



**TARSUS**  
ÜNİVERSİTESİ

TARSUS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SERAMİK, KARBON VE SERAMİK-KARBON KAPLI FREN  
DİSKLERİNİN FRENLEME PERFORMANSINA ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Hasan Hüseyin ÇOCALAK**

İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TARSUS-2019

TARSUS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SERAMİK, KARBON VE SERAMİK-KARBON KAPLI FREN  
DİSKLERİNİN FRENLEME PERFORMANSINA ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Hasan Hüseyin ÇOCALAK**

**Danışman**




**Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ**

İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TARSUS- 2019

## ONAY

Hasan Hüseyin ÇOCALAK tarafından Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ danışmanlığında hazırlanan "SERAMİK, KARBON VE SERAMİK-KARBON KAPLI FREN DİSKLERİNİN FRENLEME PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 28 /11 /2019 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği/ çokluğu ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

| Görevi | Ünvanı, Adı ve Soyadı            | İmza  |
|--------|----------------------------------|---|
| Başkan | Doç. Dr. Zehra YILDIZ            |  |
| Üye    | Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ (Danışman) |  |
| Üye    | Doç Dr. Mustafa Atakan AKAR      |  |

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 04./.../2019 tarih ve ... 81 ... / ... 315 ... sayılı kararıyla onaylanmıştır

Doç. Dr. Gsman Mürat ÖZKENDİR  
Lisansüstü Enstitü Müdürü



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

## ETİK BEYAN

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
  - Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
  - Bu tezin herhangi bir bölümünü Tarsus Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
  - Tezin tüm telif haklarını Tarsus Üniversitesi'ne devrettiğimi
- beyan ederim.

## ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Tarsus University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Tarsus University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Tarsus University

28 Kasım 2019 / 28 November 2019

İmza / Signature



Hasan Hüseyin ÇOCALAK

# İÇİNDEKİLER

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| ÖZET  | i            |
| ABSTRACT  | ii           |
| TEŞEKKÜR  | iii          |
| TABLolar DİZİNİ   | iv           |
| ŞEKİLLER DİZİNİ   | v            |
| KISALTMALAR ve SİMGELER   | vii          |
| <b>1. GİRİŞ</b>   | <b>1</b>     |
| 1. 1. Fren Sisteminin Görevleri   | 2            |
| 1. 2. Frenlemeye Etki Eden Faktörler  | 2            |
| 1. 3. Motor Gücü, Fren Gücü   | 3            |
| 1. 4. Motorlu Araçlardaki Fren Sistemleri                                   | 3            |
| 1. 5. Paskal Prensibi   | 4            |
| 1. 6. Vakum Yardımlı Hidrolik Frenler                                       | 5            |
| 1. 7. Hava Yardımlı Hidrolik Frenler  | 6            |
| 1. 8. Mekanik Frenler   | 6            |
| 1. 9. Havalı Frenler  | 7            |
| 1. 10. Elektrikli Frenler   | 7            |
| <b>2. DİSK FREN SİSTEMİ</b>   | <b>8</b>     |
| 2. 1. Diskli Fren Sisteminin Genel Yapısı                                   | 8            |
| 2. 2. Diskli Fren Sisteminin Parçaları                                      | 9            |
| 2. 3. Fren Kaliperleri  | 9            |
| 2. 3. 1. Sabit Kaliper  | 10           |
| 2. 3. 2. Yüzer Kaliper  | 11           |
| 2. 3. 3. Fuul Contact Kaliper   | 11           |
| 2. 4. Diskli Fren Balatası ve Pabucu  | 12           |
| 2. 5. Diskli Fren Sisteminin Çalışması                                      | 12           |
| <b>3. KAMPANA FREN SİSTEMİ</b>  | <b>14</b>    |
| 3. 1. Çeşitleri   | 14           |
| 3. 1. 1. Tespit Pimi Tek Olan Kampanalı Frenler                             | 14           |
| 3. 1. 2. Çift Tespit Pimli Kampanalı Frenler                                | 15           |
| 3. 1. 3. Tek Tespit Pimli Kendi Kendini Merkezleyen Kampanalı Frenler       | 15           |
| 3. 1. 4. Çift Tespit Pimli, Çift Tekerlek Silindirli Kampanalı Frenler      | 15           |
| 3. 1. 5. Kendi Kendini Ayarlayan Kampanalı Frenler                          | 16           |
| 3. 2. Kampanalı Fren Sisteminin Çalışması                                   | 17           |
| 3. 3. Diskli ve Kampanalı Fren Sistemlerinin Karşılaştırılması              | 17           |
| 3. 4. El Freni  | 18           |
| 3. 4. 1. El Freninin Görevi   | 19           |
| <b>4. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b>  | <b>20</b>    |
| <b>5. MATERYAL VE METOT</b>   | <b>29</b>    |
| 5. 1. Kaplanacak Disklerin Seçimi   | 29           |
| 5. 2. Kaplama Kalınlığı, Kaplama Malzemesi ve Kaplama Şeklinin Belirlenmesi | 30           |
| 5. 3. Kaplama Tozlarının Seçilmesi  | 31           |
| 5. 3. 1. Karbon Alaşımı ve Uygulama Şekli                                   | 31           |
| 5. 3. 2. Elektrik İletken Kaplamalar  | 32           |
| 5. 3. 3. Kuru Film Yağlama  | 32           |
| 5. 3. 4. Seramik-Karbon Alaşımı ve Uygulama Şekli                           | 32           |
| 5. 3. 5. Seramik Kaplama ve Uygulama Şekli                                  | 32           |
| 5. 3. 6. Deney Disklerinin Ve Kaplamaların Özellikleri                      | 35           |
| 5. 4. Kaplama Yöntemi Hakkında Genel İncelemeler                            | 35           |
| 5. 5. Numune Hazırlık Süreci  | 36           |
| 5. 5. 1. Mikroskop Cihazı   | 37           |
| 5. 5. 2. Sertlik Ölçüm Cihazı   | 37           |

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| 5. 5. 3. Malzeme Analiz Cihazı   | 38           |
| 5. 5. 3. 1. XRF Cihazı Nasıl Çalışır   | 38           |
| 5. 5. 4. Disklerin Yanal Salgı Ölçümleri                                       | 39           |
| 5. 5. 5. Tartı İşlemleri   | 40           |
| 5. 5. 6. Disk Kalınlıklarının Ölçümü   | 40           |
| 5. 5. 7. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı   | 40           |
| 5. 5. 8. Test Standardı ve Fren Test Ünitesi                                   | 41           |
| 5. 5. 9. Testlerde Kullanılan Atalet Dinamometresi                             | 41           |
| 5. 5. 10. Sürtünme Kuvveti Ölçüm Cihazı  | 43           |
| 5. 5. 11. Test Standardı ve Fren Test Ünitesi                                  | 43           |
| 5. 5. 12. Temassız Infrared Termometre   | 44           |
| 5. 5. 13. Devir Ölçme Sensörü  | 44           |
| 5. 5. 14. Basınç Sensörü   | 45           |
| 5. 5. 15. Hidrolik Ünite   | 45           |
| 5. 5. 16. Kaliper ve Balata Tutucu Pabuç                                       | 46           |
| 5. 5. 17. Test Prosedürü Bilgisayar Otomasyon Programı                         | 46           |
| <b>6. BULGULAR</b>   | <b>49</b>    |
| 6. 1. Disklerin Mikro Yapılarının İncelenmesi ve Analizi                       | 49           |
| 6. 1. 1. Kaplama Yapılmamış Gri Dökme Demir Numunenin Metalografik İncelenmesi | 49           |
| 6. 1. 2. Seramik Kaplı Diskin Metalografik İncelenmesi                         | 51           |
| 6. 1. 3. Karbon Kaplı Diskin Metalografik İncelenmesi                          | 52           |
| 6. 1. 4. Seramik-Karbon Kaplı Diskin Metalografik İncelenmesi                  | 54           |
| 6. 2. Disklerin Test Öncesi Ve Sonrası Değerlerinin Kıyaslaması                | 55           |
| 6. 2. 1. Disklerin Test Öncesi Ve Test Sonrası Sertlik Ölçümleri               | 56           |
| 6. 2. 2. Disklerin Test Öncesi Ve Sonrası Yüzey Pürüzlülükleri                 | 57           |
| 6. 2. 3. Disklerin Test Öncesi Ve Sonrası Et Kalınlıkları                      | 57           |
| 6. 2. 4. Disklerin Test Öncesi Ve Sonrası Salgıları                            | 58           |
| 6. 3. Dinamometre Testi  | 58           |
| 6. 3. 1. Orijinal Fren Diskinin Dinamometre Testi                              | 59           |
| 6. 3. 2. Seramik Kaplı Fren Diskinin Dinamometre Testi                         | 61           |
| 6. 3. 3. Karbon kaplı Fren Diskinin Dinamometre Testi                          | 63           |
| 6. 3. 4. Seramik-Karbon Kaplı Fren Diskinin Dinamometre Testi                  | 65           |
| 6. 4. Orijinal Diskin Frenleme Performansı                                     | 67           |
| 6. 4. 1. Dinamometre Kontrol Etkinliği   | 67           |
| 6. 4. 2. Alıştırma Süreci  | 67           |
| 6. 4. 3. Sıcaklıkla Fren Zayıflaması Süreci                                    | 68           |
| 6. 5. Seramik kaplı Diskin Frenleme Performansı                                | 70           |
| 6. 5. 1. Dinamometre Kontrol Etkinliği   | 70           |
| 6. 5. 2. Alıştırma Süreci  | 70           |
| 6. 5. 3. Sıcaklıkla Fren Zayıflaması Süreci                                    | 71           |
| 6. 6. Karbon Kaplı Diskin Frenleme Performansı                                 | 73           |
| 6. 6. 1. Dinamometre Kontrol Etkinliği   | 73           |
| 6. 6. 2. Alıştırma Süreci  | 73           |
| 6. 6. 3. Sıcaklıkla Fren Zayıflaması Süreci                                    | 74           |
| 6. 7. Seramik-Karbon Kaplı Diskin Frenleme Performansı                         | 75           |
| 6. 7. 1. Dinamometre Kontrol Etkinliği   | 76           |
| 6. 7. 2. Alıştırma Süreci  | 76           |
| 6. 7. 3. Sıcaklıkla Fren Zayıflaması Süreci                                    | 76           |
| 7. Sonuçlar ve Öneriler  | 79           |
| <b>7. 1. SONUÇLAR</b>  | <b>80</b>    |
| <b>7. 2. ÖNERİLER</b>  | <b>82</b>    |
| <b>KAYNAKÇA</b>  | <b>85</b>    |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>  | <b>88</b>    |

## ÖZET

### SERAMİK, KARBON VE SERAMİK-KARBON KAPLI FREN DİSKLERİNİN FRENLEME PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Araçlarda duruş mesafesi ve fren kabiliyeti can ve mal kaybını önlemede büyük önem taşımaktadır. Frenler; hareket halinde olan aracı yavaşlatmak ve durdurmak, taşıtın hızını kontrol altında tutmak ve diğer taraftan duran taşıtı yerinde tespit freni ile sabitlemek için kullanılır. Frenler; kinetik enerji veya potansiyel enerjinin sürtünme, hız ve kütle ile birlikte ısı enerjisi üretmesi, oluşan bu ısının atılması gibi iki ana işlevi yerine getirir. Frenleme anında, iki parçanın yani disk ve balata malzemesi için belirlenmiş termik sabit sıcaklığın üstüne çıkıldığında balatanın sürtünme katsayısı düşmektedir. Diskte ise ani soğuma ve sıcaklık artışı, sıcaklığa bağlı yorulma kaynaklı çatlamalara ya da deformasyonlara neden olmaktadır. Sonuç olarak frenleme performansı düşüşe geçmektedir. Çalışmamızda dört adet binek otomobilin fren diski alınıp, kıyaslama için bir adet i kaplanmamış (orijinal bırakılmış), diğerleri ise seramik, karbon ve seramik-karbon olarak yüzey kaplama yöntemleri ile kaplama yapılmıştır. Kaplamalarda amaç, sürtünme katsayılarının yükseltilmesi, sıcaklıklarının azalması ve darbe dayanımlarının artırılması hedeflenmektedir. Disklerin ve balataların mikroskobik yüzey incelemeleri, yüzey sertlik ölçümleri, yüzey pürüzlük ölçümleri, test öncesi ve sonrası ölçümleri yapıldı. SAE'nin J 2522 (Global etkinlik değerlendirmesi) standardına uygun, mümkün olan en eşit koşullarda fren dinamometresinde geniş ve kapsamlı fren etkinlik testine sokuldu. Testlerde disk-balata ikilisinin aşınma, sürtünme ve sıcaklığa bağlı fren zayıflaması davranışları incelendi.

**Anahtar Kelimeler:** Fren Diski, Balata, İmalat, Kompozit Malzeme, Otomotiv, Güvenlik

**Danışman:** Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ, (Mersin Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, MERSİN)

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CERAMIC, CARBON AND CERAMIC-CARBON COATED BRAKE DISCS ON BRAKING PERFORMANCE

Vehicles may have stalling distance and braking capability, and the loss of goods is a major concern. Brakes; slowing down and resetting the speed of the vehicle, to control the speed of the vehicle. Brakes; kinetic energy, or potential energy produced by friction, velocity, and mass. Braking is surprising, to make the fit of two pieces of disc and shoe material clear. Cracks or deformations are caused on the disc in case of sudden cooling and heat-related fatigue. As a result, the braking performance has been reduced. Vehicle gin disc is taken, one is coated, the surfaces are coated with carbon, ceramic and carbon. The purpose of the coatings is to increase the coefficient of friction, decrease the temperatures and increase the impact strength. Microscopic surface scans of discs and paddles, surface hardness measurements, surface roughness measurements, pre- and post-test measurements were performed. SAE was introduced into a wide and appropriate brake activity test, in accordance with J2522 (Global efficiency grade) standard. In the tests, the behavior of the brake lining due to wear, friction and temperature was examined.

**Keywords:** Brake Disk, Brake lining, Manufacturing, Composite Material, Automotive, Security

**Advisor:** Assoc. Prof. Dr. İlker SUGÖZÜ

(Mersin University, Department of Manufacturing Engineering/MERSİN)



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince, bilgi, deneyim ve tecrübelerinden yararlandığım çok değerli hocam, sayın Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ başta olmak üzere bütün hocalarıma teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tezimin oluşumu, yapımı ve yazımı aşamasında yanımda olan; değerli zamanından fedakârlık etmekten kaçınmayan, hayatımın hiçbir döneminde beni yalnız bırakmayan, bugünlere gelmemde sabırlı, özverili ve birlikte geçireceğimiz sosyal zamanlarımızı eğitim hayatıma harcamama engel olmayan, bana destek veren sevgili eşim Sevil ÇOCALAK'a tüm kalbimle, teşekkür eder sevgilerimi sunarım.

Tarsus Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'nin her bir üyesine iş birliği, desteği, samimiyeti ve güler yüzleri için teşekkür ederim.

Çalışmamı "2017-2-TP2-2609" kodlu yüksek lisans tez projesi olarak kabul eden ve maddi destek sağlayan Mersin Üniversitesi BAP Birimine teşekkür ederim.

## TABLULAR DİZİNİ

|       |       |  | Sayfa |
|-------|-------|--|-------|
| Tablo | 5. 1  | Gri Dökme Demir Fren Diskinin İçindeki Malzeme Oranları                    | 29    |
| Tablo | 5. 2  | Deneyde Kullanılacak Olan Diskin Özellikleri                               | 30    |
| Tablo | 5. 3  | Deney Disklerinin Teknik Özellikleri                                       | 31    |
| Tablo | 5. 4. | Deney Disklerinin Kaplama Özellikleri ve Kaplama Yöntemleri                | 35    |
| Tablo | 5. 5. | Disklerin Balata Basma Yüzeyindeki Salgı Ölçümü                            | 39    |
| Tablo | 5. 6  | Gri Dökme Demir Alaşım Yüzdeleri   | 51    |
| Tablo | 5. 7  | Seramik Kaplı Fren Diskinin Alaşım Yüzdeleri                               | 52    |
| Tablo | 5. 8  | Karbon Kaplı Fren Diskinin Alaşım Yüzdeleri                                | 54    |
| Tablo | 5. 9  | Seramik-Karbon Kaplı Fren Diskinin Alaşım Yüzdeleri                        | 55    |
| Tablo | 5. 10 | Disklerin Test Öncesi ve Sonrası HRB Sertlik Ölçümleri                     | 56    |
| Tablo | 5. 11 | Disklerin Test Öncesi Ve Sonrası Ağırlıklarının Karşılaştırılması          | 56    |
| Tablo | 5. 12 | Disklerin Test Öncesi ve Sonrası Yüzey Pürüzlülükleri                      | 57    |
| Tablo | 5. 13 | Disklerin Test Öncesi ve Sonrası Et Kalınlıkları                           | 57    |
| Tablo | 5. 14 | Disklerin Test Öncesi ve Sonrası Salgıları                                 | 58    |
| Tablo | 5. 15 | SAE J2522 Araç Test Prosedürü Dâhilinde Orijinal Disk Verileri             | 60    |
| Tablo | 5. 16 | SAE J2522 Araç Test Prosedürü Dâhilinde Seramik kaplı Disk Verileri        | 62    |
| Tablo | 5. 17 | SAE J2522 Araç Test Prosedürü Dâhilinde Karbon Kaplı Disk Verileri         | 64    |
| Tablo | 5. 18 | SAE J2522 Araç Test Prosedürü Dâhilinde Seramik-Karbon kaplı Disk Verileri | 66    |
| Tablo | 5. 19 | Disklerin Testler Sonucunda Oluşan Performans Değerleri                    | 79    |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|       |        | <b>Sayfa</b>  |    |
|-------|--------|---|----|
| Şekil | 1. 1.  | Binek Araçlar da Kullanılan Hidrolik Fren Sistemi                       | 1  |
| Şekil | 1. 2.  | Frenleme Sırasında Oluşan Kuvvetlerin Taşıta Etki Eden Kuvvetleri       | 2  |
| Şekil | 1. 3.  | Kaldıraç Prensibi   | 4  |
| Şekil | 1. 4.  | Pascal Prensibi   | 5  |
| Şekil | 1. 5.  | Hidrolik Fren Dağılım Şeması  | 5  |
| Şekil | 1. 6.  | Elektrikli Fren Sistemi   | 7  |
| Şekil | 2. 1.  | Diskli Fren Sisteminin Bölümleri  | 8  |
| Şekil | 2. 2.  | Diskli Fren   | 8  |
| Şekil | 2. 3.  | Fren Diskleri   | 8  |
| Şekil | 2. 4.  | Fren Kaliperinin Parçaları  | 9  |
| Şekil | 2. 5.  | Balata Boşluğunun Ayarlanması   | 10 |
| Şekil | 2. 6.  | Sabit Kaliper   | 10 |
| Şekil | 2. 7.  | Yüzer Kaliper   | 11 |
| Şekil | 2. 8.  | Fuul Contact Kaliper  | 11 |
| Şekil | 2. 9.  | Diskli Fren Sisteminde Kullanılan Pabuç ve Balata                       | 12 |
| Şekil | 2. 10. | Diskli Tekerlek Fren Sisteminin Çalışma Şeması                          | 13 |
| Şekil | 3. 1.  | Kampanalı Tekerlek Fren Sistemi   | 14 |
| Şekil | 3. 2.  | Tespit Pimi Tek Olan Frenler  | 14 |
| Şekil | 3. 3.  | Çift Tespit Pimli Frenler   | 15 |
| Şekil | 3. 4.  | Tek Tespit Pimli, Kendi Kendini Merkezleyen Frenler                     | 15 |
| Şekil | 3. 5.  | Çift Tespit Pimli Çift Teker Silindirli Frenler                         | 16 |
| Şekil | 3. 6.  | Kendi Kendini Ayarlayan Frenler   | 16 |
| Şekil | 3. 7.  | Kampanalı Fren Sisteminin Çalışması                                     | 17 |
| Şekil | 3. 8.  | Disk Fren ve Kampana Fren   | 18 |
| Şekil | 3. 9.  | El Freni Levyesi  | 19 |
| Şekil | 5. 1.  | Binek Arabada Kullanılan Fren Diski ve Atölye Ortamında Yapılan Balata  | 30 |
| Şekil | 5. 2.  | Seramik Kaplama Anına Ait Şekiller                                      | 33 |
| Şekil | 5. 3.  | Plazma Sprey Kaplama Yönteminin Şematize Edilmiş Hali                   | 34 |
| Şekil | 5. 4.  | Seramik Kaplama püskürtme işlem sırası                                  | 35 |
| Şekil | 5. 5.  | Nikon Eclipse LV150N (Metal Mikroskop)                                  | 37 |
| Şekil | 5. 6.  | Dıgırock Hardness Test Cihazı ve Elmas Ucu                              | 37 |
| Şekil | 5. 7.  | Termo Scientific Niton XL 3t Cihazı                                     | 39 |
| Şekil | 5. 8.  | Disk Salınımlarının Ölçüm Anı   | 39 |
| Şekil | 5. 9.  | Gram Ölçüm Cihazları  | 40 |
| Şekil | 5. 10. | Mikro Metre   | 40 |
| Şekil | 5. 11. | Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazları  | 41 |
| Şekil | 5. 12. | Test Yapılan Atalet Momenti Test Cihazı                                 | 42 |
| Şekil | 5. 13. | Sürtünme Kuvveti Ölçüm Sensörü (Load Cell)                              | 43 |
| Şekil | 5. 14. | Delta Marka VFD075C43A Model İnvörtör                                   | 43 |
| Şekil | 5. 15. | Temassız Infrared Termometre  | 44 |
| Şekil | 5. 16. | Devir Ölçüm Sensörü   | 44 |
| Şekil | 5. 17. | Basınç Sensörü  | 45 |
| Şekil | 5. 18. | Hidrolik Ünite ve Kontrol Panosu  | 45 |
| Şekil | 5. 19. | Kaliper ve Parçaları  | 46 |
| Şekil | 5. 20. | Test Cihazı Otomatik Kontrol Panosu                                     | 47 |
| Şekil | 5. 21. | Test Ünitesi Program Grafiği  | 48 |
| Şekil | 6. 1.  | Gri Dökmedemirin Mikroskop Görüntüleri (A) Test Öncesi (B) Test Sonrası | 50 |
| Şekil | 6. 2.  | Gridökme Demir Malzeme Materyal Miktarları                              | 50 |

|       |        |   | <b>Sayfa</b> |
|-------|--------|---|--------------|
| Şekil | 6. 3.  | Seramik Kaplı Fren Diskinin Mikroskop Görüntüleri (A) Test Öncesi (B) Test Sonrası        | 51           |
| Şekil | 6. 4.  | Seramik Kaplı Fren Diskinin Malzeme Materyal Miktarları                                   | 52           |
| Şekil | 6. 5.  | Karbon Kaplı Fren Diskinin Mikroskop Görüntüleri (A) Test Öncesi (B) Test Sonrası         | 53           |
| Şekil | 6. 6.  | Karbon Kaplı Fren Diskinin Malzeme Materyal Miktarları                                    | 53           |
| Şekil | 6. 7.  | Seramik-Karbon Kaplı Fren Diskinin Mikroskop Görüntüleri (A) Test Öncesi (B) Test Sonrası | 54           |
| Şekil | 6. 8.  | Seramik-Karbon Kaplı Fren Diskinin Malzeme Materyal Miktarları                            | 55           |
| Şekil | 6. 9.  | Orijinal Diskin Devir ve Basınç Değişimine Göre Sürtünme Katsayısı Grafiği                | 60           |
| Şekil | 6. 10. | Orijinal Diskin Devir ve Basınç Değişimine Göre Sıcaklık Grafiği                          | 61           |
| Şekil | 6. 11. | Seramik Kaplı Diskin Devir ve Basınç Değişimine Göre Sürtünme Katsayısı Grafiği           | 62           |
| Şekil | 6. 12. | Seramik kaplı Diskin Devir ve Basınç Değişimine Göre Sıcaklık Grafiği                     | 63           |
| Şekil | 6. 13. | Karbon Kaplı Diskin Devir ve Basınç Değişimine Göre Sürtünme Katsayısı Grafiği            | 64           |
| Şekil | 6. 14. | Karbon Kaplı Diskin Devir ve Basınç Değişimine Göre Sıcaklık Grafiği                      | 65           |
| Şekil | 6. 15. | Seramik-Karbon Kaplı Diskin Devir ve Basınç Değişimine Göre Sürtünme Katsayısı Grafiği    | 66           |
| Şekil | 6. 16. | Seramik-Karbon Kaplı Diskin Devir ve Basınç Değişimine Göre Sıcaklık Grafiği              | 67           |

## KISALTMALAR ve SİMGELER

| Kısaltma/Simge | Tanım   |
|----------------|---|
| CFR            | Çekme Araçları Koruma Sistemi                 |
| HB             | Brinell Sertliği                              |
| fade           | Fren Zayıflaması                              |
| fading         | Frenle Oluşan Fren Zayıflaması                |
| HVOF           | Alevle Püskürtme Yöntemi                      |
| MMK            | Metal Matrisli Kompozitler                    |
| AL-MMK         | Alüminyum Metal Matrisli Kompozitler          |
| TEI            | Termoelastik Kararsızlık                      |
| BTV            | Fren Tork Değişimleri                         |
| DTV            | Disk Kalınlığındaki Mikroskobik Değişiklikler |
| BPV            | Fren Basınç Değişimleri                       |
| ISO            | Uluslararası Standartlar Organizasyonu        |
| FMVSS          | Federal Motorlu Taşıtlar Emniyet Standardı    |
| SAE            | Otomotiv Mühendisleri Birliği                 |
| SAE J2430      | Sürtünme Test Standardı                       |
| SAE J2522      | Sürtünme Kararlılığı Test Standardı           |
| °C             | Santigrat derece                              |
| µm             | Mikrometre                                    |
| mm             | Milimetre                                     |
| m              | Metre   |
| h              | Saat  |
| m <sup>2</sup> | Metrekare                                     |
| s              | Saniye  |
| cm             | Santimetre                                    |
| dk             | Dakika  |
| µ              | Mü  |
| dev            | Devir   |
| N              | Nevton  |
| Ra             | Yüzey Pürüzlülük Ortalama Değeri              |

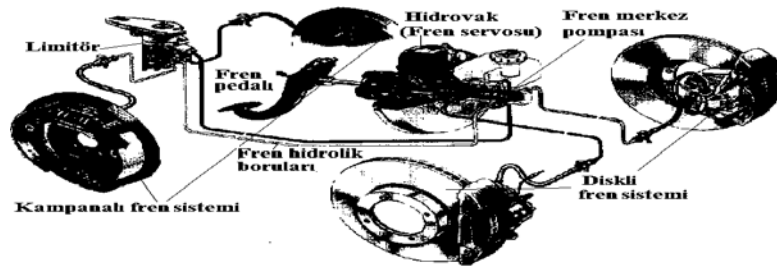
## 1. GİRİŞ

Fren sistemi, hareket halinde olan araçların güvenli bir şekilde sürülmesi, idare edilmesi ve durdurulması için, araçlarda bulunması zorunlu olan güvenlik sistemidir. Araçlarda frenleme sistemi sürtünmeye bağlı olarak, sürtünme enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesiyle sonuç bulur. İlk üretilen araçlarda fren sadece tahrik alan tekerleklere yerleştirilmiştir. Motor gücünün ve hızlarının düşük olmasından dolayı frenleme yeterli olmuştur. Fakat yoğun teknolojik gelişmeler, motorların devirlerinin ve güç üretiminin artmasına bağlı olarak araçlar hızlanmıştır. Bununla birlikte mevcut frenleme sistemleri yetersiz kalmıştır.

Malzeme biliminin gelişmesi ile birlikte istenen özelliklerde sıcaklığa dayanıklı, aşınma direnci yüksek, düşük maliyetli alaşımlar ve kompozit malzemeler ortaya çıkmıştır. Malzeme bünyesinde bulunmayan fakat sonradan kazandırılabilen özellikler ile malzemelere yüzeysel uygulama yöntemleri ile daha nitelikli özellikler kazandırılmıştır.

Diğer yandan geleneksel olan ve en yoğun şekilde kullanılan gri dökme demir disklerin yerine tamamen kompozit, seramik ve grafitlerden üretilmektedir. Malzeme açısından kaliteli fakat maliyetli ve temini zordur. Bunların yerine, teknik özelliklerini taşıyabilecek nitelikli malzemeleri araştırma ve bulma ihtiyacı doğmaktadır [1].

Malzemenin yüzeyi sert ve aşınmaya karşı dayanıklı, kaplama yapılacak malzemenin de mukavemeti ve esnek olması gerektiğinden, uygulaması kolay olan yüzey sertleştirme ve kaplama yöntemleri tercih sebebi olmaktadır. Otomobil ya da diğer araçların fren elemanları termal iletkenlik katsayısı, aşınma direnci, sürtünme katsayısı ve frenleme özellikleri istenen özelliklerde olması önemlidir. Şekil 1. 1 de fren sistemde uygulanan kampanalı ve diskli frenleri gösterilmiştir.



Şekil 1. 1: Binek Araçlarda Kullanılan Hidrolik Fren Sistemi

Karayolu taşıtların da cinsine göre birden fazla fren çeşiti kullanılmaktadır. Günümüzde yoğun olarak tercih edilen fren sistemleri, hidrolik ve pnömatik fren sistemleridir. Otomobiller de çoğunlukla yağ basınçlı hidrolik fren sistemleri kullanılmaktadır.

### 1. 1. Fren Sisteminin Görevleri

Fren sistemlerinin görevleri aşağıdaki gibidir;

- Aracın güvenli bir şekilde sürülmesini,
- Trafikte düzenli ve kazasız ilerlenebilmesini,
- İstenen düşük hızlara, yavaşlamayı sağlamak,
- Kullanılan aracı istenilen yer ve zaman da güvenli bir biçimde durdurmak,
- Duran aracı bulunduğu yerde tutmak,

şeklin de özetleyebiliriz.

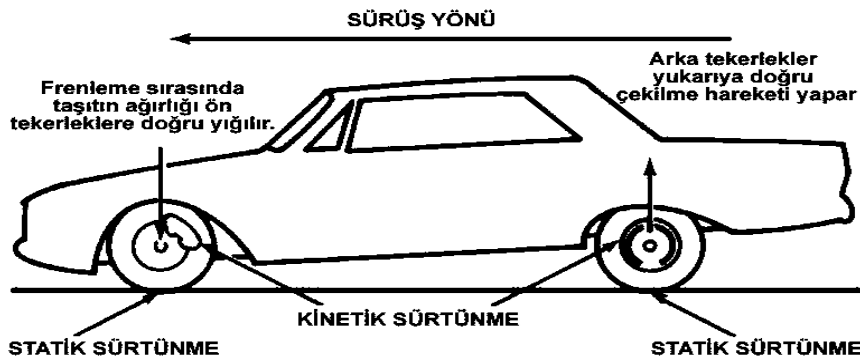
### 1. 2. Frenlemeye Etki Eden Faktörler

Araçların motoru, aracın hareketini sağlamak için, motor da yanan yakıtın, ısı enerjisini kinetik (hareket) enerjisine dönüştürür. Frenler de motorun tersine üretilen, kinetik enerjiyi aracı durdurmak için sürtünme kuvveti yoluyla oluşan ısı enerjisine dönüştürür.

Kinetik enerji,  $E_k=1/2.m.v^2$  formülü ile ifade edilmektedir. Belirli bir hıza sahip aracın hızının karesiyle kütesinin çarpımının yarısına eşittir. Formülden de görüldüğü üzere kinetik enerji aracın kütesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Eğer hız iki kat artarsa kinetik enerji dört kat artmaktadır. Üç kat artarsa kinetik enerji dokuz kat artacaktır.

Görülüyor ki araçların fren gücü, hızının karesiyle doğru orantılı olarak artan kinetik enerjiden büyük olması gerekiyor. Bu sebeple fren gücünün, motor gücünden daha fazla olması gerekir ki aksi halde iyi bir frenlemeden bahsedemeyiz.

