

**FREN DİSKLERİNİN HVOF YÖNTEMİ İLE  
KAPLANMASI VE TAŞITLARDA FREN  
PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Salih KARANFİL

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KASIM 2017

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FREN DİSKLERİNİN HVOF YÖNTEMİ İLE KAPLANMASI VE  
TAŞITLARDA FREN PERFORMANSINA ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Salih KARANFİL**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KASIM 2017**

## TEZ ONAY SAYFASI

Salih KARANFİL tarafından hazırlanan "FREN DİSKLERİNİN HVOF YÖNTEMİ İLE KAPLANMASI VE TAŞITLARDA FREN PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 07/11/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN  
AKÜ, Teknoloji Fakültesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet KESKİN  
AİBÜ, Bolu Meslek Yüksek Okulu

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA  
AKÜ, Teknoloji Fakültesi

İmza



Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına 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 ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

07/11/2017



İmza

Salih KARANFİL

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### FREN DİSKLERİNİN HVOF YÖNTEMİ İLE KAPLANMASI VE TAŞITLARDA FREN PERFORMANSINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Salih KARANFİL

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA

Bu çalışmada; binek araçlarda kullanılan fren diskleri üzerine çalışılmıştır. Bu disklerin frenleme sırasındaki davranışları, kaplamalı ve kaplamasız yüzeylerin frenleme sürecindeki aşınma performansları değerlendirilmiştir. Ticari olarak üretilen disklerin yüzeyine HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) kaplama yöntemi ile CoNiCrAlY seramik tozu, WC-Co (88/12) seramik tozu, NiCrBSi seramik tozu ve MoNiCrBSiFe (Mo%25) seramik tozu ile yüzeyleri kaplatılmıştır. Kaplama işlemi 1 mm kalınlıkta Plazma Teknik Sert Metal ve Seramik Kaplama A.Ş tarafından yapılmıştır. Kaplamalı ve kaplamasız disklerin aşındırma işlemleri Otomotiv Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Laboratuvarında bulunan fren test cihazında 15 saniye zaman aralığı ile 20 kez tekrarlı yapılan test sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır.

Yapılan fren testinde, disklerin yüzey pürüzlülükleri, ağırlıkları, sıcaklıkları ve deney esnasında disklere uygulanan fren kuvvetlerine bağlı olarak disk yüzeylerinde meydana gelen aşınma değerleri belirlenmiştir. Disklerde en çok aşınma 0,4 gr ile CoNiCrAlY seramik tozu ile kaplanmış diskte olurken, en az aşınma 0,2 gr ile NiCrBSi seramik tozu ile kaplanmış diskte meydana gelmiştir. Fren testleri bittikten sonra deneyde kullanılan disklerden CNC tezgâhı ile işleme yapılarak numuneler kesilmiş ve SEM (Scanning Electron Microscope) mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Numunelerin mikro yapıları

incelendiğinde, kullanılan seramik tozların fren diski ile iyi bir seviyede bağ oluşturduğu gözlemlenmiştir. Mikro yapı çalışmalarından sonra numunelerin her birinin termal (ısı) iletkenlik katsayıları belirlenmiştir. Kaplanmış disklerin kaplama kalınlığının sertlik değerleri mikro sertlik yöntemi ile ölçülerek karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan disklerin korozyon davranışları araştırılarak deney sonuçları tartışılmıştır.

**2017, xiv + 89 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Otomotiv fren diskleri, SEM (Scanning Electron Microscope) mikro yapı görüntüleri, Mikro sertlik deneyleri ve Korozyon analizleri

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **STUDY OF BRAKE DISKLETS BY HVOF METHOD AND INVESTIGATION ON BRAKE PERFORMANCE IN VEHICLES**

Salih KARANFİL

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

**Supervisor:** Asst. Prof. Mehmet ÇAKMAKKAYA

In this study; it has been worked on brake discs used in passenger cars. The behavior of these discs in the braking order, the wear performance of the braking process of the coated and uncoated surfaces was evaluated. CoNiCrAlY ceramics powder, WC-Co (88/12) ceramic powder, NiCrBSi ceramic powder and MoNiCrBSiFe(Mo% 25) ceramic powder were coated on the surfaces of commercially produced discs with HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) coating method. Coating process was made by 1 mm thickness Plasma Technical Hard Metal and Ceramic Coating C.O. The abrasion process of the coated and uncoated discs was evaluated according to the test results which were repeated 20 times with a time interval of 15 seconds in the brake test device in Automotive Engineering Application and Research Laboratory.

In the brake test made, the surface roughnesses of the discs, the weights, the temperatures and the wear values on the disc surfaces were determined depending on the brake forces applied to the discs during the test. The highest wear on the discs was found in the CoNiCrAlY ceramic dust coated disc with 0.4 grams, while the minimum wear was found to be on the disc coated with NiCrBSi ceramic dust with a minimum of 0.2 grams. After the brake tests were finished, samples were cut from the disks used in the experiment by CNC machine and SEM (Scanning Electron Microscope) microstructure images were taken. When the microstructures of the samples were

examined, it was observed that the ceramic powders used formed a good bond with the brake disc.

