme kuvveti ve mukavemetini bir miktar düşürmüştür. Sürtünme katsayısını olumlu yönde etkileyerek %28 seviyesine yükseltmiştir. Buna bağlı olarak aşınma oranı da bir miktar artmıştır.

%10 lastik (kauçuk) tozu ilavesi, kauçuğun yoğunluğunun (~1,2g/cm^3) düşük olmasından dolayı, bronz ilavesinin aksine yoğunluğu düşürmüştür. Lastik (kauçuk) tozu ilavesi sertliği, iç kesme kuvveti ve mukavemetini bronz ilavesine göre daha fazla düşürmüştür. Lastik (kauçuk) tozu ilavesi de sürtünme katsayısını %28'lere çıkarmış ve bununla birlikte aşınma oranı bir miktar artmıştır.

Yeni üretilen %10 bronz ve lastik (kauçuk) tozu ilaveli numunelerin sürtünme katsayıları ticari ön balatanın sürtünme katsayısı ile hemen hemen eşitlenmiştir. Bundan dolayı üretmiş olduğumuz ve sürtünme katsayısının düşük olması bir olumsuzluk olarak düşünülen doğrulama numunelerine bronz veya geri dönüşümden elde edilen lastik tozu ilave edilerek bu sorunun çözülebileceği tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, 4 aşamalı numune üretimi ve bu numunelerin, yoğunluk, sertlik, aşınma oranı, sürtünme katsayısı, iç kesme kuvveti ve mukavemeti testleri yapılmıştır. Bunlardan birincisi; deneme numunelerinin üretimi, testlerinin yapılması ve sonuçlarının incelenmesidir. İkincisi; Taguchi yöntemine göre L18 deneysel tasarım numunelerinin üretimi, testlerinin yapılması, sonuçların incelenmesi ve ANOVA analizlerinin yapılmasıdır. Üçüncüsü; doğrulama numunelerinin üretimi, testlerinin yapılması ve sonuçlarının incelenerek ticari balata numunelerinin test sonuçları ile kıyaslanmasıdır. Dördüncü aşama ise ticari balata numunelerinin sonuçları ile kıyaslama sonucunda eksik görülen özelliklerin çözümüne yönelik çözüm numunelerinin üretimi, testlerinin yapılması ve sonuçlarının incelenmesidir.

Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- **Deneme numunelerinde;**

- Yoğunluk 1,50–2,38 g/cm^3 arasında değişmektedir. En yüksek yoğunluk dolgu malzemesi olarak %55 barit kullanılan B55 numunesinde, en düşük yoğunluk dolgu malzemesi olarak %55 AKT kullanılan A55 numunesinde bulunmuştur. AKT bulunan numunelerin yoğunlukları diğerlerine göre düşüktür.
- Sertlik değerleri 84–114 arasında değişmektedir. En düşük sertlik değeri, dolgu malzemesi olarak %55 AKT kullanılan A55 numunesinde, en yüksek sertlik değeri %25 kalsit %30 midye tozu kullanılan K25M30 numunesinde elde edilmiştir.
- Sürtünme katsayıları, 0,28–0,59 arasında değişmektedir. Bu değerler TS555'te belirtilen değerlerle kıyaslandığında bütün numunelerin standarda uygun olduğu görülmüştür. AKT'nun %30, baritin %25 ve kalsitin %25 kullanıldığı K25A30 ve B25A30 numunelerinde sürtünme katsayısı belirgin olarak yüksek çıkmıştır.
- Aşınma oranı değerleri 0,20678–36,81385x10^{-7}(cm^3.N^{-1}.m^{-1}) arasında değişmektedir. Andız ağacı kozalağı tozu içeren numunelerin aşınma oranı değerleri yüksektir ve bu numunelerin aşınma oranı değerleri TS555 standardına uygun değildir.

- **L_{18} deneysel tasarım numunelerinde;**

- Yoğunluk ölçümleri sonucunda, 1,74–2,22 g/cm^3 arasında numune yoğunluğu elde edilmiştir. Bu değerler literatürde çalışılan organik balataların değerleri ile örtüşmektedir. AKT oranı arttıkça yoğunluk azalmıştır. Seçilen faktörlerin etki sırası,

etkiliden az etkiliye doğru: Ao, Eç, Ks, Pc, Pb, Ps şeklinde olmuştur.

- Sertlikler Rockwell R skalasında ölçülmüş ve 86–117 arasında değişmiştir. Bu değerler literatürde aynı skalada ölçüm yapılan sonuçlarla uyuşmaktadır. Sertlik değerinin yüksek olması için AKT miktarının az ve cam elyaf takviyesi gerekir. Seçilen faktörlerin etki sırası, etkiliden az etkiliye doğru: Ao, Ks, Pc, Pb, Eç, Ps şeklinde olmuştur.
- Aşınma oranı 0,097–0,390x10^{-7} ($cm^3.N^{-1}.m^{-1}$) arasında çıkmıştır. Bu değer standarttaki değerin çok altındadır. Adıgüzel (2015), numunelerin sürtünme katsayısı ve özgül aşınma miktarlarının artan yağlayıcı ve azalan aşındırıcı oranları ile azalacağını belirtilmiştir. Numunelerde kullanılan andız kozalağının kimyasal bileşiğinde bulunan %5 civarındaki lipit ve katı yağlayıcı olarak ilave ettiğimiz %5 kok tozunun aşınmayı azalttığı düşünülmektedir. Aşınma oranına faktörlerin etki sırası, Pb, Ao, Pc, Eç, Ks, Ps şeklinde olmuştur.
- Sürtünme katsayıları %15–%31 arasında değişmiştir. Bu değerler, TS555 standardında normal sürtünme katsayılarına göre yapılan balata sınıflarından, 2 tanesi E sınıfı (0,25-0,34), 16 tanesi D sınıfı (0,15–0,24) sürtünme katsayısı grubundadır. Numune içeriği oluştururken AKT sürtünme düzenleyici olarak ilave edilmesine rağmen, sürtünme katsayısına elyaf çeşidinin daha fazla etki ettiği görülmüştür. Sürtünme katsayısına faktörlerin etki sırası Eç, Ps, Pc, Ao, Ks, Pb olmuştur.
- İç kesme kuvveti değerleri 1821 – 6068N arasında değişmektedir. İç kesme mukavemeti 5,76–19,28MPa arasında değişmektedir. İç kesme kuvvetine elyaf çeşidinin etkili olduğu, cam elyaf takviyesinin daha olumlu katkı sağladığı görülmüştür. İç kesme kuvveti ve mukavemetinin yüksek olması için AKT'nun oranının düşük ve cam elyaf takviyesi tercih edilmelidir. Faktörlerin etkinlik sırası Eç, Ks, Ao, Pc, Pb, Ps olmuştur.
- Sonuca etki edeceği düşünülerek seçilen 6 faktörden bütün sonuçlar için en etkili faktörler olarak elyaf çeşidi ve AKT'dur. Bunları karıştırma süresi, presleme sıcaklığı, presleme basıncı takip eder. Presleme süresi en etkisiz parametre olmuştur.
- Presleme süresinin 15 dakika, presleme basıncının 100MPa, karıştırma süresinin 15 dakika ve presleme sıcaklığının 160°C olması ideal bulunmuştur.

❖ **Doğrulama numunelerinde;**

- Yoğunluklar 1,97–2,39 g/cm^3 arasında değişmiştir. Bütün elyaf çeşitlerinde, AKT'nun artması yoğunluğu düşürmüştür. En yüksek yoğunluk BA00 numunesinde, en düşük yoğunluk KA20 numunesinde elde edilmiştir. Ticari ön balatanın

yoğunluğu 2,84 g/cm^3, ticari arka balatanın yoğunluğu 2,25 g/cm^3 bulunmuştur.