Sonuç olarak, fren gücünün, motor gücünden daha fazla olması şarttır. Şekil 1. 2’de frenleme anında oluşan kuvvetlerin taşıta etki eden tüm kuvvetler gösterilmektedir.



Şekil 1. 2: Frenleme Sırasında Oluşan Kuvvetlerin Taşıta Etki Eden Kuvvetleri

### 1. 3. Motor Gücü, Fren Gücü

Bir örnek ile açıklamak gerekirse bir araç kalkıştan 32 saniye sonra hızı 100 km/saat' e çıkarken aynı araç 100 km/saat hızla giderken frene basıldığı zaman 4 saniyede durabilir. Aracı durdurmak için geçen zaman, aracı hızlandırmak için geçen zamanın 1/8'i kadardır. Bu örnek ışığında fren gücü, motor gücünün 8 katı olması gerekir.

### 1. 4. Motorlu Araçlardaki Fren Sistemleri

Motorlu taşıtlarda birbirinden ilgili olmayan üç farklı fren sistemi bulunmaktadır. Bunlar;  
-Ayak freni: Araç hızının azaltılması ve durdurulması için kullanılır,  
-El freni: Park yapılan aracın olduğu yerde güvenli bir şekilde sabit kalması için kullanılır,  
-Destek frenleri: Dizel motor a sahip tonajlı yük taşıyan kamyonlar, tırlar ve diğer ağır yük araçlarında ayak frenleriyle birlikte kullanılır.

Bahsettiğimiz frenler dışında, aracın hızını azaltmak için motor freni' de kullanılabilir. Bu fren tipi, çoğunlukla vites küçültülerek yapılan frenleme sistemi olarak da bilinir. Vites küçültülerek şanzıman da ki dönme yükü motor a iletilir ve yavaşlama sağlar. Motorun krank milindeki dönme karşı gösterdiği direnç frenleme olarak ortaya çıkar. Bu sayede ekstra hiçbir ekipman kullanılmadan frenleme gerçekleştirilir [2].

Örnek verilirse; yokuştan aşağı gidilirken, gaz pedalına basılmadan, taşıt viteste iken silindir bloklarına yakıt gitmese dahi tekerlekler döndüğünden dolayı motor da dönme kuvvetine maruz kalacaktır. Fakat krank mili, dönme karşı, silindirler de gerçekleşen, sürtünen ve sıkışan parçaların direnmeleri sebebiyle direnç gösterirler. Bu direnme ve direnç sebebiyle buna bağlı olarak tekerlekler yavaş dönerek aracın yavaşlamasına neden olur.

Vites küçültmek, dişli prensibine göre şanzıman da bulunan dişli oranın azalması demektir. Dişli oranı azalırsa motor devri artar ve motor daha güçlü hala gelinir. Motorun devri artınca, motorun dönme direnci de artar. Bu bilgiler ışığında, küçük vitese atılması daha fazla motor frenleme gücü anlamına gelir.

Motorlu araçlarda farklı yapı ve özelliklere sahip birden fazla fren çeşidi kullanılmaktadır. Bunlar;

- 1 – Hidrolik olan frenler;
  - Klasik hidrolik olan frenler,
  - Vakum destekli hidrolik olan frenler,
  - Hava destekli hidrolik olan frenler,
- 2 – Mekanik olan frenler,



- 3 – Havalı olan frenler,
  - 4 – Elektrikli olan frenler
  - 5 - Klasik hidrolik yapı da olan fren sistemleri
- Şeklindedir.

Fren pedalları, basit kaldıraç kuralları ile çalışır ve pedala uygulanan birim kuvvet fren hidrolik merkezine büyük bir kuvvet olarak yansıtılır. Paskal prensibine göre fren hidrolik merkezi içinde meydana gelen hidrolik kuvvet, frenleme hortumları vasıtasıyla tekerlekte bulunan kaliper silindirlerinin hepsine ulaşır fren balatasının, fren diskinde basması sonucu frenleme kuvveti oluşturmaktadır.

Kaldıraç kuralı Şekil 1.3’de görüldüğü gibi fren pedalıyla harekete başlar ve hesabı aşağıda belirtilen formül ile hesaplanır.

$$F_1.A = F_2.B,$$

F<sub>1</sub>: Pedalla uygulan kuvvet,

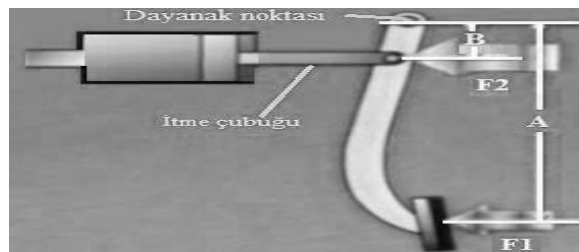
F<sub>2</sub>: İtici çubuğa uygulanan kuvvet,

A: Pedal ile destek merkez noktası arası mesafe

B: Piston İtme noktası ile destek arası mesafe

Şeklin de tanımlanmıştır.

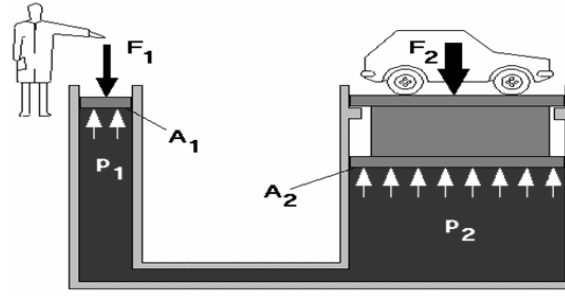
Şekil 1.3’de A mesafesi 5x kuvvet, B mesafesine x ise, pedala uygulanan F<sub>1</sub> kuvveti, F<sub>2</sub> kuvvetine göre beş kat daha fazla olacaktır. Fren servo su da atmosfer basıncından faydalanarak mevcut kuvveti daha da arttıracaktır [3].



Şekil 1. 3: Kaldıraç prensibi

### 1. 5. Paskal Prensibi

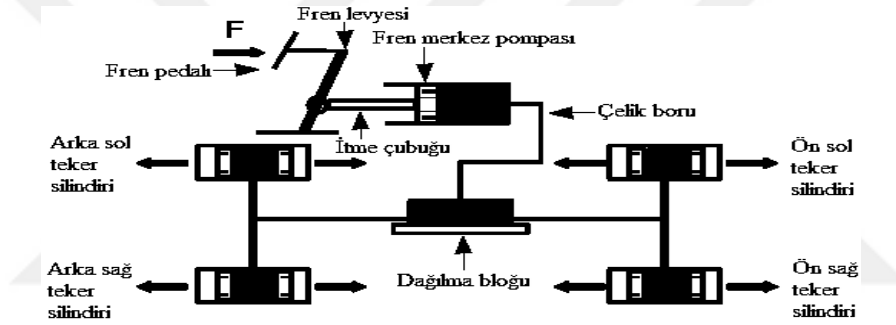
Pascal kanununa göre kapalı kaplarda sıvılara sıkıştırma yapılamaz. Kapalı kaptaki bulunan sıvıya herhangi bir bölgesinden uygulanan basınç, kabın şekline bağlı olmamakla birlikte, kabın iç yüzeyinin her çeperine sıvı tarafından aynı büyüklükte kuvvet yayılır. Bu sebepten dolayı sıvıların kuvvetin ve hareketin iletiminde kullanılırlar.



Şekil 1. 4: Pascal Prensibi

$$P_1=P_2, F_1/A_2=F_2/A_1$$

Bu kurallardan faydalanılarak hidrolik kaldıraçlar ve hidrolik sistemlerle çalışan ekipman ve makineler yapılmıştır. Bu kuralın en önemli özelliği ise makina ekipmanına uygulanan küçük bir kuvvetten büyük kuvvet elde edilmesidir.



Şekil 1.5: Hidrolik Fren Dağılım Şeması

Fren sistemi kapalı devre çalışan hidrolik sistemlerinin mantığı uygulanır, servis frenine ayak ile uygulanan kuvvet, hidrolik sıvısına yön verir, yön verme işlemini bir hidrolik piston aracılığıyla dağıtıcı bloğa gönderilir. Buradan eşit bir şekilde, kaliper içerisinde bulunan pistonlara gelen basınçlı yağ kaliper pistonunu çıkartarak balataların diske sürtünmesi sağlanır.

Fren kuvvetleri, Şekil 1.5'de görüldüğü üzere hidrolik fren silindirlerinin çaplarına bağlı olarak olumlu ya da olumsuz olarak değişmektedir. Aracın hangi tekerleğinde frenleme kuvvetinin fazla olmasını istiyorsak o tekerin fren piston çaplarında büyütme yapması gerekmektedir.

## 1.6. Vakum Yardımlı Hidrolik Frenler

Vakum ile destek freni; araçların motorunda meydana gelen yanma sonucu çıkan gazların emme, manifoldundan emilen gazların emilmesi sonucu oluşan vakum yardımıyla frenleme esnasında şoförün ayakla oluşturduğu bası kuvvetine destek olur.

Fren pedalına basıldığında vakumu kontrol eden subap, pistonun merkez silindiri tarafına vakum ile çekerek ileri gitmesini sağlar. Bu şekilde fren merkez pistonun atmosferik basınçla ileri gitmesi sağlanırken, öbür taraftan vakum ile çekme kuvveti etkisi ile pistonun çekilmesini sağlar. Vakum sisteminin piston grubu, fren merkez silindirinin pistonuna bağlı olduğu için onu da kendi hareketinden dolayı hareket ettirir ve fren merkez silindirinde basınç meydana getirir. Oluşan basınç, fren sistemine iletilir ve fren sistemi ve tekerlek arası frenleme gerçekleştirilir. İfade ettiğimiz piston yerine, gerçekte diyafram kullanılmakta ve bu vakum tertibatına westinghouse denilmektedir.

### **1.7. Hava Yardımlı Hidrolik Frenler**

Bu çalışma prensibine sahip fren sistemlerinde merkez pompasında meydana gelen hidrolik basınca takviye olarak basınçlı havadan destek alınmıştır.

Fren sisteminde kullanılan destek basınçlı hava, motorun dönme hareketinden sağlayan bir kompresör tarafından üretilmektedir. Kompresör tarafından sağlanan basınçlı hava, hava tanklarında depo edilerek frene basılması durumunda kullanılmak üzere hazır beklemektedir.

Depolanan basınçlı havanın, basıncını istenen değerde tutmak için basınç kontrol ve emniyet valfleri kullanılır, bunun yanında havanın içerisinde bulunan nemin yaratacağı olumsuz etkileri minimum seviyeye indirmek amacıyla havanın kurutulması için bir şartlandırıcı ünitesi kullanılmıştır.

Frene basıldığında hava tanklarında bulunan hava, frene basma şiddetine göre orantılı olarak valfler yardımıyla sisteme gönderilir. Basınçlı hava basit regülatör mantığıyla bir diyafram ünitesine basınç kuvveti ile baskı yaparak merkez silindiri, diyafram üzerinde bulunan pistonun itme çubuğunu büyük kuvvetle iterek frenleme kuvvetinin artmasını sağlar. Merkez pompasından sonra sistem, klasik hidrolik fren prensibiyle çalışmaktadır.

Sistemde el freni tertibatı tamamen bağımsız bir ekipman ile çalışmaktadır. El freni kolu, manuel kumandalı valfi yönlendirir. Bu manuel valf aracılığıyla basınçlı hava, tekerleklerin silindirlerine yönlendirilerek aracın sabit kalmasını sağlar.

Manuel kumandalı valf den gelen basınçlı hava, fren odasına gönderilerek mekanik bir yönlendirme meydana getirilmiştir; bu yönlendirmenin sonucunda mekanik hareketin etkisiyle pabuçların kampanaya basarak tekerlekler sabitlenmiştir [4].

### **1.8. Mekanik Frenler**

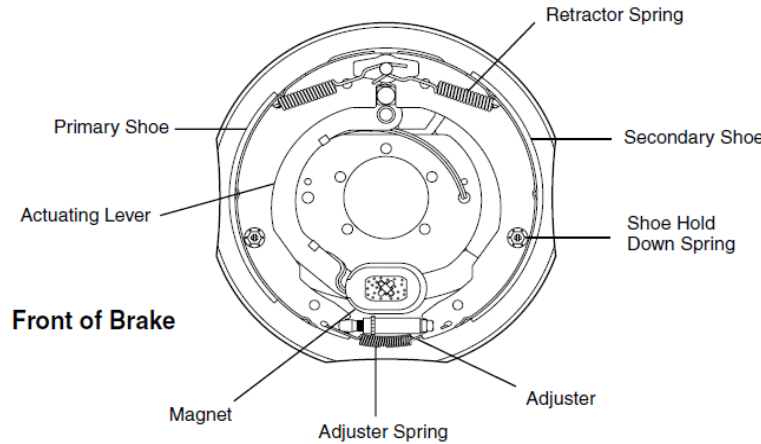
Mekanik frenler, tamburlu frenler, diskli frenler, konik frenler, pabuçlu frenler, bantlı frenler olarak tanımlanabilir.

### 1.9. Havalı Frenler

Havalı frenler kamyon, otobüs, römork ve yarı römorklarda kullanılır. Bu araçlar için çeşitli nedenlerden ötürü tercih edilen fren sistemi tipi budur. İlk olarak, hava kullanımı birden fazla taşıt ünitesinin bağlanmasını sağlar, böylece tüm üniteler frenleme kapasitesine sahiptir ve böylece bu ünitelerin tüm frenleri kabinden kontrol edilebilir. Hidrolik frenlerde olduğu gibi, bir kuvvetin aktarım şekli olarak bir sıvı kullanılsaydı frenleme de hızlı tepkime gerçekleşmezdi. Ayrıca, bir havalı fren sisteminin kullanılması, servis freninin ve park freni sistemlerinin parçalarını kullanan bir acil durum fren sisteminin kullanılmasına izin verir. CFR 49 393. 43 tarafından tüm yarı römorklarda acil durum fren sistemleri gereklidir. “Her motorlu taşıt, frenlerle donatılmış bir römork çekmek için kullanılırsa; römorkta, çekici araçtaki servis frenleri römork frenlerini de kumanda ederek durduracaktır [5].

### 1.10. Elektrikli Frenler

Römorkunuzdaki elektrikli frenler otomobilinizdeki tambur frenlerine benzer. Temel fark, elektrikli frenleriniz bir elektromıknatıs olarak çalıştırıldığında, otomobil frenlerinizin hidrolik basınçla çalıştırılmasıdır. Sisteme bağlı olan tüm fren bileşenleri ile fren aşağıdaki gibi çalışacaktır.

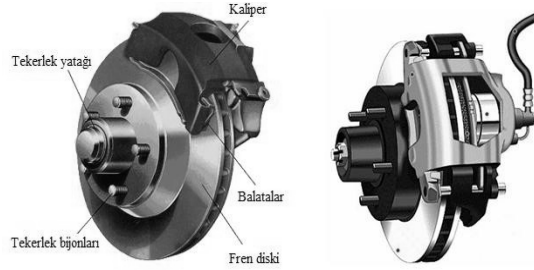


Şekil 1. 6. Elektrikli Fren Sistemi

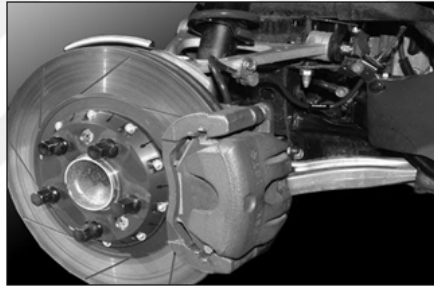
Şekil 1. 6’da elektrikli fren sistemi görülmektedir. Elektrik akımı kontrolör tarafından sisteme beslendiğinde, elektromıknatısları frenlere yön verir, yüksek kapasiteli elektromıknatıslara enerji verilir ve tamburların dönen armatür yüzeyine çekilir ve bu da kumanda kollarını tamburların yönünde hareket ettirir. Böylece pabuçlar kampana ya sürttürülmesi sağlanarak frenleme yapılır [6].

## 2. DİSK FREN SİSTEMİ

Günümüzde çoğunlukla ön tekerleklerde diskli frenler, arka tekerlerde ise kampanalı frenler tercih edilmektedir. Fakat günden güne teknoloji ve maliyetlerin düşürülmesi ile birlikte dört tekerlekte de diskli fren kullanımı artış göstermektedir. Şekil 2.1’de fren diskinin bölümleri gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 2. 2’de diskli fren sisteminin yapısı görülmektedir.



Şekil 2. 1: Diskli Fren Sisteminin Bölümleri



Şekil 2. 2: Diskli Fren

### 2. 1. Diskli Fren Sisteminin Genel Yapısı

Diskli fren sisteminin yapısı, sisteme sabitlenmiş olan kaliperle, bu kaliper içerisine montajı yapılan fren balata çifti, frenin hidrolik silindiri ve piston takımı oluşmaktadır.



Şekil 2. 3: Fren Diskleri

## 2.2. Diskli Fren Sisteminin Parçaları

Diskli fren sistemini oluşturan parçalar; fren disk, kaliper, fren hidrolik silindiri ve pistondan oluşmaktadır. Fren diskleri, civatalar vasıtasıyla tekerlek göbeğine bağlanmakta ve tekerlek göbeğiyle birlikte hareket etmektedir. Araçların yavaşlaması ya da durması esnasında balatalar arasında sıkıştırılan fren disk frenlemeyi yapar. Araçta oluşan kinetik enerji, frenleme anında balata ve disk yüzeyleri arasında ısı enerjisine dönüşür.

Araçlarda iki çeşit fren disk kullanılmaktadır. Bunlar; dolu malzemeden yapılan fren diskleri ve içten havalandırılmalı kanallı fren diskleridir. İçten havalandırılmalı fren diskleri, disk döndüğünde içerisine açılan hava kanatçıkları sayesinde, fan etkisi oluşturarak, içi dolu olan disklerle göre, diskin daha hızlı soğumasını sağlar. Bu nedenlerden dolayı günümüzde içten havalandırılmalı hava kanallı fren diskleri daha çok tercih sebebidir.

## 2.3. Fren Kaliperi

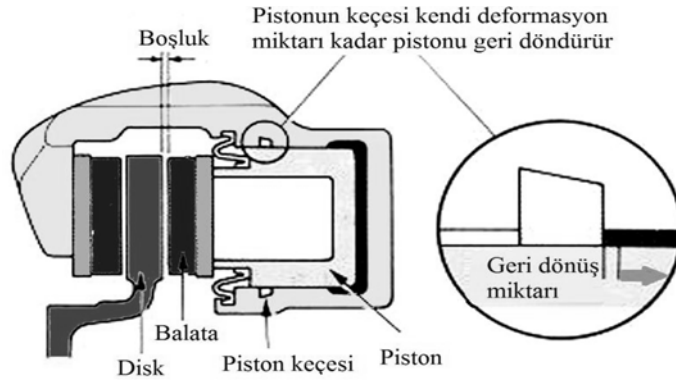
Fren kaliperi, sürtünme elemanı olarak kullanılan balata pabuçları ve balataları; hidrolik silindirlerin ve pistonları birbirine bağlayan elemandır. Frenleme anında oluşan çok fazla moment tepkilerini, üzerine montaj edildiği dingilin üstüne aktarmaktadır. Kaliperler, civatalar vasıtasıyla dingil başlarına bağlanmıştır [3]. Şekil 2. 4'de fren kaliperinin parçaları görülmektedir.



Şekil 2. 4: Fren Kaliperinin Parçaları

Fren kaliperinin içerisinde hidrolik piston bulunmaktadır. Piston çift etkili çalışmaktadır. Bir tarafı iterken yapısı gereği diğer tarafı çeker. Böylece çift taraflı aynı zamanlı balatanın diske basmasını sağlar. Böylece disk iç ve dıştan eşit aşınır ve balans imkânı verilmez [3].

Balatalar zamanla aşınır ve aşındıkça disk-balata boşluk mesafesi artar ve pedal mesafesi aynı oranda artacaktır. Bu sebepten dolayı, boşluk için ayar mekanizmasına ihtiyaç vardır. Bazı kaliper pistonlarında, piston keçesi otomatik olarak bu boşluğu tolerize etmektedir.



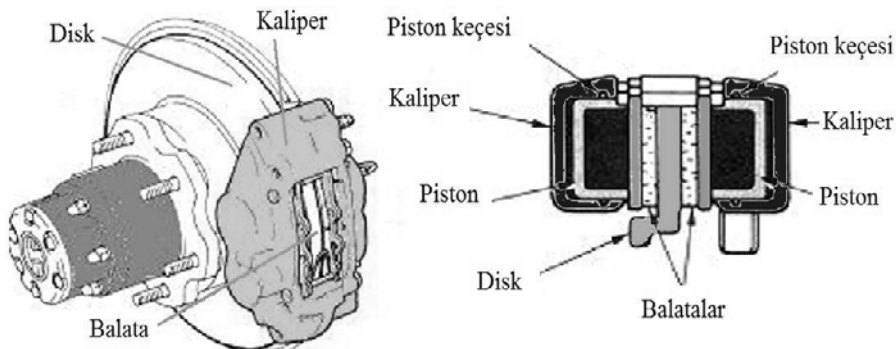
Şekil 2. 5: Balata Boşluğunun Ayarlanması

Otomatik boşluk ayarlayıcılı piston, silindirin içerisinde bulunan bir piston keçesinden (plastik) ibarettir. Bu plastik keçenin iki görevi vardır. Piston içinde bulunan fren hidrolik yağının kaçağını engeller ve frene basıldığında piston hidrolik sıvının basıncıyla, piston keçesi sıkışmaya maruz kalır. Fren bırakıldığı zamanda, hidrolik basınç azaldığı için piston keçesi orijinal şeklini geri alır ve pistonu geri çeker. Kaliperi meydana getiren elemanlar Şekil 2.5’de gösterilmiştir.

Fren kaliperleri üç farklı çeşittir;

### 2. 3. 1. Sabit Kaliper

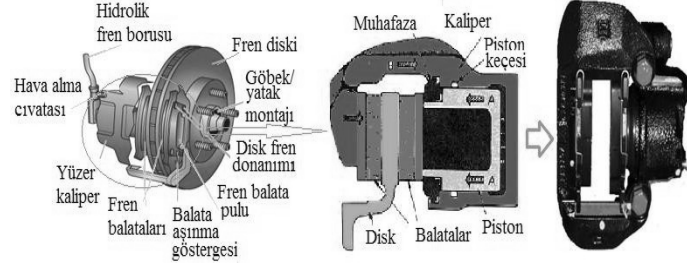
Sabit kaliper bir çift pistonu sahiptir. Fren kuvveti, balata çiftinin pistonun uyguladığı kuvvet nedeniyle disk yüzeylerine bastırılması sonucu meydana gelir. Yapı olarak çok basit olmasına rağmen ısı transferi istenen düzeyde değildir. Kaliper diskle jant arasında montaj yapıldığından dolayı havanın kalipere ulaşması sıkıntılı olup soğutması bu nedenle zor olmaktadır. Bahsettiğimiz soğuma probleminin dolayısıyla günümüzde kullanımı ciddi anlamda azalmıştır. Şekil 2.6’da sabit kaliperin şekli ve oluşturduğu ekipmanlar görülmektedir [4].



Şekil 2. 6: Sabit Kaliper

### 2.3.2. Yüzer Kaliper

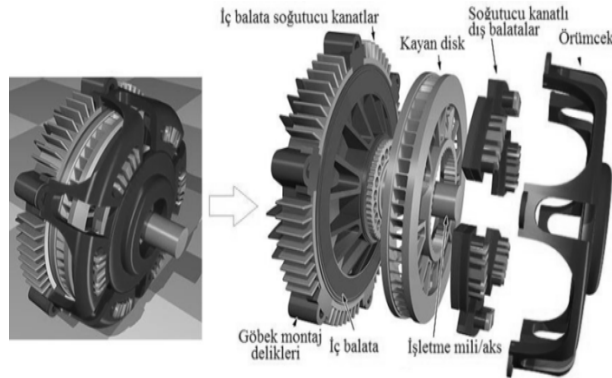
Yüzer kaliper sisteminde piston, kaliperin sadece tek tarafına montaj yapılmıştır. Hidrolik fren merkezinde oluşturulan hidrolik basınç, sabit kaliper de olduğu gibi pistonu ileri iterek balataları diskin yüzeyine bastırır, bu şekilde yavaşlama ve duruş sağlar. Şekil 2.7’de yüzer kaliper, parçaları ve yapısı görülmektedir.



Şekil 2. 7: Yüzer Kaliper

### 2.3.3. Fuul Contact (Temaslı) Kaliper

Fuul contact (temaslı) kaliperler özel olarak tasarım edilmiştir. Fuul contact kaliperlerin frenleme verimleri çok yüksektir, fuul contact kaliperlerin en önemli özelliklerinden biri kolay soğumalarıdır. Bu özelliği iç ve dış balatalar üzerindeki soğutma kanatçıklarından alırlar. Fuul contact kaliperler şu parçalardan oluşmaktadır; kayan disk, örümcek, soğutucu kanatlı dış balata, soğutucu kanatlı iç balata, parçalarından oluşmaktadır. Şekil 2.8’de Fuul contact kaliper ve kaliperi oluşturan parçaları görülmektedir.

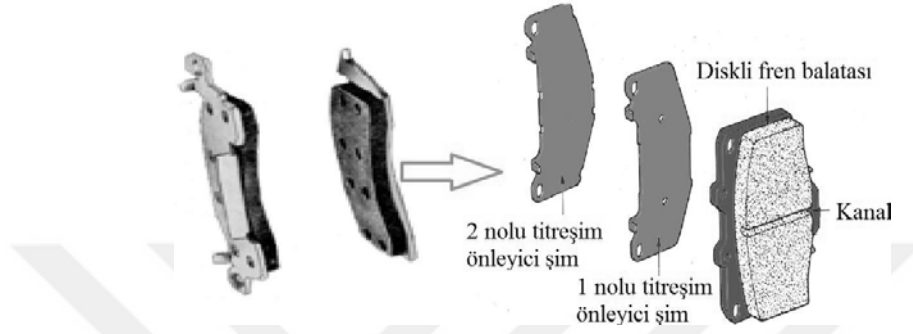


Şekil 2. 8: Fuul Contact Kaliper



#### 2. 4. Diskli Fren Balatası ve Pabuçu

Balata pabuçu, kaliper içinde pabuç için pabuç formunda işlenmiş özel bir yüzeye dayanan metal bir destek plakasına montajlıdır. Balata bu pabuca kuvvetli bir şekilde yapıştırılmıştır. Pabuçları, kaliperi boydan boya saran tespit pimleriyle yerlerine sabitlerler. Pimler ise kupilyalar yardımıyla kalipere bağlanmıştır. Şekil 2.9'da diskli fren sisteminde kullanılan pabuçlar ve balatalar görülmektedir.



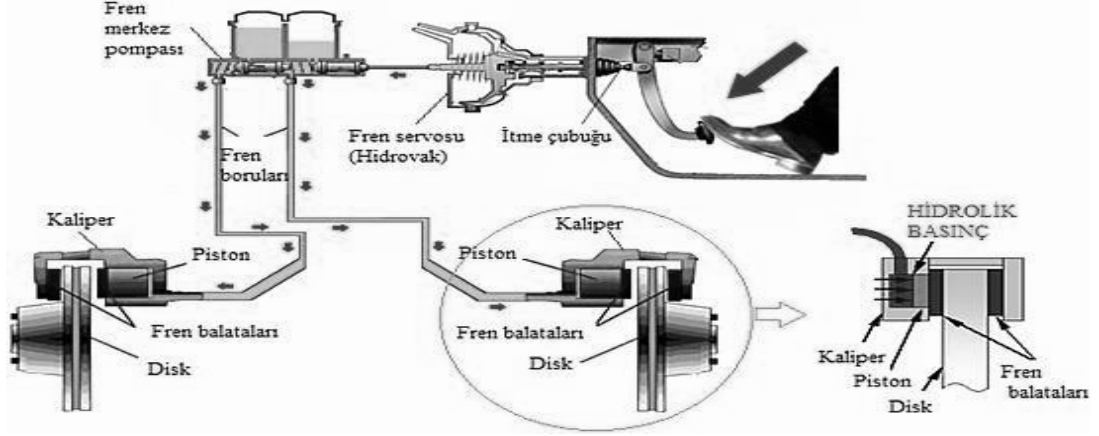
Şekil 2. 9: Diskli Fren Sisteminde Kullanılan Pabuç Ve Balata

Diskli fren sistemlerinde balatalar, pabuç üzerindeki kapladıkları alan dardır. Aynı zaman da sürtünme yüzey alanları da dardır. Bu sebepten dolayı birim yüzey alanına karşılık gelen büyük frenleme kuvvetlerine maruz kalırlar. Diskli fren sisteminde kullanılan balatalarının pabuç yüzeyine iyi tutunması ve yüksek sürtünme katsayısına sahip olması gerekmektedir.

Balataların yapısında çoğunlukla organik malzemeler ve asbest kullanılmaktadır. Diskli fren balataları yüksek sıcaklıklara ve sürtünmelere dayanıklı olarak üretilmektedir. Sıcaklığa maruz kaldıklarında yüzeylerinde parlaklık ve sertleşme meydana gelmez. Bu sebepten frenleme verimi çok yüksek gerçekleşir. Balatanın ortasına açılan kanal, balatanın aşınma miktarını görebilmek için bir ölçektir. Kanalin aşınma miktarına bakılarak balatanın değişimine karar verilir. Balataların ömrü kullanımına göre değişkenlik gösterecektir.

#### 2. 5. Diskli Fren Sisteminin Çalışması

Frene basıldığı zaman merkez silindirin oluştuğu ve aktarılan basınçlı hidrolik, kaliper içerisinde bulunan silindirin pistonunun içerisini doldurur. Dolan hidrolik yağ, oluşturduğu hidrolik basınç ile pistonlara hareket vererek pistonu dışarı doğru çıkartır. Dışarı çıkan piston pabuçları ve üzerlerinde bağlı olan balataları diske doğru ittirir ve diski sıkıya zorlar. Sonunda disk iki pabuç arasında sıkılarak frenleme yapılmaya çalışılır. Şekil 2.10'da diskli fren sistemini açıklayan şekil görülmektedir.



Şekil 2. 10: Diskli Tekerlek Fren Sisteminin Çalışma Şeması

### 3. KAMPANA FREN SİSTEMİ

Araçların arka tekerlerinde çoğu zaman kampanalı fren sistemi tercih edilir. Kampana tipi fren sistemleri şu parçalardan oluşmaktadır; iki adet pabuç, tekerlek silindiri, yay donanımları, otomatik ayar mekanizması, el freni kablosu, fren pabuçları, fren sipir tablası ve balata takımından meydana gelmektedir. Şekil 2.11’de kampanalı fren sisteminin mekanizması ve yapısıyla birlikte görülmektedir.