After the microstructure studies, the thermal conductivities of each of the samples were determined. Hardness values of coating thickness of coated discs were compared by micro hardness method. Corrosion behaviors of the discs used in the study were investigated and the experimental results were discussed.

**2017, xiv + 89 pages**

**Keywords:** Automotive brake discs, SEM (Microscope Scanning) microstructure displays, Micro hardness tests and Corrosion analyzes



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamın her aşamasında öneri ve eleştirileriyle bana yol gösteren, maddi ve manevi her türlü olanağı sunarak çalışmalarımın tamamlanmasını sağlayan saygı değer hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA'ya çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmamda, fren test cihazının kullanılmasına izin veren ve yardımlarını esirgemeyen bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN'e teşekkür ederim.

Tezimin yürütülmesi ve deneysel çalışmalarımın gerçekleştirilmesi aşamasında vermiş olduğu destekle yanımda olan, Araş. Gör. Faruk Emre AYSAL'a ve tüm bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımın yürütülmesine destek veren Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi hocalarından Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU' ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans süresi boyunca çalıştığım şirkette izin alma konusunda hiçbir sorun çıkarmayan başta iyi niyetli patronlarım ve ESKASAN A.Ş bünyesindeki tüm arkadaşlarıma ve yine bu süreç boyunca, yeni işyerimdeki patronlarım, müdürüm ve AY DÖKÜM A.Ş bünyesinde çalışan iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez yazımı sürecinde yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşım Necati BİLGİN' e çok teşekkür ederim.

Bugünlere ulaşmamda kuşkusuz en büyük pay sahibi olan ve her konuda maddi ve manevi desteklerini bir an olsun esirgemeyen başta babam, annem, kardeşlerim ve tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Salih KARANFİL

AFYONKARAHİSAR, 2017

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	4
2.1 Literatür Araştırması.....	4
2.2 Gri Dökme Demirin Otomotivde Uygulama Alanları.....	8
2.3 Fren Sistemi.....	9
2.3.1 Sürtülmeli Frenler.....	11
2.3.2 Disk Frenler.....	11
2.4 Balatalar.....	13
2.5 Sürtünme ve Aşınma.....	14
2.6 Sürtünme Prensibi.....	15
2.6.1 Aşınma.....	17
2.6.2 Fren Sistemlerinde Sürtünme ve Sürtünmeyi Etkileyen Faktörler.....	18
2.6.2.1 Kayma Hızının Sürtünmeye Etkisi.....	18
2.6.2.2 Basıncın Sürtünmeye Etkisi.....	18
2.6.2.3 Sıcaklığın Sürtünmeye Etkisi.....	19
2.6.2.4 Balata Yapısının Sürtünmeye Etkisi.....	19
2.6.2.5 Disk Yapısının Sürtünmeye Etkisi.....	19
2.6.2.6 Frenleme Süre ve Sayısının Sürtünmeye Etkisi.....	20
2.6.2.7 Temas Alanının Sürtünmeye Etkisi.....	20
2.6.2.8 Disk Yüzeylerinde Oluşturulan Kaplama Çeşitleri ve Sürtünmeye Etkisi.....	21
2.7 Yüzey Kaplama Yöntemleri.....	22
2.7.1 Elektrik Ark Sprey Kaplama.....	23
2.7.2 Plazma Sprey.....	23
2.7.3 Alev Sprey.....	24

2.7.4 Detonasyon Tabancası .....	25
2.7.5 HVOF (Yüksek Hızda Oksi Yakıt Püskürtme) .....	25
3. MATERYAL ve METOT .....	28
3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler .....	29
3.1.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Disklerin Özellikleri .....	29
3.1.2 Kaplama Tozlarının Seçimi .....	31
3.1.3 Neden HVOF .....	32
3.1.4 Fren Test Standartları ve Frenleme Performansı Değerlendirme Prosedürü .	33
3.2 Mikroyapı Çalışmaları .....	34
3.3 Sertlik Testleri .....	34
3.4 Isıl İletkenlik Katsayısı Belirlenme Testleri .....	35
3.5 Çalışmada Kullanılan Makine ve Cihazlar .....	36
3.5.1 Fren Test Cihazı ve Özellikleri .....	36
3.5.2 Hassas Terazı .....	37
3.5.3 Mikrometre ve Kumpas .....	38
3.5.4 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı .....	38
3.5.5 Şerit Testere Makinesi .....	39
3.5.6 Numune Kesme Cihazı .....	39
3.5.7 Metalografik Kalıplama Cihazı .....	40
3.5.8 Mikro Sertlik Ölçüm Cihazı .....	40
3.5.9 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) .....	41
3.5.10 Isıl İletkenlik Test Cihazı .....	42
3.5.11 Korozyon Analizi Cihazı .....	43
4. BULGULAR .....	44
4.1 Fren Disklerinin Aşınma Sonuçları ve Değerlendirmeleri .....	44
4.2 Fren Disklerinden Test Aşamasında Alınan Ölçümler ve Değerlendirmeleri .....	44
4.2.1 Orijinal ve Kaplanmış Disklerin Yüzey Pürüzlülüğü .....	45
4.2.2 Orijinal ve Kaplanmış Disklerin Mikro Sertlik Değerleri .....	47
4.2.3 Orijinal ve Kaplanmış Disklerin Aşınma Değerleri .....	50
4.2.4 Disklerin Frenleme Performansı .....	52
4.3 Mikroyapı Çalışmaları .....	54
4.3.1 SEM Görüntüleri ve Yorumlanması .....	54
4.3.1.1 Orijinal Diskin SEM Görüntüleri ve Elemental Analizi .....	55
4.3.1.2 NiCrBSi Kaplamalı Diskin SEM Görüntüleri ve Elemental Analizi .....	59
4.3.1.3 CoNiCrAlY Kaplamalı Diskin SEM Görüntüleri ve Elemental Analizi .....	62