- Sertlik değerleri 114,3–122,2 arasında değişmektedir. Bazalt ve karbon elyaf takviyeli numunelerde, AKT oranı arttıkça sertlik düşerken, cam elyaf takviyeli numunelerde AKT oranı arttıkça numunelerin sertliği bir miktar artmıştır. Ticari ön balatanın sertliği 100,1(HRR), ticari arka balatanın sertliği 49,3(HRR) bulunmuştur.
- En yüksek aşınma oranı CA20 numunesinde 0,0792x10^{-7} (cm^3.N^{-1}.m^{-1}) olarak, en az aşınma oranı ise BA15 numunesinde 0,0296x10^{-7} (cm^3.N^{-1}.m^{-1}) olarak elde edilmiştir. Bu değerler TS 555'de belirtilen değerlerden çok küçüktür. Ticari ön balatanın aşınma oranı 0,151x10^{-7} (cm^3.N^{-1}.m^{-1}), ticari arka balatanın aşınma oranı 0,126x10^{-7} (cm^3.N^{-1}.m^{-1}) bulunmuştur.
- Sürtünme katsayıları %12–%19 arasında değişmektedir. Bu değerlerde ki numunelerin, TS555'deki sınıflandırmaya göre 4 tanesi C sınıfı, 8 tanesi D sınıfı balata sınıfına girmektedir. Ticari ön balatanın sürtünme katsayısı %31, ticari arka balatanın sürtünme katsayısı %25 bulunmuştur.
- En yüksek iç kesme kuvveti ve mukavemeti KA20 numunesinde 9.559N ve 30,34MPa, en düşük iç kesme kuvveti ve mukavemeti ise CA00 numunesinde 3.664N ve 11,59MPa olarak elde edilmiştir. Aynı orandaki AKT kullanılan numunelerde karbon elyaf takviyesi daha yüksek sonuçlar vermiştir. Ticari ön balatanın iç kesme kuvveti 1693N, iç kesme mukavemeti 5,37MPa ve ticari arka balatanın iç kesme kuvveti 1259N, iç kesme mukavemeti 3,99MPa bulunmuştur.
- Elyaf çeşitleri sürtünme katsayısında belirleyici olmuştur. Bazalt elyaf takviyeli numunelerin sürtünme katsayısı diğerlerine göre yüksek, karbon elyaf takviyeli numunelerin sürtünme katsayıları diğerlerine göre düşük çıkmıştır.
- Genel olarak ticari balata ile karşılaştırıldığında ticari balata numunelerinin sürtünme katsayısı ürettiğimiz numunelerden avantajlı gözükmektedir.
- Ticari ön balatanın yoğunluğu hariç, sertlik, aşınma oranı, kesme kuvveti ve mukavemeti özellikleri yönünden, ürettiğimiz numuneler ticari balata numunelerine göre daha iyi özellik değerleri sergilemişlerdir.

❖ **Çözüm numunelerinde;**

Bronz tozu ve lastik tozu ilave edilen numunelerin sürtünme katsayıları ticari arka balatanın sürtünme katsayısından daha yüksek çıkmış, ticari ön balatanın sürtünme katsayısına yaklaşmıştır. Bu sebeple doğrulama numunelerindeki sürtünme katsayısı düşüklüğü bronz tozu ve lastik tozu kullanılarak çözüme kavuşturulmuştur.

Sonuç Olarak; çalışmamızda daha önce balata malzemesi olarak kullanılmayan

ve anavatanı ülkemiz olan AKT, balata malzemesi olarak %25 seviyelerine kadar kullanılabilir. AKT, yoğunluğu katkı oranına bağlı olarak azaltmakla birlikte, özellikle cam elyaf takviyeli numunelerde sertliği, iç kesme kuvvetini ve mukavemetini artırması, aşınma oranının düşük olması olumlu yönleri olarak öne çıkmaktadır.

5.2 Öneriler

- AKT farklı eleklerde elenerek, tane boyutlarına ayrılıp veya kabuk ve meyve kısımları ayrı ayrı çalışmalarda kullanılabilir.
- AKT ile birlikte katı yağlayıcı kullanılmadan veya katı yağlayıcı oranı azaltılarak yeni çalışmalar yapılabilir.
- Dolgu malzemesi olarak kullanılan barit yerine farklı dolgu malzemeleri ile kullanılarak çalışmalar yapılabilir.
- Dolgu malzemeleri farklı eleklerde elenip, tane boyutları değiştirilerek yeni çalışmalar yapılabilir.
- Elyaf ve reçine oranları değiştirilerek yeni çalışmalar yapılabilir. Farklı reçinelerle çalışmalar yapılabilir. Reçine kullanılmadan sadece AKT ilavesi ile numune üretilip, AKT'nun bağlayıcılık özelliği araştırılabilir.
- Daha önce çalışılmış olan, ceviz kabuğu tozu, sedir kozalağı tozu, çam kozalağı tozu, muz kabuğu tozu, palm çekirdeği tozu, kaju gibi malzemelerin aynı oranda kullanıldığı ve aynı şartlarda numune üretilerek bir çalışma yapılıp birbirleri ile kıyaslanabilir.
- Balata konusunda yapılacak bir çalışmada, çok fazla parametre seçmeden numune sayısı az tutulmalıdır. Bu numunelerin daha fazla özelliği incelenmelidir. Çünkü balata konusunda yapılan çalışmalarda yaklaşık 30 tane farklı sonuç incelenirken, numune sayısını az tutan araştırmacılar bu özelliklerden aynı anda 10-15 tanesini incelemektedirler. Bu sayede numunenin bütün özellikleri ortaya çıkmaktadır.
- Balata konusunda çalışma yapmadan iyi bir istatistiki çalışma yapılmalı, sonuca etki eden faktörler ve bu konuda hangi çalışmaların nasıl yapıldığı iyi incelenmelidir.
- Mümkünse aynı numuneler farklı aşınma cihazlarında denenmelidir. Sürtünme katsayısı karşılaştırılmalıdır.
- Aşınma testi esnasında ısıtma ve soğutma yapılarak deneyler yapılabilir.
- Aşınma testi esnasında, aşınmadan dolayı oluşan tozlar bir emme sistemi oluşturularak ortamdan uzaklaştırılıp bu tozlar incelenebilir.

EKLER

EK-1 Taguchi Yöntemi kullanılmasaydı yapılması gereken deneyler

Deney No	Presleme Süresi (dk.)	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi (dk.)	Presleme Basıncı (MPa)	Presleme Sıcaklığı (°C)	AKT Oranı (%)
	Ps	Eç	Ks	Pb	Pc	Ao
1	10	CE	10	100	140	10
2	10	CE	10	100	140	25
3	10	CE	10	100	140	40
4	10	CE	10	100	160	10
5	10	CE	10	100	160	25
6	10	CE	10	100	160	40
7	10	CE	10	100	180	10
8	10	CE	10	100	180	25
9	10	CE	10	100	180	40
10	10	CE	10	150	140	10
11	10	CE	10	150	140	25
12	10	CE	10	150	140	40
13	10	CE	10	150	160	10
14	10	CE	10	150	160	25
15	10	CE	10	150	160	40
16	10	CE	10	150	180	10
17	10	CE	10	150	180	25
18	10	CE	10	150	180	40
19	10	CE	10	200	140	10
20	10	CE	10	200	140	25
21	10	CE	10	200	140	40
22	10	CE	10	200	160	10
23	10	CE	10	200	160	25
24	10	CE	10	200	160	40
25	10	CE	10	200	180	10
26	10	CE	10	200	180	25
27	10	CE	10	200	180	40
28	10	CE	15	100	140	10
29	10	CE	15	100	140	25
30	10	CE	15	100	140	40
31	10	CE	15	100	160	10
32	10	CE	15	100	160	25
33	10	CE	15	100	160	40
34	10	CE	15	100	180	10
35	10	CE	15	100	180	25
36	10	CE	15	100	180	40
37	10	CE	15	150	140	10
38	10	CE	15	150	140	25
39	10	CE	15	150	140	40
40	10	CE	15	150	160	10
41	10	CE	15	150	160	25
42	10	CE	15	150	160	40
43	10	CE	15	150	180	10
44	10	CE	15	150	180	25
45	10	CE	15	150	180	40
46	10	CE	15	200	140	10
47	10	CE	15	200	140	25