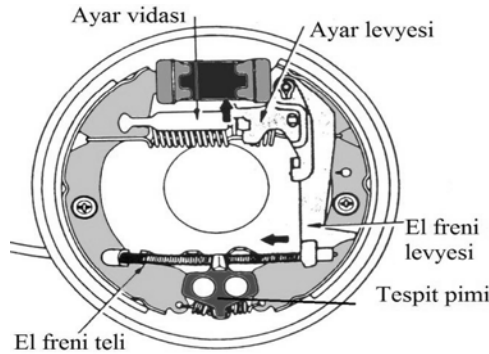
Şekil 3. 1: Kampanalı Tekerlek Fren Sistemi

#### 3. 1. Çeşitleri

Kampanalı frenler; pabuç takılmasına, silindir sayısına, tespit pim sayısına, arka-ön pabuç şekline göre ayrılmaktadır. En çok kullanılmış ve kullanılmakta olan beş adet kampanalı frenler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

##### 3. 1. 1. Tespit Pimi Tek Olan Kampanalı Frenler

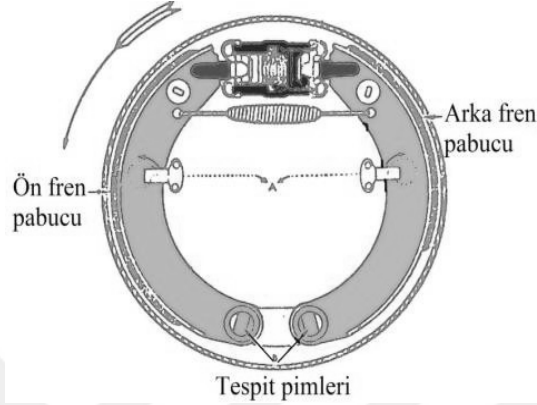
Bu tip kampanalı frenlerde tek pistonlu bir adet tekerlek silindiri kullanılmaktadır. Pabuçların alt uç birleşme yerlerine, tek tespit pimi konmuştur. Şekil 3.1’de Tespit pimi tek olan frenler görülmektedir.



Şekil 3. 2: Tespit Pimi Tek Olan Frenler

### 3. 1. 2. Çift Tespit Pimli Kampanalı Frenler

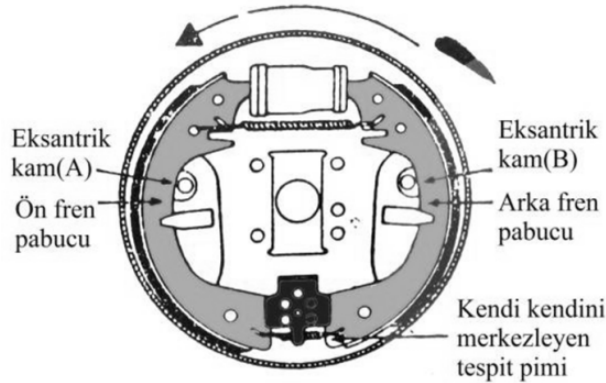
İki pabuç ayrı ayrı, arada extra bir bağlantı parçası ile bağlanarak sabitlenmiştir. Ayrı parçayla birleştirilmesinden dolayı iki adet tespit pimi kullanılmıştır. Bu bağımsız tespit pimleri ile pabuçların kampanayı merkezleyerek eşit basmasını sağlamıştır. Şekil 3.2'de Çift tespit pimli frenler görülmektedir.



Şekil 3. 3: Çift Tespit Pimli Frenler

### 3. 1. 3. Tek Tespit Pimli Kendi Kendini Merkezleyen Kampanalı Frenler

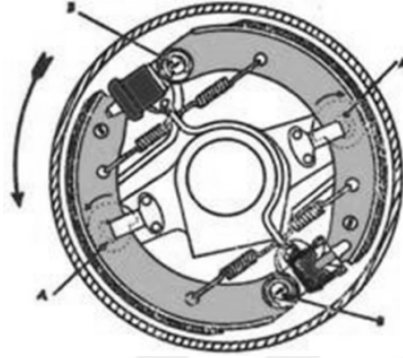
İki adet tespit pimi kullanılır, pimler kampananın aşağısında bulunur ve aynı zamanda eksantrik yapıya sahiptirler. Bu iki tespit pimleri pabuçların merkezlenmesini sağlar. Şekil 3.3'de Tek tespit pimli kendi kendini merkezleyen frenler görülmektedir.



Şekil 3. 4: Tek Tespit Pimli, Kendi Kendini Merkezleyen Frenler

### 3. 1. 4. Çift Tespit Pimli, Çift Tekerlek Silindirli Kampanalı Frenler

Aşağıda ve yukarıda bulunan tek pistonlu iki adet tekerlek silindiri, pabuçlara farklı yerlere bağlanmıştır. İki pabucun tespit pimi ayrı ayrı kullanılmıştır. Şekil 3. 4' de çift tespit pimli çift teker silindirli frenler görülmektedir.

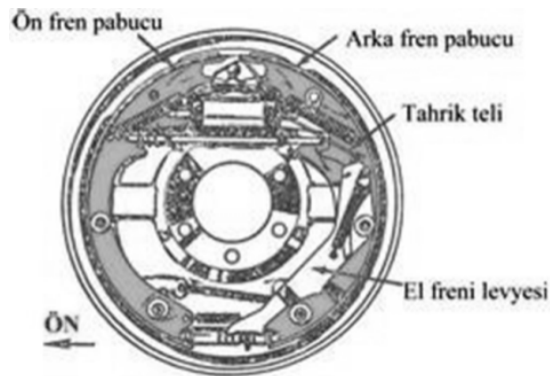


Şekil 3. 5: Çift Tespit Pimli Çift Teker Silindirli Frenler

### 3. 1. 5. Kendi Kendini Ayarlayan Kampanalı Frenler

Kampanalı frenler içerisinde araçlar da çokça tercih edilen fren tekerlek mekanizmasıdır. Balatanın aşınmasıyla meydana gelen fren boşluklarını ayarlamak için pabuç ayarı da denilen ayarların yapılması gerekmektedir. Kendi kendini ayarlayan, yani boşlukları otomatik ayarlayan frenlerde pabuçlar geliştirilen bir mekanizmayla birbirine dayandırılarak basma sağlanmıştır.

Otomatik olarak boşlukları ayarlayan kampanalı fren mekanizmaları, ayar çarkı ve bu çarkı döndürmeye çalışan bir manivela parçasına bağlıdır. Manivela pabuçlardan herhangi birine bağlanmış ve bağlı olmayan diğer ucu ayar çarkına bağlanmıştır. Frenleme anında pabuçlar açıldığında, pabuçlar yerinden bir miktar yukarı çıkarak çark üzerinde bulunan kademeli olan başka bir dişe atlar ve balatanın aşınma kaynaklı boşluğunu kapatarak aşınma farkını ortadan kaldırır. Şekil 3. 5'de Kendi kendini ayarlayan fren diskleri görülmektedir [5].

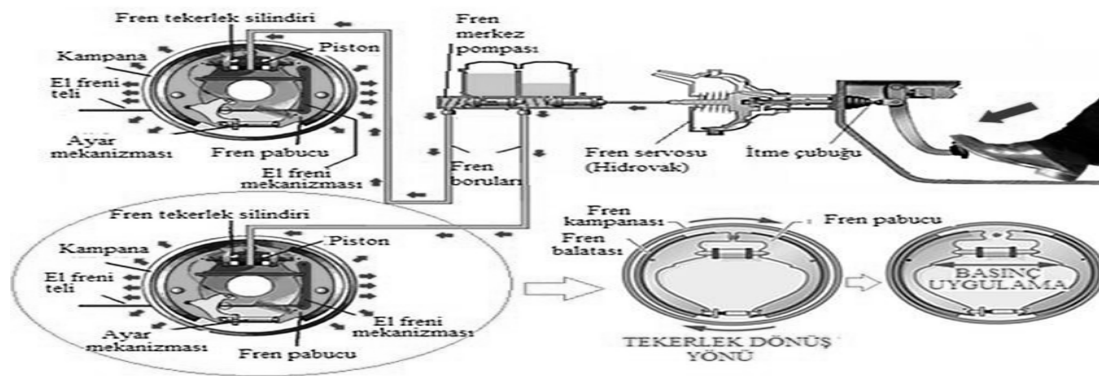


Şekil 3. 6: Kendi Kendini Ayarlayan Frenler

### 3.2. Kampanalı Fren Sisteminin Çalışması

Kampana tipi fren sistemlerinin çalışma prensipleri şu şekilde özetlenebilir;

Frene basıldığında fren merkez silindirinde basınç oluşur, bu basınçlı hidrolik, boruların vasıtasıyla frenin tekerlek silindirlerine yönlendirilir. Tekerleğin silindirlerine dolan basınçlı hidrolik, pistonların dışa doğru ilerlemesini, yönlendirmesini sağlar. Pistonlar hidrolik sıvısıyla kendisine iletilen basınç ile oluşturduğu itme kuvvetini, itme çubukları vasıtasıyla pabuçlara iletir. Pabuçlar kampana tarafına açılarak balataları kampanaya yaslayarak sürtünmesini sağlar ve oluşan sürtünmenin etkisiyle frenleme yapılmış olunur. Fren pedalına uygulanan basınç sonlandırıldığında pabuçlara bağlı olan geri getirme yayları ile pabuçlar kampanadan uzaklaştırılır. Bu şekilde bundan sonra yapılacak yeni bir frenleme için fren mekanizması hazır hale getirilir. Şekil 3.6'da kampanalı fren sisteminin çalışma prensibi görülmektedir [6].



Şekil 3. 7: Kampanalı Fren Sisteminin Çalışması

### 3.3. Diskli ve Kampanalı Fren Sisteminin Karşılaştırılması

Diskli tip frenler sürtünme sonucu ortaya çıkan ısıya ve sürtünme kayıplarına diğer fren sistemlerine göre daha dayanıklıdır. Çünkü diskli frenler hem tekerlekle birlikte döndüğünden hem de sürekli havaya temas ettiğinden frenleme sonrasında kısa zaman da soğumaktadır.

-Servo tipi fren modeli olmadığı için disk tipi frenler yüksek hızlarda yaptığı frenlerde tutukluk ya da fren balata yapışması yapmaz [3].

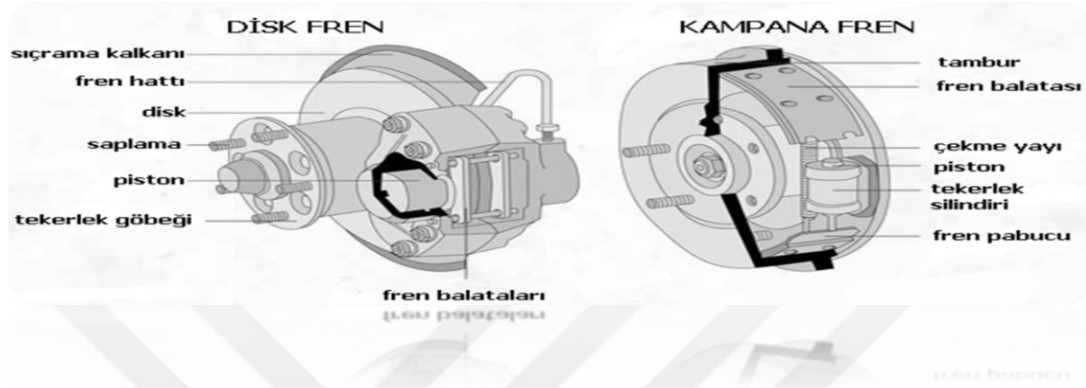
-Diskler ısındıktan hemen sonra pabuçlara doğru yönlendirilerek otomatik ayarlayıcılara yardımcı olur [4].

-Diskli frenler yaysız yükü azaltıcı özelliğe sahiptir. Diskli frenlerin bakımı oldukça kolay ve servis bakım zamanı çok daha azdır [5].

-Diskli frenlerde el freni mekanizması montajı daha zor ve bu zorluğa bağlı olarak da maliyeti fazladır [5].

-Diskli frenler daha büyük fren kuvvetlerine sahiptir ve aşınmalara karşı daha dayanıklıdır [5].

-Diskli frenler de aşınmaya bağlı boşlukları kendi kendine otomatik olarak ayarlama yaparlar [5].



Şekil 3. 8: Disk Fren ve Kampana Fren

### 3. 4. El Freni

El frenleri park freni olarak da adlandırılmaktadır. El frenleri sürücüler tarafından el kuvveti ile çekilerek yapılır ve araçların en az iki tekerleğine mekanik olarak etki ederler. El frenleri, ağırlıklı bir aracı kuru ve yokuş bir yolda % 16 oranında güvenli bir şekilde tutabilir. Daha büyük tonajlı araçlarda, verilen tespit edilmiş mesafeler de, istenilen en büyük el freni kuvvetleri, güvenli duruş sağlayacak olan fren tesirini elde etmeye yetmemektedir. Bu tür durumlar da bir kaç defa yukarı aşağı hareketi yapılarak el freni ile fren pabucu arasında büyük bir sürtünme oranını oluşturarak sabitleme sağlanır. Yardımcı kuvvet olarak istenirse yay-depolu fren silindiri kullanılarak, el freni kuvvetinin oluşturduğu fren kuvvetini arttıran tespit fren sistemleri kullanılabilir. Şekil 3.8'de el freni levyesi ve ekipmanları görülmektedir.



Şekil 3. 9: El Freni Levyesi

### 3. 4. 1. El Freninin Görevi

El frenlerinin görevi, duran otomobil ya da araçları güvenli bir şekilde yerinde tutmaktır. El frenini aktif hale getirmek için bir kol, bir levye kullanılmaktadır [6].





#### 4. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Reinsch (1970)'e göre frenlerin fonksiyonu; hareketten oluşan enerjii sönmleyerek, ısıya dönüştürmek ve dönüştürülen ısıyı da havaya atmaktır. Fren sistemlerine, oluşan ısıdan ya da alabileceği ısıdan daha fazla sıcaklık verilirse fren sisteminde sürtünme katsayılarının düştüğü gözlenecektir ve frenlerin durdurma ve yavaşlatma özelliklerinin zayıflamasına sebep olacaktır [7].

Çelik vd. (1997)'e göre plazma püskürtme ile yapılan seramik kaplama ve metal kaplamalar otomobil, uçak ve diğer endüstrilerde yüzeyden istenen performansını artırmaktadır [8].

Fren mekanizmalarının parçaları çok hızlı ısınmasının önüne geçmek için ısı tutma özelliğinin kapasitesinin fazla olması gerekmektedir. Bu kapasitenin hesabı özgül ısı kapasitesi ile fren ağırlığının çarpımıyla bulunur. Bu şekilde fren sisteminin kapasiteli ve özgül ısı kapasitesiyle de yüksek olması iyi olacaktır. Bunun yapılabilmesi için örneğin diskin çapının yani yüzey alanının büyütülmesi gerekmektedir. Fakat taşıtın dizayn ve projesinden dolayı yerlerinin dar olmasından ötürü özellikle otomobillerde fren ekipmanları büyük ebatlı seçilip montaj yapılamamaktadır. Bu yüzden küçük ebatlı fakat ısı tutma kapasitesi yüksek olan alüminyumun türevi metaller seçilerek bu malzemelerin demir türevlerine oranla üç katına kadar yüksek ısı kapasitesine sahip olunacaktır. Buna bağlı olarak ısı taşınım katsayısı büyük olan alüminyumun kullanımında da sıcaklık dağılımı daha dengeli yapılacaktır. Ancak sürtünme elemanı olarak alüminyum fazla yumuşak olduğundan sürtünme yüzeyinin kaplanması yoluna gidilmelidir. Fren sistemlerinde, frenleme esnasında oluşan ısının mümkün olduğunca hızlı bir şekilde sistemden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu şekilde frenleme anında fren sistem sıcaklığının hızlı yükselmesi engellendiği gibi frenleme sonlandığında sistemde hızlı bir soğuma kazanılmış olunur. Bu sebeple fren sistemlerinin montaj yapıldığı alanın açık olması gereklidir. Isı transferinin çoğaltılması amaçlı fren sistemleri araç hareket ederken hızına bağlı olarak rüzgarı karşılayacak şekilde yer seçimi yapıp montaj edilmelidir. Ayrıyeten ısı transferi yapılacak olan bölgenin, yüzey alanının büyütülmesi, yüzey alanındaki ısının sistemden kısa sürede atılmasını sağlar. Yüzey soğutmaların da prensip haline gelen, soğumanın hızlı olabilmesi için diskin üzerine, aynı zaman da kaliperin üst yüzeyine soğutma kanalları ve kanatçıkları uygulanmaktadır [9].

Hareket halinde olan araçlar, fren yapılması gereken durumlarda kayma ve sürtünmeye maruz bırakılarak kinetik enerjileri sönmelenir ve aracın yavaşlatılıp durdurulması sağlanır. Bu durumun gerçekleşmesi için sürtme yaşanan yüzey ikilisinin oluşturduğu sürtünme katsayısı frenlemenin kalitesi için çok önemlidir. İki yüzey arasındaki durdurma etkisi, yüksek sürtünme kuvvetini elde eden malzeme ikilisini tercih etmek ya da yeni bir ürün araştırıp bulmaktan geçmektedir. Bu malzeme ikilisini tercih etmek ya da mevcut kullanılanlardan daha verimlisini yapmak için sektörde kullanılan mevcut malzeme ikililerinin frenleme de olan pozitif ya da negatif etkisinin bilinmesiyle ancak mümkün olacaktır [10].

Mevcut malzeme ikilisinin frenlemeye olan net etkisinin ortaya konulması için her iki malzemenin frenleme etkisinin tek tek incelenmesi ile mümkün olacaktır [10].

Literatür de fren disk grubunun frenleme özelliklerini geliştirebilmek amaçlı yapılan kaplama tipi çalışmalarda, çoğunlukla balata-disk ikilisinin tribolojik hareketlerinin incelemelerinde sürtünme elemanlarının kimyasal kompozisyonu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Disklere uygulanan kaplamalara yönelik çalışmalarda ise özellikle farklı kaplama metodu ve değişik kaplama malzemeleri üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlı kalmıştır [11].

Gemalmayan (1984)'a göre kampana ve disk üretimlerinde perlitik dökme demir kullanılır. Sertlikleri 170-255 HB (kg/mm<sup>2</sup>) değerleri arasında değişebilen bu tip dökme demirler için %3,40 dolaylarında karbon kullanılır. Mutlu (2002)'ya göre ise perlitik dökme demir içerisinde grafit yaprakları bulundurduğundan iyi bir kayma özelliği gösterir. Kolay işlenebilme özelliği, titreşimi sönmüleme ve soğurma özelliği, yüksek ısı transfer özelliği ve aşınmaya karşı gösterdiği direnç en önemli niteliklerindedir. Dezavantajları ise kırılğan olması ve dinamik yüklere karşı dirençli olamaması dikkati çeker [12].

Temas halinde olan iki yüzeyden, mekanik etkilerden dolayı meydana gelen malzeme kaybı, yıllardır bilimin ve insanoğlunun karşılaştığı mekanik problemlerin en başında gelmektedir. Dünyada olan mekanik enerjinin 1/3'nin mekanik kayıplara gittiğini kabul edilir ise, aşınma ve sürtünmenin önemi çok daha iyi anlaşılır olacaktır. Teknolojinin ilerlemesi sonucunda sürtünme ve sürtünmenin sebep olduğu aşınma sorunlarının bertaraf edilmesi için birçok yöntem denenmiştir.

Bir fren diskinin bileşiminde bulunması gereken bütün katkı elemanları ve yüzey işlemleri ile ilgili yapılan araştırma ve çalışmaların sonuçları ticari ve mali değerler içerdiğinden çoğu zaman yayınlanmadan patent alma yolu değerlendirilmektedir. Disk ve balataların özelliklerini geliştirerek frenleme performansını arttırmak için yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir [13].

Anderson (1992)'a göre gri dökme demirler otomobil fren sistemi ve silindir gömlekleri için kullanılan ortak bir malzemedir. Bunun nedeni Stanford and Jain (2001)'in yaptığı çalışmada dökme demirlerin yüksek ısı iletkenliği, yüksek aşınma dayanımı ve mikro yapıda grafitin bulunmasına bağlanmıştır. Aynı çalışmada dökme demirin sulu ortamlarda düşük olan korozyon dayanımını yükseltmek için fren diskleri yumuşak kaplamalar ile kaplandığı, ancak bu kaplamalarında frenleme mesafesini uzattığı bildirilmiştir. Bazen sert frenleme yapıldığında oluşan yüksek ara sıcaklık yükselmelerin de organik bileşiklerin kimyasal özellikleri bozulur, sürtünme katsayıları düşer ve aşınma oranları miktarları artar. Bu olay sonuç olarak sıcaklığa bağlı fren zayıflaması (fade) olarak adlandırılır. Olması gereken ideal fren balataları ve fren diskleri herhangi bir sıcaklıkla fren zayıflaması (fading) oluşmaksızın bütün çalışma şartlarında üniform ve kararlı sürtünmeyi sağlamaları gerekmektedir. Söz konusu olan çalışma da, Fe-3, 45C-2, 15Si-0,5Mn-0,25Cr0, 2Cu alaşımına sahip

olan diskin aşınma, sürtünme ve korozyon dirençlerini iyileştirmek için HVOF yöntemiyle Co-30Cr-12W-2,4C (Stellite) tozu, alevle püskürtme yöntemiyle [Ni-17Cr-2,5Fe-2,5Si-2,5B-0,15C (Metco), Fe-30Mo-2C (Diamalloy), ve Zn-50SiC (Zn-SiC)] tozlarıyla kaplanmıştır. Yapılan çalışmalar da; en yüksek korozyon direncini stellite kaplanmış disk göstermiştir. Bütün kayma hızlarında en düşük aşınma miktarı ve en yüksek sürtünme katsayısını stellite kaplamalı disk ile dökme demir diskin sağladığı bildirilmiştir [14].

Dökme demirin sürtünme ve aşınma özelliklerini iyileştirmek amacıyla Ocelik vd. (2007)'in yapmış oldukları çalışmada; yüksek güçlü lazer kaplama yöntemi ile sıkıştırılmış grafit ve gri dökme demir yüzeylere yaptıkları Co -bazlı kaplamanın endüstriyel parçaların, geleneksel dökme demirlerin mikro sertliğinde artış, lokal aşınma ve korozyon direncinde önemli bir iyileşme sağladığını, sürtünme katsayısının standart sınırlar içinde olduğunu tespit etmişlerdir [15].

Fren disk malzemesi ve yüzey özellikleri üzerine Qu vd. (2009)'nin yaptıkları diğer bir çalışmada; Ti-6Al-4V (Ti64), metal matrisli kompozitler (MMK), ısı püskürtme kaplı Ti alaşımından oluşan malzemelerin sürtünme katsayısı ve aşınma direncini test etmişler. Ti-6Al-4V (OD-Ti64) alaşımına oksijen difüze etmişler, fren test cihazında karşı malzeme olarak bu çalışma için optimize edilmiş ticari fren balatası kullanmışlardır. OD-Ti64 sürtünmesi ile ilgili olarak, diğer malzemelerle birlikte disk yüzey sıcaklığı yaklaşık 600 °C'ye ulaştığında bile, sürtünme katsayısının arzu edilen 0,35-0,50 aralığında gerçekleştiğini tespit etmişler [16].

Blau vd. (2007) tarafından yapılan benzer çalışmada ise; iki adet ticari Ti alaşım, dört adet Ti sert toz metal matris kompozitleri ve bir adet ısı püskürtme kaplamalı Ti alaşımının sürtünme katsayıları ve sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Karşı parça olarak ticari amaçlı üretilmiş balata kullanılmıştır. Bu deney diskleri içerisinde, 0,6 mm kalınlığındaki ısı püskürtme kaplamalı Ti diski (Ti-6Al-4V ThSp) en az aşınma değeri göstermiştir. Ayrıca aynı çalışmada hem hafif olması hem de sağladığı korozyon direncinden dolayı Ti kaplamalı diskin tercih edilebilir olduğu belirtilmiştir [17].

Frenleme performansı üzerine Lee (1999) tarafından yapılan bir başka çalışmada; frenleme esnasında disk ve balata ara yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklıkların; frenlerin zayıflamasına, erken aşınmalara, fren sıvısının buharlaşmasına, yatak arızalarına, termik çatlaklara, termik olarak uyarılmış titreşimlere ve gürültüye sebep olduğu bildirilmiştir [18].

Bu gibi zararları önlemenin en uygun yolu frenleme esnasında oluşan ısının mümkün mertebe en kısa zamanda sistemden uzaklaştırılması ya da disk-balata ikilisinin daha yüksek sıcaklıklara dayanımının sağlanmasıdır. Frenleme esnasında oluşan yüksek sıcaklıkların ortaya çıkaracağı mahsurları azaltmak ve frenleme performansını artırmak amacıyla fren sistemine hem konstrüktif hem de metalurjik bazı uygulamalar yapılmaktadır. Bu amaçla disklere; delik, kanal, delik-kanal kombinasyonu ve dört soğutma yüzeyli disk gibi konstrüktif uygulamalar yapılabilmektedir. Ayrıca

bazı farklı metalurjik ve kimyasal uygulamalar da yapılmaktadır. İnce grafit tabakalı dökme demir, yüksek karbonlu grafit tabakalı dökme demir (Yamabe et al. 2003), alüminyum metal matrisli kompozit (Al-MMK) (Bettge and Starcevic 2003, Zhang et al. 2004), dökme çelik (Yamabe et al. 2003), SiC içeren alüminyum metal matrisli kompozit (Oda et al. 1997), karbon-karbon kompozit, seramikler (Blau 2001) ve metalik kaplamalar (Stanford and Jain 2001) bu uygulamalardandır [19].

Fren disklerinin özelliklerini geliştirmek amacıyla Pandya vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada, gri dökme disk yüzeylerinin üzerine monte ettikleri pimleri Tungsten inert Gaz (TIG) yöntemi ile ergiterek modifiye etmişler. Numuneleri; mikro yapı, mikro sertlik ve kuru kayma aşınma testlerine tabi tutmuşlar. Maksimum sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) değeri 9,81 N yüklemde kaynaklı GC1 numunede (0,58) ve minimum ( $\mu$ ) sürtünme katsayısı 19,62 N yüklemde 45 A akımla kaynatılan GC4 numunede (0,43) tespit etmişler. Bunun sebebi yüzeyde oluşan oksit nedeniyle metal-metal temasının azalması ve sıkıştırılmış grafit tabakanın oluşmasıdır. Ayrıca grafitin yağlayıcı özelliği de sürtünme katsayısının azalmasına neden olmuştur. TIG uygulanmamış numuneye göre diğer üç numunenin daha iyi sertlik ve aşınma direnci gösterdiğini en yüksek sertlik (258 VHN) ve aşınma direncini ise 45 A'de ergitilen numunenin, en düşük sertliği (187 VHN) ve aşınma direncini TIG uygulanmamış numunenin gösterdiğini tespit etmişlerdir [20].

Eggleston tarafından yapılan çalışmada, üniform olmayan çevresel disk kalınlığının, mekanik odaklı (termik odaklı olmayan) düşük frekanslı titreşimlere (cold judder) dolayısıyla fren torkunda değişimlere neden olacağı belirtilmiştir. Disk kalınlığındaki mikroskobik değişikliklerin imalat esnasında oluşabileceğine de değinilmiştir. Yine aynı çalışmada çevresel DTV'nin temel sebebi olarak; disk-balata ara yüzünde çevresel ve kesintili abrasif temasın neden olabileceği ifade edilmiştir. Yan yüzey çarpıklığı da, fren diskinin kenardan-kenara aksel doğrultuda yer değiştirmesi olarak tanımlanmıştır. Leslie tarafından yapılan bir çalışmada, DTV'nin BTV'ye sebep olan mekanik etkenlerden biri olduğu ifade edilmiştir [21].

Jacobsson tarafından yapılan çalışmada, fren tork değişimlerinin (BTV), titreşimler için ana uyarıcı olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada, BTV'yi oluşturan mekanik etkilerin sadece imalat toleranslarından değil aynı zamanda tribolojik sebeplerden de kaynaklandığına vurgu yapılmıştır. Termoelastik kararsızlık (TEI) ve düzensiz disk ısınması, diskte üniform olmayan boyutsal değişimlere neden olmaktadır. Bu durumun diskin kritik hız sınırını aştığında, termik titreşimlere (judder) ve kaliper titreşimlerine neden olacağı ifade edilmiştir (Şekil 2. 1). Frenleme esnasında oluşan gürültü ve titreşimler üç gruba ayrılmıştır. Bunlar; düşük frekanslı titreşimler (judder), inleme (groan) ve ötmedir (squeal). Yürütülen araştırmada, mutlak sıcaklığın değil sıcaklık gradyentinin fren tork değişimine neden olduğu ve bundan dolayı termik titreşimlerin oluştuğu saptanmıştır. Ayrıca daha büyük sıcaklık gradyentlerinin de disk malzemesinin düzensiz termik genişlemesinden dolayı geçici DTV'ye neden

olduğu belirtilmiştir. Yine Jacobsson tarafından yapılan bir diğer çalışmada BTV'nin, fren basınç değişimleri (BPV) ile doğru orantılı olduğu da belirtilmiştir [22].

Jimbo ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada; yüksek hızlarda tekrarlı frenlemeler yapıldığında diskin yüzeyinde kılcal çatlakların oluşabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmada yüksek karbonlu ve düşük silisyumlu disk malzemesi seçilerek, diskteki termik iletkenlik ve çatlak oluşum direnci incelenmiştir. Diskteki silisyum içeriğinin azaltılması ile hem termik iletkenliğin hem de disk mukavemetinin artması sağlanmıştır. Aynı çalışmada diske, dökme demirin dayanımını arttırmak için vanadyum, krom ve çatlak oluşumuna karşı çok iyi direnç gösteren molibden katılmıştır. Kullanılan diskin temel kompozisyonu; yüksek karbon, düşük silisyum ve molibden ilavesidir. Diskin karbon ve molibden içeriğine bağlı olarak çatlak uzunluğunda düşme olduğu görülmüştür [23].

Ellis yaptığı çalışmada, dört farklı malzemedan imal edilmiş diskleri [GG20'ye eşdeğer orta bir karbon derecesine sahip disk (A), GG25'e eşdeğer ve titanyum içerikli disk (B), bakır içeren yüksek karbonlu yarış otomobil diski (C) ve GG35'e eşdeğer molibden ve krom içeren disk (D)] sürtünme testine tabii tutmuştur. Testler ataletli dinamometre test cihazında ve ECE 90 Test Regülasyonuna uygun olarak yapılmıştır. Diskler; aşınma, sürtünme ve kararlılık (integrity) açısından değerlendirilmiştir. Tip I fren zayıflaması testinde (fade testing); B diski genellikle daha yüksek sürtünme sağladı. Hız duyarlılık testinde ise daha düşük negatif ivmelenme göstermiştir. Aşınma testlerinde sıcaklık artışı B ve D disklerinin aşınma oranını artırdı ancak genel aşınma oranı açısından D diski en düşük aşınma (D için 400 oC'de 28,5 mm<sup>3</sup>/MJ ve 500 oC'de 53,8 mm<sup>3</sup>/MJ) gösterdi. Aynı çalışmanın kararlılık testinde titanyum alaşımlı disklerin en yüksek termik odaklı titreşim direnci göstermelerine rağmen en düşük kararlılığa sahip olduğu saptanmıştır. Yüksek karbonlu yarış otomobili diski mükemmel kararlılık sağlarken zayıf bir aşınma direnci göstermiştir. Düşük ve orta karbonlu molibden alaşımlı diskler, iyi düzeyde aşınma direnci göstermesine rağmen zayıf bir kararlılık sağladığı tespit edilmiştir [24].

Yamabea ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; termik yorulma mukavemetinin diskin mikro yapısındaki grafit sayısının artırılmasıyla iyileştiği tespit edilmiştir. Diske nikel ilavesi ve seryum aşılması ile orantılı olarak termik yorulma mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. Testlerde pin-on disk tipi aşınma cihazı kullanılmıştır. Çalışmada çatlak gelişme oranının grafit sayısı ile çok yüksek oranda bir korelasyon (çatlak gelişim oranı grafit miktarındaki artışla azalır) gösterdiği, mikro yapıdaki grafit sayısının nikel ilavesi ve seryum aşılmasıyla arttığı tespit edilmiştir [25].

Cueva ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada üç farklı gri dökme demirin (gri dökme demir-GI250, yüksek karbonlu gri dökme demir-GIHC ve titanyum alaşımlı gri dökme demir-GI250Ti) aşınma dirençleri ölçülmüştür. Bu gri dökme demirler, kompakt grafitli dökme demir (CGI) ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada dökme demirlerdeki grafitin profil oranı, L/D (L = grafit uzunluğu,

D = grafit genişliği) ile tanımlanmıştır. Deneylede genel olarak diske uygulanan basıncın düşmesi ile aşınma oranının azaldığı görülmüştür [26].