4.3.1.4 WC-Co (88/12) Kaplamalı Diskin SEM Görüntüleri ve Elemental Analizi .....	66
4.3.1.5 MoNiCrBSiFe (Mo %25) Kaplamalı Diskin SEM Görüntüleri ve Elemental Analizi .....	70
4.4 Disklerin Isıl İletkenlik Değerlerinin Ölçülmesi.....	74
4.5 Korozyon Analizi.....	76
4.5.1 Orijinal Numunenin Korozyon Analizi.....	78
4.5.2 WC-Co (88/12) Kaplamalı Numunenin Korozyon Analizi .....	79
4.5.3 MoNiCrBSiFe (Mo %25) Kaplamalı Numunenin Korozyon Analizi .....	80
4.5.4 NiCrBSi Kaplamalı Numunenin Korozyon Analizi .....	81
4.5.5 CoNiCrAlY Kaplamalı Numunenin Korozyon Analizi .....	82
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	84
6. KAYNAKLAR .....	86
ÖZGEÇMİŞ .....	89

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

Al	Alüminyum
B	Bor
C	Karbon
Co	Kobalt
Cl	Klor
Cr	Krom
Fe	Demir
Mo	Molibden
Na	Sodyum
Ni	Nikel
Si	Silisyum
Y	İtriyum
W	Volfram
N	Newton

### Kısaltmalar

---

$\mu$ A	Mikroamper
mV	Mili volt
mpy	Korozyon hızı
R <sub>p</sub>	Polarizasyon direnci
i <sub>corr.</sub>	Korozyon akımı
E <sub>corr.</sub>	Korozyon potansiyeli
cps/eV	eV başına alınan veri
keV	Kilo elektron volt
K	Termal (1s1) iletkenlik katsayısı
HV	Mikro sertlik (vickers)
R <sub>a</sub>	Yüzey pürüzlülük değeri
AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
°C	Celcius
DIN	Alman standartları enstitüsü
HVOF	Yüksek hızda oksijen yakıt püskürtme
g	Gram
kg	Kilogram
MPa	Mega paskal
XRD	X ışınları difraksiyonu
TEI	Termo elastik kararsızlık
BTV	Sürtünme karakteristiklerinin seviyesi
OEM	Orijinal disk

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Gri dökme demirlerin ferrit ve perlit mikro yapıları. ....	9
Şekil 2.2 Disk fren ve balata mekanizması. ....	12
Şekil 2.3 Fren balataları. ....	14
Şekil 2.4 Isı kaynaklarına göre termal sprey kaplama yöntemleri. ....	22
Şekil 2.5 Ark sprey prosesi. ....	23
Şekil 2.6 Plazma sprey kaplama prosesi. ....	24
Şekil 2.7 Tel alev sprey yöntemi. ....	24
Şekil 2.8 HVOF termal sprey yöntemi. ....	26
Şekil 3.1 Deneysel çalışmalarda uygulanan işlem sırası. ....	28
Şekil 3.2 Çalışmalarda kullanılan fren diskinin teknik resmi ve ölçüleri. ....	30
Şekil 3.3 Fren sistemi test cihazı şematik görüntüsü. ....	37
Şekil 4.1 Disklerde yüzey pürüzlülük değişim grafiği. ....	47
Şekil 4.2 Bakalite alınan numuneler. ....	47
Şekil 4.3 Sürtünme esnasında balataların fren diskleri yüzeyinde oluşturduğu görüntüler. ....	49
Şekil 4.4 Disklerdeki yüzey pürüzlülük farkları grafiği. ....	50
Şekil 4.5 Sürtünme öncesi ve sonrası ağırlık kaybı değişim grafiği. ....	51
Şekil 4.6 Disklerdeki test öncesi ve sonrası sıcaklık değişim miktarları. ....	53
Şekil 4.7 Disklere uygulana maksimum frenleme performansı değerleri grafiği. ....	54
Şekil 4.8 Orijinal disk aşınmış yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı. ....	56
Şekil 4.9 Orijinal disk aşınmış yüzey elemental analizi. ....	56
Şekil 4.10 Orijinal disk ara yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı. ....	57
Şekil 4.11 Orijinal disk ara yüzey elemental analizi. ....	57
Şekil 4.12 Orijinal disk aşınmayan yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı. ....	58