Deney No	Presleme Süresi (dk.)	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi (dk.)	Presleme Basıncı (MPa)	Presleme Sıcaklığı (°C)	AKT Oranı (%)
	Ps	Eç	Ks	Pb	Pc	Ao
48	10	CE	15	200	140	40
49	10	CE	15	200	160	10
50	10	CE	15	200	160	25
51	10	CE	15	200	160	40
52	10	CE	15	200	180	10
53	10	CE	15	200	180	25
54	10	CE	15	200	180	40
55	10	CE	20	100	140	10
56	10	CE	20	100	140	25
57	10	CE	20	100	140	40
58	10	CE	20	100	160	10
59	10	CE	20	100	160	25
60	10	CE	20	100	160	40
61	10	CE	20	100	180	10
62	10	CE	20	100	180	25
63	10	CE	20	100	180	40
64	10	CE	20	150	140	10
65	10	CE	20	150	140	25
66	10	CE	20	150	140	40
67	10	CE	20	150	160	10
68	10	CE	20	150	160	25
69	10	CE	20	150	160	40
70	10	CE	20	150	180	10
71	10	CE	20	150	180	25
72	10	CE	20	150	180	40
73	10	CE	20	200	140	10
74	10	CE	20	200	140	25
75	10	CE	20	200	140	40
76	10	CE	20	200	160	10
77	10	CE	20	200	160	25
78	10	CE	20	200	160	40
79	10	CE	20	200	180	10
80	10	CE	20	200	180	25
81	10	CE	20	200	180	40
82	10	KE	10	100	140	10
83	10	KE	10	100	140	25
84	10	KE	10	100	140	40
85	10	KE	10	100	160	10
86	10	KE	10	100	160	25
87	10	KE	10	100	160	40
88	10	KE	10	100	180	10
89	10	KE	10	100	180	25
90	10	KE	10	100	180	40
91	10	KE	10	150	140	10
92	10	KE	10	150	140	25
93	10	KE	10	150	140	40
94	10	KE	10	150	160	10

Ek -1 Devam

Deney No	Presleme Süresi (dk.)	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi (dk.)	Presleme Basıncı (MPa)	Presleme Sıcaklığı (°C)	Andız Oranı (%)
	Ps	Eç	Ks	Pb	Pc	Ao
95	10	KE	10	150	160	25
96	10	KE	10	150	160	40
97	10	KE	10	150	180	10
98	10	KE	10	150	180	25
99	10	KE	10	150	180	40
100	10	KE	10	200	140	10
101	10	KE	10	200	140	25
102	10	KE	10	200	140	40
103	10	KE	10	200	160	10
104	10	KE	10	200	160	25
105	10	KE	10	200	160	40
106	10	KE	10	200	180	10
107	10	KE	10	200	180	25
108	10	KE	10	200	180	40
109	10	KE	15	100	140	10
110	10	KE	15	100	140	25
111	10	KE	15	100	140	40
112	10	KE	15	100	160	10
113	10	KE	15	100	160	25
114	10	KE	15	100	160	40
115	10	KE	15	100	180	10
116	10	KE	15	100	180	25
117	10	KE	15	100	180	40
118	10	KE	15	150	140	10
119	10	KE	15	150	140	25
120	10	KE	15	150	140	40
121	10	KE	15	150	160	10
122	10	KE	15	150	160	25
123	10	KE	15	150	160	40
124	10	KE	15	150	180	10
125	10	KE	15	150	180	25
126	10	KE	15	150	180	40
127	10	KE	15	200	140	10
128	10	KE	15	200	140	25
129	10	KE	15	200	140	40
130	10	KE	15	200	160	10
131	10	KE	15	200	160	25
132	10	KE	15	200	160	40
133	10	KE	15	200	180	10
134	10	KE	15	200	180	25
135	10	KE	15	200	180	40
136	10	KE	20	100	140	10
137	10	KE	20	100	140	25
138	10	KE	20	100	140	40
139	10	KE	20	100	160	10
140	10	KE	20	100	160	25
141	10	KE	20	100	160	40
142	10	KE	20	100	180	10
143	10	KE	20	100	180	25
144	10	KE	20	100	180	40
145	10	KE	20	150	140	10

Deney No	Presleme Süresi (dk.)	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi (dk.)	Presleme Basıncı (MPa)	Presleme Sıcaklığı (°C)	Andız Oranı (%)
	Ps	Eç	Ks	Pb	Pc	Ao
146	10	KE	20	150	140	25
147	10	KE	20	150	140	40
148	10	KE	20	150	160	10
149	10	KE	20	150	160	25
150	10	KE	20	150	160	40
151	10	KE	20	150	180	10
152	10	KE	20	150	180	25
153	10	KE	20	150	180	40
154	10	KE	20	200	140	10
155	10	KE	20	200	140	25
156	10	KE	20	200	140	40
157	10	KE	20	200	160	10
158	10	KE	20	200	160	25
159	10	KE	20	200	160	40
160	10	KE	20	200	180	10
161	10	KE	20	200	180	25
162	10	KE	20	200	180	40
163	10	BE	10	100	140	10
164	10	BE	10	100	140	25
165	10	BE	10	100	140	40
166	10	BE	10	100	160	10
167	10	BE	10	100	160	25
168	10	BE	10	100	160	40
169	10	BE	10	100	180	10
170	10	BE	10	100	180	25
171	10	BE	10	100	180	40
172	10	BE	10	150	140	10
173	10	BE	10	150	140	25
174	10	BE	10	150	140	40
175	10	BE	10	150	160	10
176	10	BE	10	150	160	25
177	10	BE	10	150	160	40
178	10	BE	10	150	180	10
179	10	BE	10	150	180	25
180	10	BE	10	150	180	40
181	10	BE	10	200	140	10
182	10	BE	10	200	140	25
183	10	BE	10	200	140	40
184	10	BE	10	200	160	10
185	10	BE	10	200	160	25
186	10	BE	10	200	160	40
187	10	BE	10	200	180	10
188	10	BE	10	200	180	25
189	10	BE	10	200	180	40
190	10	BE	15	100	140	10
191	10	BE	15	100	140	25
192	10	BE	15	100	140	40
193	10	BE	15	100	160	10
194	10	BE	15	100	160	25
195	10	BE	15	100	160	40
196	10	BE	15	100	180	10

Ek -1 Devam

Deney No	Presleme Süresi (dk.)	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi (dk.)	Presleme Basıncı (MPa)	Presleme Sıcaklığı (°C)	Andız Oranı (%)
	Ps	Eç	Ks	Pb	Pc	Ao
197	10	BE	15	100	180	25
198	10	BE	15	100	180	40
199	10	BE	15	150	140	10
200	10	BE	15	150	140	25
201	10	BE	15	150	140	40
202	10	BE	15	150	160	10
203	10	BE	15	150	160	25
204	10	BE	15	150	160	40
205	10	BE	15	150	180	10
206	10	BE	15	150	180	25
207	10	BE	15	150	180	40
208	10	BE	15	200	140	10
209	10	BE	15	200	140	25
210	10	BE	15	200	140	40
211	10	BE	15	200	160	10
212	10	BE	15	200	160	25
213	10	BE	15	200	160	40
214	10	BE	15	200	180	10
215	10	BE	15	200	180	25
216	10	BE	15	200	180	40
217	10	BE	20	100	140	10
218	10	BE	20	100	140	25
219	10	BE	20	100	140	40
220	10	BE	20	100	160	10
221	10	BE	20	100	160	25
222	10	BE	20	100	160	40
223	10	BE	20	100	180	10
224	10	BE	20	100	180	25
225	10	BE	20	100	180	40
226	10	BE	20	150	140	10
227	10	BE	20	150	140	25
228	10	BE	20	150	140	40
229	10	BE	20	150	160	10
230	10	BE	20	150	160	25
231	10	BE	20	150	160	40
232	10	BE	20	150	180	10
233	10	BE	20	150	180	25
234	10	BE	20	150	180	40
235	10	BE	20	200	140	10
236	10	BE	20	200	140	25
237	10	BE	20	200	140	40
238	10	BE	20	200	160	10
239	10	BE	20	200	160	25
240	10	BE	20	200	160	40
241	10	BE	20	200	180	10
242	10	BE	20	200	180	25
243	10	BE	20	200	180	40
244	15	CE	10	100	140	10
245	15	CE	10	100	140	25
246	15	CE	10	100	140	40
247	15	CE	10	100	160	10
248	15	CE	10	100	160	25
249	15	CE	10	100	160	40
250	15	CE	10	100	180	10
251	15	CE	10	100	180	25
252	15	CE	10	100	180	40
253	15	CE	10	150	140	10
254	15	CE	10	150	140	25
255	15	CE	10	150	140	40
256	15	CE	10	150	160	10
257	15	CE	10	150	160	25
258	15	CE	10	150	160	40
259	15	CE	10	150	180	10
260	15	CE	10	150	180	25
261	15	CE	10	150	180	40
262	15	CE	10	200	140	10
263	15	CE	10	200	140	25
264	15	CE	10	200	140	40
265	15	CE	10	200	160	10
266	15	CE	10	200	160	25
267	15	CE	10	200	160	40
268	15	CE	10	200	180	10
269	15	CE	10	200	180	25
270	15	CE	10	200	180	40
271	15	CE	15	100	140	10
272	15	CE	15	100	140	25
273	15	CE	15	100	140	40
274	15	CE	15	100	160	10
275	15	CE	15	100	160	25
276	15	CE	15	100	160	40
277	15	CE	15	100	180	10
278	15	CE	15	100	180	25
279	15	CE	15	100	180	40
280	15	CE	15	150	140	10
281	15	CE	15	150	140	25
282	15	CE	15	150	140	40
283	15	CE	15	150	160	10
284	15	CE	15	150	160	25
285	15	CE	15	150	160	40
286	15	CE	15	150	180	10
287	15	CE	15	150	180	25
288	15	CE	15	150	180	40
289	15	CE	15	200	140	10
290	15	CE	15	200	140	25
291	15	CE	15	200	140	40
292	15	CE	15	200	160	10
293	15	CE	15	200	160	25
294	15	CE	15	200	160	40
295	15	CE	15	200	180	10
296	15	CE	15	200	180	25
297	15	CE	15	200	180	40
298	15	CE	20	100	140	10