Seong ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada, balata-disk ikilisinin sürtünme filminde bulunan sürtünme, gürültü ve aşınma tepkileri atalet dinamometresinde incelemeye alınmıştır. Yapılan bu testlerde 1300 kg olan aracın bir ön tekerleğe düşen yükün 460 kg olacağı kabul edilmiştir. Yapılan test ve deneylede başlangıç fren sıcaklığı 370 °C'ye kadar yükseltileen durum da sürtünme katsayısının düzenli bir şekilde düştüğü görülmüştür. Çalışmanın devamında ötmenin gürültünün (squeal) 100 -300 °C'leri arasındaki yapılan frenlemelerde gerçekleştiği görülmüştür. Bu sıcaklık aralıkların da, balata ve diskin yüksek bir sürtünmeye yeteneği gerçekleştirdiği ve sürtünme katsayısının da kararlı olduğu görülmüştür. Ayriyeten disklerin yüzey pürüzlülüklerinin sürtünme karakterinde önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir [27].

Jang ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada; sürtünme yüzeyinin sıcaklığı, temassız enfraaj termometre vasıtasıyla ölçülmüştür. Testler; düşük sıcaklık testi (hız ve basınç hassasiyetlerinin tespiti), sabit aralık modunda yüksek sıcaklık testi (fade) ve aşınmanın değerlendirilmesi olarak üç aşamada yapılmıştır. Aynı çalışmada statik SK ile dinamik SK arasındaki farkın büyük olmasının tutunma kayma (stick-slip) davranışının normal olmasına yol açacağı da belirtilmiştir. Ayrıca, yüksek ara yüz sıcaklıklarında sürtünme katsayısının artmasının ve azalmasının sebebi olarak ta dökme demirden yapılan diskin mikro yapısının homojen olmaması gösterilmiştir [28].

Lee ile Barber birlikte yaptıkları çalışmada, kayma hızının yeteri kadar yüksek olması durumunda, disk-balata tepkilerin de netlik olamayacağını belirtmişlerdir. TEI ile alakalı yüksek bölgesel sıcaklıkların; malzeme yapısında bozulma, sıcaklığa bağlı çatlak oluşumu ve olumsuz frenleme performansına (fade) sebep olduğu belirtilmiştir. Testlerde nem ve oda sıcaklığı gibi çevresel etkenler olabildiğince sabit tutulmaya çalışılmış ve testler yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda TEI, fren basıncına ve dönme hızına bağlı olarak araştırma yapılmıştır. Deneylede balata konfigürasyonu gibi benzer değişkenler sabit tutulmuştur. Ayriyeten 250 °C'nin üzerinde olan sıcaklıklarda, sıcaklığa bağlı fren zayıflamasının meydana geldiği gözlenmiştir. Özellikle sürekli yapılan frenlemelerde sürtünme olan yüzeydeki sıcaklık farklılıklarının, sürtünme katsayısının azalmasına ve artışına neden olduğu netleşmiştir [29].

Thuresson'un yapmış olduğu bu çalışmada; kayma sonucu oluşan temaslarda, basınç ve sıcaklık gibi kriterlerin, malzeme özelliklerinden, sistemin geometrisinden ve sınır speklerinden etkilendiği gözlenmiştir. Frenleme anındaki temas basıncı ve sıcaklık farklılıkları, frenleme anında aşınma, termik genişleme ve sürtünmeden kaynaklanan sıcaklıkla sürekli olarak değişmektedir. Thuresson un bu çalışmasın da tekerlek ve disk sabit olarak kabul edilmiştir. Aşınma katsayısı sıcaklık

ile bağlantılı olarak değerlendirilmiş ve 600 °C seviyesine kadar lineer ve bu sıcaklığın üzerinde eksponansiyel olarak artan bir fonksiyon olarak şekillenmiştir. Sıcaklık artışının neden olduğu sürtünme katsayısının azalması, fren etkinliğinin zayıflamasının ana sebebi olduğu gözlenmiştir. Bu deneylerde aşınma davranışı Archard'ın aşınma yasasıyla incelenmiştir [30].

Bijwe ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada; sıcaklıkla fren zayıflamasının, (fade) 300-400 °C arasındaki fren arayüz sıcaklıklarında kinetik sürtünme katsayısındaki düşmeden kaynaklandığı belirtilmiştir. Frenleme elemanlarının işletme esnasında maruz kaldığı tribolojik durumun sıcaklıkla fren zayıflaması üzerinde dominant bir etkisi olduğu belirtilmiştir. Çalışmada Suzuki Maruti otomobilin ön fren diski ile farklı reçine kompozisyonları kullanılan beş balatanın sıcaklıkla fren zayıflaması (fade) ve kararlılık (recovery) özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada binek otomobillerin frenlemesi için gerekli SK'nin 0,3 ile 0,35 arasında olduğu da belirtilmiştir [31].

Dmitriev ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada ise; sürtünme çiftleri arasındaki SK'nin binek otomobiller için 0,45, spor otomobiller için 0,5'in üzerinde ve raylı taşıtlar için ise 0,35 düzeylerinde olacağı bilgisi verilmiştir [32].

Roubicek ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, SAE J2430 sürtünme test standardına göre Link Engineering laboratuvarında tam ölçekli atalet dinamometresinde gri dökme demir bir diskle üç farklı balata kompozisyonu test edilmiştir. Bu testlerde ölçülen maksimum sıcaklık 350 °C civarında gerçekleşmiştir. Yürütülen bu çalışmada balata malzemesinin aşınması ile CO2 yayılım miktarının arasında güçlü bir korelasyon olabileceği belirtilmiştir [33].

Jang ve Ahn tarafından yapılan bir çalışmada sonlu eleman simülasyonunda ara yüzde sürtünme odaklı ısıdan dolayı TEI'yı incelemek için kayar yüzeyler arasında sabit bir fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler (Functionally Gradient Material - FGM) düşünülerek iki boyutlu termo elastik kontak problemi geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, FGM kaplı disklerin kritik hızının konvansiyonel çelik disklerden daha büyük olduğunu göstermiştir. FGM' deki homojen olmayan parametre etkisi araştırılmış ve optimum bir homojen olmayan parametrenin, belirli bir kaplama tabaka kalınlığı ile maksimum kritik hızı sağladığı görülmüştür [34].

Blau ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada; iki adet ticari Ti alaşım, dört adet Ti sert toz kompozitleri ve bir adet termal spreycaplamalı Ti alaşımının sürtünme katsayıları ve sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Karşı parça olarak birkaç tane ticari amaçlı üretilmiş balata kullanılmıştır. Bu deney diskleri içerisinde, 0,6 mm kalınlığındaki termal spreycaplamalı Ti diski (Ti-6Al-4V ThSp) en az aşınma değeri göstermiştir. Ayrıca aynı çalışmada hem hafif olması hem de sağladığı korozyon direncinden dolayı Ti kaplamalı diskin tercih edilebilir olduğu belirtilmiştir [35].

Fren disklerinin özelliklerini geliştirmek amacıyla Pandya vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada, gri dökme disk yüzeylerinin üzerine monte ettikleri pimleri Tungsten inert Gaz (TIG) yöntemi ile ergiterek modifiye etmişler. Numuneleri; mikro yapı, mikro sertlik ve kuru kayma aşınma testlerine tabi tutmuşlar. Maksimum sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) değeri 9,81 N yüklemde kaynaksız GC1 numunede (0,58) ve minimum ( $\mu$ ) sürtünme katsayısı 19,62 N yüklemde 45 A akımla kaynatılan GC4 numunede (0,43) tespit etmişler. Bunun sebebi yüzeyde oluşan oksit nedeniyle metal-metal temasının azalması ve sıkıştırılmış grafit tabakanın oluşmasıdır. Ayrıca grafitin yağlayıcı özelliği de sürtünme katsayısının azalmasına neden olmuştur. TIG uygulanmamış numuneye göre diğer üç numunenin daha iyi sertlik ve aşınma direnci gösterdiğini en yüksek sertlik (258 VHN) ve aşınma direncini ise 45 A'de ergitilen numunenin, en düşük sertliği (187 VHN) ve aşınma direncini TIG uygulanmamış numunenin gösterdiğini tespit etmişlerdir [36].

Bu konuda Yamabe vd. (2003) tarafından yapılan başka bir çalışmada; termal yorulma mukavemetinin diskin mikro yapısındaki grafit sayısının artırılmasıyla iyileştiği bildirilmiştir. Diske nikel ilavesi ve seryum aşılması ile orantılı olarak termik yorulma mukavemetinin arttığını gözlemlemişler. Testlerde pin-on disk tipi aşınma cihazı kullanılmışlardır. Çalışmada grafit miktarı arttıkça çatlak oluşma oranının azaldığını, mikro yapıdaki grafit sayısının nikel ilavesi ve seryum aşılmasıyla arttığını tespit etmişler [37].

Cueva vd. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada üç farklı gri dökme demirin (gri dökme demir GI250, yüksek karbonlu gri dökme demir-GIHC ve titanyum alaşımlı gri dökme demir-GI250Ti) aşınma dirençleri ölçülmüştür. Bu gri dökme demirler, kompakt grafitli dökme demir (CGI) ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada genel olarak diske uygulanan basıncın düşmesi ile aşınma oranının azaldığı bildirilmiştir [38].

Farklı disk malzemeleri üzerine Natarajan vd. (2006)'nin yaptıkları çalışmada; kompozit alüminyum metal ile gri dökme demirin aşınma miktarları kıyaslanmıştır. Disk materyali olarak A356/25SiCp Al-MMK ve gri dökme demir seçilerek aşınma deneyleri yapılmış. Yapılan deney sonuçlarında, aynı kriterler altında araç fren balatasına karşı MMK'lerin gri dökme demire kıyasla ciddi derece de yüksek aşınma direnç özelliğine sahip olduğu, tüm testlerde aynı şartlar altında kaymada Al-MMK'nin sürtünme katsayısının gri dökme demirinkinden %25 daha iyi sonuçlandığını belirtmişlerdir [39].

Son yıllarda fren rotorunun sürtünme performansını arttırmak için büyük bir çaba sarf edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda çok farklı disk malzemeleri geliştirilmiştir. Bunların içerisinde demir içermeyen bakır alaşımları, alüminyum metal matrisli kompozitler (Wycliffe 1993, Shorowordi et al. 2004, Gültekin 2007) ve karbon seramik kompozitler (Gomes et al. 2001) bulunmaktadır. Bununla birlikte yüksek sönümleme kapasitesi, yüksek termal iletkenlik, kolay üretim ve düşük



maliyet gibi etkenlerden dolayı en çok tercih edilen disk malzemesi gri dökme demirdir. Kullanılan gri dökme demir malzemesi ihtiyaçlara göre farklı karbon oranlarında ve ısıl işlem koşullarında üretilmektedir. Gri dökme demir içerisinde bulunan grafit lamelleri kullanılan balata malzemesine göre sürtünme performansı üzerinde farklı etkilere sahiptir. Buna göre çelik lif içerikli balata ile karşılıklı temasta bulunan bir diskteki grafit oranı arttıkça sürtünme katsayısının arttığı, çelik içermeyen bir balata kullanıldığı takdirde grafit alanının sürtünme katsayısı üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir. Gri dökme demir içinde bulunan ferritin sürtünme katsayısı üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı yapılan deneyler ile tespit edilmiştir [40]



## 5. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde; çalışma yapılacak olan disklerin tercih edilmesi, kaplanacak malzeme çeşitleri, kaplama yöntemleri, biçimleri ve yapıları metalografik inceleme için numune hazırlama, atalet dinamometresi, testlerde kullanılan cihaz ve ünitelerden oluşmaktadır.

### 5. 1. Kaplanacak Disklerin Seçimi

Bu çalışma da binek araba da kullanılan, dört adet fren disk kullanılmıştır. Disk seçiminde testlerin yapılacağı dinamometre test cihazının bağlantı bijonlarının yapısına uygun olmasından dolayı, bu diskler seçilmiştir.

Diskin, sürtünme özellikleri ile verimli bir şekilde çalışabilmesi için, sistemin mekanik ve ısı zorlanmalarına karşı dayanıklılık göstermesi gerekir. Sürtünmelerle oluşan sıcaklığın artması ile kampananın ve disk deforme olmadan aynı zaman da en az deformasyona uğraması için ısı genleşme katsayılarının küçük ya da az olması gerekir. Diskte sürtünmeye bağlı kısa zamanda meydana gelen sıcaklık yükselmesinin, en kısa zaman da sistem den gönderilmesi gerekmektedir. Bu yüzden frenleme yapıldığında kısa zamanda oluşan çok fazla yüksek ısı miktarları, disk tarafından alınıp dışarıya verileceğinden, disk malzeme materyalinin yüksek ısı iletim katsayısına sahip olması gerekmektedir [41].

Araçların frenleme performanslarını iyileştirmek amacıyla fren diskleri kaplanarak deneyler yapılmıştır. Bu çalışmada Tablo 5.1 ve Tablo 5.2 'de teknik özellikleri verilen orijinal binek araçlarda kullanılan, gri dökmedemir diskler kullanılmıştır. Fren balatası olarak özel ürettiğimiz balatalar kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında fren disklerinden üç adedi kaplama yapılarak bir tanesi ise kaplama yapılmadan orijinal halde fren performans testlerine maruz bırakılmıştır. Kaplama yapılmayan disk ile kaplamalı olan diskler kıyaslanmıştır.

Tablo 5. 1: Gri Dökme Demir Fren Diskinin İçindeki Malzeme Oranları

| Element         | Fe    | C    | Si   | Mn    | P     | Ni    | Mg    | Cu    | Mo    | Ti    | S     | Cr    |
|-----------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Yüzdesi Miktarı | 93,56 | 3,61 | 1,81 | 0,586 | 0,025 | 0,033 | 0,003 | 0,005 | 0,021 | 0,015 | 0,023 | 0,116 |

Tablo 5. 2: Deneyde Kullanılacak Olan Diskin Özellikleri

|                       | Disk              |
|-----------------------|-------------------|
| Parça Numarası        | 4385812           |
| Kalınlık (mm)         | 10.27             |
| Minimum Kalınlık (mm) | 10.24             |
| Disk Çapı (mm)        | 280               |
| Kütle (gr)            | 2758              |
| Çarpılma Limiti (mm)  | 0.05              |
| Diskin Malzemesi      | GG 26 Dökme demir |
| Bijon Delik Sayısı    | 4                 |



Şekil 5. 1: Binek Arabada Kullanılan Fren Diski ve Atölye Ortamında Yapılan Balata

Şekil 5. 1' de Orijinal gri dökmedemir ve kullanılan balata görülmektedir.

## 5. 2. Kaplama Kalınlığı, Kaplama Malzemesi ve Kaplama Şeklinin Belirlenmesi

Yüzeyle yapılan kaplama işlemi, yeni bir yüzey şekli meydana getirmek hedefiyle kaplama yöntemleri kullanılarak ana malzemeden farklı özellikte ve kimyasal bileşimi ve yapısı bilinen bir metal veya alaşımın seçilen malzeme üzerine kaplama yapılması uygulamasıdır. Yüzeye yapılan kaplama işlemi; yıpranmayı, aşınmayı, erozyonu, darbeyi ve yüzey dalgalanmasını azaltmak için uygulanması yanında, aşınan ve yüzey özelliklerini kaybetmiş malzemelerin tamiri amacıyla da yapılabilmektedir. Yüzeye yapılan kaplama uygulaması, ısıl püskürtme, ergitme kaynak yöntemleri, kaynak yöntemi ve lazer kullanılarak da uygulanabilmektedir [42].

Bu çalışmada disklerin termal verimliliğini, korozyon, paslanma ve aşınma davranışını iyileştirmek amacıyla 3 adet binek araç fren diski karbon alaşımı, seramik-karbon alaşımı ve Seramik ( $Al_2O_3-TiO_2$ ) ile kaplanmıştır. Karbon alaşımlı ve Seramik-karbon alaşımlı kaplamalarını uygulamadan önce orijinal diskler üzerinde kumlama işlemi yapılarak kaplama malzemelerinin yüzeye tutunma özellikleri artırılmıştır. Son disk ise plazma sprej yöntemiyle  $Al_2O_3-TiO_2$  kaplanmıştır. Kaplanmış ve orijinal deney disklerinin özellikleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5. 3: Deney Disklerinin Teknik Özellikleri

|                            | Orijinal Disk | Seramik Kaplamalı | Karbon Kaplamalı | Seramik-Karbon Kaplamalı |
|----------------------------|---------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| Markalama                  | 1             | 2                 | 3                | 4                        |
| Ağırlık (gr)               | 2758          | 2822              | 2770             | 2762                     |
| Sertlik HRB                | 82. 82        | 88. 82            | 78. 15           | 78. 30                   |
| Disk Kalınlığı (mm)        | 10. 27        | 10. 92            | 10. 34           | 10. 30                   |
| Yoğunluk Kg/m <sup>3</sup> | 7228          | -                 | 900              | 1210                     |

### 5. 3. Kaplama Tozlarının Seçilmesi

Bu çalışmada, seçilen disklerin sıcaklık ve tribolojik özelliklerini daha iyiye yükseltmek ve frenleme performansını iyileştirmek amacıyla; Karbon Alaşımı, Seramik-Karbon Alaşımı ve Seramik Kaplama seçilerek kaplama işlemleri uygulanmıştır.

#### 5. 3. 1. Karbon Alaşımı ve Uygulama Şekli

Karbon Alaşımı, etil alkolle özel olarak işlenmiş mikro grafitin kolloidal dağılımıdır. Ürün normalde yüksek yük ve sıcaklık altında çalışmak için uygundur. Kullanım alanı oldukça yaygındır; başlıca kullanım alanları, kuru yağlama filmlerinin oluşumu ve elektrik iletimi için kullanılırlar. Vida dişleri üzerinde bir anti-ele geçirme (Paslanmaz) malzemesi olarak da kullanılır [43].

Ürünün uygulaması şu şekilde yapılmıştır, kaplanacak yüzey solvent primer ile temizlendi, bir kat ürün seyreltilmeden püskürtüldü, 100 Derecede fırımlandı, kaplama kalınlığı yetersiz görüldüğü için işlem tekrarlandı.

### 5.3.2. Elektrik İletken Kaplamalar

Bu uygulama plastik kabloların zarar gören yerlerin tamirinde; özellikle plastik yüzeylerin elektrostatik taramasında, radyasyon ölçen sayaçların elektrotu görevinde, endüstriyel vanaların sürtünme yüzeylerinde kullanılmaktadır.

### 5.3.3. Kuru Film Yağlama

Ürün kuru bir film tabakası olarak uygulanabilir. Aynı zamanda yüksek yük altında çalışabilir. Sigara üretim yapan fabrikalarda, gıda üretimi yapan fabrikalarda, leke bırakma sorunu olan her yerde kullanılabilir.

### 5.3.4. Seramik-Karbon Alaşımı ve Uygulama Şekli

Seramik-Karbon alaşımı, yüksek sıcaklık ve aşınmaya dayanıklı bir kaplamadır. İnce tabakalı, uzun ömürlü, yüksek teknoloji endüstrisinde istenilen boyut toleransını aşmayacak şekilde uygulanabilmektedir. Bu yüzden hassas çalışan makine ikilisinin arasındaki toleransı etkilememektedir. Seramik-Karbon alaşımını seyretmek için N-Etilpirolidon kullanılır.

Uygulama yapılmadan önce yüzeyde tutunma özelliğini arttırmak için yüzeyde toz yağ vb. materyaller temizlenmiştir. Trikloretillen ultrasonik banyo ve aseton ile durulama yapılmıştır. İnce bir kumlama yapılarak tutunma artırılmıştır. Yüzey hazırlandıktan sonra, daha homojen ve akmayı önlemek için parça 60-80 °C de ısıtılıp sonra spreyle yaklaşık % 10 oranında inceltilmiş Seramik-Karbon alaşımı kaplanacak yüzeye uygulanmıştır. İnce ve homojen kaplama, istenilen micron seviyesine kadar yapılabilir. 100 °C de bir saat, 200 °C de bir saatve ısı ile sertleştirme için 250 °C de bir saat fırınlama uygulanmıştır. İki kat uygulama yapıldığı için her uygulama arasında bir dakika beklenmiştir [44].

### 5.3.5. Seramik Kaplama ve Uygulama Şekli

Alümina, oksit temelli seramik hammaddeleri arasında geniş uygulama alanına sahiptir. Yüksek sertlik, düşük yoğunluk, ısıl kararlılık ve korozyon direnci gibi üstün özellikleri yanında düşük maliyeti ile de dikkat çekmektedir. Doğada en fazla boksit cevherinde bulunan alüminanın %90'ı alüminyum üretiminde kullanılmaktadır. Kalan kısım ısıya dirençli dolgu malzemeleri, pigment, katalizör, refrakter, aşındırıcı ve diğer cam ile seramik malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır [45].

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> (Alümina-titanya) kaplamalar; abrazyon, korozyon, oksidasyon ve erozyon aşınmalarına karşı direncin istendiği uygulamalarda kullanılır [46].

80 kw Plazma makinası ile mükemmel kalite de Seramik Kaplama uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Krom oksit, alüminyum oksit, zirkonyum oksit, titanyum oksit kaplamalar başta olmak üzere elektriksel yalıtıklık, termal bariyer özellikteki kaplamaları ve yapışmaz seramik kaplama uygulamaları, başta Tekstil, Tel çekme, kağıt, Petro Kimya, Makine İmalat, Demir-Çelik, Enerji, Gıda, Plastik sektörleri olmak üzere bir çok sanayi dalında seramik kaplamalar çok başarılı bir şekilde sistem üzerinde çalışmaktadır. Seramik Kaplamaların sertlikleri 72 HRc ve kaplama kalınlıkları çapta 1mm seviyelerine kadar mükemmel aşınma ve korozyon dayanımı sağlayacak şekilde yapılabilmektedir. Elektriksel yalıtıklık, Isısal yalıtıklık ve yapışmazlık istenen uygulamalarda yine özel seramik kaplama ve yüzey işlemleri ile sektörde etkin çalışmalar yapılmaktadır [47].



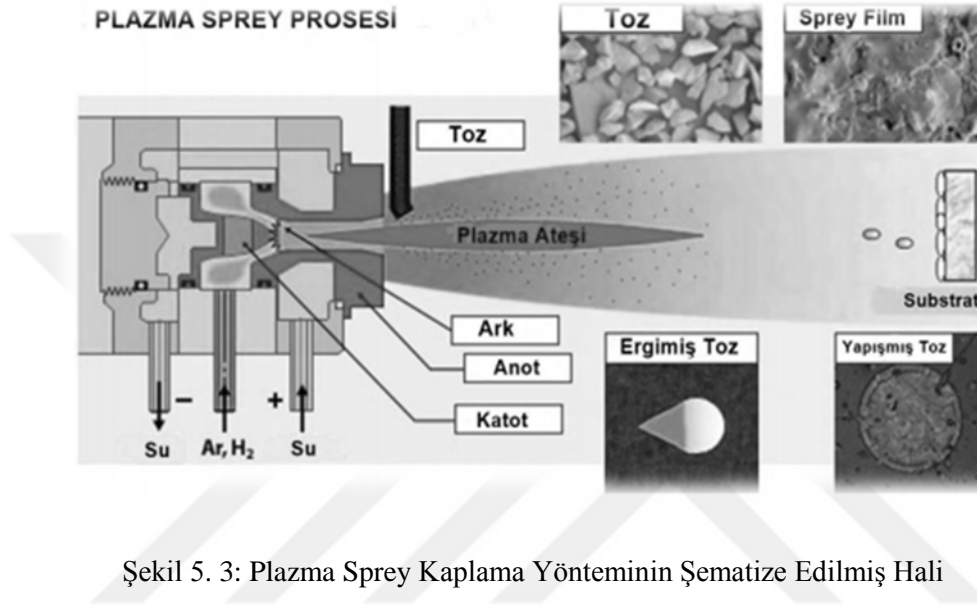
Şekil 5. 2: Seramik Kaplama Anına Ait Resim

Bir gaz, genellikle argon, ancak zaman zaman azot, hidrojen veya helyum dâhil, bir tungsten katot ve suyla soğutulmuş bir bakır anot arasında akmasına izin verilir. İki elektrot arasında yüksek frekanslı bir deşarj kullanılarak bir elektrik arkı başlatılır ve sonra da güç kullanarak sürdürülür. Ark, gazı iyonlaştırarak yüksek basınçlı bir gaz plazması oluşturur. Gaz sıcaklığındaki 30. 000 °C'yi aşan artış, gaz hacmini ve dolayısıyla nozuldan çıktığında basıncını ve hızını artırır. (Süpersonik olabilen gaz hızı, parçacık hızı ile karıştırılmamalıdır) Plazma püskürtme meşalelerinde güç seviyeleri genellikle 30 ila 80 kw aralığında olmakla birlikte 120 kw gibi yüksek de olabilir. Argon genellikle ana gaz olarak seçilir, çünkü kimyasal olarak inerttir. Gazın entalpisi diatomik gazların, hidrojen veya azotun eklenmesiyle artırılabilir [48].

Plazma püskürtme yönteminde, yüksek sıcaklıktaki kimyasal kararlılık, mükemmel aşınma direnci ve korozyona karşı dayanıklılığından dolayı seramik (özellikle oksit esaslı) esaslı tozlar, metalik tozlara nazaran daha çok kullanılır [49].

Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) kaplamalar başarılı seramik kaplama türevlerindedir. Üstün nitelikli metal işleme performanslı, katı seramik kesiciler arasında en çok bilinen ve kullanılan tür olarak açıklanabilir. Semente karbür kaplamalara göre daha kırılğan yapıları nedeniyle düşük gerilimli kesme işlemlerinde kullanılırlar, ancak buna karşın yüksek hızlardaki işlemlerde kimyasal yapılarını muhafaza ederler [50].

Şekil 5. 3’de Plazma sprey kaplama yönteminin şematize edilmiş hali görülmektedir.



Şekil 5. 3: Plazma Sprey Kaplama Yönteminin Şematize Edilmiş Hali

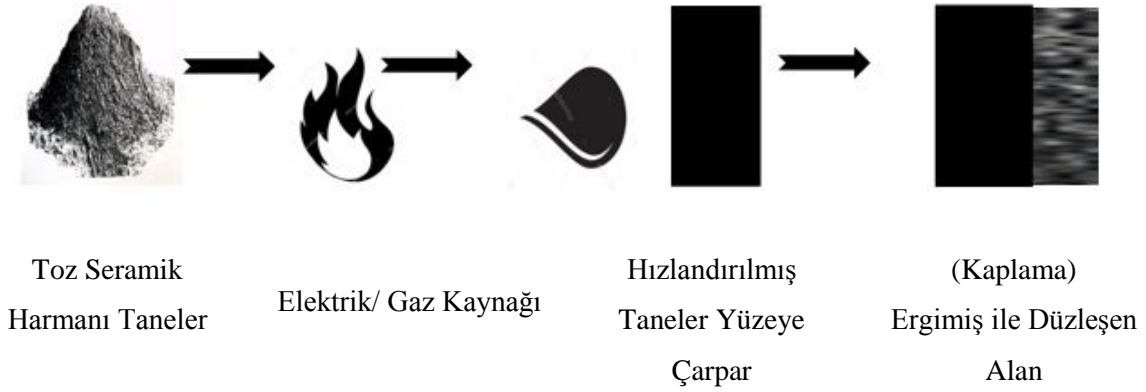
Kaplama kalitesi plazma sprey sistemindeki pek çok değişkene bağlıdır. Bunların arasında en önemlileri şöyle sıralanabilir;

- Kaplanacak yüzeydeki soğuma,
- Plazma tabancası ile kaplama yüzeyi arasındaki mesafe,
- Kaplama yüzey üzerindeki iç gerilmeler,
- Püskürtülen tozların ergime durumları ve yüzeye çarpan parçacıkların hızı,
- Karşılıklı ıslatma ve akışkanlık davranışları şeklindedir [51].

Metal püskürtme yönteminde toz veya tel halindeki kaplama maddeleri, bir püskürtme tabancasından yanıcı, yakıcı ve taşıyıcı gazların eşliğinde plazma sıcaklığında püskürtülerek iş parçasının yüzeyinde yığıntı ile oluşturulur. Bu grupta yer alan teknikler; toz, alev püskürtme, tel püskürtme, plazma püskürtme olarak sıralama yapılabilir [52].

Toz metalürjisinde kullanılan metal tozları  $200 \mu m$ 'den daha küçüktür ve her geçen yıl daha da küçülmektedir. Metal tozlarının üretiminde kullanılan teknikler metale göre değişmektedir. Başlıca kullanılan metal tozu üretim teknikleri; atomizasyon, doğrudan indirgeme, elektroliz, çökertme ve öğütmedir [53].

Şekil 5. 4’de seramik kaplama püskürtme işleminin şematize edilmiş hali görülmektedir.



Şekil 5. 4: Seramik Kaplama püskürtme işlem sırası

### 5. 3. 6. Deneysel Disklerin Ve Kaplamaların Özellikleri

Tablo 5. 4. Deneysel Disklerin Kaplama Özellikleri ve Kaplama Yöntemleri

|                     | Orijinal        | Seramik kaplamalı                                | Karbon Kaplamalı                   | Seramik- Karbon Kaplamalı  |
|---------------------|-----------------|--|------------------------------------|--|
| Markalama           | 1               | 2  | 3                                  | 4  |
| Kaplama Bileşenleri | Gri Dökme Demir | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiO <sub>2</sub> | CCL <sub>4</sub> -MoS <sub>2</sub> | CCL <sub>4</sub> -MoS <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiO <sub>2</sub> |
| Kaplama Şekli       | -               | Plazma Püskürtme Yöntemi                         | Spreyle Püskürtme Yöntemi          | Spreyle Püskürtme Yöntemi  |
| Resimler            |                 |  |                                    |  |

Orijinal ve kaplanmış disklerin genel özellikleri Tablo 5.4 de gösterilmiştir.

### 5. 4. Kaplama Yöntemi Hakkında Genel İncelemeler

Kaplama, metalik makine parçalarının yüzeyinin teknik özelliklerini iyileştirmek gayesi ile kimyasal bileşimi bilinen bir metal veya alaşımın ısı püskürtme yöntemleri kullanılarak yüzeye



uygulanması işlemidir. Kaplama işlemi; ergitme kaynak yöntemleri, metal püskürtme veya lazer yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir. Kaynak ve termal püskürtme ile kaplanmış yüzeylere alevle sertleştirme, endüksiyonla sertleştirme, nitrasyon ve sementasyon gibi yüzey sertleştirme işlemleri uygulanamaz. Kaplama malzemesinin ana metalden daha üstün korozyon, mukavemet ve aşınma direncine sahip olması gerekir. Günümüzde sert yüzey kaplama, dolgu kaplama, koruyucu kaplama ve kademeli kaplama olarak tanımlanan dört çeşit yüzey kaplama yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır [54].

Isıl püskürtme, kaplama oluşturmak amacıyla önceden hazırlanmış olan esas metale çok ince metalik veya metalik olmayan malzemeleri çökeltten bir grup yöntemi tanımlamak için kullanılan jenerik bir terimdir. Kaplama malzemesi toz, çubuk ya da tel biçiminde olabilir. Isıl püskürtme tabancası, kaplama malzemesini ergitmek için gerekli olan sıcaklığı, yanıcı gazlar, elektrik arkı veya plazma arkı ile elde eder [55].