Şekil 4.13 Orijinal disk aşınmayan yüzey elemental analizi.....	58
Şekil 4.14 NiCrBSi kaplamalı disk aşınmış yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı. ...	59
Şekil 4.15 NiCrBSi kaplamalı disk aşınmış yüzey elemental analizi. ....	60
Şekil 4.16 NiCrBSi kaplamalı disk ara yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.....	60
Şekil 4.17 NiCrBSi kaplamalı disk ara yüzey elemental analizi.....	61
Şekil 4.18 NiCrBSi kaplamalı disk aşınmayan yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.	61
Şekil 4.19 NiCrBSi kaplamalı disk aşınmayan yüzey elemental analizi. ....	62
Şekil 4.20 CoNiCrAlY kaplamalı disk aşınmış yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı. .....	63
Şekil 4.21 CoNiCrAlY kaplamalı disk aşınmış yüzey elemental analizi.....	64
Şekil 4.22 CoNiCrAlY kaplamalı disk ara yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı. ....	64
Şekil 4.23 CoNiCrAlY kaplamalı disk ara yüzey elemental analizi. ....	65
Şekil 4.24 CoNiCrAlY kaplamalı disk aşınmayan yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı. ....	65
Şekil 4.25 CoNiCrAlY kaplamalı disk aşınmayan yüzey elemental analizi. ....	66
Şekil 4.26 WC-Co (88/12) kaplamalı disk aşınmış yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı. ....	67
Şekil 4.27 WC-Co (88/12) kaplamalı disk aşınmış yüzey elemental analizi. ....	68
Şekil 4.28 WC-Co (88/12) kaplamalı disk ara yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.	68
Şekil 4.29 WC-Co (88/12) kaplamalı disk ara yüzey elemental analizi. ....	69
Şekil 4.30 WC-Co (88/12) kaplamalı disk aşınmayan yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı. ....	69
Şekil 4.31 WC-Co (88/12) kaplamalı disk aşınmayan yüzey elemental analizi. ....	70
Şekil 4.32 MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı disk aşınmış yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı. ....	71
Şekil 4.33 MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı disk aşınmış yüzey elemental analizi.	72
Şekil 4.34 MoNiCrBSiFe (Mo %25) disk ara yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.	72
Şekil 4.35 MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı disk ara yüzey elemental analizi.....	73

<b>Şekil 4.36</b> MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı disk aşınmayan yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.....	73
<b>Şekil 4.37</b> MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı disk aşınmayan yüzey elemental analizi.....	74
<b>Şekil 4.38</b> Disklerin ısı iletkenlik katsayısı değerleri grafiği. ....	76
<b>Şekil 4.39</b> Orijinal ve kaplamalı numunelerin tafel ekstrapolarizasyon eğrileri. ....	78
<b>Şekil 4.40</b> Orijinal numunenin tafel ekstrapolarizasyon eğrisi. ....	79
<b>Şekil 4.41</b> WC-Co (88/12) kaplamalı numunenin tafel ekstrapolarizasyon eğrisi.....	80
<b>Şekil 4.42</b> MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı numunenin tafel ekstrapolarizasyon eğrisi.....	81
<b>Şekil 4.43</b> NiCrBSi kaplamalı numunenin tafel ekstrapolarizasyon eğrisi. ....	82
<b>Şekil 4.44</b> CoNiCrAlY kaplamalı numunenin tafel ekstrapolarizasyon eğrisi. ....	83



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Taşıt frenleri ve çeşitleri.....	10
<b>Çizelge 2.2</b> HVOF kaplamaların kullanılmasının getirdiği yararlar ve ana nedenleri... 27	27
<b>Çizelge 3.1</b> Fren diskinin özellikleri. ....	30
<b>Çizelge 3.2</b> Kaplamada kullanılan tozların kodları ve özellikleri. ....	31
<b>Çizelge 4.1</b> Disklerin yüzey pürüzlülük değerleri ve değişim oranları. ....	45
<b>Çizelge 4.2</b> Disklerin mikro sertlik değerleri. ....	48
<b>Çizelge 4.3</b> Test öncesi ve sonrası disklerin ağırlık değişimi. ....	51
<b>Çizelge 4.4</b> Test öncesi ve sonrası disklerin sıcaklık değişimi. ....	52
<b>Çizelge 4.5</b> Disklere uygulanan maksimum frenleme kuvvetleri. ....	53
<b>Çizelge 4.6</b> Fren diskleri numunelerinden alınan ısıl iletkenlik katsayıları. ....	75
<b>Çizelge 4.7</b> Fren diskleri numunelerinden alınan korozyon değerleri. ....	77