Ek -1 Devam

Deney No	Presleme Süresi (dk.)	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi (dk.)	Presleme Basıncı (MPa)	Presleme Sıcaklığı (°C)	Andız Oranı (%)
	Ps	Eç	Ks	Pb	Pc	Ao
299	15	CE	20	100	140	25
300	15	CE	20	100	140	40
301	15	CE	20	100	160	10
302	15	CE	20	100	160	25
303	15	CE	20	100	160	40
304	15	CE	20	100	180	10
305	15	CE	20	100	180	25
306	15	CE	20	100	180	40
307	15	CE	20	150	140	10
308	15	CE	20	150	140	25
309	15	CE	20	150	140	40
310	15	CE	20	150	160	10
311	15	CE	20	150	160	25
312	15	CE	20	150	160	40
313	15	CE	20	150	180	10
314	15	CE	20	150	180	25
315	15	CE	20	150	180	40
316	15	CE	20	200	140	10
317	15	CE	20	200	140	25
318	15	CE	20	200	140	40
319	15	CE	20	200	160	10
320	15	CE	20	200	160	25
321	15	CE	20	200	160	40
322	15	CE	20	200	180	10
323	15	CE	20	200	180	25
324	15	CE	20	200	180	40
325	15	KE	10	100	140	10
326	15	KE	10	100	140	25
327	15	KE	10	100	140	40
328	15	KE	10	100	160	10
329	15	KE	10	100	160	25
330	15	KE	10	100	160	40
331	15	KE	10	100	180	10
332	15	KE	10	100	180	25
333	15	KE	10	100	180	40
334	15	KE	10	150	140	10
335	15	KE	10	150	140	25
336	15	KE	10	150	140	40
337	15	KE	10	150	160	10
338	15	KE	10	150	160	25
339	15	KE	10	150	160	40
340	15	KE	10	150	180	10
341	15	KE	10	150	180	25
342	15	KE	10	150	180	40
343	15	KE	10	200	140	10
344	15	KE	10	200	140	25
345	15	KE	10	200	140	40
346	15	KE	10	200	160	10
347	15	KE	10	200	160	25
348	15	KE	10	200	160	40
349	15	KE	10	200	180	10

Deney No	Presleme Süresi (dk.)	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi (dk.)	Presleme Basıncı (MPa)	Presleme Sıcaklığı (°C)	Andız Oranı (%)
	Ps	Eç	Ks	Pb	Pc	Ao
350	15	KE	10	200	180	25
351	15	KE	10	200	180	40
352	15	KE	15	100	140	10
353	15	KE	15	100	140	25
354	15	KE	15	100	140	40
355	15	KE	15	100	160	10
356	15	KE	15	100	160	25
357	15	KE	15	100	160	40
358	15	KE	15	100	180	10
359	15	KE	15	100	180	25
360	15	KE	15	100	180	40
361	15	KE	15	150	140	10
362	15	KE	15	150	140	25
363	15	KE	15	150	140	40
364	15	KE	15	150	160	10
365	15	KE	15	150	160	25
366	15	KE	15	150	160	40
367	15	KE	15	150	180	10
368	15	KE	15	150	180	25
369	15	KE	15	150	180	40
370	15	KE	15	200	140	10
371	15	KE	15	200	140	25
372	15	KE	15	200	140	40
373	15	KE	15	200	160	10
374	15	KE	15	200	160	25
375	15	KE	15	200	160	40
376	15	KE	15	200	180	10
377	15	KE	15	200	180	25
378	15	KE	15	200	180	40
379	15	KE	20	100	140	10
380	15	KE	20	100	140	25
381	15	KE	20	100	140	40
382	15	KE	20	100	160	10
383	15	KE	20	100	160	25
384	15	KE	20	100	160	40
385	15	KE	20	100	180	10
386	15	KE	20	100	180	25
387	15	KE	20	100	180	40
388	15	KE	20	150	140	10
389	15	KE	20	150	140	25
390	15	KE	20	150	140	40
391	15	KE	20	150	160	10
392	15	KE	20	150	160	25
393	15	KE	20	150	160	40
394	15	KE	20	150	180	10
395	15	KE	20	150	180	25
396	15	KE	20	150	180	40
397	15	KE	20	200	140	10
398	15	KE	20	200	140	25
399	15	KE	20	200	140	40
400	15	KE	20	200	160	10

Ek -1 Devam

Deney No	Presleme Süresi (dk.)	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi (dk.)	Presleme Basıncı (MPa)	Presleme Sıcaklığı (°C)	Andız Oranı (%)
	Ps	Eç	Ks	Pb	Pc	Ao
401	15	KE	20	200	160	25
402	15	KE	20	200	160	40
403	15	KE	20	200	180	10
404	15	KE	20	200	180	25
405	15	KE	20	200	180	40
406	15	BE	10	100	140	10
407	15	BE	10	100	140	25
408	15	BE	10	100	140	40
409	15	BE	10	100	160	10
410	15	BE	10	100	160	25
411	15	BE	10	100	160	40
412	15	BE	10	100	180	10
413	15	BE	10	100	180	25
414	15	BE	10	100	180	40
415	15	BE	10	150	140	10
416	15	BE	10	150	140	25
417	15	BE	10	150	140	40
418	15	BE	10	150	160	10
419	15	BE	10	150	160	25
420	15	BE	10	150	160	40
421	15	BE	10	150	180	10
422	15	BE	10	150	180	25
423	15	BE	10	150	180	40
424	15	BE	10	200	140	10
425	15	BE	10	200	140	25
426	15	BE	10	200	140	40
427	15	BE	10	200	160	10
428	15	BE	10	200	160	25
429	15	BE	10	200	160	40
430	15	BE	10	200	180	10
431	15	BE	10	200	180	25
432	15	BE	10	200	180	40
433	15	BE	15	100	140	10
434	15	BE	15	100	140	25
435	15	BE	15	100	140	40
436	15	BE	15	100	160	10
437	15	BE	15	100	160	25
438	15	BE	15	100	160	40
439	15	BE	15	100	180	10
440	15	BE	15	100	180	25
441	15	BE	15	100	180	40
442	15	BE	15	150	140	10
443	15	BE	15	150	140	25
444	15	BE	15	150	140	40
445	15	BE	15	150	160	10
446	15	BE	15	150	160	25
447	15	BE	15	150	160	40
448	15	BE	15	150	180	10
449	15	BE	15	150	180	25
450	15	BE	15	150	180	40

Deney No	Presleme Süresi (dk.)	Elyaf Çeşidi	Karıştırma Süresi (dk.)	Presleme Basıncı (MPa)	Presleme Sıcaklığı (°C)	Andız Oranı (%)
	Ps	Eç	Ks	Pb	Pc	Ao
451	15	BE	15	200	140	10
452	15	BE	15	200	140	25
453	15	BE	15	200	140	40
454	15	BE	15	200	160	10
455	15	BE	15	200	160	25
456	15	BE	15	200	160	40
457	15	BE	15	200	180	10
458	15	BE	15	200	180	25
459	15	BE	15	200	180	40
460	15	BE	20	100	140	10
461	15	BE	20	100	140	25
462	15	BE	20	100	140	40
463	15	BE	20	100	160	10
464	15	BE	20	100	160	25
465	15	BE	20	100	160	40
466	15	BE	20	100	180	10
467	15	BE	20	100	180	25
468	15	BE	20	100	180	40
469	15	BE	20	150	140	10
470	15	BE	20	150	140	25
471	15	BE	20	150	140	40
472	15	BE	20	150	160	10
473	15	BE	20	150	160	25
474	15	BE	20	150	160	40
475	15	BE	20	150	180	10
476	15	BE	20	150	180	25
477	15	BE	20	150	180	40
478	15	BE	20	200	140	10
479	15	BE	20	200	140	25
480	15	BE	20	200	140	40
481	15	BE	20	200	160	10
482	15	BE	20	200	160	25
483	15	BE	20	200	160	40
484	15	BE	20	200	180	10
485	15	BE	20	200	180	25
486	15	BE	20	200	180	40

Taguchi Yöntemine göre deneysel çalışma yapılan numunelerdir

CE Cam Elyaf

KE Karbon Elyaf

BE Bazalt Elyaf

KAYNAKLAR

Abutu, J., Lawal, S., Ndaliman, M., Lafia-Araga, R., Adedipe, O. ve Choudhury, I., 2018, Effects of process parameters on the properties of brake pad developed from seashell as reinforcement material using grey relational analysis, *Engineering Science and Technology, an International Journal*.