Ergiyen kaplama malzemesi kaplanacak olan parçanın soğuk olan yüzeyine püskürtülür. Yüzeye yüksek hızla çarpan tanecikler, düzleşir ve esas metale olan ısı transferi ile soğuyarak, katılarak ve birbirleri ile temas haline gelerek tabaka meydana getirirler. Ergiyen kaplama malzemesinin esas metal ile birleşmesi ve birbirleri ile tabaka oluşturması difüzyon veya kaynak kabiliyetine bağlıdır. Kaplamalar, genellikle mekanik bağlanma ve bölgesel olarak çeşitli sınıflarda kimyasal bağ kuvvetleri ile oluşmaktadır [56].

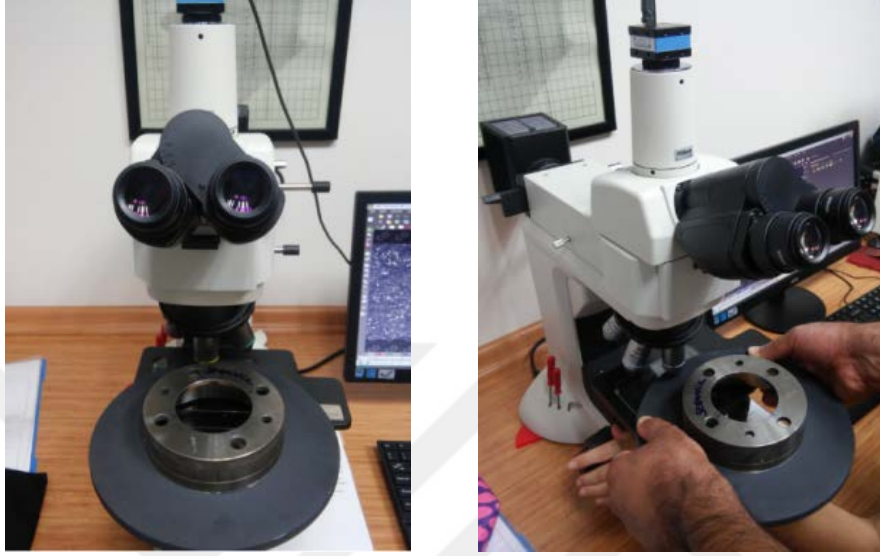
Isıl püskürtme yöntemleri ile elde edilen kalınlıklar 0,025 mm'den 3 mm'ye kadar veya daha fazla kalınlıklarda olabilmektedir ve uygulama alanları da; aşınmış olan makine parçalarının tamiri, parçaların yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ve konstrüktif parçaların yüzeyleri için servis koşullarına uygun kaplamalar oluşturulması şeklinde belirtilebilir. Günümüze kadar bir seri ısıl püskürtme yöntemi geliştirilmiştir. Yöntemler, birbirlerine göre ısı kaynağı, tel ya da toz biçiminde olabilen püskürtme malzemesi şeklinde iki temel değişken ile farklılık göstermektedir [57].

### **5. 5. Numune Hazırlık Süreci**

Metalografik araştırmanın temeli ve başarıya ulaşması numunenin özenli bir şekilde alınmasına bağlıdır. Alınan numunenin özelliklerinin bozulmadan alınması, hem fiziksel hem de kimyasal bileşim yönlerinden numunenin ana malzemeyi temsil etmesi gerekir. Ana kriter, numunenin inceleme amacına uygun olmasıdır. Fakat çalışmamızda fren disklerimiz ölçüm ya da görüntüleme yaptığımız cihazların ebatlarına uygun olduğundan yani ölçüm sıkıntısı yaratmadığından herhangi bir numune alma ve bakalite alma işlemleri uygulanmamıştır.

### 5. 5. 1. Mikroskop Cihazı

Fren disklerinin test öncesi ve test sonrası görüntüleri, Şekil 5. 5’de görüldüğü gibi Nikon Eclipse LV150N (Metal Mikroskop) ile mikroskobik görüntüleri alınmıştır. Yüzey görüntüsü ve tane boyutu 10 x zoom olarak görüntüler netleştirilip kayıt altına alınmıştır.



Şekil 5. 5: Nikon Eclipse LV150N (Metal Mikroskop)

### 5. 5. 2. Sertlik Ölçüm Cihazı

Fren disklerinin test öncesi ve test sonrası sertlik ölçümleri Şekil 5.6’da görüldüğü gibi Dıgırock Sertlik Ölçüm Cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Ölçüm yapılırken HRB sertlik ölçümü seçilmiştir. 1/16” elmas uç kullanılmıştır. Ön yük 10 kg ana yük ise 100 kg uygulanmıştır. Fren disklerinin ayrı ayrı belirlenen ve markalanan dört noktasından ölçümler alınıp aritmetik ortalamaları alınmıştır.



Şekil 5. 6: Dıgırock Hardness Test Cihazı ve Elmas Ucu

### 5. 5. 3. Malzeme Analiz Cihazı

Fren disklerinin malzeme analizi Şekil 5.7'de görüldüğü gibi Termo Scientific NitonXL 3t cihazı ile alınmıştır. Cihaz malzeme içerisinde hangi oranda hangi materyal var ise % lik olarak vermektedir. XRFX-ray fluorescence cihazı olarak da tanımlanmaktadır. XRF, "X-Işını Floresans" anlamına gelir ve çok çeşitli materyallerin temel bileşimlerini belirlemek için uzun yıllardır kullanılan bir malzeme analiz tekniğidir. Özellikle metal alaşımların, minerallerin ve petrol ürünlerin bileşimlerini analiz etmede kullanılır. X-ışınları elektromanyetik spektrumun bir parçasını oluşturur. Ultraviyolenin yüksek enerjili tarafındadırlar ve enerjileri kilo elektron volt veya nanometre dalga boyu ile ifade edilirler. XRF ile magnezyumdan uranyuma kadar katı maddeler, sıvılar ve tozlardaki ppm (tonda gram) ile %100 arasında değişen konsantrasyonlarda elementleri analiz edebilir.

#### 5. 5. 3. 1. XRF Cihazı Nasıl Çalışır

Tüm XRF cihazları bir X-ışını kaynağıdır, genellikle bir X-ışını tüpü olmaktadır ve bir dedektör olmak üzere iki ana bileşen etrafında tasarlanmıştır. Birincil X-ışınları kaynak tarafından üretilir ve numunenin yüzeyine yönlendirilir. Bazı durumlarda X-ışını modifikasyon için bir filtreden geçirilir. Işın, numunedeki atomlara çarptığında bir dedektör tarafından toplanan ve işlenen ikincil X-ışınları oluşturulur.

Kararlı bir atom çekirdek den ve yörüngesinde dönen elektronlardan oluşur. Elektronlar enerji seviyelerinde veya orbitaller halinde düzenlenir ve farklı enerji seviyeleri farklı sayıda elektron barındırabilir. Yüksek enerjili birincil X-ışını, bir atom ile çarpıştığında onun dengesini bozmaktadır. Bu elektron düşük enerji seviyesinden atılır ve bir atom boşluğu oluşur, böylece atom kararsız hale gelir.

Kararlılığı sağlamak için, daha yüksek bir enerji seviyesinden bir elektron bu boşluğa atlar. Elektron iki seviye arasında hareket ederken salınan aşırı enerji, ikincil bir X-ışını şeklinde yayılır. Yayılan X-ışını enerjisi elementin karakteristiğidir. XRF ile ölçülen örnek hakkında niteliksel bilgi sağlar.

Bununla birlikte, XRF kantitatif bir tekniktir. Numunedeki atomlar tarafından yayılan X-ışınları bir dedektör tarafından toplanır ardından analiz kısmında işlenerek enerjiye karşı X-ışınının yoğunluk noktalarını gösteren bir spektrum oluşturulur. Gördüğümüz gibi enerji piki elementi tanımlar. Pik alanı veya yoğunluğu, numunedeki elementin miktarının bir göstergesidir.

Analizci daha sonra bu bilgiyi, numunenin temel bileşimini hesaplamak için kullanır. Bir başlatma düğmesine veya tetikleyiciye basmaktan, analiz sonuçlarını elde etmeye kadar olan süreç iki saniye kadar hızlı olabilir veya birkaç dakika sürebilir [58].



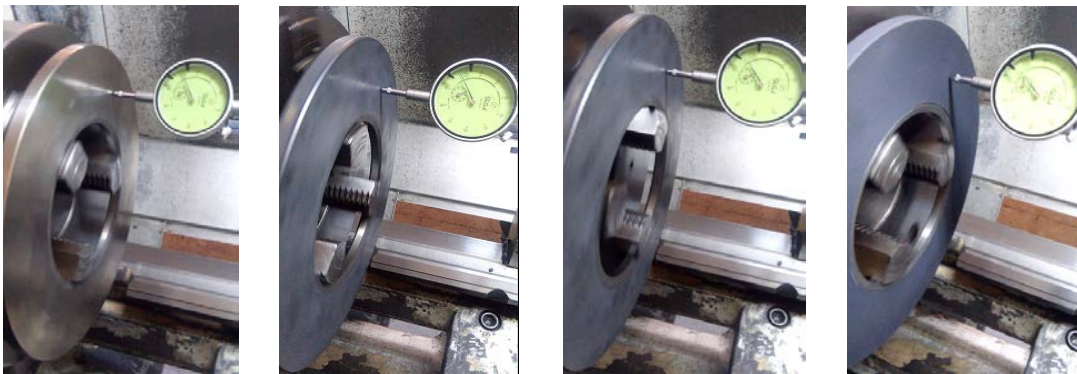
Şekil 5. 7: Termo Scientific NitonXL 3t Cihazı

#### 5. 5. 4. Disklerin Yanal Salgı Ölçümleri

Disklerin salınım ölçümleri Şekil 5.8’de görüldüğü üzere klasik tornada komparatör yardımıyla ölçülmüştür. Disk üreticilerine bağlı olarak bir diskin maksimum yanal salgısı 0,05 ile 0,13 mm arasında olabilmektedir. 0,01 hassasiyetli kadranlı komparatör ile ölçülmüş ve ölçüm değerleri Tablo 5.5’de gösterilmiştir. Ölçüm sonucunda disklerin üretim standartları içerisinde oldukları gözlenmiştir [59].

Tablo 5. 5. Disklerin Balata Basma Yüzeyindeki Salgı Ölçümü

|                     | Orijinal Disk | Seramik Kaplı Disk | Karbon Kaplı Disk | Seramik-Karbon Kaplı Disk |
|---------------------|---------------|--------------------|-------------------|---------------------------|
| Yanal salgı miktarı | 0,05          | 0,06               | 0,06              | 0,06                      |



Şekil 5. 8: Disk Salınımlarının Ölçüm Anı

### 5.5.5. Tartı İşlemleri

Çalışmamızda iki farklı terazi kullanılmıştır. Balataların test öncesi ve test sonrası gram kayıpları DESİS Model NHB hassas tartıyla, disklerin gram kayıpları ise Dikomsan tartı ile tartılmıştır. Şekil 5.9'da gram ölçüm cihazları görülmektedir.



Şekil 5.9: Gram Ölçüm Cihazları

### 5.5.6. Disk Kalınlıklarının Ölçümü

Disklerin test öncesi ve test sonrası kalınlıkları Mitutoyo 0-25 mm çene açıklığına sahip, 0,01 hassasiyetli, mikrometre ile ölçülmüştür. Şekil 5.10' da Mikrometre görülmektedir.



Şekil 5. 10: Mikro Metre

### 5.5.7. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Disklerin ve balataların test öncesi ve test sonrası yüzey pürüzlülükleri Mitutoyo SJ-210 Model yüzey pürüzlülük ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Şekil 5.11'de yüzey pürüzlülük cihazı görülmektedir.





Şekil 5. 11: YüzeY Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

### 5. 5. 8. Test Standardı ve Fren Test Ünitesi

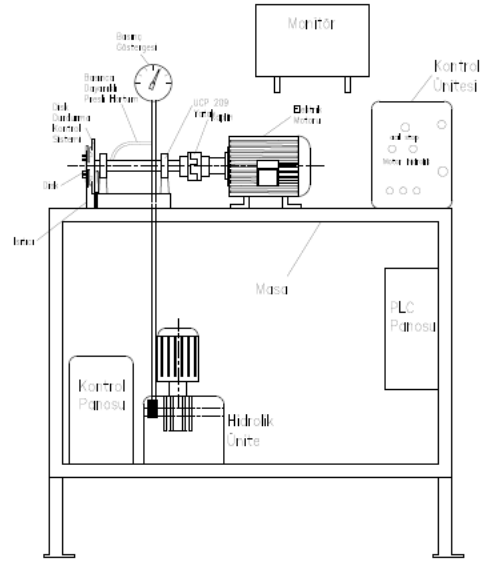
Frenleme performansı, durma mesafesine, fren çıkış torkuna veya fren verimliliğine bağı ölçüm yapılır. Frenleme performansını yorumlamak için yapılan testler; devir, sıcaklık ve pedal kuvveti ile fren basıncı uygulanarak atalet dinamometre ölçüm cihazlarında ya da taşıt üzerinde gerçekleştirilir. Yaygın test prosedürleri; FMVSS (Federal Motorlu Taşıtlar Emniyet Standartları), ISO (Uluslararası Standartlar Organizasyonu), SAE (Otomotiv Mühendisleri Birliği)ve ECE (Avrupa Birleşmiş Milletler Ekonomik Komisyonu) gibi test prosedürleri tercih edilmektedir. Bu çalışmada, dinamometrede disk-balata ikilisinin sürtünme davranışını; ön alışma etkinliği (Alıştırma), hız hassasiyeti, sıcaklığa bağı fren zayıflaması direnci, etkin sürtünme davranışının yeniden oluşturulması ve sürtünme kararlılığı gibi aşamalarda kapsamlı bir biçimde incelemek için SAE J2522 test standardı kullanılmıştır.

### 5. 5. 9. Testlerde Kullanılan Atalet Dinamometresi

Hidrolik ya da havalı frene sahip binek taşıtların testlerinde kullanılan atalet dinamometreleri; kaplanmış disklerin hızlı sürtünme katsayısı analizlerinden FMVSS 105 ya da 135 simülasyonlarına kadar çeşitli testlerin yapılması için kullanılan bir fren test ekipmanıdır. Dinamometrelerde; performans, dayanıklılık, kapasite ve gürültü testleri yapılan en yaygın testlerdir. OEM balata tedarikçileri ve komponent üreticileri tarafından kullanılan atalet dinamometre prosedürlerinin çoğu (SAE, JASO, ISO, AK, FMVSS, JIS ya da özel) tek-uçlu dinamometrelerde gerçekleştirilmektedir.

Atalet dinamometresi, değışken hızlı bir atalet volanının kontrolünü yapabilen bir elektrik motorundan (daha spesifik olarak frenleri test edilecek taşıtın maksimum hızı ile ilgili olarak dönme hızını üreten) oluşur. Atalet dinamometrelerinin miline sabitlenmiş volanlar taşıt kütlelerinin aks

miline indirgenmiş halini temsil eder. Atalet dinamometreleri; ana tahrik ünitesi, atalet uygulama kısmı, fren kısmı, soğutucu hava sistemi, bilgisayar kontrol konsolu, test için fren komponentlerinden ve sabitleme parçalarından oluşur. Ana tahrik ünitesi, taşıtın kinetik enerjisini simüle eden kütle ataletlerini hızlandırmak ve akabinde kütlenin hızını azaltmak ya da durdurmak için uygulanan frenlemeyi sağlar. Motor, sabit hızlı yokuş aşağı inişleri simüle etmek için frenlemelerde de kullanılabilir [60]. Şekil 5.12’de atalet momenti test cihazı görülmektedir.



Şekil 5. 12: Test Yapılan Atalet Momenti Test Cihazı

Daha önceki çalışmalar göz önünde de bulundurularak deney düzeneğine bir takım ekipmanlar eklenerek ölçmek istenilen değerlere ulaşılmıştır. Deney düzeneği ile disklerin farklı devir, sıcaklık, basınç vb. gibi değişik çalışma şartları etkisinde oluşan sürtünme katsayısı, sıcaklık, basınç, hız, grafiklerini oluşturarak kaplanmış fren disklerinin frenleme performansı belirlenmiştir.

İmalatı yapılan fren test cihazında diski döndürmek için 7.5kw gücünde trifaz elektrik motoru seçilmiştir. Elektrik motorundan çıkan dairesel hareketin mil üzerinden diske istenilen devirlerde aktarılması DELTA Model:VFD075C43A invertör sayesinde gerçekleştirilmektedir. Bu devirler 0-1755 dev/dak arasındadır.

Elektrik motorunun devir sayısı bilgisayar programından kolaylıkla kontrol edilebilmekte ve istenilen değerler girilebilmektedir. Sistemde bulunan hidrolik ünite sayesinde fren diskine istenilen değerlerde basınç uygulanabilmektedir. Deneyler esnasında basınç düzensizliğini önlemek ve basıncı istenilen değerde sabit tutmak için piston ile hidrolik motor arasında basınç kontrol valfi yerleştirilmiştir. Söz konusu kontrol valfi (çekvalf) sistemde kapalı devre olarak çalışmaktadır. Monitör üstünde bulunan kuvvet kısmına girilen değer kadar hidrolik basınç oluşturup pistonu kuvvet

gönderir. Bu kuvvet pistonun önündeki balata pleytine kuvvet uygulayarak fren diskine basmasını sağlar.

#### 5. 5. 10. Sürtünme Kuvveti Ölçüm Cihazı

Daha çok elektronik tartılarda kullanılan basınç sensörleridir. Transdüserlerin kuvvetini ölçmek için kullanılanlarına yük hücresi adı verilir. Bu cihazlar gelen yükü, milivolt cinsinden algılayarak ekrana yansıtmaktadırlar. Deney düzeneğinde Şekil 5.13’de gösterilen 100 kg kapasiteli marka modeli BB100 load cell kullanılmıştır.



Şekil 5. 13: Sürtünme Kuvveti Ölçüm Sensörü (Load Cell)

#### 5. 5. 11. Test Standardı ve Fren Test Ünitesi

Deney düzeneğine ait Şekil 5.14’de gösterilen Delta marka, VFD075C43A Model invertör 5,5 kw, 0-1500 dev/dak aralıklarında çalışmaktadır. Çalışma sistemi; elektrik panosundaki pako Çartel 1 numaralı konuma getirilerek motora elektrik verilir. Bilgisayar programında invertör ayarları otomatik veya manuel olarak yapılarak istenilen devire kolaylıkla ulaşılması sağlanır.



Şekil 5.14: Delta Marka, VFD075C43A Model İnvörtör



### 5. 5. 12. Temassız Infrared Termometre

Deney esnasında, balatanın fren diskine hidrolik basıncı ile basması sonucunda sürtünmeye bağlı sıcaklık değerleri artmaktadır. Sıcaklık artışının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla balatanın diske sürtünme yüzeyinden 1 cm ilerisinde sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Sıcaklık ölçümünde her saniye veri alabilen, infrared olarak ölçüm yapabilen 0 +700 °C aralıklarında, 2 °C hassasiyetle çalışabilen, USB ile PC'den veri toplama özelliği olan Şekil 5.15'de gösterilen infrared temassız termometre kullanılmıştır.



Şekil 5. 15: Temassız Infrared Termometre

### 5. 5. 13. Devir Ölçme Sensörü

SAE J2522 test prosedürüne göre frenleme performansı değerlendirmesi belirli hız limitleri arasında yapılmaktadır. Test cihazı maksimum 1500 dev/dak hızla dönebilmektedir. Performans testleri esnasında hız limitleri test cihazımıza ilave edilen (0-1500 dev/dak arasında) Şekil 5.16 'da gösterilen devir ölçme sensörü ile kontrol edilerek uygulanmıştır.



Şekil 5. 16: Devir Ölçüm Sensörü

### 5. 5. 14. Basınç Sensörü

Test cihazı hidrolik ünitesinden oransal valf kanalı ile kaliper pistonuna gönderilen hidrolik yağın basınç seviyesi Şekil 5.17’de gösterilen basınç sensörü ile kontrol edilmektedir. Basınç ölçüm aralığı 0-25 bar’dır.



Şekil 5.17: Basınç Sensörü

### 5. 5. 15. Hidrolik Ünite

Hidrolik pompa, elektrik motorundan aldığı tahrik gücüyle döndürüldüğünde tank içerisindeki yağı emerek hidrolik on/off valfe gönderir. On/off valften sistemin basınç kontrolü için elektro hidrolik oransal valfe (basınç kontrol valfi) gönderilir. On/Off valf ve oransal valf kontrol panosundaki elektronik kartlarla kumanda edilmektedir. Elektronik kartlara verilen sinyal, test cihazı için geliştirilen program aracılığıyla bilgisayardan gönderilmektedir. Şekil 5.18’de hidrolik ünite ve kontrol panosu görülmektedir.



Şekil 5.18: Hidrolik Ünite ve Kontrol Panosu

### 5. 5. 16. Kaliper ve Balata Tutucu Pabuç

Sıcaklık, devir, basınç, aşınma ve sürtünme testlerinde kullanılacak disk-balata ikilisine uygun kaliper, hidrolik piston, balata tutucu pabucu, resimleri kaliper ile bütün şekilde Şekil 5.19'da görülmektedir. Balata tutucu pabuç kaliper pistonu içindeki yuvaya monte edilerek cihaza bağlanmıştır. 27 mm çapında hazırlanan balatalar pabucun yuvasına takılarak kullanılmaktadır.



Şekil 5.19: Kaliper ve Parçaları

### 5. 5. 17. Test Prosedürü Bilgisayar Otomasyon Programı

Test dinamometresinin, SAE J2430 test prosedürünün speklerini yerine getirebilmesi için bir otomasyon programı geliştirilmiştir. Test cihazında elektrik motoru ile tahrik edilen disk üzerine hidrolik pompa ile oluşturulan basınçlar, oransal elektronik valflerin yardımıyla istenen basınçlarda kontrol edilmektedir. Sürtünme kaynaklı diskte oluşan sıcaklık değerleri temassız ölçüm yapan termokupl yardımıyla, sürtünme katsayısı değerleri sensör yardımıyla ve tatbik edilen yük değerleri load cell le okunan ve bu değerleri, okumak için hazırlanan bilgisayar programı tarafından kayıt yapılabilmekte aynı zaman da istenildiği zaman alınabilmektedir.

Deneyisel çalışmamızda kullandığımız dinamometre test düzeneğinin çalışması prensibi şu şekildedir; teste başlamadan önce sistemin bağlan düğmesine basılarak, sistem çalışmaya hazır hale getirilir. Otomasyon programı kontrol paneli üzerine eklenmiş balans ısısı, devir, kuvvet, güç, sürtünme katsayısı, sıcaklık, süre, moment farkı, uygulanan alan, uygulanacak basınç, frenleme sayısı,

İstenen test değerleri yazıldıktan sonra başlat düğmesine basılarak sistem çalıştırılmaktadır. Zamanın birimi saniyedir.

Balata ve fren diski test cihazında bulunan bilgisayar programı sayesinde sensörlerden okunan basınç, sıcaklık, kuvvet ve devir değerleri, sisteme girilen değerleri sağlayana kadar disk serbest dönüyor. Sisteme girilen değerler sağlandığında disk yavaşlama ivmesi değerlerinde frenleme yapıyor. Frenleme başladığı zaman program sensörlerden aldığı sayısal değerleri kayıt altına almaya başlıyor. İstenen test değerleri tamamlandığında sistem otomatik olarak duruyor. Şekil 5.20 'de fren sistemi test cihazının kontrol paneli görülmektedir.

Verileri hem grafik olarak hem de metin dosyası olarak kaydedilebilmekte aynı zamanda Excel dosyası olarak da kayıt alınabilmektedir. İstenildiği zaman deneylerden elde edilen grafiklere, kontrol paneli eğriler kısmından yükle ikonu tıklanarak bir önceki grafikler tekrar çizdirilmekte ve grafik üzerinde değişiklikler yapılabilmektedir.

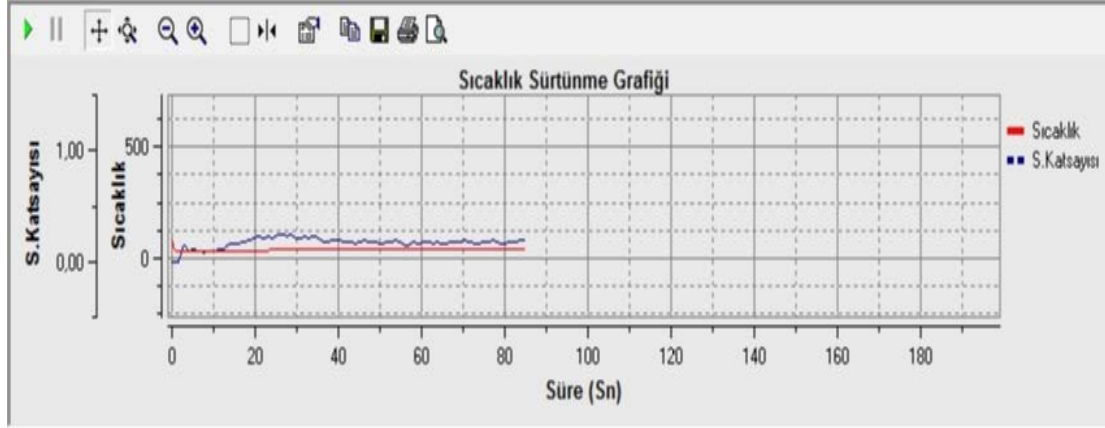


Şekil 5.20: Test Cihazı Otomatik Kontrol Panosu

Basınç değeri bilgisayar programında 0-25 MPa arasında ayar imkanı vermektedir. Devir sayısı 0-1500 dev/dak arasında girilebilir. Test ünitesi, test işlemlerinin tamamını otomatik yapma becerisine sahiptir. Fren sistemi test cihazının bilgisayar kontrol paneli üzerindeki, gösterilen manuel kısma girilip devir ve basınç el ile girilip deneyler yapılabilir. Programın işlevsel ve çok yönlü olması; değişken etkenlerin sürtünme performansına etkileri, farklı deney değerlerinin

oluşturulabilmesi, elde edilen verilerin kaydedilmesi, kullanılması ve istenildiğinde yeniden ulaşarak hassas sonuçlar alınabilmesi mümkündür.

Şekil 5.21' de test ünitesinin program grafiği görülmektedir.



Şekil 5.21: Test Ünitesi Program Grafiği

## 6. BULGULAR

SAE J2430 “Binek Otomobilleri ve Kamyonet Frenleri için Dinamometre Etkinlik Karakterizasyon Testi-Fren Değerlendirme Posedürü” standardı kriterlerine göre frenleme testlerine sokulan kaplanmış fren disklerinin mikroyapılarının incelenmesi, sertlik, ağırlık kayıpları, yüzey pürüzlülükleri, et kalınlıkları, disklerdeki yanal salgı değerlerinin ölçülmesi, aşınma miktarlarının ölçülmesi ve dinamometre testlerinin sonucunda elde edilen değerlere dayanılarak frenleme performanslarının değerlendirilmesini içermektedir. Ölçümler sonrası elde edilen veriler Tablo 5. 10, Tablo 5. 11, Tablo 5. 12, Tablo 5. 13, Tablo 5. 14, Tablo 5. 15, Tablo 5. 16, Tablo 5. 17, Tablo 5. 18’ de verilmiştir.

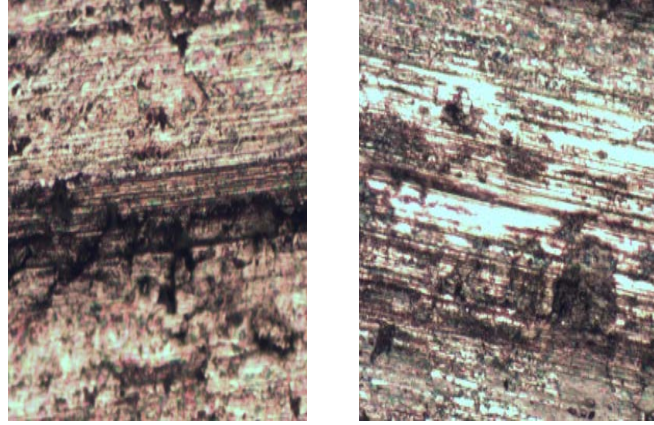
Tablo 5. 10’da disklerin Sertlik ölçümleri yapılmıştır. Her diskin test sonrasında 6 ile 8 HRB arasında sertleştiği ölçülmüştür. Sürtünen yüzeylerde sertleşme gerçekleşeceği gözlenmiştir. Tablo 5.11’de test sonrasında Orijinal disk ile Karbon alaşımlı disk 3 gr kaybederken, Seramik kaplı disk ile Seramik-Karbon alaşımlı disk 2 gr kaybetmiştir. Aşınmaya bağlı, disklerde ağırlık kaybı yaşandığı ölçümler sonucunda ortaya çıkmıştır. Tablo 5.12’de test sonrası ölçümlerinde tüm disklerin yüzey pürüzlülüklerinde iyileşme olacağı görülmüştür. Tablo 5.13’de test bitiminde yapılan ölçümler neticesinde belirli oranlarda disklerde et kalınlıklarında azalma olacağı görülmüştür. Tablo 5.14’de test bitiminde herhangi bir salgıya rastlanmamış olup fren testlerinin sağlıklı bir şekilde yapıldığının göstergesi olmuştur.

### 6.1. Disklerin Mikro Yapılarının İncelenmesi ve Analizi

Kaplama yapılan fren disklerinin ve orijinal diskin mikroyapıları Nikon Eclipse LV150N mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Kaplamalar genel olarak, orijinal disk malzemesi, kaplama tabakası ve ara bağlayıcı tabakası olmak üzere olarak üç bölgeden oluşmaktadır. Kaplama işlemi ile korozyona dayanıklı, su tutuculuğu az aşınmalara karşı dirençli ve dış tesirlere dayanıklı yüzey yapıları elde edilmiştir.

#### 6.1.1. Kaplama Yapılmamış Gri Dökme demir Numunenin Metalografik İncelenmesi

Karşılaştırma yapmak için kaplama yapılmamış Gri dökme demir diskin yapısında, karakteristik boyutta grafit parçalar, perlit ve ferrit bulunmaktadır. Şekil 6.1 ’de ince grafit tabakaların yapısı, gri dökme demirin mikrografın da görülebilmektedir. Şekil 6.1’de orijinal diskten alınan mikroskop görüntülerinin analiz verileri görülebilmektedir.

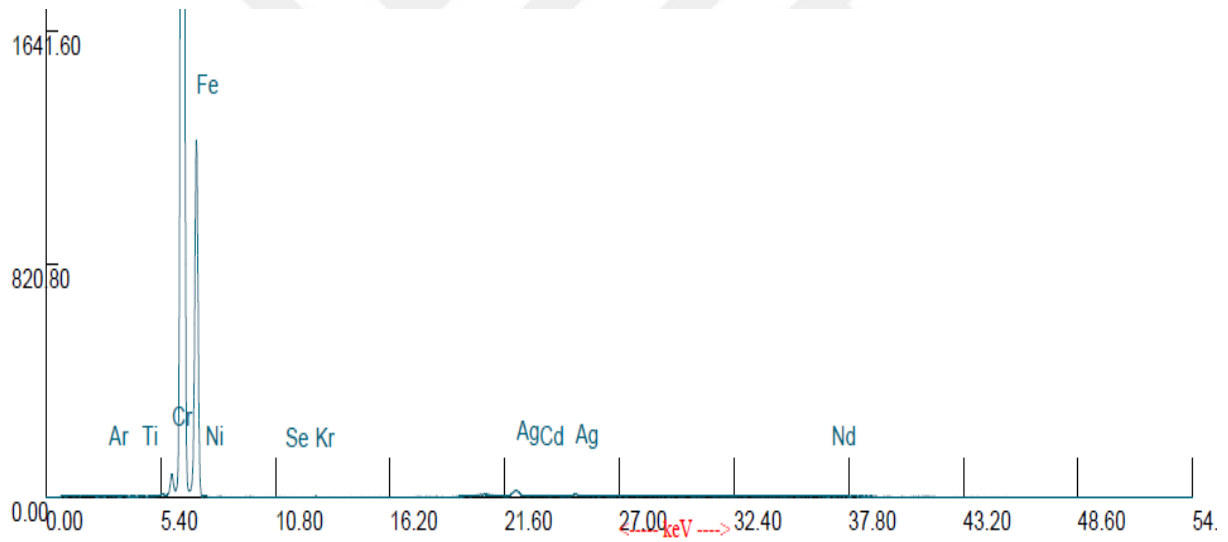


(A) Test Öncesi

(B) Test Sonrası

Şekil 6.1: Gri Dökmedemir in Mikroskop Görüntüleri

Şekil 6. 2.'de Gridökme demir (GG 26) fren diskinin içerisinde bulunan materyallerin % dağılımlarının grafik üzerinde dağılımı gösterilmiştir.