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 3.1</b> Hassas terazi.....	38
<b>Resim 3.2</b> Mikrometre ve kumpas .....	38
<b>Resim 3.3</b> Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı. ....	39
<b>Resim 3.4</b> Şerit testere makinesi. ....	39
<b>Resim 3.5</b> Numune kesme cihazı. ....	40
<b>Resim 3.6</b> Metalografik kalıplama cihazı. ....	40
<b>Resim 3.7</b> Mikro sertlik ölçüm cihazı. ....	41
<b>Resim 3.8</b> Taramalı elektron mikroskobu (SEM). ....	42
<b>Resim 3.9</b> Isıl iletkenlik katsayısı belirleme cihazı.....	42
<b>Resim 3.10</b> Korozyon analizi cihazı ve yardımcı elemanları. ....	43

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle beraber malzemelerin kullanım alanlarındaki şartlar gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Bu durum günümüzde mühendislik alanlarının en çok üzerinde durduğu konu haline gelmiş bulunmaktadır. Malzemelerin içinde bulunduğu duruma göre uygunluğu için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.

Global pazarda büyük bir kar payı elde etmiş olan otomotiv sektörü de malzeme ile ilgili projelere önemli yatırımlar yapmaktadır. Bu durumun en büyük sebebi daha iyi performanslarla çalışacak parçaların üretilmesi gerekliliğidir. Araçlardaki hız ve güç artışının paralelinde güvenlik için fren performansının da artması gerekmektedir. Çeşitli elektronik sistemlerle fren performansının artırıldığı gibi frenlemeyi yapan disk-balata ikilisinin malzemelerinde yapılan değişikliklerin de frenleme performansı üzerindeki etkisi arttırılabilmektedir.

Malzeme yüzeyinin sert ve aşınmaya dayanıklı, ana malzemelerinde yeterli mukavemette ve sünek olması gerektiğinden, pratik uygulamalarda yüzey sertleştirme veya yüzey kaplama yöntemleri tercih edilir. Fren diskleri bilindiği üzere dökme demirden imal edilmektedir. Bunun yanı sıra gelişen teknoloji ile birlikte seramik ve kompozit fren diskleri üretilmektedir. Bu disklerin temininin zor ve maliyetli olması sebebiyle yapılan çalışmalarda yüzey kaplama işlemleri ile malzemenin yüzey özellikleri değiştirilerek kullanılabilir (Ulutan 2007).

Sürtünme esası ile çalışan fren sistemleri, taşıtın sahip olduğu kinetik enerjiyi sürtünme yolu ile termal enerjiye dönüştürmektedir. Oluşan ısı miktarı taşıtın sahip olduğu kütle ve hızla orantılı olarak değişim göstermektedir. Frenleme esnasında ortaya çıkacak olan ısı miktarı eğer yüksek değerlere ulaşır ise disk yüzeylerinde zamanla parlama, camlaşma veya termal çatlaklar oluşacaktır. Aynı zamanda, zamanla oval ve konik aşınıtlarında miktarı artmaktadır. Yüksek sıcaklıklar malzeme yüzeyindeki karbonları sertleştirerek yüzeylerin camlaşmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda yüzeyde sürtünme kuvveti azalmakta, ses ve titreşimde artmaktadır (Düzgün ve Yıldız 2009).

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

Literatürde fren disklerinin özelliklerini geliştirmek için yapılan çeşitli kaplama yöntemleri ve farklı kaplama malzemeleri üzerine çalışmalar yapılmış olup disk-balata ikilisinin tribolojik davranışları incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmada disk-balata çiftinin hem sürtünme hem de termik davranışlarını değiştirerek frenleme performansları incelenmiştir. Bu çalışma için beş adet normal otomobil ön fren diskinden bir tanesi kaplanmamış şekilde orijinal (Disk 1) haliyle, dört tanesi yüzey kaplama işlemleri yapılarak kullanılmıştır. Kaplama yapılan diskler HVOF yöntemi ile CoNiCrAlY (Disk 2), WC-Co (88/12) (Disk 3), NiCrBSi (Disk 4), MoNiCrBSiFe (Mo %25) (Disk 5) gibi farklı kaplama tozları ile kaplanmıştır. Bir adet orijinal disk ve dört adet kaplanmış disk okulumuzun otomotiv laboratuvarında bulunan fren test cihazında her disk için ayrı ayrı sürtünme testine tabii tutulmuştur. Bu testlerde disk-balata ikilisi aynı hız, basınç ve sıcaklık gibi değişik çalışma şartları içinde sürtünme katsayısı, sıcaklık, hız, kuvvet grafikleri oluşturularak kaplanmış fren disklerinin frenlemedeki performansları belirtilmiştir. Daha sonra disklerin mikro yapıları, mikro sertlikleri, yüzey pürüzlülükleri, yüzey topografyası, ağırlıktaki değişimler ve korozyon dirençleri incelenmiştir.