Adıgüzel, A. A., 2015, Katı yağlayıcı ve aşındırıcı bileşenlerinin fenolik reçine esaslı Fren Balatalarının Mekanik ve Tribolojik Özelliklerine Etkileri, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.

Afolabi, M., Abubakre, O., Lawal, S. ve Raji, A., 2015, Experimental investigation of palm kernel shell and cow bone reinforced polymer composites for brake pad production, *International Journal of Chemistry and Materials Research*, 3 (2), 27-40.

Akagündüz, E., 2014, Kompozit sürtünmeli fren balatalarında yerli uçucu kül katkısının raylı taşıt balata özelliklerine etkisinin incelenmesi ve kullanılabilirliğinin saptanması, , *Yıldız Teknik Üniversitesi*.

Akdoğu, K., 2010, Ticari Uçaklarda Kullanılan Fren Balata Malzemeleri, *Yıldız Teknik Üniversitesi* Yüksek Lisans Tezi.

Akinci, I., Ozdemir, F., Topuz, A., Kabas, O. ve Canakci, M., 2004, Some physical and nutritional properties of Juniperus drupacea fruits, *Journal of Food Engineering*, 65 (3), 325-331.

Akıncıoğlu, G., Akıncıoğlu, S., Öktem, H. ve Uygur, İ., 2018, Organik Katkılı Fren Balatası Numunelerinin Su ve Yağ Emme Özelliklerinin Karakterizasyonu, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 4 (1), 50-56.

Akpınar, G., 2008, Modifiye Edilmiş Karaçam Kozalaklarının Otomotiv Fren Balatalarında Kullanımının Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi* Yüksek Lisans Tezi.

Albayrak, B., 2009, Bronz Balataların Üretimi Ve Performans Testleri, *Sakarya Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.

Algan, İ. B., 2015, Organik Fren Balatalarında Kullanılan Metal Tozlarının Aşınma ve Sürtünme Performansının İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.

Amaren, S., Yawas, D. ve Aku, S., 2013, Effect of periwinkles shell particle size on the wear behavior of asbestos free brake pad, *Results in physics*, 3, 109-114.

Aranganathan, N. ve Bijwe, J., 2016, Comparative performance evaluation of NAO friction materials containing natural graphite and thermo-graphite, *Wear*, 358, 17-22.

Aras, S. ve Tarakçıoğlu, N., 2016, Bazı Organik Malzemelerin Balata Kompozisyonunda Kullanılması ve Sonuçlarının İncelenmesi,, *ICNASE'16*, Kilis, 1099-1105.

Ayar, H., 1991, Disk Fren Balatalarında Bileşimin Performansa Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, *Selçuk Üniversitesi* Yüksek Lisans Tezi.

Baklouti, M., Cristol, A.-L., Desplanques, Y. ve Elleuch, R., 2015, Impact of the glass fibers addition on tribological behavior and braking performances of organic matrix composites for brake lining, *Wear*, 330, 507-514.

Başar, G., Buldum, B. B. ve Sugözü, İ., 2018a, Kolemanit ve Boraks Takviyeli Fren Balatalarının Sürtünme Performansı, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5 (2), 635-644.

Başar, G., Kahraman, F. ve Kuş, H., 2018b, Bronz Esaslı Kompozit Sürtünme Malzemelerin Üç Nokta Eğme Mukavemetinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5 (2), 626-634.

Bayrakçeken, H. ve Düzgün, M., 2005, Taşıtlarda fren verimi ve frenleme mesafesi

analizi, *Politeknik Dergisi*, 8 (2), 153-160.

Bayrakçeken, H. ve Altıparmak, D., 2007, Fren Test Cİhazı Tasarımı ve Frenleme Kuvveti Ölçüm ve Modellemesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (1).

Belhocine, A., Bakar, A. R. A. ve Abdullah, O. I., 2015, Structural and contact analysis of disc brake assembly during single stop braking event, *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 68 (3), 403-410.

Berek, S., 2010, Kuvars ve Diatomit Katkılarının Bronz Esaslı Balataların Aşınma Özelliklerine Etkisi, *Sakarya Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.

Bijwe, J., Kumar, M., Gurunath, P. ve Desplanques, Y., 2008, Optimization of brass contents for best combination of tribo-performance and thermal conductivity of non-asbestos organic (NAO) friction composites, *Wear*, 265 (5-6), 699-712.

Boz, M., 1999, Toz Metalurjisi İle Üretilmiş Bronz Esaslı Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.

Boz, M., 2003, Seramik Takviyeli Bronz Esaslı Toz Metal Fren Balata Üretimi ve Sürtünme-Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, *Gazi Üniversitesi*, Doktora Tezi.

Cai, P., Wang, Y., Wang, T. ve Wang, Q., 2015, Effect of resins on thermal, mechanical and tribological properties of friction materials, *Tribology International*, 87, 1-10.

Chairman, C. A. ve Kumaresh Babu, S. P., 2013, Mechanical and abrasive wear behavior of glass and basalt fabric-reinforced epoxy composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 130 (1), 120-130.

Chen, B., Bi, Q., Yang, J., Xia, Y. ve Hao, J., 2008, Tribological properties of solid lubricants (graphite, h-BN) for Cu-based P/M friction composites, *Tribology International*, 41 (12), 1145-1152.

Cho, M., Kim, S., Basch, R., Fash, J. ve Jang, H., 2003, Tribological study of gray cast iron with automotive brake linings: The effect of rotor microstructure, *Tribology International*, 36 (7), 537-545.

Cho, M. H., Ju, J., Kim, S. J. ve Jang, H., 2006, Tribological properties of solid lubricants (graphite, Sb2S3, MoS2) for automotive brake friction materials, *Wear*, 260 (7-8), 855-860.

Colombo, C., Vergani, L. ve Burman, M., 2012, Static and fatigue characterisation of new basalt fibre reinforced composites, *Composite structures*, 94 (3), 1165-1174.

Çataltepe, V., 2008, Ticari Araçlar İçin Fren Faktörünün Deneysel Ve Teorik Sonuçlarının Karşılaştırılması, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü*.

Çiftçi, B., 2010, Fren balatalarında cam elyaf kullanımının sürtünme özelliklerine etkisinin araştırılması, *Selçuk Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.

Çuhadaroğlu, A. D. ve Kara, E., 2018, Grafit: Bir Genel Değerlendirme, *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 8 (1), 14-33.

Dadkar, N., Tomar, B. S. ve Satapathy, B. K., 2009, Evaluation of flyash-filled and aramid fibre reinforced hybrid polymer matrix composites (PMC) for friction braking applications, *Materials & Design*, 30 (10), 4369-4376.

Dadkar, N., Tomar, B. S., Satapathy, B. K. ve Patnaik, A., 2010, Performance assessment of hybrid composite friction materials based on flyash–rock fibre combination, *Materials & Design*, 31 (2), 723-731.

Dante, R. C., Vannucci, F., Durando, P., Galetto, E. ve Kajdas, C. K., 2009, Relationship between wear of friction materials and dissipated power density, *Tribology International*, 42 (6), 958-963.

Demir, M. E., Çelik, Y. H. ve Kılıçkap, E., 2019, Cam ve Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Elyaf Cinsinin, Yükün, Kayma Hızı ve Mesafesinin Abrazif

Aşınmaya Etkisi, *Politeknik Dergisi*.