Page 1 of 1

07/25/18 11:05:1

Şekil 6.2: Gridökme Demir Malzeme Materyal Miktarları

Tablo 5.6.. Gri Dökme Demir Alaşım Yüzdeleri

| Orijinal Disk | Fe     | Si    | Mn    | Cr    | Cu    | Zn    | P     | S     | Sn    | Lec   |
|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| % Oran        | 96,125 | 2,044 | 0,983 | 0.034 | 0,028 | 0,012 | 0,076 | 0,064 | 0,004 | 0,575 |



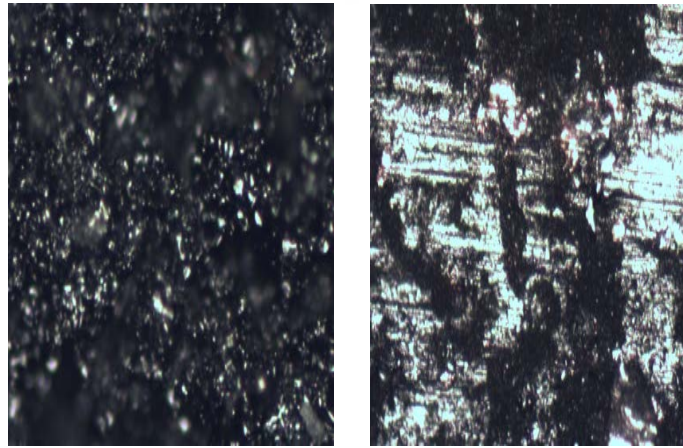
Şekil 6.2’de Termo Scientific NitonXL 3t cihazı ile disk te belirlenen 1. bölgede bulunan malzeme çeşitlerinin % olarak oranlarının grafiği, Tablo 5.6 ’da ise bu oranların % lik miktarları gösterilmiştir. Toplam dört nokta da yapılan ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

### 6.1.2. Seramik Kaplı Diskin Metalografik İncelenmesi

Alümina, oksit temelli seramik hammaddeleri arasında geniş uygulama alanına sahiptir. Yüksek sertlik, düşük yoğunluk, ısıl kararlılık ve korozyon direnci gibi üstün özelliklerinin yanında düşük maliyeti ile de dikkati çekmektedir. Doğada en fazla boksit cevherinde bulunan alüminanın %90’ı alüminyum üretiminde kullanılmaktadır. Kalan kısım ısıya dirençli dolgu malzemeleri, pigment, katalizör, refrakter, aşındırıcı ve diğer cam ile seramik malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır [45].

$Al_2O_3-TiO_2$  (Alümina-titanya) kaplamalar; abrazyon, korozyon, oksidasyon ve erozyon aşınmalarına karşı direncin istendiği uygulamalarda kullanılır [61].

Fren diskinde kaplama sonucunda 250-320 micron kaplama kalınlığı, 6,5-7,5 Ra yüzey pürüzlülüğü, 65-70 RC sertlik, 45 micron tane boyutu oluşmuştur. Seramik kaplamalar sertlikleri 72 HRC, kalınlık 1 mm seviyelerine kadar mükemmel aşınma ve korozyona dayanacak şekilde yapılabilmektedir. Şekil 6.3’de Seramik kaplı disk test öncesi ve sonrası mikroskop görüntüleri görülmektedir.

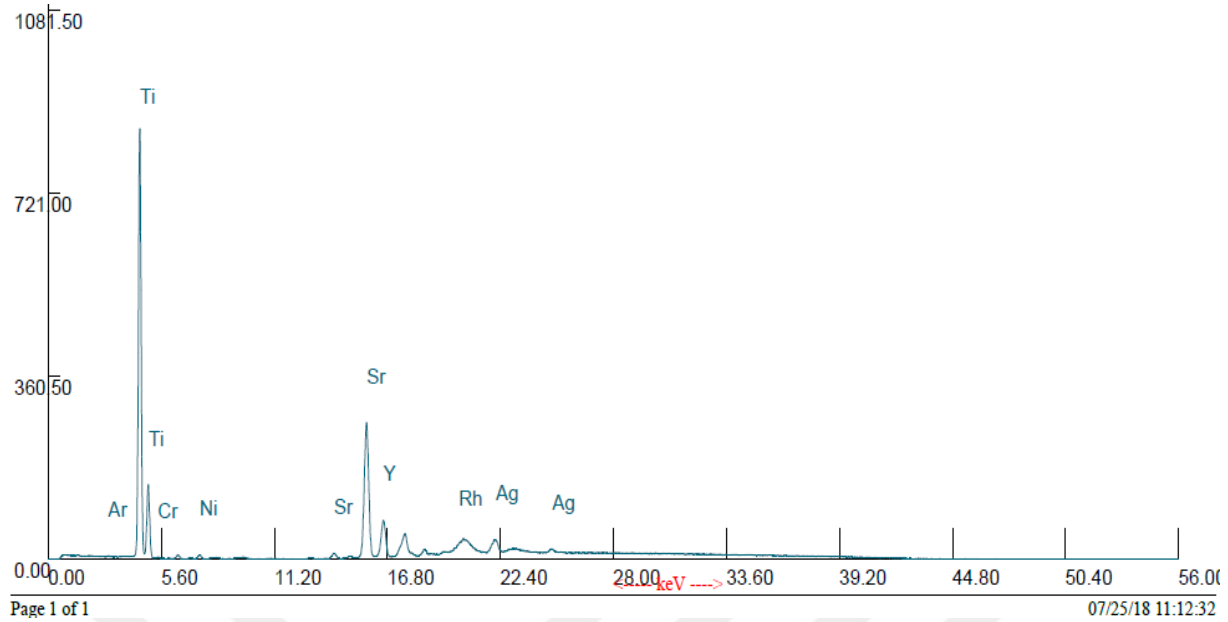


(A) Test Öncesi

(B) Test Sonrası

Şekil 6.3: Seramik Kaplı Fren Diskinin Mikroskop Görüntüleri





Şekil 6.4: Seramik Kaplı Fren Diskinin Malzeme Materyal Miktarları

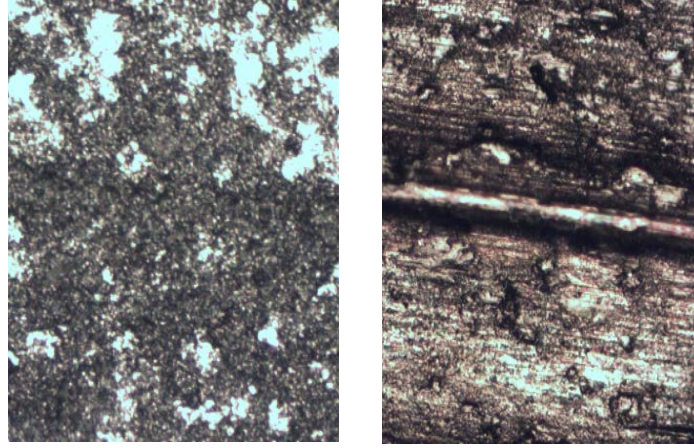
Tablo 5.7.Seramik Kaplı Fren Diskinin Alaşım Yüzdeleri

| Seramik Kaplı Disk | Fe    | Si    | Cr    | Mo    | Al    | Ti    | V     | Zr    | Nb    |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| % Oran             | 0,287 | 0,344 | 0,114 | 0,044 | 33,48 | 64,41 | 0,427 | 0,645 | 0,186 |

Şekil 6.4’de Termo Scientific NitonXL 3t cihazı ile Seramik kaplı fren diskinin 1. bölgede bulunan malzeme çeşitlerinin % olarak oranlarının grafiği, Tablo 5.7’de ise bu oranların % lik miktarları gösterilmiştir. Toplam dört nokta da yapılan ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

### 6.1.3. Karbon Kaplı Diskin Metalografik İncelenmesi

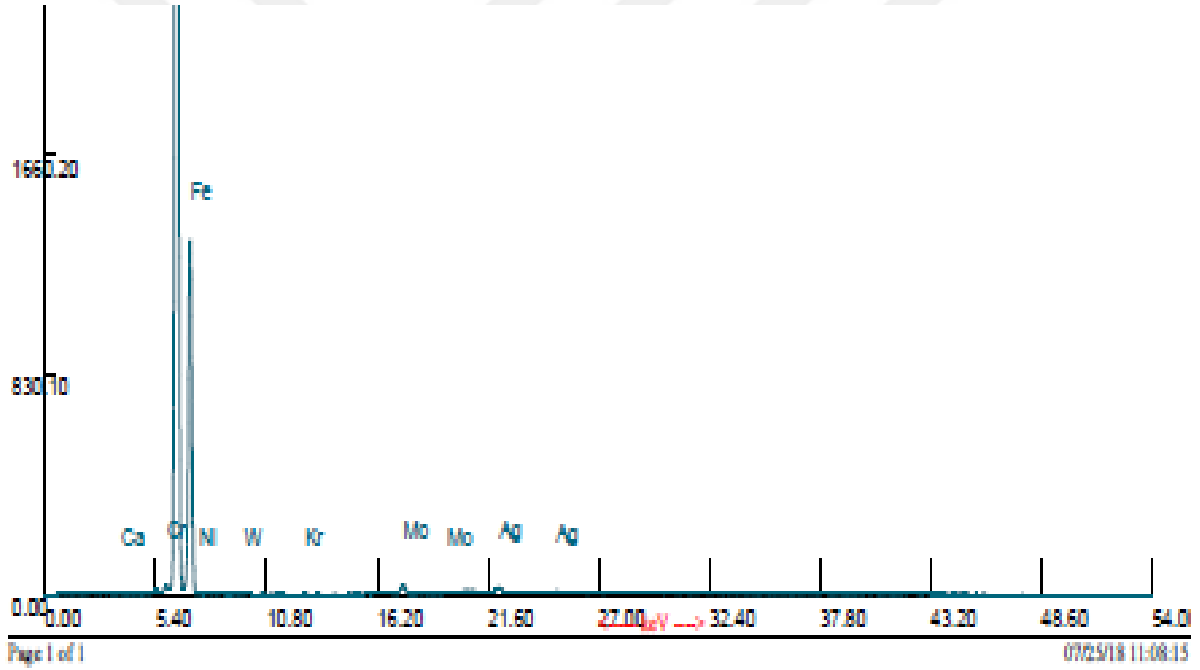
Karbon alaşımı, etil alkolde özel olarak işlenmiş mikro grafitin kolloidal dağılımıdır. Ürün yüksek yük ve sıcaklık altında çalışmak için uygundur. Kullanım alanı oldukça yaygındır; kuru yağlama filmlerinin oluşumu ve elektrik iletimi için kullanılır. Vida dişleri üzerinde bir anti-ele geçirme malzemesi olarak da kullanılır. Şekil 6.5’de Karbon kaplı disk test öncesi ve sonrası mikroskop görüntüleri görülmektedir.



(A) Test Öncesi

(B) Test Sonrası

Şekil 6.5: Karbon Kaplı Fren Diskinin Mikroskop Görüntüleri



Şekil 6.6: Karbon Kaplı Fren Diskinin Malzeme Materyal Miktarları

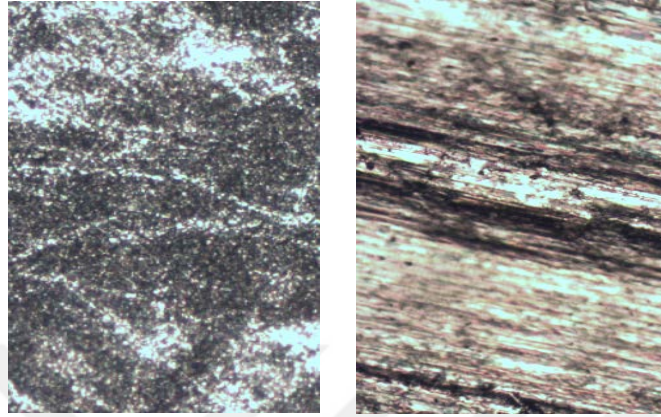
Tablo 5.8. Karbon Kaplı Fren Diskinin Alaşım Yüzdeleri

| Karbon Kaplı Disk | Fe     | C     | Mn    | Cl    | Mo    | Cu    | Zn   | P     | S     | Sn    |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| % Oran            | 97,111 | 0,965 | 0,287 | 0,091 | 0,127 | 0,032 | 0,01 | 0,193 | 1,125 | 0,008 |

Şekil 6.6'da Termo Scientific NitonXL 3t cihazı ile Seramik kaplı fren diskinin 1. bölgede bulunan malzeme çeşitlerinin % olarak oranlarının grafiği, Tablo 5.8.'de ise bu oranların % lik miktarları gösterilmiştir. Toplam dört nokta da yapılan ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

#### 6.1.4. Seramik-Karbon Kaplı Diskin Metalografik İncelenmesi

Seramik-Karbon kaplama alaşımı yüksek sıcaklık ve aşınmaya dayanıklı bir kaplamadır. İnce uzun ömürlü film yapıya sahiptir. Seramik-Karbon alaşımı seyretmek için N-Etilpirolidon kullanılır. Şekil 6.7’de Seramik-Karbon kaplı disk test öncesi ve sonrası mikroskop görüntüleri görülmektedir.

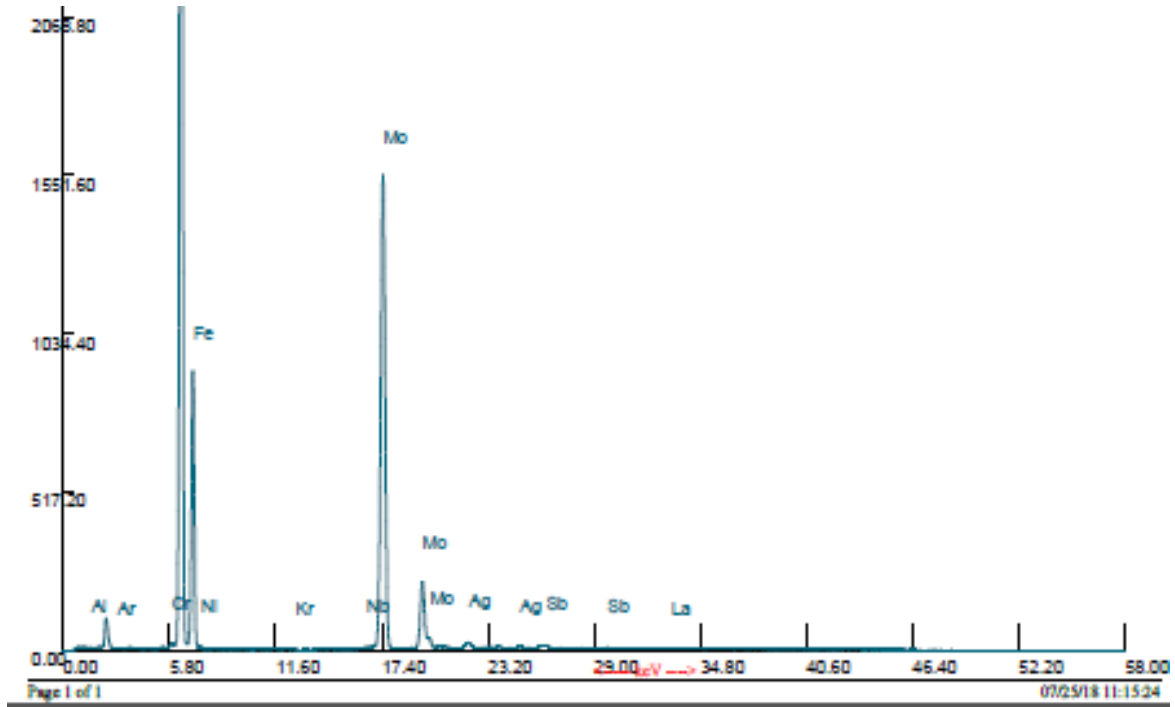


(A) Test Öncesi

(B) Test Sonrası

Şekil 6.7: Seramik-Karbon Kaplı Fren Diskinin Mikroskop Görüntüleri

Şekil 6.8’ de Seramik- Karbon kaplanmış fren diskinin içerisinde bulunan materyallerin % de dağılımlarının grafik üzerinde dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 6.8: Seramik-Karbon Kaplı Fren Diskinin Malzeme Materyal Miktarları

Tablo 5.9. Seramik-Karbon Kaplı Fren Diskinin Alaşım Yüzdeleri

| Seramik<br>-Karbon<br>Kaplı D. | Fe     | Sb    | C     | Cr    | Mo    | Cl    | P     | S      | W     |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| % Oran                         | 65,549 | 0,104 | 0,246 | 0,066 | 4,046 | 0,549 | 1,111 | 27,179 | 0,027 |

Şekil 6.8’de Termo Scientific NitonXL 3t cihazı ile Seramik kaplı fren diskinin 1. bölgede bulunan malzeme çeşitlerinin % olarak oranlarının grafiği, Tablo 5.9.’da ise bu oranların % lik miktarları gösterilmiştir. Toplam dört nokta da yapılan ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

## 6.2. Disklerin Test Öncesi Ve Sonrası Değerlerinin Kıyaslaması

Diskler test öncesi ve sonrası değerleri ölçülerek, test öncesinde ve sonrasında nasıl değişkenliklere uğradığının kıyaslamaları yapılmıştır. Kıyaslama yapılan konular, HRB cinsinden sertlik ölçümleri, ağırlıkları, yüzey pürüzlülükleri, kalınlıkları ve yanal salgı oranlarıdır.

### 6.2.1. Disklerin Test Öncesi ve Sonrası Sertlik Ölçümleri

Tablo 5.10. Disklerin Test Öncesi ve Sonrası HRB Sertlik Ölçümleri

|                | Disklerin Test Öncesi Sertlik Ölçümleri (HRB) |          |          |          |           | Disklerin Test Sonrası Sertlik Ölçümleri (HRB) |          |          |          |           |
|----------------|---|----------|----------|----------|-----------|--|----------|----------|----------|-----------|
|                | 1. Bölge                                      | 2. Bölge | 3. Bölge | 4. Bölge | Ort.      | 1. Bölge                                       | 2. Bölge | 3. Bölge | 4. Bölge | Ort.      |
| Orijinal       | 81  | 85       | 81       | 83       | <b>82</b> | 92   | 86       | 86       | 88       | <b>88</b> |
| Seramik        | 93  | 84       | 89       | 86       | <b>88</b> | 99   | 94       | 99       | 92       | <b>96</b> |
| Karbon         | 76  | 82       | 77       | 76       | <b>78</b> | 88   | 84       | 86       | 85       | <b>86</b> |
| Seramik-Karbon | 80  | 83       | 75       | 74       | <b>78</b> | 86   | 89       | 81       | 80       | <b>84</b> |

Tablo 5.10 incelendiğinde kaplama öncesinde Orijinal diskin ortalama sertliği 82 HRB ölçülmüştür. Tablo 5.10'daki değerlere bakıldığında disklerin Karbon ve Seramik-Karbon kaplandıktan sonra ölçülen yüzeylerde belirli oranda yumuşama olduğu görülmüştür. Fakat aynı durum Seramik kaplama yapılan diskte geçerli olmamıştır. Seramik kaplama sonrasında diskin yüzey sertliği 88 HRB' ye kadar sertleştiği ölçüm sonucunda ortaya çıkmıştır. Test bitiminde ise bütün diskler de belirli oranlarda sertlik artışı gözlenmiştir. Sertlik açısından en sert yüzeye sahip olan Seramik kaplı disk olmuştur.

Tablo 5.11. Disklerin Test Öncesi Ve Sonrası Ağırlıklarının Karşılaştırılması

|                     | Disklerin Test Öncesi Ağırlıkları (gr) | Disklerin Test Sonrası Ağırlıkları (gr) |
|---------------------|--|---|
| Orijinal D.         | 2758                                   | 2755                                    |
| Seramik K.D.        | 2822                                   | 2820                                    |
| Karbon K.D.         | 2770                                   | 2767                                    |
| Seramik-Karbon K.D. | 2762                                   | 2760                                    |

Tablo 5.11.'de test öncesi ve sonrasında fren diskinin ağırlık farkları gözlemlenmiştir. Orijinal fren diskin test sonunda 3 gram ağırlık kaybı yaşadığı görülmüştür. Seramik kaplı diskin ise 2 gram hafiflediği ölçülmüştür. Karbon kaplı diskte ise 3 gram ağırlık kaybı ölçülmüştür. Seramik-Karbon

kaplı diskte kayıp 2 gram olarak ölçülmüştür. Alınan değerler neticesinde disklerin ağırlık kayıpları birbirlerine yakın olarak sonuçlanmıştır.

### 6.2.2. Disklerin Test Öncesi Ve Sonrası YüzeY Pürüzlülükleri

Tablo 5.12. Disklerin Test Öncesi ve Sonrası YüzeY Pürüzlülükleri

|                     | Disklerin Test Öncesi YüzeY Pürüzlülükleri (Ra) |          |          |          |             | Disklerin Test Sonrası YüzeY Pürüzlülükleri (Ra) |          |          |          |             |
|---------------------|---|----------|----------|----------|-------------|--|----------|----------|----------|-------------|
|                     | 1. Bölge  | 2. Bölge | 3. Bölge | 4. Bölge | Ort.        | 1. Bölge   | 2. Bölge | 3. Bölge | 4. Bölge | Ort.        |
| Orijinal D.         | 4.62  | 4.40     | 4.40     | 4.62     | <b>4.51</b> | 4.12   | 3.94     | 4.00     | 4.15     | <b>4.05</b> |
| Seramik K.D.        | 5.77  | 6.41     | 6.41     | 7.08     | <b>6.41</b> | 3.37   | 3.96     | 4.48     | 4.53     | <b>4.08</b> |
| Karbon K.D.         | 2.81  | 3.05     | 2.05     | 3.68     | <b>2.89</b> | 1.58   | 1.68     | 1.34     | 1.47     | <b>1.51</b> |
| Seramik-Karbon K.D. | 4.05  | 3.42     | 3.54     | 3.64     | <b>3.66</b> | 3.46   | 3.23     | 3.38     | 3.46     | <b>3.38</b> |

Tablo 5.12’de disklerin test öncesi ve sonrası yüzeY pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Seramik kaplı disk yüzeY pürüzlülük açısından en fazla pürüzsüzlük kazanan disk olarak görülmektedir. Diskler arasında yüzeY pürüzlülüğü açısından ikinci sırayı Karbon kaplı disk, üçüncü sırada Orijinal disk son sırada ise Seramik-Karbon Kaplı disk olarak sonuçlanmıştır.

### 6.2.3. Disklerin Test Öncesi Ve Sonrası Et Kalınlıkları

Tablo 5.13. Disklerin Test Öncesi ve Sonrası Et Kalınlıkları

|                     | Disklerin Test Öncesi Et Kalınlıkları (mm) |          |          |          |              | Disklerin Test Sonrası Et Kalınlıkları (mm) |          |          |          |              |
|---------------------|--|----------|----------|----------|--------------|---|----------|----------|----------|--------------|
|                     | 1. Bölge                                   | 2. Bölge | 3. Bölge | 4. Bölge | Ort.         | 1. Bölge                                    | 2. Bölge | 3. Bölge | 4. Bölge | Ort.         |
| Orijinal D.         | 10.28                                      | 10.27    | 10.27    | 10.24    | <b>10.26</b> | 10.26                                       | 10.26    | 10.28    | 10.23    | <b>10.25</b> |
| Seramik K.D.        | 10.92                                      | 10.91    | 10.95    | 10.92    | <b>10.92</b> | 10.90                                       | 10.89    | 10.92    | 10.89    | <b>10.90</b> |
| Karbon K.D.         | 10.37                                      | 10.33    | 10.33    | 10.28    | <b>10.32</b> | 10.25                                       | 10.24    | 10.25    | 10.24    | <b>10.24</b> |
| Seramik-Karbon K.D. | 10.31                                      | 10.37    | 10.30    | 10.25    | <b>10.30</b> | 10.24                                       | 10.25    | 10.24    | 10.24    | <b>10.24</b> |

Tablo 5.13.’de disklerin test öncesi ve sonrası et kalınlıkları ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda 0,01 mm Orijinal diskte, 0,02 mm Seramik kaplı diskte, 0,08 mm Karbon kaplı diskte ve 0,06 mm de

Seramik-Karbon kaplı diskte et kalınlığı kaybı ölçülmüştür. Et kalınlıklarındaki en fazla kaybı karbon kaplı disk yaşamıştır.

#### 6.2.4. Disklerin Test Öncesi Ve Sonrası Salgıları

Tablo 5.14. Disklerin Test Öncesi ve Sonrası Salgıları

|                     | Disklerin Test Öncesi Salgıları (mm) | Disklerin Test Sonrası Salgıları (mm) | Fark |
|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------|
| Orijinal D.         | 0-0,05                               | 0-0,05                                | 0    |
| Seramik K.D.        | 0-0,06                               | 0-0,06                                | 0    |
| Karbon K.D.         | 0-0,06                               | 0-0,06                                | 0    |
| Seramik-Karbon K.D. | 0-0,06                               | 0-0,06                                | 0    |

Tablo 5.14’de disklerin salgı ölçümlerinin değerleri görülmektedir. Test öncesinde yapılan ölçümlerdeki değerlerle, test sonunda yapılan değerler aynı olmuş salgı problemi yaşanmamıştır.

#### 6.3. Dinamometre Testi

Orijinal ve kaplanmış disklerle, SAE J2522 dinamometre fren etkinlik test prosedürüne uygun testler uygulanmıştır. Testlerde süreye bağlı olarak, ısı, sürtünme katsayısı, kuvvet, basınç, sıcaklık ve alışma etkinliği, hız hassasiyeti gibi özellikler kaydedilmiştir. Her disk için toplam 8 test yapılmıştır. Testler 300 dev/dk-5 bar,-1 dk, 300 dev/dk, 10 bar, 2 dk, 400 dev/dk-5 bar-1 dk, 400 dev/dk-10 bar-2 dk, 500 dev/dk-5 bar-1 dk, 500 dev/dk-10 bar-2 dk, 600 dev/dk-5 bar-1 dk, 600 dev/dk-10 bar-2 dk şeklindeki uygulama ile tüm fren disklerine sürekli fren yaptırılarak testler tamamlanmıştır. Test sonucunda oluşan veriler kaydedilmiştir. Ortaya çıkan değerler düzenlenerek tablo haline getirilmiştir.

Uygulanan kuvvet, basınç, sıcaklık ve hız gibi parametreler frenleme performansına doğrudan etki etmektedir. BEEP kriterlerine göre uygulanan kuvvet 500 N’ u geçmemelidir. Cihaz kontrol bölümü test cihazını doğrulamak ve kullanılan disklerinin uyumunu sağlamak için yararlı etkinliktir. Alıştırma bölümü disk ve balata ara yüzeyinde gerçek temasın sağlanarak istikrarlı bir sürtünmenin oluşması için gereklidir. Soğuk ve sıcak etkinlik bölümleri temel değerlendirme bölümleridir. Gerçek performansın değerlendirildiği bölüm final etkinliği bölümüdür [62].

Frenleme performans testlerine başlamadan önce, disklerin sürtünme yüzeyleri gerekli taşlama, zımparalama işlemleri yapıldıktan sonra tane büyüklüğü 320 olan zımpara ile zımparalanmış ve tozlar kuru hava veya lif bırakmayan eş değeri malzeme ile temizlenmiştir (TSE 9076, SAE J661).

Testlere başlamadan önce ve testler sonrasında disk ve balataların yüzey pürüzlülüğü, ağırlıkları, kalınlıkları ve disklerin salgı değerleri ölçülerek kayıt altına alınmıştır [62].

Frenleme performans testleri SAE J2430 - BEEP “Binek Otomobilleri ve Kamyonet Frenleri için Dinamometre Etkinlik Karakterizasyon Testi-Fren Değerlendirme Prosedürü” kriterlerine göre yapılmıştır. SAE J2430 test prosedürüne göre frenleme performansı değerlendirilirken, cihaz kontrol (instrument checks), alıştırma (burnish), alıştırma sonrası etkinliği (effectiveness), sıcaklıkta fren zayıflaması (fade), sıcaklık etkinliği (hot performance), soğutma döngüsü (cooling), kararlılık etkinliği (recovery ramp), yeniden alıştırma etkinliği (re-burnish) ve final etkinliği (final effectiveness) kriterleri göz önüne alınmaktadır [63].

### 6.3.1 Orijinal Fren Diskinin Dinamometre Testi

Performans şartlarına bağlı olarak yapılan testler sonucunda ortaya çıkan veriler Tablo 5.15’de gösterilmiştir. Kaplanmamış orijinal disk (gri dökme demir GG 26) maliyet ve ömür açısından kullanıcıların yoğun olarak tercih ettiği kısa duruş mesafesi için yüksek sürtünme katsayısı performansını sağlayan ve araç sektöründe yaygın olarak kullanılan bir disk türüdür.

Orijinal fren diskinin, frenleme testleri toplam 8 parametre de yapılmıştır bunlar,

- 300 devir, 5 bar, 1 dakika,
- 300 devir, 10 bar, 2 dakika,
- 400 devir, 5 bar, 1 dakika,
- 400 devir, 10 bar, 2 dakika,
- 500 devir, 5 bar, 1 dakika,
- 500 devir, 10 bar, 2 dakika,
- 600 devir, 5 bar, 1 dakika,

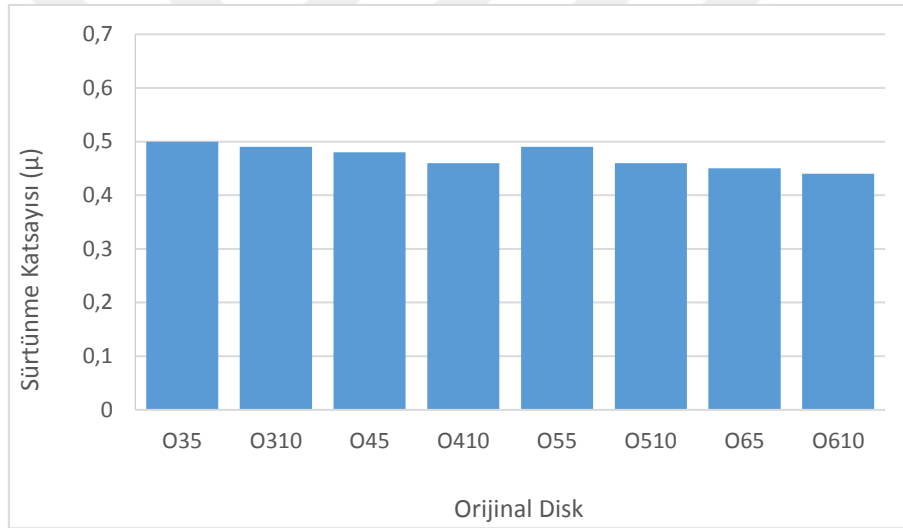
-600 devir, 10 bar, 2 dakika, şeklindedir. Testlerin sonuçları sürtünme katsayısı ve sıcaklık değerleri olarak Tablo 5.15’de görülmektedir. Ayrıca Orijinal diske sürekli frenleme yaptırılarak sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimine bağlı olarak frenleme performansı incelenmiştir.