Çalışmaların birinci bölümünde, çalışmanın konusu ve amaçları anlatılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünü literatür bilgileri oluşturmaktadır. Bu bölümde fren sistemleri, sürtünme ve aşınma, fren sisteminde sürtünme ve sürtünmeye etki eden

faktörler, disklere uygulanan kaplama yöntemi ve çalışılan konu ile alakalı önceden yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, kullanılan metotlar ve materyaller tanıtılmıştır. Yapılan çalışmada disklerin kaplandığı tozlardan, kaplama yönteminden, disklerin ve kullanılan balataların özelliklerinden bahsedilmiştir. Çalışma boyunca kullanılan makineler ve ölçme aletleri tanıtılmıştır. Ayrıca fren test cihazının özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde yapılan ölçümler, fren test sonuçları, mikro yapı, yüzey topografyası, korozyon direnci analizi çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmaların açıklamaları yapılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde, yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar belirtilerek, çalışmanın devamı olabilecek araştırmalara yönelik önerilerden bahsedilmiştir.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Literatür Araştırması

Erdem M. ve Altıparmak D. tarafından yapılan bir çalışmada; ısınan fren disklerinin, taşıtın frenleme performansını olumsuz etkilediğini ortaya koyulmuştur. 80 km/h hızla ve maksimum pedal kuvvetiyle yapılan durma mesafesi deneylerinde, 63 °C olan fren disk sıcaklığında taşıt 44.9 m’de dururken, disk sıcaklıklarının 298 °C olduğu deneyde durma mesafesi %17.4 oranında artarak 52.71 m olarak ölçüldüğü belirtilmiştir (Erdem ve Altıparmak 2014).

Demir A. yaptığı bir çalışmada, frenlerdeki termo elastik kararsızlığı (TEI) istenen bir durum olmadığını belirtmiştir. Sebebini ise; TEI ile ilişkili yüksek lokal sıcaklıklar, malzemedeki bozulma, termik çatlak oluşumu ve olumsuz frenleme performansına “fade” in neden olduğunu belirtmiştir. Bu olayın önüne geçmek için fren tork değişimlerinin önüne geçilmesi gerektiğini savunmuştur. Balata ve diskteki geometrik düzensizlikler, düzensiz aşınma, düzensiz sürtünme tabakası, karasız ısınma ve (sürtünme karakteristiklerinin seviyesi) BTV’yi oluşturan belirleyici faktörler olduğundan bahsetmiştir.

Yine aynı çalışmanın sonucunda testlerde daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmasına rağmen, Metco 18C ile  $Cr_3C_2$ -NiCr kaplanmış disklerin sürtünme katsayısı, OEM disk-balata çiftinin sürtünme katsayısından daha büyük olarak ölçülmüştür. Bu durum Metco 18 C ile  $Cr_3C_2$ -NiCr kaplanmış disklerin binek otomobillerinde kullanılması ile aktif güvenlikte artış sağlanabileceğini göstermiştir (Demir 2009).

Thuresson tarafından yapılan bir çalışmada; kaymalı temasta, sıcaklık ve basınç gibi parametrelerin, sistemin geometrisinden, malzeme özelliklerinden ve sınır koşullarından etkilendiği belirtilmiştir. Frenlemelerde temas basıncı ve sıcaklık değişimleri, frenleme esnasında termik genleşme, aşınma ve sürtünmeden kaynaklanan ısıyla sürekli olarak değişir. Bu çalışmada disk ve tekerlek rijit olarak kabul edilmiştir. Aşınma katsayısı

sıcaklığa bağı olarak değerlendirilmiş ve 600 °C'ye kadar lineer ve bu sıcaklığın üzerinde ekspanansiyel artan bir fonksiyon olarak modellenmiştir. Sıcaklığa bağı sirtünme katsayısının azalması fren zayıflamasının ana nedeni olduğu ifade edilmiştir. Aynı çalışmada aşınma davranışı Archard'ın aşınma yasasıyla incelenmiştir (Thuresson 2004).