Demirhan, Y. Z., 2017, Yüksek performanslı para-aramid elyaf takviyeli fren balatalarının mekanik özelliklerinin araştırılması, *Selçuk Üniversitesi* Yüksek Lisans Tezi.

Dönmez, A., 2000, Asbest Dışı Elyaflarla Üretilen Balata Malzemelerinin Özelliklerinin İncelenmesi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi* Doktora tezi.

Dönmez, İ., 2005, Andız (Arceuthos drupacea Antet. Kotschy) Ağacının kimyasal bileşimi üzerine araştırmalar, *Zonguldak Karaelmas Universitesi*, Yüksek Lisans Tezi.

Durmaz, S., 2008, Taguchi metodunun kauçuğun vulkanizasyonu prosesine uygulanması, *Sakarya Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.

Erdem, M. ve Altıparmak, D., 2014, Fren Disk Sıcaklığının Frenleme Performansına Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29 (2).

Eriksson, M., 2000, Friction and contact phenomena of disc brakes related to squeal, Citeseer, p.

Eriksson, M., Bergman, F. ve Jacobson, S., 2002, On the nature of tribological contact in automotive brakes, *Wear*, 252 (1-2), 26-36.

Ertan, R., 2008, Fren Balata Malzemelerinin Optimizasyonu ve Üretim Parametrelerinin Analizi, *Uludağ Üniversitesi*, Doktora Tezi.

Ertan, R. ve Yavuz, N., 2010, Balata malzemelerinde kullanılan yapısalların balatanın tribolojik ve fiziksel özelliklerine etkisi, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 15 (1).

Etemoğlu, A. B., Etemoğlu, N., Türkan, B. ve Canbolat, A. S., 2018, Araç Fren Sistemlerinin Isıl Performansının Parametrik Olarak İncelenmesi, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5 (2), 556-565.

Fei, J., Luo, W., Huang, J. F., Ouyang, H., Xu, Z. ve Yao, C., 2015, Effect of carbon fiber content on the friction and wear performance of paper-based friction materials, *Tribology International*, 87, 91-97.

Fiore, V., Scalici, T., Di Bella, G. ve Valenza, A., 2015, A review on basalt fibre and its composites, *Composites Part B: Engineering*, 74, 74-94.

Gökçe, B. ve Taşgetiren, S., 2009, Kalite İçin Deney Tasarımı, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1), 71-83.

Gurunath, P. ve Bijwe, J., 2007, Friction and wear studies on brake-pad materials based on newly developed resin, *Wear*, 263 (7-12), 1212-1219.

Gurunath, P. ve Bijwe, J., 2009, Potential exploration of novel green resins as binders for NAO friction composites in severe operating conditions, *Wear*, 267 (5-8), 789-796.

Gültekin, H. C., 2007, Andız (Arceuthos Drupacea (Labill) Ant. Et. Cotschy) ve Fidan Üretim Teknikleri. Fidanlık ve Tohum İşleri Daire Başkanlığı. Başkanlığı, F. v. T. İ. D. Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel Müdürlüğü, Çevre ve Orman Bakanlığı.

Gümüş, E., 2012, Otomotivde Kullanılan Kompozit Sürtünmeli Fren Balatalarında Yerli Uçucu Kül Katkısının Balata Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.

Güney, B. ve Mutlu, İ., 2015, Taşıtlarda AB ve ABD'nde Uygulanan Fren Test Standartlarının İncelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15 (1), 7-16.

Gürlevik, N. ve Gültekin, H., 2008, Katlama ve Mekanik Önişlemlerin Andız (Arceuthos Drupacea Ant. Et Kotschy) Tohumlarının Çimlenmesi Üzerine Etkileri, *Turkish Journal of Forestry*, 2, 147-157.

Ho, S., Lin, J. C. ve Ju, C.-P., 2005, Effect of fiber addition on mechanical and tribological

properties of a copper/phenolic-based friction material, *Wear*, 258 (5-6), 861-869.
http:baritmaden, 2017, http://www.baritmaden.com/endustriyelmineraller/belgeler/TDS.11072017.pdf, [10.09.2017].
http:dostkimya, 2018, https://www.dostkimya.com/tr/urunler/elyaf-katkilar//karbon-elyaf-kirpilmis, [25.12.2018].
http:esit, 2018, https://www.esit.com.tr/tr/yuk_hucreleri_load_cell_/spa_3_50_yuk_hucresi/urun/9, [25.12.2018].
http:itu, 2018, http://web.itu.edu.tr/~kurtcebece/sta201-bolum8.pdf [4.12.2018].
http:sisecam, 2016, http://www.sisecamkimyasallar.com/sites/catalogs/tr/Documents/buss-seg/Cam-Elyaf/kirpma/sisecam-PH2.pdf, [16.03.2016].
http:ulkemiz, 2018, http://www.ulkemiz.com/tekerlegin-icadi-ve-tarihsel-gelisimi, [21.10.2018].
https://azom, 2019, https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=764, https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=764: [07/04/2019].
https://bakkakutuphane, 2019, https://www.bakkakutuphane.org/upload/dokumandosya/deniz-salyangozu-on-fizibilite-raporu.pdf, [2/04/2019].
https://link.springer, 2019, https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11837-005-0217-8.pdf, https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11837-005-0217-8.pdf:
Idris, U., Aigbodion, V., Abubakar, I. ve Nwoye, C., 2015, Eco-friendly asbestos free brake-pad: Using banana peels, *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 27 (2), 185-192.
Ilanko, A. K. ve Vijayaraghavan, S., 2016, Wear behavior of asbestos-free eco-friendly composites for automobile brake materials, *Friction*, 4 (2), 144-152.
Ilanko, A. K. ve Vijayaraghavan, S., 2017, Wear mechanism of flax/basalt fiber-reinforced eco friendly brake friction materials, *Tribology-Materials, Surfaces & Interfaces*, 11 (1), 47-53.
Issoupov, V., Startsev, O., Viel, V., Dinguirard, M., Lacabanne, C., Nikishin, E., WOOD, B., GREEN, B., UY, O. ve CAIN, R., 2001, Evaluation of the Mechanical and Erosion Resistance Qualities of Composite Materials Exposed to the LEO Space Environment.... 1864, *SAMPE Symposium and Exhibition*.
Jang, H., Lee, J. ve Fash, J., 2001, Compositional effects of the brake friction material on creep groan phenomena, *Wear*, 251 (1-12), 1477-1483.
Jang, H., Ko, K., Kim, S., Basch, R. ve Fash, J., 2004, The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials, *Wear*, 256 (3-4), 406-414.
Kachhap, R. K. ve Satapathy, B. K., 2014, Synergistic effect of tungsten disulfide and cenosphere combination on braking performance of composite friction materials, *Materials & Design (1980-2015)*, 56, 368-378.
Kahya, K., 2017, Otomotiv Fren Balatalarında Farklı Bağlayıcı Malzeme Kullanımının Frenleme Performansına Etkisinin Araştırılması, *Mersin Üniversitesi* Yüksek Lisans Tezi.
Kara, F., 2011, Karbon Elyaf Takviyeli Otomotiv Fren Balata Özelliklerinin Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.
Kim, S., Cho, M., Lim, D.-S. ve Jang, H., 2001, Synergistic effects of aramid pulp and potassium titanate whiskers in the automotive friction material, *Wear*, 251 (1-12),