Tablo 5.15. SAE J2522 Araç Test Prosedürü Dâhilinde Orijinal Disk Verileri

| Testler                | Numune Kodu | Sürtünme Katsayısı( $\mu$ ) | Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|------------------------|-------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 300 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (O35)       | 0,5                         | 135                             |
| 300 d/dk, 10 bar, 2 dk | (O310)      | 0,49                        | 150                             |
| 400 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (O45)       | 0,48                        | 156                             |
| 400 d/dk, 10 bar, 2 dk | (O410)      | 0,46                        | 162                             |
| 500 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (O55)       | 0,49                        | 153                             |
| 500 d/dk, 10 bar, 2 dk | (O510)      | 0,46                        | 160                             |
| 600 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (O65)       | 0,45                        | 161                             |
| 600 d/dk, 10 bar, 2 dk | (O610)      | 0,44                        | 165                             |

Tablo 5.15.'de Orijinal fren diskinin her bir test için en yüksek sürtünme katsayısında oluşan sıcaklık değerleri görülmektedir. Sürtünme katsayısı en yüksek 300 dev/dk 5 bar ve 1 dakika testinde **0,50  $\mu$**  ile gerçekleşmiştir.



Şekil 6. 9. Orijinal diskin devir ve basınç değişimine göre sürtünme katsayısı grafiği

Şekil 6.9 da orijinal diskin devir ve basınç değişimine göre sürtünme katsayısı grafiği görülmektedir. Ortalama sürtünme katsayısı **0,47  $\mu$**  olarak elde edilmiştir. Sürtünme katsayısı belirli sıcaklıklara kadar artmış, sonrasında stabil bir durum da devam etmiştir. Fren balatalarında sürtünme katsayısı sıcaklıkla orantılıdır. Sürtünme katsayısı disk sıcaklığı artımına bağlı olarak yükselir ve sıcaklık yükseldikçe azalmaya başlar. Sıcaklık artışına bağlı olarak sürtünme katsayısında çok yüksek bir düşüş beklenmez. Sıcaklığın artışına bağlı olarak stabil bir durum alması istenmektedir.



Şekil 6.10. Orijinal diskin devir ve basınç değişimine göre sıcaklık grafiği

Şekil 6.10 da orijinal diskin devir ve basınç değişimine göre sıcaklık grafiği görülmektedir. En yüksek sıcaklığa 165 °C derece ile 600 dev/dk 10 bar 2 dakika da ulaşılmıştır. Sıcaklık ortalaması ise 155,25 °C olarak hesaplanmıştır.

### 6.3.2 Seramik Kaplı Fren Diskinin Dinamometre Testi

Seramik kaplanmış disk ( $Al_2O_3-TiO_2$ , Alümina-titanya) sanayide çok yoğun kullanılan kaplama türlerindedir. Başlıca kullanım alanları aşınmaya maruz kalan yataklarda, kızaklarda aşınma direncini yükseltmekte ve malzemelerin kullanım ömürlerini arttırmaktadır. Bu sayede malzeme tüketimi azalmakta bu da maliyet olarak kazanç sağlamaktadır. Fakat seramik kaplama pahalı bir yöntem olduğundan maliyet hesabının iyi yapılması gerekmektedir. Performans şartlarına bağlı olarak Seramik kaplamalı diske yapılan testler sonucunda ortaya çıkan veriler Tablo 5.16'da gösterilmiştir.

Seramik kaplı fren diskinin, frenleme testleri toplam 8 parametre de yapılmıştır bunlar,

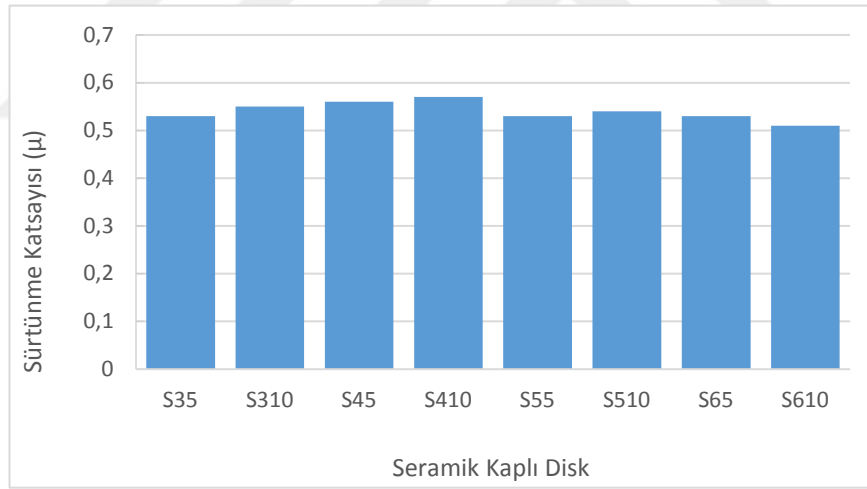
- 300 devir, 5 bar, 1 dakika,
- 300 devir, 10 bar, 2 dakika,
- 400 devir, 5 bar, 1 dakika,
- 400 devir, 10 bar, 2 dakika,
- 500 devir, 5 bar, 1 dakika,
- 500 devir, 10 bar, 2 dakika,
- 600 devir, 5 bar, 1 dakika,

-600 devir, 10 bar, 2 dakika şeklindedir. Testlerin sonuçları sürtünme katsayısı ve sıcaklık değerleri olarak Tablo 5.16'da görülmektedir. Ayrıca Seramik kaplı diske sürekli frenleme yaptırılarak sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimine bağlı olarak frenleme performansı incelenmiştir.

Tablo 5.16. SAE J2522 Araç Test Prosedürü Dâhilinde Seramik kaplı Disk Verileri

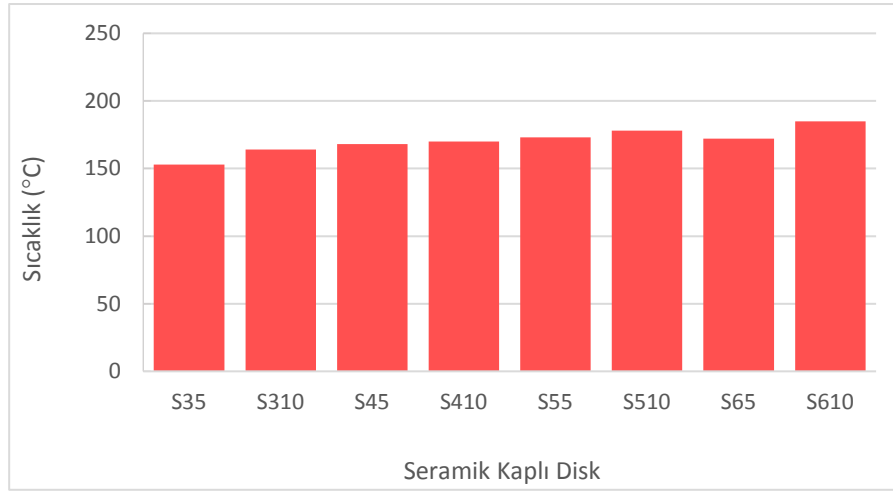
| Testler                | Numune Kodu | Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ ) | Sıcaklık $^{\circ}\text{C}$ |
|------------------------|-------------|------------------------------|-----------------------------|
| 300 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (S35)       | 0,53                         | 153                         |
| 300 d/dk, 10 bar, 2 dk | (S310)      | 0,55                         | 164                         |
| 400 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (S45)       | 0,56                         | 168                         |
| 400 d/dk, 10 bar, 2 dk | (S410)      | 0,57                         | 170                         |
| 500 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (S55)       | 0,53                         | 173                         |
| 500 d/dk, 10 bar, 2 dk | (S510)      | 0,54                         | 178                         |
| 600 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (S65)       | 0,53                         | 172                         |
| 600 d/dk, 10 bar, 2 dk | (S610)      | 0,51                         | 185                         |

Tablo 5.16.' da Seramik kaplı fren diskinin, her bir test için en yüksek sürtünme katsayısında oluşan sıcaklık değerleri yazılmıştır. Sürtünme katsayısı en yüksek 400 dev/dk 10 bar ve 2 dakika testinde **0,57  $\mu$**  ile gerçekleşmiştir.



Şekil 6.11. Seramik kaplı diskin devir ve basınç değişimine göre sürtünme katsayısı grafiği

Şekil 6.11'de Seramik kaplı diskin devir ve basınç değişimine göre sürtünme katsayısı grafiği görülmektedir. Ortalama sürtünme katsayısı **0,54  $\mu$**  olarak elde edilmiştir. Sürtünme katsayısı belirli sıcaklıklara kadar artmış ve sonra stabil bir durum almıştır. Fren balatalarında sürtünme katsayısı sıcaklıkla orantılıdır. Sürtünme katsayısı disk sıcaklığı artımına bağlı olarak yükselir ve sıcaklık yükseldikçe azalmaya başlar. Sıcaklık artışına bağlı olarak sürtünme katsayısında çok yüksek bir düşüş beklenmez. Sıcaklığın artışına bağlı olarak stabil bir durum alması istenmektedir.



Şekil 6.12.Seramik kaplı diskin devir ve basınç değişimine göre sıcaklık grafiği

Şekil 6.12’de Seramik Kaplı diskin devir ve basınç değişimine göre sıcaklık grafiği görülmektedir. En yüksek sıcaklığa 185 °C derece ile 600 dev/dk 10 bar 2 dakika da ulaşılmıştır. Sıcaklık ortalaması ise 170,375 °C olarak hesaplanmıştır.

### 6.3.3 Karbon kaplı Fren Diskinin Dinamometre Testi

Karbon kaplı fren diski, içeriğinde Karbon Tetra Klorür (CCL<sub>4</sub>) ve Molibden Disülfür (MoS<sub>2</sub>) bulundurmaktadır. Belirlenen performans kriterlerine göre dinamometre de yapılan testler sonucunda alınan verilere dayanılarak karbon kaplı fren diski verileri Tablo 5.17’de işlenmiştir.

Karbon kaplı fren diskinin, frenleme testleri toplam 8 parametre de yapılmıştır bunlar,

-300 devir, 5 bar, 1 dakika,

-300 devir, 10 bar, 2 dakika,

-400 devir, 5 bar, 1 dakika,

-400 devir, 10 bar, 2 dakika,

-500 devir, 5 bar, 1 dakika,

-500 devir, 10 bar, 2 dakika,

-600 devir, 5 bar, 1 dakika,

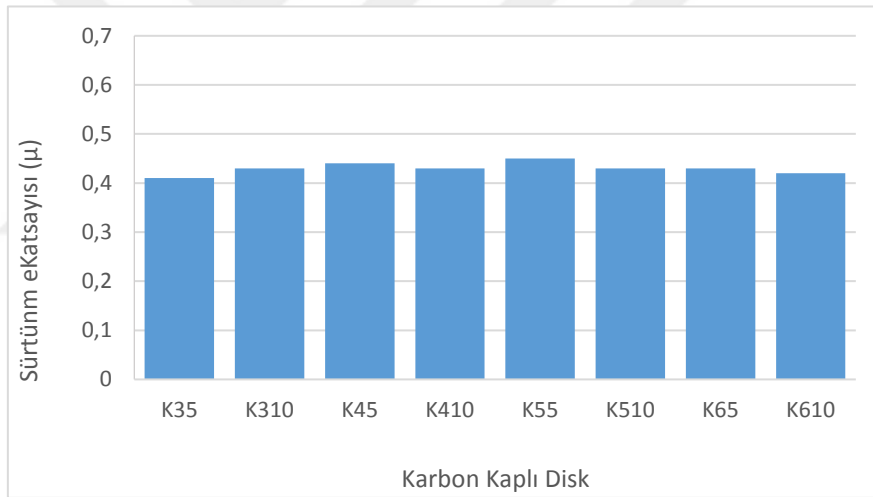
-600 devir, 10 bar, 2 dakika, şeklindedir. Testlerin sonuçları Sürtünme katsayısı, sıcaklık

değerleri olarak Tablo 5.17’de görülmektedir. Ayrıca Karbon kaplı diske sürekli frenleme yaptırılarak sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimine bağlı olarak frenleme performansı incelenmiştir.

Tablo 5. 17. SAE J2522 Araç Test Prosedürü Dâhilinde Karbon Kaplı Disk Verileri

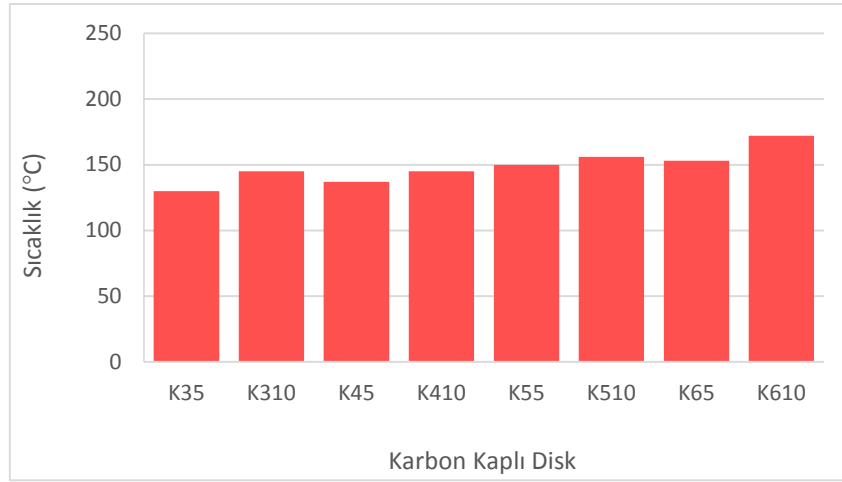
| Testler                | Numune Kodu | Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ ) | Sıcaklık °C |
|------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| 300 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (K35)       | 0,41                         | 130         |
| 300 d/dk, 10 bar, 2 dk | (K310)      | 0,43                         | 145         |
| 400 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (K45)       | 0,44                         | 137         |
| 400 d/dk, 10 bar, 2 dk | (K410)      | 0,43                         | 145         |
| 500 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (K55)       | 0,45                         | 150         |
| 500 d/dk, 10 bar, 2 dk | (K510)      | 0,43                         | 156         |
| 600 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (K65)       | 0,43                         | 153         |
| 600 d/dk, 10 bar, 2 dk | (K610)      | 0,42                         | 172         |

Tablo 5.17' de Karbon kaplı fren diskinin her bir test için en yüksek sürtünme katsayısı ve en yüksek sıcaklık değerleri tabloya işlenmiştir. Sürtünme katsayısı en yüksek olan test 500 dev/dk, 5 bar ve 1 dakika testinde **0,45  $\mu$**  ile gerçekleşmiştir.



Şekil 6.13: Karbon kaplı diskin devir ve basınç değişimine göre sürtünme katsayısı grafiği

Şekil 6.13'de Karbon kaplı diskin devir ve basınç değişimine göre sürtünme katsayısı grafiği görülmektedir. Ortalama sürtünme katsayısı **0,43  $\mu$**  olarak elde edilmiştir. Sürtünme katsayısı belirli sıcaklıklara kadar artmış ve sonra stabil bir durum almıştır. Fren balatalarında sürtünme katsayısı sıcaklıkla orantılıdır. Sürtünme katsayısı disk sıcaklığı artımına bağlı olarak yükselir ve sıcaklık yükseldikçe azalmaya başlar. Sıcaklık artışına bağlı olarak sürtünme katsayısında çok yüksek bir düşüş beklenmez. Sıcaklığın artışına bağlı olarak stabil bir durum alması istenmektedir.



Şekil 6.14. Karbon kaplı diskin devir ve basınç değişimine göre sıcaklık grafiği

Şekil 6.14'de Karbon kaplı diskin devir ve basınç değişimine göre sıcaklık grafiği görülmektedir. En yüksek sıcaklığa 172 °C derece ile 600 dev/dk 10 bar 2 dakika da ulaşılmıştır. Sıcaklık ortalaması ise 148,5 °C olarak hesaplanmıştır.

#### 6.3.4 Seramik-Karbon Kaplı Fren Diskinin Dinamometre Testi

Seramik-Karbon kaplanan disk (CCL4-MoS<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>) sıcaklığa ve aşınmaya karşı dirençli hala gelmiştir.

Seramik-Karbon kaplı fren diskinin, frenleme testleri toplam 8 parametre de yapılmıştır bunlar,

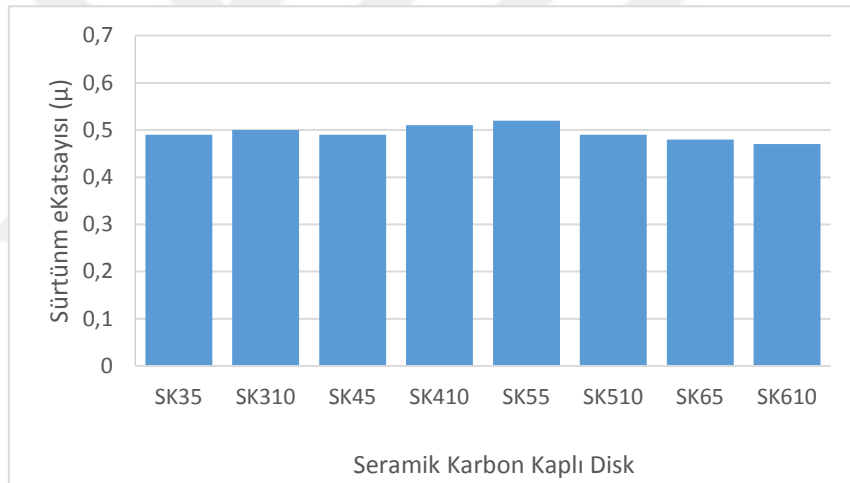
- 300 devir, 5 bar, 1 dakika,
- 300 devir, 10 bar, 2 dakika,
- 400 devir, 5 bar, 1 dakika,
- 400 devir, 10 bar, 2 dakika,
- 500 devir, 5 bar, 1 dakika,
- 500 devir, 10 bar, 2 dakika,
- 600 devir, 5 bar, 1 dakika,

-600 devir, 10 bar, 2 dakika, şeklindedir. Testlerin sonuçları Sürtünme katsayısı ve sıcaklık değerleri olarak Tablo 5.18 'de görülmektedir. Ayrıca Seramik-Karbon kaplı diske sürekli frenleme yaptırılarak sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimine bağlı olarak frenleme performansı incelenmiştir.

Tablo 5.18. SAE J2522 Araç Test Prosedürü Dâhilinde Seramik-Karbon Kaplı Disk Verileri

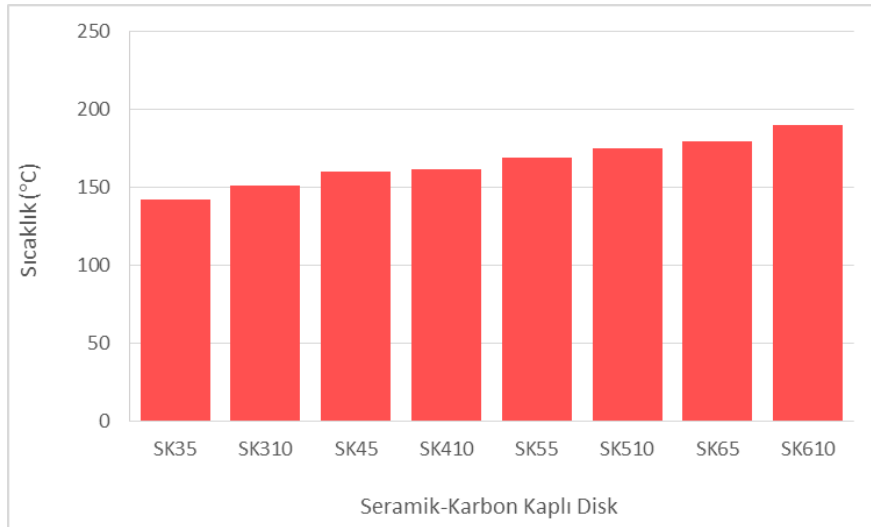
| Testler                | Numune Kodu | Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ ) | Sıcaklık °C |
|------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| 300 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (SK35)      | 0,49                         | 142         |
| 300 d/dk, 10 bar, 2 dk | (SK310)     | 0,5                          | 151         |
| 400 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (SK45)      | 0,49                         | 160         |
| 400 d/dk, 10 bar, 2 dk | (SK410)     | 0,51                         | 162         |
| 500 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (SK55)      | 0,52                         | 169         |
| 500 d/dk, 10 bar, 2 dk | (SK510)     | 0,49                         | 175         |
| 600 d/dk, 5 bar, 1 dk  | (SK65)      | 0,48                         | 180         |
| 600 d/dk, 10 bar, 2 dk | (SK610)     | 0,47                         | 190         |

Tablo 5.18’de Seramik-Karbon kaplı fren diskinin her bir test için en yüksek sürtünme katsayısının da oluşan sıcaklık değerleri görülmektedir. Sürtünme katsayısı en yüksek olan test 500 dev/dk, 5 bar ve 1 dakika testinde **0,52  $\mu$**  ile gerçekleşmiştir.



Şekil 6.15. Seramik-Karbon kaplı disk devir ve basınç değişimine göre sürtünme katsayısı grafiği

Şekil 6.15.’de Seramik-Karbon kaplı disk devir ve basınç değişimine göre sürtünme katsayısı grafiği görülmektedir. Ortalama sürtünme katsayısı **0,49  $\mu$**  olarak elde edilmiştir. Sürtünme katsayısı belirli sıcaklıklara kadar artmış ve sonra stabil bir durum almıştır. Fren balatalarında sürtünme katsayısı sıcaklıkla orantılıdır. Sürtünme katsayısı disk sıcaklığı artımına bağlı olarak yükselir ve sıcaklık yükseldikçe azalmaya başlar. Sıcaklık artışına bağlı olarak sürtünme katsayısında çok yüksek bir düşüş beklenmez. Sıcaklığın artışına bağlı olarak stabil bir durum alması istenmektedir.



Şekil 6.16. Seramik-Karbon kaplı diskin devir ve basınç değişimine göre sıcaklık grafiği

Şekil 6.16'da Seramik-Karbon kaplı diskin devir ve basınç değişimine göre sıcaklık grafiği görülmektedir. En yüksek sıcaklığa 190 °Cderece ile 600 dev/dk 10 bar 2 dakika da ulaşılmıştır. Sıcaklık ortalaması ise 166,125 °C olarak hesaplanmıştır.

#### 6. 4. Orijinal Diskin Frenleme Performansı

Belirlenen performans kriterlerine göre yapılan testlerin sonuçlarına dayanarak markalanan 1 no'lu Orijinal diske ait deneme sonuçları aşağıdaki gibidir.

##### 6. 4. 1. Dinamometre Kontrol Etkinliği

Toplam 8 frenlemeden meydana gelen test speklerinde; 300 devir 5 bar basınç ve 1 dakika da yapılan frenleme de sürtünme katsayısı 0,50 $\mu$  olup, Orijinal diskin en yüksek sürtünme katsayısı değeri bu parametrede gerçekleşmiştir. Aynı devir 10 bar basınç ve 2 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,49 $\mu$  ölçülmüştür. 400 devir 5 bar 1 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,48  $\mu$ , aynı devir de 10 bar 2 dakikalık frenleme de ise 0,46 $\mu$  ölçülmüştür. 500 devir 5 bar 1 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,48 $\mu$ , aynı devir 10 bar 2 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,46  $\mu$ , 600 devir 5 bar 1 dakikalık frenleme de 0,45  $\mu$ , aynı devir 10 bar 2 dakikalık frenleme de ise 0,44  $\mu$  sürtünme katsayısı değerine ulaşılmıştır.

##### 6. 4. 2. Alıştırma Zamanı

Bu süreçte Orijinal diske uygulanan değerler kapsamında, her bir değer için alıştırma zamanı oluşmuştur. İstenen verilerin testleri alıştırma zamanından sonra başlamış ve kayıt altına alınmıştır.



- 300 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde alıştırmaya zamanı 23.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 35 derece ye ulaşmıştır.
- 300 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde alıştırmaya zamanı 112.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 70,66 derece ye ulaşmıştır.
- 400 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde alıştırmaya zamanı 28.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 56,08 derece ye ulaşmıştır.
- 400 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde alıştırmaya zamanı 35.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 67,68 derece ye ulaşmıştır.
- 500 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde alıştırmaya zamanı 164.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 53,08 derece ye ulaşmıştır.
- 500 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde alıştırmaya zamanı 113.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 61 derece ye ulaşmıştır.
- 600 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde alıştırmaya zamanı 18.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 61,13 derece ye ulaşmıştır.
- 600 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde alıştırmaya zamanı 36.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 60,25 derece ye ulaşmıştır.

#### 6. 4. 3. Sıcaklıkla Fren Zayıflaması Süreci

Belirlenen periyotlarda yapılan, 8 frenleme döngüsünde oluşan sıcaklıkla birlikte fren zayıflaması orijinal diskte şu şekilde gerçekleşmiştir;

##### **300 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;**

Teste diskin sıcaklığı 32,11 derece iken başlamıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerinde düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 120.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,50  $\mu$  iken sıcaklık 135°C'ye ulaşmıştır. 120.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

##### **300 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 44,42 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerinde düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 148.ci saniyesine kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,49  $\mu$  iken sıcaklık 150°C'ye ulaşmıştır. 148.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken katsayısında azalma görülmüştür. ‘

**400 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 47,60 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 138.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,48  $\mu$  iken sıcaklık 156°C'ye ulaşmıştır.138.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**400 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 37,25 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 120.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,46  $\mu$  iken sıcaklık 162°C'ye ulaşmıştır. 120.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**500 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 42,30 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 229.cu saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,48  $\mu$  iken sıcaklık 153°C'ye ulaşmıştır. 229.cu saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**500 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 41,30 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 120.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,46  $\mu$  iken sıcaklık 160°C'ye ulaşmıştır. 120.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**600 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 43,80 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 110.cu saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,45 $\mu$  iken sıcaklık 161°C'ye ulaşmıştır. 110.cu saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısından azalma görülmüştür.

**600 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 46,07 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 120.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,44  $\mu$  iken sıcaklık 165°C'ye ulaşmıştır. 120.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**6. 5. Seramik Kaplı Diskin Frenleme Performansı**

Belirlenen performans kriterlerine göre yapılan testlerin sonuçlarına dayanarak markalanan 2 no'lu Seramik kaplanmış diske ait deneme sonuçları aşağıdaki gibidir.

**6. 5. 1. Dinamometre Kontrol Etkinliği**

Toplam 8 frenlemeden meydana gelen test speklerinde; 300 devir 5 bar basınç ve 1 dakika da yapılan frenleme de sürtünme katsayısı 0,53  $\mu$  seviyesinde, aynı devir de 10 bar basınç ve 2 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,55  $\mu$  seviyesinde ölçülmüştür. 400 devir 5 bar 1 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,56  $\mu$ , aynı devir de 10 bar 2 dakikalık frenleme de ise 0,57  $\mu$  ile Seramik kaplı disk in en yüksek sürtünme katsayısı değerine bu parametrede ulaşmıştır. 500 devir 5 bar 1 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,53  $\mu$ , aynı devir 10 bar 2 dakikalık frenleme de 0,54  $\mu$  seviyesinde ölçülmüştür. 600 devir 5 bar 1 dakikalık frenleme de 0,53 $\mu$ , aynı devir 10 bar 2 dakikalık frenleme de ise 0,51 $\mu$  sürtünme kuvveti değeri elde edilmiştir.

**6. 5. 2. Alıştırma Süreci**

Bu süreçte Seramik kaplı fren diskine uygulanan değerler kapsamında, her bir değer için alıştırma zamanı oluşmuştur. İstenen verilerin testleri alıştırma zamanından sonra başlamış ve kayıt altına alınmıştır.

- 300 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 21.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 53,19 derece ye ulaşmıştır.
- 300 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 32.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 64,51 derece ye ulaşmıştır.
- 400 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 30.cu saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 68,87 derece ye ulaşmıştır.
- 400 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 33.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 85,04 derece ye ulaşmıştır.

- 500 devir 5 bar 1 dakika frenlemede alıştırma zamanı 26.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 64,51 derece ye ulaşmıştır.
- 500 devir 10 bar 2 dakika frenlemede alıştırma zamanı 34.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 95,36 derece ye ulaşmıştır.
- 600 devir 5 bar 1 dakika frenlemede alıştırma zamanı 24.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 62,45 derece ye ulaşmıştır.
- 600 devir 10 bar 2 dakika frenlemede alıştırma zamanı 33.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 145,93 derece ye ulaşmıştır.

### 6. 5. 3. Sıcaklıkla Fren Zayıflaması Süreci

Belirlenen periyotlarda yapılan, 8 frenleme döngüsünden oluşan sıcaklıkla birlikte fren zayıflaması Seramik kaplı diskte şu şekilde gerçekleşmiştir;

#### **300 devir 5 bar 1 dakika frenlemede;**

Teste diskin sıcaklığı 32,11 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerinde düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 140.cı saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,53  $\mu$ , iken sıcaklık 153°Cye ulaşmıştır. 140.cı saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

#### **300 devir 10 bar 2 dakika frenlemede;**

Teste diskin sıcaklığı 44,42 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerinde düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlendi. Test in 148.ci saniyesine kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,55  $\mu$  iken sıcaklık 164°Cye ulaşmıştır. 148.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

#### **400 devir 5 bar 1 dakika frenlemede;**

Teste disk sıcaklığı 47,60 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış göstermiştir. Test in 128.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,56  $\mu$  iken sıcaklık 168°Cye ulaşmıştır. 128.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**400 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 37,25 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış göstermiştir. Test in 152.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,57  $\mu$  iken sıcaklık 170°Cye ulaşmıştır.152.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**500 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 42,30 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış göstermiştir. Test in 229.cu saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,53 $\mu$  iken sıcaklık 173°Cye ulaşmıştır. 229.cu saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**500 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 41,30 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış göstermiştir. Test in 120.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,54  $\mu$  iken sıcaklık 178°Cye ulaşmıştır. 120.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**600 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 43,80 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış göstermiştir. Test in 182.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,53 $\mu$  iken sıcaklık 172°Cye ulaşmıştır. 182.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**600 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 46,07 derece iken başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 141.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,51  $\mu$  iken sıcaklık 185°Cye ulaşmıştır.141.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalmalar görülmüştür.

## 6. 6. Karbon Kaplı Diskin Frenleme Performansı

Belirlenen performans kriterlerine göre yapılan testlerin sonuçlarına dayanarak markalanan 3 no'lu Karbon kaplı diske ait deneme sonuçları aşağıdaki gibidir.

### 6. 6. 1. Dinamometre Kontrol Etkinliği

Toplam 8 frenlemeden meydana gelen Karbonla kaplanmış fren diskinin test speklerinde; 300 devir 5 bar basınç ve 1 dakika da yapılan frenleme de sürtünme katsayısı 0,41  $\mu$  seviyesinde, aynı devir de 10 bar basınç ve 2 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,43  $\mu$  olarak ölçülmüştür. 400 devir 5 bar 1 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,44  $\mu$ , aynı devir de 10 bar 2 dakikalık frenleme de ise 0,43  $\mu$  ölçülmüştür. 500 devir 5 bar 1 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,45  $\mu$ , ile Karbon kaplı disk en yüksek sürtünme katsayısına değerine bu parametrede ulaşılmıştır. Aynı devir 10 bar 2 dakikalık frenleme de 0,43  $\mu$  ölçülmüştür. 600 devir 5 bar 1 dakikalık frenleme de 0,43  $\mu$ , aynı devir 10 bar 2 dakikalık frenleme de ise 0,42  $\mu$  ölçülmüştür.

### 6. 6. 2. Alıştırma Süreci

Bu süreçte Karbon kaplı fren diskine uygulanan değerler kapsamında, her bir değer için alıştırma zamanı oluşmuştur. İstenen verilerin testleri alıştırma zamanından sonra başlamış ve kayıt edilmiştir.