Stanford ve Jain tarafından yapılan bir çalışmada; sistemlerin termal verimliliğini artırmak, çalışma sıcaklığını yükseltmek, korozyon, oksidasyon veya aşınma davranışını iyileştirmek amacıyla uygulanan termal sprey kaplamaların yüzey bileşen özellikleri için iyi bir mühendislik yaklaşını sunduğu belirtilmiştir. Bu amaçla diskler ticari olarak uygulanabilecek sert kaplamalarla kaplanmıştır. Yapılan bu çalışmada, Fe -3.45 C-2.15 Si -0.5 Mn -0.25 Cr - 0.2 Cu kompozisyonuna sahip bir diskin sirtünme, aşınma ve korozyon direncini iyileştirmek için dört çeşit sert kaplama yöntemi [Ni-17 Cr-2,5 Fe-2.5 Si-2.5 B-0.15 C (Metco), Fe-30Mo-2C (Diamalloy), Co-30 Cr-12 W-2.4 C (Stellite), and Zn-50SiC (Zn- SiC)] uygulanmıştır. Yapılan testlerde, en iyi korozyon direncini stellite kaplamalı disk göstermiştir. Tüm kayma hızlarında en düşük aşınma oranını stellite kaplamalı disk ile dökme demir disk sağlamıştır. Çalışmada genel olarak sirtünme katsayısının kayma hızının artışıyla azaldığı da tespit edilmiştir. Bununla birlikte en kararlı sirtünme davranışını yine stellite kaplamalı disk ile dökme demir disk göstermiştir. Ayrıca, alışmada Metco kaplamanın, sıcaklıkla fren zayıflamasına daha yatkın olabileceği üzerinde durulmuştur.

Yine aynı çalışmada, bazı sert frenleme koşullarında, yüksek arayüz sıcaklıkları oluşabilmektedir. Yüksek arayüz sıcaklıklarında organik bileşiklerin özelliği bozulur, sirtünme katsayısı düşer ve aşınma oranı ekspanansiyel olarak artar. Bu olay sıcaklıkla fren zayıflaması (fade) olarak isimlendirilir. İdeal fren balataları, herhangi bir sıcaklıkla fren zayıflaması oluşmaksızın bütün çalışma koşullarında üniform ve kararlı sirtünmeyi sağlamalıdır. Yaygın olarak fren sistemlerinde dört çeşit balata kullanılmaktadır. Asbestli organik balatalar, yarı metalik ya da reçineli metalik balatalar (metal içeriği % 50'den daha büyük), düşük metalik balatalar (metal içeriği % 50'den daha küçük) ve metalik olmayan balatalardır. Sabit duran balataların hareketli karşı çalışma yüzeyi disklerdir. Gri dökme demir, hem fren diskleri hem de silindir gömlekleri için yaygın

bir malzeme uygulamasıdır. Dökme demirin mikro yapısındaki grafit tabakalar bu malzemeye yüksek termik iletkenlik ve iyi bir aşınma direnci kazandırır. Ancak, dökme demirin korozyon direnci ise oldukça düşük düzeydedir. Bu durum disk için aracın bulunduğu ya da kullanıldığı yerlerde/bölgelerde suyun, nemin ve tuzun bulunması halinde ciddi sorun oluşturur. Bu sorun, alıcısını araç parkında bekleyen yeni araçlar için daha da büyük bir sorundur. Korozyonu azaltmak için normalde diskler yumuşak kaplamaya tabii tutulur. Ancak bu kaplama çok hızlı aşınır ve aracın frenleme davranışını değiştirir ifadeleri bulunmaktadır (Stanford and Jain 2001).

Kaya A.Ö. tarafından yapılan bir çalışmada, dört tane numune kullanılmıştır. 1. numune plazma püskürtme metoduyla CrNiBSi +%80 WC-Co tozuyla, 2. numune plazma püskürtme metoduyla Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr (75/25) tozuyla, 3. numune HVOF metoduyla CrNiBSi +%80 WC-Co tozuyla ve 4. numune HVOF metoduyla Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr (75/25) tozuyla kaplanmıştır. Yapılmış olan sertlik ölçümleri, X ışınları difraksiyon analizi, EDX analizi ve taramalı elektron mikroskobunda incelenmesi sonucu numuneler arasında yapı ve yüzey özellikleri incelenerek; numune 1'den numune 4'e kadar farklı parametrelerde elde edilmiş farklı kaplama kalınlıkları, geniş bir yelpazede kaplama yapma özelliğini gösterdiğinden ötürü, numune 1 için seçilmiş parametrelerle yaptığı kaplamadan elde edilen kalınlık 247 HV iken, numune 3 için farklı parametrelerde 355 HV elde edilmiştir. Bu sonuçlardan, yüzeyden derinliğe farklı kalınlıklardan farklı aşınma ömürleri ortaya çıkmasından ötürü, HVOF ile kaplanan malzemelerin plazma püskürtme metoduyla kaplanan malzemelere oranla aşınma ömürlerinin daha fazla olduğunu belirtmiştir.

Yine aynı çalışmada HVOF yönteminde plazma püskürtme metoduna oranla daha yüksek mikro sertlik, yüksek kaplama verimi ve kaplamada daha düşük oksit içeriği elde ettiği belirtilmiştir (Kaya 2007).