1484-1491.
Kim, S. J. ve Jang, H., 2000, Friction and wear of friction materials containing two different phenolic resins reinforced with aramid pulp, *Tribology International*, 33 (7), 477-484.
Kim, S. J., Kim, K. S. ve Jang, H., 2003, Optimization of manufacturing parameters for a brake lining using Taguchi method, *Journal of Materials Processing Technology*, 136 (1-3), 202-208.
Knox, C. E., 1982, Fiberglass reinforcement, In: Handbook of Composites, Eds: Springer, p. 136-159.
Koca, M., 2011, Bazı Mineral Malzemelerin Fren Balatalarında Sürtünme Özelliklerinin Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi* Yüksek Lisans Tezi.
Kocabaş, İ., 2012, Kompozit Malzemelerin Fren Balatalarında Kullanılabilirliğinin ve Frenleme Performansının Araştırılması, *Fırat Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.
Koç, O., 2009, Fren Balata Sisteminde Sürtünme Sonucu Oluşan Isı Transferi Ve Termal Gerilme Analizi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.
Kumar, M. ve Bijwe, J., 2010a, Studies on reduced scale tribometer to investigate the effects of metal additives on friction coefficient–Temperature sensitivity in brake materials, *Wear*, 269 (11-12), 838-846.
Kumar, M. ve Bijwe, J., 2010b, NAO friction materials with various metal powders: Tribological evaluation on full-scale inertia dynamometer, *Wear*, 269 (11-12), 826-837.
Kumar, M. ve Bijwe, J., 2010c, Role of different metallic fillers in non-asbestos organic (NAO) friction composites for controlling sensitivity of coefficient of friction to load and speed, *Tribology International*, 43 (5-6), 965-974.
Kumar, M. ve Bijwe, J., 2011a, Non-asbestos organic (NAO) friction composites: role of copper; its shape and amount, *Wear*, 270 (3-4), 269-280.
Kumar, M. ve Bijwe, J., 2011b, Composite friction materials based on metallic fillers: sensitivity of μ to operating variables, *Tribology International*, 44 (2), 106-113.
Kumar, M., Boidin, X., Desplanques, Y. ve Bijwe, J., 2011a, Influence of various metallic fillers in friction materials on hot-spot appearance during stop braking, *Wear*, 270 (5-6), 371-381.
Kumar, M., Satapathy, B. K., Patnaik, A., Kolluri, D. K. ve Tomar, B. S., 2011b, Hybrid composite friction materials reinforced with combination of potassium titanate whiskers and aramid fibre: assessment of fade and recovery performance, *Tribology International*, 44 (4), 359-367.
Kus, R. ve Unaldi, M., 2012, The Effect of Carbon Nanotube on Density and Wear in a Brass Based Brake Lining, *International Journal of Arts & Sciences*, 5 (4), 53.
Kuş, H., 2014, Bronz Esaslı Seramik Takviyeli Fren Balatalarının Performansının Geliştirilmesi, *Gazi Üniversitesi* Doktora Tezi.
Liew, K. ve Nirmal, U., 2013, Frictional performance evaluation of newly designed brake pad materials, *Materials & Design*, 48, 25-33.
Lijesh, K., Kumar, D. ve Hirani, H., 2017, Effect of disc hardness on MR brake performance, *Engineering Failure Analysis*, 74, 228-238.
Ma, Y., Liu, Y., Wang, L., Tong, J., Zhuang, J. ve Jia, H., 2018, Performance assessment of hybrid fibers reinforced friction composites under dry sliding conditions, *Tribology International*, 119, 262-269.
Malak, A., 2014, Fren Balatalarında Uzun Boyutlu Karbon Elyaf Kullanımının Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.
Marsh, H. ve Rodríguez-Reinoso, F., 2006, Production and reference material, *Activated Carbon*, 454-508.

Martínez-García, C., González-Fonteboa, B., Carro-López, D. ve Martínez-Abella, F., 2019, Impact of mussel shell aggregates on air lime mortars. Pore structure and carbonation, *Journal of Cleaner Production*.

Mavi, A., 2014, Taşıt Frenlerinde Sıcaklık Etkisine Bağlı Olarak Fren Kuvveti Değişiminin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi* Yüksek Lisans Tezi.

Miceli, N., Trovato, A., Marino, A., Bellinghieri, V., Melchini, A., Dugo, P., Cacciola, F., Donato, P., Mondello, L. ve Güvenç, A., 2011, Phenolic composition and biological activities of Juniperus drupacea Labill. berries from Turkey, *Food and chemical toxicology*, 49 (10), 2600-2608.

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

Mutlu, İ., Malak, A., Bayrakçeken, H., Aysal, F. E. ve Yavuz, İ., 2016, The Investigation of Brake Linings Reinforced With Carbon Fiber, *Electronic Journal of Machine Technologies*, 13 (4), 45-52.

Nagesh, S., Siddaraju, C., Prakash, S. ve Ramesh, M., 2014, Characterization of brake pads by variation in composition of friction materials, *Procedia materials science*, 5, 295-302.

Nanda, B. P. ve Satapathy, A., 2018, Wear Characteristics of Epoxy Based Hybrid Composites Reinforced with Short Hair Fibers and Glass Micro Spheres, *Materials Today: Proceedings*, 5, 12588–12594.

Nilay, Y., 2006, Otomobillerde Fren Sistemleri ve İncelenmesi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.

Österle, W., Kloß, H., Urban, I. ve Dmitriev, A., 2007, Towards a better understanding of brake friction materials, *Wear*, 263 (7-12), 1189-1201.

Öztürk, B., 2004, Hibrid kompozit kavrama balatası üretimi ve üretilen balataların tribolojik özelliklerinin incelenmesi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi* Doktora Tezi.

Öztürk, B., Arslan, F. ve Öztürk, S., 2007, Hot wear properties of ceramic and basalt fiber reinforced hybrid friction materials, *Tribology International*, 40 (1), 37-48.

Patnaik, A., Kumar, M., Satapathy, B. K. ve Tomar, B. S., 2010, Performance sensitivity of hybrid phenolic composites in friction braking: effect of ceramic and aramid fibre combination, *Wear*, 269 (11-12), 891-899.

Pavitra, J., Bharath, P., Suresha, B. ve Nair, B. S., 2018, Effect of short glass fiber and ferrosilicon content on mechanical properties of phenolic based friction composite material, *Materials Today: Proceedings*, 5 (2), 7915-7923.

Pavlovski, D., Mislavsky, B. ve Antonov, A., 2007, CNG cylinder manufacturers test basalt fibre, *Reinforced plastics*, 51 (4), 36-39.

Plachá, D., Peikertova, P., Kukutschova, J., Lee, P. W., Čabanová, K., Karas, J., Kuchařová, J. ve Filip, P., 2016, Identification of organic compounds released from low-metallic automotive model brake pad and its non-airborne wear particles, *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 9 (1), 123-132.

Prabhakar, N. S., Radhika, N. ve Raghu, R., 2014, Analysis of tribological behavior of aluminium/B4C composite under dry sliding motion, *Procedia Engineering*, 97, 994-1003.

Prakash, K. S., Thankachan, T. ve Radhakrishnan, R., 2017, Parametric optimization of dry sliding wear loss of copper–MWCNT composites, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27 (3), 627-637.

Prasad, V. V. ve Talupula, S., 2018, A Review on Reinforcement of Basalt and Aramid (Kevlar 129) fibers, *Materials Today: Proceedings*, 5 (2), 5993-5998.

Resmi Gazete 28539, 2013. Asbestle Çalışmalarda Sağlık Ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik.

Samadi, F., Sarafraz-Yazdi, A. ve Es' haghi, Z., 2018, An insight into the determination of trace levels of benzodiazepines in biometric systems: Use of crab shell powder as an environmentally friendly biosorbent, *Journal of Chromatography B*, 1092, 58-64.

Saravanakumar, A., Dhanabal, S., Jayanand, E. ve Logeshwaran, P., 2018, Analysis of Process Parameters in Surface Grinding Process, *Materials Today: Proceedings*, 5 (2), 8131-8137.

Sarı, T., 2014, Taguchi, Analitik Ağ Prosesi (ANP) ve Topsis Yöntemleri İle Bütünleşik Tedarikçi Seçimi, *İstanbul Üniversitesi*, Doktora Tezi.

Satapathy, B. ve Bijwe, J., 2004a, Performance of friction materials based on variation in nature of organic fibres: Part I. Fade and recovery behaviour, *Wear*, 257 (5-6), 573-584.

Satapathy, B. ve Bijwe, J., 2004b, Performance of friction materials based on variation in nature of organic fibres: Part II. Optimisation by balancing and ranking using multiple criteria decision model (MCDM), *Wear*, 257 (5-6), 585-589.

Satapathy, B. K. ve Bijwe, J., 2006, Composite friction materials based on organic fibres: Sensitivity of friction and wear to operating variables, *Composites Part A: applied science and manufacturing*, 37 (10), 1557-1567.

Satır, İ., 2006, Asbestsiz Taşıt Fren Balatalarının Kuru ve Yaş Sürtünme Davranışlarının İncelenmesi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi* Yüksek Lisans Tezi.

Savaşkan, M., Taptık, Y. ve Ürgen, M., 2010, Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyonu, *İTÜDERGİSİ/d*, 3 (6).

Shanker, P. S., 2018, A review on properties of conventional and metal matrix composite materials in manufacturing of disc brake, *Materials Today: Proceedings*, 5 (2), 5864-5869.