- 300 devir 5 bar 1 dakika frenlemede alıştırma zamanı 20.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 35,57 derece ye ulaşmıştır.
- 300 devir 10 bar 2 dakika frenlemede alıştırma zamanı 100.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 50,87 derece ye ulaşmıştır.
- 400 devir 5 bar 1 dakika frenlemede alıştırma zamanı 23.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 34,69 derece ye ulaşmıştır.
- 400 devir 10 bar 2 dakika frenlemede alıştırma zamanı 37.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 42,49 derece ye ulaşmıştır.
- 500 devir 5 bar 1 dakika frenlemede alıştırma zamanı 106.cı saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 58,07 derece ye ulaşmıştır.
- 500 devir 10 bar 2 dakika frenlemede alıştırma zamanı 72.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 56,07 derece ye ulaşmıştır.
- 600 devir 5 bar 1 dakika frenlemede alıştırma zamanı 26.cı saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 53,07 derece ye ulaşmıştır.

- 600 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 148.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 82,13 derece ye ulaşmıştır.

### 6. 6. 3. Sıcaklıkla Fren Zayıflaması Süreci

Belirlenen periyodlarda yapılan, 8 frenleme döngüsünden oluşan sıcaklıkla birlikte fren zayıflaması Karbon kaplı diskte şu şekilde gerçekleşmiştir;

#### 300 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;

Teste disk sıcaklığı 33,15 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerinde düzgün bir şekilde, test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 126.cı saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,41  $\mu$ , iken sıcaklık 130°C'ye ulaşmıştır.126.cı saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

#### 300 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;

Teste disk sıcaklığı 36,95 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerinde düzgün bir şekilde, test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 105. ci saniyesine kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,43  $\mu$  iken sıcaklık 145°C'ye ulaşmıştır. 105.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

#### 400 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;

Teste disk sıcaklığı 31,82 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 120.cı saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,44  $\mu$  iken sıcaklık 137°C'ye ulaşmıştır. 120.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

#### 400 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;

Teste disk sıcaklığı 35,91 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 141.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,43  $\mu$  iken sıcaklık 145°C'ye ulaşmıştır. 141.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**500 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 47,21 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 130.cu saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,45  $\mu$  iken sıcaklık 150°Cye ulaşmıştır. 130.cu saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür. Karbon kaplı fren disk testlerinde en yüksek sürtünme katsayısı bu test parametrelerinde gerçekleşmiştir.

**500 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 45,43 derece ile başlanmıştır Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 102.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,43  $\mu$  iken sıcaklık 156°Cye ulaşılmıştır. 102.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**600 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 47,47 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 135.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,43 $\mu$  iken sıcaklık 153°Cye ulaşmıştır.135.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**600 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 45,79 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 156.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,42  $\mu$  iken sıcaklık 172°Cye ulaşmıştır. 156.cı saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**6. 7. Seramik-Karbon Kaplı Diskin Frenleme Performansı**

Belirlenen performans kriterlerine göre yapılan testlerin sonuçlarına dayanarak markalanan 4 no'lu Seramik-Karbon kaplı diske ait deneme sonuçları aşağıdaki gibidir.



### 6. 7. 1. Dinamometre Kontrol Etkinliği

Toplam 8 frenlemeden meydana gelen Seramik-Karbon test speklerinde; 300 devir 5 bar basınç ve 1 dakika da yapılan frenleme de sürtünme katsayısı 0,49  $\mu$  seviyesinde, aynı devir de 10 bar basınç ve 2 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,50  $\mu$  ölçülmüştür. 400 devir 5 bar 1 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,49  $\mu$ , aynı devir de 10 bar 2 dakikalık frenleme de ise 0,51 $\mu$  ölçülmüştür. 500 devir 5 bar 1 dakikalık frenleme de sürtünme katsayısı 0,52  $\mu$  ile Seramik-Karbon kaplı diskin en yüksek sürtünme katsayısı değerine bu parametrede ulaşılmıştır, aynı devir 10 bar 2 dakikalık frenleme de 0,49  $\mu$  ölçülmüştür. 600 devir 5 bar 1 dakikalık frenleme de 0,48  $\mu$ , aynı devir 10 bar 2 dakikalık frenleme de ise 0,47  $\mu$  ölçülmüştür.

### 6. 7. 2. Alıştırma Süreci

Bu süreçte Seramik-Karbon kaplı fren diskine uygulanan değerler kapsamında, her bir değer için alıştırma zamanı oluşmuştur. İstenen verilerin testleri alıştırma zamanından sonra başlamış ve kayıt edilmiştir.

- 300 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 24.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 42,4 derece ye ulaşmıştır.
- 300 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 32.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 51,92 derece ye ulaşmıştır.
- 400 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 23.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 61,18 derece ye ulaşmıştır.
- 400 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 135.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 67,42 derece ye ulaşmıştır.
- 500 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 23.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 68,79 derece ye ulaşmıştır.
- 500 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 31.ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 102,01 derece ye ulaşmıştır.
- 600 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 24.cü saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 81,58 derece ye ulaşmıştır.
- 600 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde alıştırma zamanı 32. ci saniye de tamamlanmış ve sıcaklık 63,12 derece ye ulaşmıştır.

### 6. 7. 3. Sıcaklıkla Fren Zayıflaması Süreci

Belirlenen periyotlarda yapılan, 8 frenleme döngüsünden oluşan sıcaklıkla birlikte fren zayıflaması Seramik-Karbon kaplı diskte şu şekilde gerçekleşmiştir;

**300 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 34,20 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerinde düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 133.cü saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,49  $\mu$ , iken sıcaklık 142°Cye ulaşmıştır. 133.cü saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**300 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 40,62 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerinde düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 137.ci saniyesine kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,50  $\mu$  iken sıcaklık 151°Cye ulaşmıştır. 137.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**400 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 48,61 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 106.cı saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,49  $\mu$  iken sıcaklık 160°Cye ulaşmıştır. 106.cı saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**400 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 45,07 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 139.cu saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,51  $\mu$  iken sıcaklık 162°Cye ulaşmıştır. 139.cu saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**500 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 46,35 derece ile başlamıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 117.ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,52  $\mu$  iken sıcaklık 169°Cye ulaşmıştır. 117.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**500 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 55,86 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 161. ci saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,49  $\mu$  iken sıcaklık 175°Cye ulaşmıştır. 161.ci saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

**600 devir 5 bar 1 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 46,17 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 114.cü saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,48  $\mu$  iken sıcaklık 180°Cye ulaşmıştır. 114.cü saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısının da azalma görülmüştür.

**600 devir 10 bar 2 dakika frenlemesinde;**

Teste disk sıcaklığı 46,10 derece ile başlanmıştır. Basınç uygulanmaya başlandığı andan itibaren sıcaklık değerlerin de düzgün bir şekilde test sonuna kadar düzenli bir artış gözlenmiştir. Test in 124.cü saniyesi ne kadar sürtünme katsayısı ile sıcaklık paralel artış göstermiş ve sürtünme katsayısı 0,47  $\mu$  iken sıcaklık 190°Cye ulaşmıştır. 124.cü saniyeden sonra sıcaklık artarken sürtünme katsayısında azalma görülmüştür.

## 7. Sonuçlar ve Öneriler

Yapmış olduğumuz bu çalışmada disklerin sürtünme katsayısı ve sıcaklık davranışını iyileştirerek frenleme performansını artırmak için 4 adet standart GG26 Gri dökme demir den yapılmış, binek otomobil fren diskinden bir tanesi orijinal halinde, diğer 3 tanesi ise 3 farklı yüzey kaplama malzemesi ile kaplanarak ayrı ayrı testleri yapılmıştır. Testler yapılırken tüm disklerde aynı malzemelerden yapılmış balatalar kullanılmış ve de aynı speklere sahip testler yapılmıştır. Bu disklerden ilkinde, Seramik tozu ( $Al_2O_3-TiO_2$ , Alümina-titanya) plazma püskürtme kaplama yöntemi ile, ikincisi ne Karbon kaplama ( $CCL_4-MoS_2$ , Karbon Tetra Klorür-Molibden Disülfür) ısıl işlem ve spreyle püskürtme yöntemiyle, Seramik-Karbon kaplama ( $CCL_4-MoS_2$ , Karbon Tetra Klorür-Molibden Disülfür,  $Al_2O_3-TiO_2$ , Alümina-titanya) ısıl işlem ve spreyle püskürtme yöntemiyle kaplamalar yapılmıştır. Alınan sonuçlara dayalı olarak performans değerleri aşağıdaki Tablo 5.19 'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 5.19. Disklerin Testler Sonucunda Oluşan Performans Değerleri

| Testte Kullanılan Disklerin Özellikleri           | Orijinal Disk | Seramik Kaplı Disk | Karbon Kaplı Disk | Seramik-Karbon Kaplı Disk |
|---|---------------|--------------------|-------------------|---------------------------|
| Disk Test Öncesi Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)           | 4,53          | 6,54               | 3,03              | 3,66                      |
| Disk Test Sonrası Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)          | 4,05          | 4,09               | 1,51              | 3,37                      |
| Balatanın Test Öncesi Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)      | 2,38          | 4,84               | 4,62              | 8,30                      |
| Balatanın Test Sonrası Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)     | 1,19          | 2,50               | 3,37              | 3,93                      |
| Disk Test Öncesi Sertliği (HRB)                   | 82            | 88                 | 78                | 78                        |
| Disk Test Sonrası Sertliği (HRB)                  | 88            | 96                 | 86                | 84                        |
| Disk Test Öncesi Ağırlıkları (mm)                 | 2758          | 2822               | 2770              | 2762                      |
| Disk Test Sonrası Ağırlıkları (mm)                | 2755          | 2820               | 2767              | 2760                      |
| Balataların Test Öncesi Ağırlıkları (gr)          | 7,86          | 7,62               | 7,35              | 7,30                      |
| Balataların Test Sonrası Ağırlıkları (gr)         | 7,67          | 7,26               | 7,30              | 6,93                      |
| Disk Test Öncesi Et Kalınlıkları (mm)             | 10,27         | 10,92              | 10,34             | 10,30                     |
| Disk Test Sonrası Et Kalınlıkları (mm)            | 10,26         | 10,90              | 10,25             | 10,24                     |
| Disk Test Öncesi Salgıları (mm)                   | 0-0,05        | 0-0,06             | 0-0,06            | 0-0,06                    |
| Disk Test Sonrası Salgıları (mm)                  | 0-0,05        | 0-0,06             | 0-0,06            | 0-0,06                    |
| Diskte Oluşan En Yüksek Sıcaklık (°C)             | 165           | 185                | 172               | 190                       |
| Disklerdeki Ortalama Sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) | 0,47          | 0,54               | 0,43              | 0,49                      |

SAE J2430-“Binek Otomobilleri ve kamyonet frenleri için dinamometre etkinlik karakterizasyon testi-Fren değerlendirme prosedürü” disk/kampana-balataların; farklı hız, sıcaklık, basınç gibi değişik çalışma şartları altındaki frenleme performanslarını dinamometrede belirlemek için geliştirilmiştir [64].

Frenleme performans testleri SAE J2430 standardı kriterlerine uyularak her bir disk için 8 parametre döngüsü içinde toplam 4 disk için 32 döngüde ortalama 60 saat sürede frenleme ile test cihazında, dinamometre de testler tamamlanmıştır. Belirlenen speklede devir, basınç ve süreler göre meydana gelen sürtünme katsayısı, kuvvet ve sıcaklık değerlerine ait grafikler standart kriterlerine göre dizayn edilmiş PLC programıyla yapılmıştır.

Disklerin performans özelliklerini tam anlamıyla belirleyebilmek için testlere başlamadan öncesi ve sonrasında bir takım ölçümler ve deneyler yapılmıştır. Deneylerde mikro yapı görüntüleri, balata ve diskler deki ağırlık, Et kalınlığı, yüzey pürüzlülük miktarları, yüzey sertlik değerleri, yanal salgı durumları, frenleme testlerinde oluşan sıcaklık ve sürtünme katsayısı değerleri belirlenmiş ve Tablo 5.19'da işlenmiştir.

### 7. 1. Sonuçlar

- Tüm kaplamalarda, test sonralarında herhangi bir kopma ya da diskten ayrılma yaşanmamıştır. Uygulama olarak 3 kaplama da kaplama anlamında başarılı olmuştur.
- Kaplamaların gri dökme demir üzerine uyumluluğu iyi gözlenmiş ve mikro yapılarında herhangi bir ayrılma mikroskop görüntülerinde görülmemiştir.
- Test öncesi ve sonrasında yapılan ölçümlere göre Orijinal diskin yüzey pürüzlülüğü 0,48 Ra kadar iyileşmiş. Seramik kaplı disk 2,45 Ra iyileşmiş, Karbon kaplı disk 1,52 Ra iyileşmiş, Seramik-Karbon kaplı disk ise 0,29 Ra iyileşmiş.
- Testler sonucunda yüzey pürüzlülüğü en fazla Seramik kaplı diskte, pürüzsüz hala gelmiştir.
- Orijinal diskin test öncesi sertliği 82 HRB, sonrası ise 88 HRB ye çıkmış toplamda 6 HRB daha sertleşmiştir,
- Seramik kaplanmış diskin test öncesi sertliği 88 HRB, sonrası ise 96 HRB seviyesine çıkmış toplamda 8 HRB daha sertleşmiştir,
- Karbon kaplanmış diskin test öncesi sertliği 78 HRB, sonrası ise 86 HRB seviyesine çıkmış ve toplamda 8 HRB daha sertleşmiştir,
- Seramik-Karbon kaplı diskin test öncesi sertliği 78 HRB, sonrası ise 84 HRB seviyesine çıkmış ve toplamda 6 HRB daha sertleşmiştir,

- Testler sonucunda en fazla sertlik artışı Seramik kaplı diskte ve Karbon kaplı diskte 8 HRB kadar artmıştır.
- Orijinal disk test sonrasında 3 gram ağırlık kaybına uğramıştır,
- Seramik kaplı disk test sonrasında 2 gram ağırlık kaybına uğramıştır,
- Karbon kaplı disk test sonrasında 3 gram ağırlık kaybına uğramıştır,
- Seramik-Karbon kaplı disk ise 2 gram ağırlık kaybına uğramıştır,
- Orijinal disk ile Karbon kaplı disk aynı ağırlık kaybı yaşarken, Seramik kaplı disk ile Seramik-Karbon kaplı disk aynı ağırlık kaybına uğramıştır.
- Orijinal diskte kullanılan balata 0,19 gram ağırlık kaybına uğramıştır,
- Seramik kaplı diskte kullanılan balata 0,36 gram ağırlık kaybına uğramıştır,
- Karbon kaplı diskte kullanılan balata 0,05 gram ağırlık kaybına uğramıştır,
- Seramik-Karbon kaplı diskte kullanılan balata 0,37 gram ağırlık kaybına uğramıştır,
- Disklerde kullanılan balatalardan en fazla ağırlık kaybı yaşayan balata Seramik-Karbon kaplı diskin balatası olmuş ve 0,37 gram kaybı yaşamıştır.
- Orijinal disk test sonrasında 0,01 mm et kalınlığından kaybetmiştir,
- Seramik kaplı disk test sonrasında 0,02 mm et kalınlığından kaybetmiştir,
- Karbon kaplı disk test sonrasında 0,09 mm et kalınlığından kaybetmiştir,
- Seramik-Karbon kaplı disk ise 0,06 mm et kalınlığından kaybetmiştir,
- Test sonucunda disklerden et kalınlığından en fazla kaybeden disk 0,09 mm ile Karbon kaplı disk olmuştur.
- Disklerin test öncesi ve sonrasındaki salınım miktarları değişmemiş, yani salınım olmayan testler gerçekleştirilmiştir.
- Disklerin testler boyunca gördükleri en yüksek sıcaklık değerleri aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir.

- Orijinal diskte yapılan test parametrelerinde görmüş olduğu en yüksek sıcaklık değeri 165 °C olmuştur.
- Seramik kaplı diskte yapılan test parametrelerinde görmüş olduğu en yüksek sıcaklık değeri 185 °C olmuştur
- Karbon kaplı diskte yapılan test parametrelerinde görmüş olduğu en yüksek sıcaklık değeri 172 °C olmuştur
- Seramik-Karbon kaplı diskte yapılan test parametrelerinde görmüş olduğu en yüksek sıcaklık değeri 190 °C olmuştur
- Testler sonucunda verilere bakılarak diskler arasında sıcaklık değeri açısından Seramik-Karbon kaplı disk en yüksek sıcaklık değerine ulaşmıştır.
- Orijinal diskin 8 parametrede yapılan testler sonucunda alınan ortalama sürtünme katsayısı değeri 0,47  $\mu$  olmuştur,
- Seramik kaplı diskin 8 parametrede yapılan testler sonucunda alınan ortalama sürtünme katsayısı değeri 0,54  $\mu$  olmuştur,
- Karbon kaplı diskin 8 parametrede yapılan testler sonucunda alınan ortalama sürtünme katsayısı değeri 0,43  $\mu$  olmuştur,
- Seramik-Karbon kaplı diskin 8 parametrede yapılan testler sonucunda alınan ortalama sürtünme katsayısı değeri 0,49  $\mu$  olmuştur,
- Sonuç olarak Seramik kaplı diskin sürtünme katsayısı diskler arasında en iyi sonuca ulaşmıştır. İkinci sırada ise Seramik-Karbon kaplı diskin verileri gelmektedir.

## 7. 2. Öneriler

1. Ülkemizde malzemeler üzerine yapılan kaplamalar sınırlı olduğundan dünya da kullanılan farklı kaplama türleri araştırılabilir ve taşıt fren diskleri üzerinde denemeler yapılabilir.
2. Daha fazla sürtünme katsayısı sebep olabilecek maliyeti düşük malzemeler disk olarak kullanılabilir ve testleri yapılabilir.
3. Dünya da uygulaması yapılan ve çok başarılı olan tamamı karbon olan fren diskleri yapılabilir. Maliyet açısından pahalı olan bu disklerin daha düşük maliyet e imal edilmesi araştırılabilir.
4. Aynı kaplama malzemesini zenginleştirilerek yeni testler yapılabilir.
5. Test te kullanılan diskler farklı ortamlarda kullanılarak araştırılması yapılabilir.

6. Kaplama malzemesi olarak kullanılan Karbon ve Seramik-Karbon kaplamalar farklı ısı işlemler uygulayarak tekrar testleri yapılabilir.
7. Orijinal disk üzerinde soğutma kanalları desenleri denemesi yapılabilir.
8. Orijinal disk üzerinde sürtünme katsayısını artırıcı yüzey pürüzlülük denemeleri yapılabilir.
9. Aşındırma özelliği iyi olan Seramik-Karbon kaplı disk farklı bir balata ile testleri yapıp sürtünme katsayısını artırılabilir.





**KAYNAKÇA**

- [1] SAE J2522, (2002). Dynamometer Global Brake Effectiveness, SAE International, Warrendale, USA.
- [2] <http://www.obitet.gazi.edu.tr>
- [3] <http://docplayer.biz.tr/5757495-Otomotiv-fren-sistemleri.html>
- [4] [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Fren%20Sistemleri.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Fren%20Sistemleri.pdf)
- [5] <https://www.easternmarine.com/tech-info/how-air-brakes-work>
- [6] <http://kisi.deu.edu.tr//mustafa.karaoglan/Sunu%2014%20Fren%20Sistemleri.pdf>
- [7] Reinsch, E. W. (1970). Sintered Metal Brake Linings For Automotive Applications. *Elco Moraine Division, General Motors Corp Dayton*, 2: 9-21, Ohio.
- [8] Çelik, E. , Avcı, E. , Yılmaz, F. (1997). Evaluation Of Interface Reactions In Thermal Barrier Ceramic Coating. *Surface And Coating Tecnology*, 97: 361-365
- [9] Lee, K. (1999). Numerical Prediction Of Brake Fluid Temperature Rise During Braking And Heat Soaking, *SAE Technical Paper Series*, 1999-01-0483,
- [10] Mutlu, İ. (2002). *Seramik Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi ve Frenleme Karakteristiğinin Deneysel İncelenmesi*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi,, Sakarya
- [11] Mutlu, İ. , Çevik,İ. , Öner, C. ( 2002). Borik Asit Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, *3 nd International Powder Metallurgy Conference September 4-8, Turkish Powder Metallurgy Association*, 1307-1314, Gazi Üniversitesi, Ankara
- [12] Gemalmayan, N. (1984). *Sürtünme Malzemelerinin Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi*, Doktora Tezi Gazi Üniversitesi, , Ankara
- [13] Stachowiak, G. W. , Batchelor, A. W. (2000). *Engineering Tribology* (2nd ed. ), Publisher Butterworth Heinemann, 769: 430-440
- [14] Anderson, A. E. (1992). Friction And Wear Of Automotive Brakes, in: *ASM Handbook: Friction, Lubrication, and Wear Technology*, ASM International, Materials Park, OH, 18: 569-577.
- [15] Ocelík, V. Oliveira, U. , Boer M. , Hosson, J. Th. M. (2007). *Thick Co - Based Coating On Cast Iron By Side Laser Cladding: Analysis Of Processing Conditions And Coating Properties*. *Surface And Coating Tecnology*, 201: 5875-5883
- [16] Qu, J. Blau, P. J. Jolly, B. C. (2009). *Oxygen-Diffused Titanium As A Candidate Brake Rotor Material*. *Wear*, 267: 818-822
- [17] Blau P. J. Jolly, B. C. Qu, J. Peter, W. H. Blue, C. A. (2007). *Tribological Investigation Of Titanium-Based Materials For Brakes*. *Wear*, 263: 1202-1211
- [18] Lee, K. (1999). Numerical Prediction Of Brake Fluid Temperature Rise During Braking And Heat Soaking, *SAE Technical Paper Series*, 1999-01-0483
- [19] Yamabe, J. Takagi, M. Matsui, T. (2003). Development Of Disc Brake Rotors For Heavyand Medium-Duty Trucks With High Thermal Fatigue Strength. *Technical Review*, 15: 42-51.

- [20] Pandya, S. N. S. K. Nath, S. K. Chaudhari, G. P. (2009). Friction And Wear Characteristics Of TIG Processed Surface Modified Grey Cast Iron, *Journal of Scientific Research*, 3: 516-527.
- [21] Leslie, A. (2004). Mathematical Model Of Brake Caliper To Determine Brake Torque Variation Associated With Disc Thickness Variation (DTV) Input, *SAE-Paper*, 2004-01-2777,
- [22] Jacobsson, H. (2003). Disc Brake Judder Considering Instantaneous Disc Thickness And Spatial Friction Variatio, *Proceedings Of The I MECH E Part D Journal Of Automobile Engineering*, 217, 5, 325-342,
- [23] Jimbo, Y. (1990). Mibe, T. , Akiyama, K. , Development Of High Thermal Conductivity Cast Iron For Brake Disc Rotors, ABS Traction Control and Brake Components, *SAE Paper*, 900002,
- [24] Ellis, K. (1998). The Effect Of Cast Iron Disc Brake Metallurgy On Friction And Wear Characteristic, *The 2nd International Seminar on Automotive Braking Recent Developments and Future Trends*, Britol, UK,
- [25] Yamabea, J. , Takagia, M. , Matsuia, T. , Kimurab, T. , Sasakib, M. (2002). Development Of Disc Brake Rotors For Trucks With High Thermal Fatigue Strength, *JSAE Review*, 23, 1, 105-112.
- [26] Cueva, G. , Sinatora, A. , Guesser, W. L. , Tschiptschin, A. P. (2003). Wear Resistance Of Cast Irons Used In Brake Disc Rotors, *Wear*, 255, 1256–1260.
- [27] Seong, K. R. , Michael, G. J. ve Peter, H. S. T. (1990). The Role Of Friction Film In Friction, Wear, And Noise Of Automotive Brakes, ABS Traction Control and Brake Components, *SAE*: 900004.
- [28] Jang, H. , Koa, K. , Kima, S. J. , Basch, R. H. ve Fash, J. W. , (2004). The Effect Of Metal Fibers On The Friction Performance Of Automotive Brake Friction Materials, *Wear*, 256, 406-414.
- [29] Lee, K. , Barber, J. R. (1994). An Experimental Investigation Of Frictionally Excited Thermoelastic Instability In Automotive Disk Brakes Under A Drag Brake Application, *Journal of Tribology*, 116, 3, 409–414
- [30] Thuresson, D. (2004). Influence Of Material Properties On Sliding Contact Braking Applications, *Wear*, 257, 451-460.
- [31] Bijwe, J. , Nidhi. , Majumdarb, N. , Satapathy, B. K. (2005). Influence Of Modified Phenolic Resins On The Fade And Recovery Behavior Of Friction Materials, *Wear*, 259, 1068–1078.
- [32] Dmitriev, A. I. , Yu Smolin, A. ,Psakhie, S. G., Österle, W. , Kloss, H. ve Popov, V. L. (2008) Computer Modelling Of Local Tribological Contact By The Example Of The Automotive Brake Friction Pair, *Physical Mesomechanics*, 11, 1-2, 73-84,
- [33] Roubicek, V. , Raclavska, H. , Juchelkova, D. ve Filip, P. (2008). Wear And Environmental Aspects Of Composite Materials For Automotive Braking Industry, *Wear*, 265, 167–175,
- [34] Jang, Y. H. , Ahn, S. (2007) Frictionally-Excited Thermoelastic Instability In Functionally Graded Material, *Wear*, 262, 1102–1112,
- [35] Blau P. J. , Jolly, B. C. , Qu, J. , Peter, W. H. , Blue, C. A. (2007). Tribological Investigation Of Titanium-Based Materials For Brakes, *Wear*, 263, 1202–1211,

- [36] Pandya, S. N. S. K. Nath, S. K. Chaudhari, G. P. (2009). Friction And Wear Characteristics Of TIG Processed Surface Modified Grey Cast Iron, *Journal of Scientific Research*, 3: 516-527.
- [37] Yamabe, J. Takagi, M. Matsui, T. (2003). Development Of Disc Brake Rotors For Heavyand Medium-Duty Trucks With High Thermal Fatigue Strength. *Technical Review*, 15: 42-51.
- [38] Cueva, G. Sinatora, A. Guessier, W. L. Tschiptschin, A. P. (2003). Wear Resistance Of Cast Irons Used İn Brake Disc Rotors. *Wear*, 255:1256-1260
- [39] Natarajan, N. Vijayarangan, S. Rajendran, I. (2006). Wear Behavior Of A356/25sıcp Aluminum Matrix Composites Sliding Against Automobile Friction Material, *Wear*.
- [40] Gültekin, D. (2007). *Metal Matrisli Kompozit Fren Diski Üretimi ve Karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [41] Gediktaş, M. (1968). *Sürtünme Malzemelerinin Deneysel Tayini*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- [42] Mingxi, L., Yizhu, H, Xiaomin, Y. (2005). Effect Of Nano-Y2O3 On Microstructure Of Laser Cladding Cobalt-Based Alloy Coatings, *Applied Surface Science*, 252, 8, 2882-2887.
- [43] [http://www.henkel-adhesives.co.uk/813\\_UKE\\_HTML.htm?nodeid=8797572038798](http://www.henkel-adhesives.co.uk/813_UKE_HTML.htm?nodeid=8797572038798)
- [44] [http://www.henkel-adhesives.co.uk/813\\_UKE\\_HTML.htm?nodeid=879757203879](http://www.henkel-adhesives.co.uk/813_UKE_HTML.htm?nodeid=879757203879)
- [45] Erol, M. (2007-2008). *Seramik Malzemeler*, Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Ders Notları.
- [46] Chagnon, P. , Fauchaus, P. (1984). Thermal Spraying Of Ceramics, *Ceramics International*, 10, 4, 110-131.
- [47] <http://www.plazmatekniksertmetal.com/seramik-kaplama/>
- [48] Robert C. Tucker, Jr. , ASM Handbook, Volume 5: Surface Engineering C. M. Cotell, J. A. Sprague, and F. A. Smidt, Jr. , editors,( p 497-509), Termal Spray Coatings, , Praxair Surface Technologies, Inc
- [49] Wang, Y. , Jiang, S. , Wang, M. , Wang, S. , Xiao, T. D. , Strutt, P. R. (2000). Abrasive Wear Characteristic Of Plasma Sprayed Nanostructured Alumina/Titania Coatings, *Wear*, 237, 176–185.
- [50] Özkan, A. , Baba, F. , Ayan, S. (2006). Seramiklerin Makine Elemanları ve Mekanizmaları Üzerine Uygulanabilirliği ve İmalat Yöntemlerinin İrdelenmesi.
- [51] Aydınli, N. (2008). *Plazma Sprey Kaplamada Olivin Değerlendirilmesi ve Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [52] Halamoğlu, T. (2003). Metal Püskürtme Yöntemiyle Aşınmaya Dayanıklı Kaplamalar, *Yüzey İşlemler Dergisi*, 154-159.
- [53] Sarıtaş, S. , Toz Metalurjisi, *Makine Mühendisliği El Kitabı*, 2. Basım, Cilt. 1, 2/64-82, (1994).
- [54] Hidalgo, V. H. , Varela, F. J. B. , Menendez, A. C. ve Martinez, S. P. (2001). A Comparative Study Of High-Temperature Erosion Wear Of Plasma Sprayed NiCrBSi And WC-NiCrBSi Coatings Under Simulated Coal-Fired Boiler Conditions, *Tribology International*, 34, 161-169.

- [55] Smith, R. W. , Fast, R. D. (1994). The Future Of Thermal Spray, *Welding Journal*, 7, 3 (8), 43-50.
- [56] Villat, M. (1986). Functionally Effective Coatings Using Plasma Spraying, *Sulzer Technical Review*, 3, 41-45,
- [57] Houck, D. L. (1987). Thermal Spray: Advances In Catings Technology, *1st National Thermal Spray Conference*, 14-17 September, Orlando (FL), ASM International, 367.
- [58] Halderman, J. D. (2000). *Automotive Brake Systems*, Second Edition, Prentice-Hall,
- [59] Anonim, (2002). How To Read And Understand The Aftermarket Standard SAE J2430/Brake Effectiveness Evaluation Procedure Test Report, *Link Testing Laboratories B. E. E. P. Task Force*,
- [60] [www.troy-met.com](http://www.troy-met.com)
- [61] Chagnon, P. , Fauchaus, P. (1984). Thermal Spraying Of Ceramics, *Ceramics International*, 10, 4, 110-131.
- [62] Yun, R. , Filip, P. , Lu, Y. (2010). Performance and evaluation of eco-friendly brake friction materials. *Tribology International*, 43: 2010-2019.
- [63] Lee, P. , W. , Filip, P. (2013). Friction and wear of Cu-free and Sb-free environmental friendly automotive brake materials. *Wear*, 302: 1404-1413.
- [64] SAE J2430, (1999). Dynamometer Effectiveness Characterization Test for Passenger Car and Light Truck Brake Friction Products, SAE International, Warrendale, USA

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** : Hasan Hüseyin ÇOCALAK

**Doğum Tarihi** : 29. 05. 1980

**E-mail** : hcocalak@hotmail.com. tr

**Öğrenim Durumu** : Lisans

| Derece        | Bölüm/Program               | Üniversite           | Yıl          |
|---------------|-----------------------------|----------------------|--------------|
| Önlisans      | Makine                      | Akdeniz Üniversitesi | 1999-2002    |
| Lisans        | Talaşlı Üretim Öğretmenliği | Fırat Üniversitesi   | 2002-2005    |
| Lisans        | Makina Mühendisliği         | İnönü Üniversitesi   | Devam Ediyor |
| Yüksek Lisans | İmalat Mühendisliği         | Mersin Üniversitesi  | 2016-2019    |

**Görevler** :

| Görev Yeri          | Unvanı                          | Yıl                |
|---------------------|---------------------------------|--------------------|
| Anadolu Cam Sanayii | İşletme Bakım Onarım Teknisyeni | 2006-2017          |
| Baştürk Cam Sanayii | İşletme Bakım Şefi              | 2017- Devam Ediyor |

**ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)**