Singh, T. ve Patnaik, A., 2015, Performance assessment of lapinus–aramid based brake pad hybrid phenolic composites in friction braking, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15 (1), 151-161.

Singh, T., Patnaik, A. ve Chauhan, R., 2016, Optimization of tribological properties of cement kiln dust-filled brake pad using grey relation analysis, *Materials & Design*, 89, 1335-1342.

Singh, T., Tiwari, A., Patnaik, A., Chauhan, R. ve Ali, S., 2017, Influence of wollastonite shape and amount on tribo-performance of non-asbestos organic brake friction composites, *Wear*, 386, 157-164.

Stadler, Z., Krnel, K. ve Kosmač, T., 2008, Friction and wear of sintered metallic brake linings on a C/C-SiC composite brake disc, *Wear*, 265 (3-4), 278-285.

Sudheer, M., Hemanth, K., Raju, K. ve Bhat, T., 2014, Enhanced mechanical and wear performance of epoxy/glass composites with PTW/graphite hybrid fillers, *Procedia materials science*, 6, 975-987.

Sugozu, I., Can, I. ve Oner, C., 2014, Investigation of using Calabrian pine cone dust and borax in brake pads, *Industrial Lubrication and Tribology*, 66 (6), 678-684.

Sugözü, B. ve Dağhan, B., 2017, Fren Sürtünme Malzemelerinde Aşındırıcıların (Alümina, Silika, Zirkon) Tribolojik Özellikleri, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (1), 14-23.

Sugözü, İ., 2009, Bor Katkılı Asbetsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi ve Frenleme Karakteristiğinin İncelenmesi, *Fırat Üniversitesi* Doktora Tezi.

Sugözü, İ., Yavuz, İ. ve Mutlu, İ., 2009, Polimerik kompozit sürtünme malzemelerinde üretim basıncının performansa etkisinin araştırılması, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu IATS*, 9, 1140-1143.

Sugözü, K. B., 2015, Otomotiv Fren Balata Malzemelerinde Maun Cevizi Tozunun Sürtünme Performansına Etkisi, *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 8 (2), 166-177.

Şeker, M., 2013, Fren Balatalarının Üretim Şartları Ve İçeriğinin, Performansa Etkisinin Taguchi Yöntemiyle Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi* Yüksek Lisans Tezi.

Şirvancı, M., 1997, Kalite için deney tasarımı "Taguçi yaklaşımı", Literatür, p.

Talib, R., Muchtar, A. ve Azhari, C. H., 2003, Microstructural characteristics on the surface and subsurface of semimetallic automotive friction materials during braking process, *Journal of Materials Processing Technology*, 140 (1-3), 694-699.

Timur, M. ve Kılıç, H., 2013, Mermer Atıkları Kullanılarak Üretilen Otomotiv Fren Balatasının Sürtünme Katsayısının Farklı Fren Balataları İle Karşılaştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (1), 10-14.

Tiwari, A., Jaggi, H. S., Kachhap, R. K., Satapathy, B. K., Maiti, S. N. ve Tomar, B. S., 2014, Comparative performance assessment of cenosphere and barium sulphate based friction composites, *Wear*, 309 (1-2), 259-268.

TS 555, 1992, Karayolu Taşıtları Fren Sistemleri Balatalar Sürtünmeli Frenler İçin.

TS 9073, 1991, Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Fren Balataları-İç Kesme Kuvveti Deneyi.

TS 9076, 1991, Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Fren Balataları-Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları İle Değerlendirilmesi.

Ünaldı, M., 2016, Ekolojik bileşenli kompozit malzemenin optimizasyonu, üretimi ve performans karakteristiklerinin deneysel analizi, *Selçuk Ünivesitesi*, Doktora Tezi.

Üstün, N. S., 2011, Otomotiv endüstrisi için bir disk fren balatası üretimi ve performansının incelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.

Venkataraman, B. ve Sundararajan, G., 2002, The influence of sample geometry on the friction behaviour of carbon–carbon composites, *Acta materialia*, 50 (5), 1153-1163.

Wahlström, J., Gventsadze, D., Olander, L., Kutelia, E., Gventsadze, L., Tsurtsumia, O. ve Olofsson, U., 2011, A pin-on-disc investigation of novel nanoporous composite-based and conventional brake pad materials focussing on airborne wear particles, *Tribology International*, 44 (12), 1838-1843.

Yavuz, Z. ve Yilmaz, M., 2017, Seed Dormancy And Cone And Seed Morphology Of Syrian Juniper (Juniperus Drupacea Labill.) In The Eastern Mediterranean Region Of Turkey, *Šumarski list*, 141 (5-6), 262-262.

Yawas, D., Aku, S. ve Amaren, S., 2016, Morphology and properties of periwinkle shell asbestos-free brake pad, *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 28 (1), 103-109.

Yıldırım, S., 2011, Ürün tasarımı geliştirilmesi: Taguchi tasarımı, *Başkent Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi.

Zeng, Z., Ma, Y., Wang, X., Chen, C.-T. A., Yin, X., Zhang, S., Zhang, J. ve Jiang, W., 2018, Elemental compositions of crab and snail shells from the Kueishantao hydrothermal field in the southwestern Okinawa Trough, *Journal of Marine Systems*, 180, 90-101.

Zhang, X., Li, K.-Z., Li, H.-J., Fu, Y.-W. ve Fei, J., 2014, Tribological and mechanical properties of glass fiber reinforced paper-based composite friction material, *Tribology International*, 69, 156-167.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Sait ARAS
Uyruğu	**:**	TC
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Ermenek-20.11.1975
Telefon	**:**	0.532.711 52 27
E-mail	**:**	saitaras@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	**:**	Meram Endüstri Meslek Lisesi, Meram, Konya	**1991**
Üniversite	**:**	Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Eğitimi, Kadıköy, İSTANBUL	**1996**
		Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi Kamu Yönetimi, Eskişehir	**2016**
		Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği	**Devam ediyor**
Yüksek Lisans	**:**	Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine-Otomotiv Eğitimi, Selçuklu, Konya	**2008**
Doktora	**:**	Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine-Otomotiv Eğitimi, Selçuklu, Konya	**2019**

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
1996-1999	Kuyucak Mesleki Eğitim Merkezi	Öğretmen
1999-2003	Şarkışla Mesleki Eğitim Merkezi	Öğretmen/Müdür Yrd.
2004-2006	Kulu Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi	Öğretmen/Müdür Yrd.
2006-	Selçuklu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	Öğretmen/Atölye Şefi

UZMANLIK ALANI

Otomotiv Eğitimi

YABANCI DİLLER

YDS Puanı :58,75
YÖKDİL Puanı :65

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

MEB Uzman Öğretmen
C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı

YAYINLAR

- Aras S. and Tarakcioglu N., Investigation of the Effect of Using Biodiesel Diesel Engine Fuel System Injectors, International Journal of Automotive Engineering and Technologies Vol. 2, Issue 1, pp. 10 – 18, 2013 (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)
- Aras S. ve Tarakçıoğlu N., Bazı Organik Malzemelerin Balata Kompozisyonunda Kullanılması ve Sonuçlarının İncelenmesi, International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16)
- Aras S. ve Tarakçıoğlu N., Fren Balatası Mekanik Özelliklerine Sıkıştırma Basıncının Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, International Advanced Researches & Engineering Congress (IAREC'17)
- Aras S. ve Tarakçıoğlu N., Fren Balatalarının Sertlik, İç Kesme Kuvveti Ve Mukavemetine Presleme Süresinin Etkisinin Araştırılması, V. INES Science Technology and Innovation Congress (STI 2019)
- Aras S. ve Tarakçıoğlu N., Fren Balatası Üretiminde Karıştırma Süresinin Yoğunluk, Sertlik Ve Aşınma Oranına Etkisinin Deneysel İncelenmesi, V. INES Science Technology and Innovation Congress (STI 2019)
- Aras S. ve Tarakçıoğlu N., Fren Balatalarının Sertlik, Sürtünme Katsayısı, İç Kesme Kuvveti ve Gerilmesine Kalıplama Sıcaklığının Etkisinin Deneysel İncelenmesi, 6. International Multidisciplinary Studies Congress, 26,27 April 2019
- Aras S. ve Tarakçıoğlu N., Andız Kozalağı Tozu Kullanımının, Fren Balatalarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, 6. International Multidisciplinary Studies Congress, 26,27 April 2019