Kao ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, kızgın noktalardaki sıcaklıkların 800 °C'yi aştığı tespit edilmiştir. Aynı çalışmada, bu tür yüksek sıcaklıkların iki tür etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. İlk etki olarak dökme demirde sıcaklık 700 °C'yi aştığında ve ardından hızlı bir soğuma olduğunda, perlitten martenzite dönüşümün (martenzit,



hem perlitten daha farklı bir sürtünme katsayısı özelliği gösterir hem de daha büyük hacim kaplayarak sürekli faz değişiminde disk kalınlık değişimine neden olur) gerçekleşmesidir. İkinci etki olarak da kızgın noktalara yakın bölgelerde diskin yüzey tabakalarında atık gerilmelerin oluşmasıdır. Bu durumların hem plastik akmaya hem de diskte radyal çatlaklara neden olabileceği belirtilmiştir (Kao *et al.* 2000).

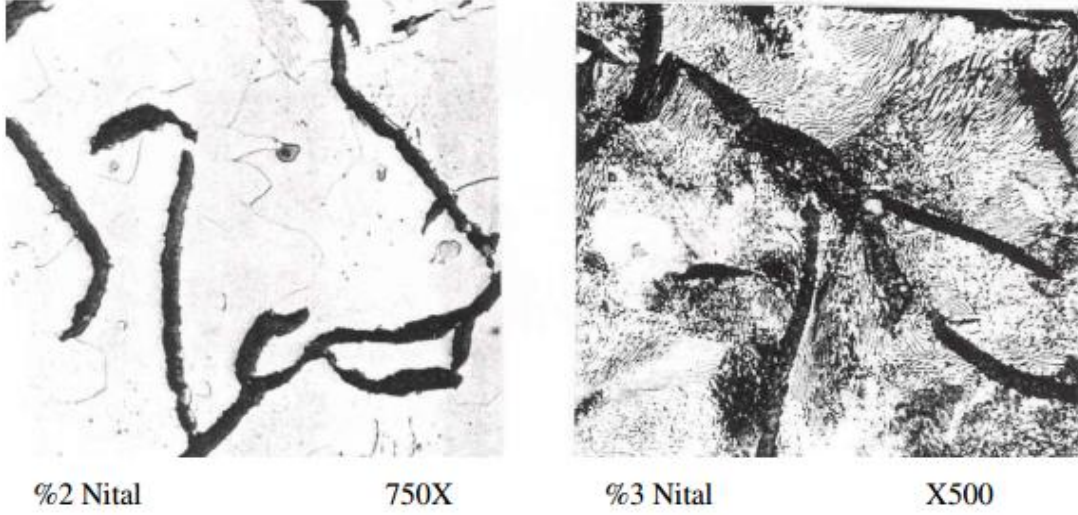
Seong ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, disk-balata çiftinin sürtünme filmindeki sürtünme, aşınma ve gürültü davranışı atalet dinamometresinde incelenmiştir. Bu incelemede 1300 kg'lık taşıtın bir ön tekerlek yükünün 460 kg olacağı kabul edilmiştir. Yürütülen testlerde başlangıç fren sıcaklığı 370 °C'ye kadar artırılan durumlarda sürtünme katsayısının (SK) sürekli düştüğü gözlenmiştir. Aynı çalışmada ötmenin (squeal) 100 ile 300 °C arasındaki frenleme sıcaklıklarında geliştiği belirtilmiştir. Bu aralıkta, disk ve balatanın iyi bir sürtünme davranışı geliştirdiği ve SK'sinin de kararlı olduğuna dikkat çekilmiştir. Ayrıca diskin yüzey pürüzlülüğünün sürtünme davranışında önemli bir etken olduğu da tespit edilmiştir (Pirlot *et al.* 1990).

Lee ve Barber yaptıkları çalışmada, kayma hızının yeteri derecede büyük olması durumunda, balata-disk etkileşiminin kararsızlık olacağını belirtmişlerdir. TEI ile ilişkili yüksek lokal sıcaklıkların; malzemede bozulmaya, termik çatlak oluşumuna ve olumsuz frenleme performansına (fade) neden olduğu belirtilmiştir. Deneylerde oda sıcaklığı ve nem gibi çevresel koşullar mümkün mertebe sabit tutulmaya çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada TEI, dönme hızına ve fren basıncına bağlı olarak araştırılmıştır. Çalışmada balata konfigürasyonu gibi diğer değişkenler sabit tutulmuştur. Ayrıca, 250 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda sıcaklığa bağlı fren zayıflamasının olduğu görülmüştür. Özellikle uzun süreli frenlemelerde sürtünme yüzeyindeki sıcaklık değişimlerinin, sürtünme katsayısının azalmasına ve artmasına sebep olduğu saptanmıştır (Lee and Barber 1994).

Fren disk malzemeleri üzerine yapılan çalışmalar beklenen performansı karşılama konusunda yeterli gelmemektedir. Fren disk-balata çiftinin daha uyumlu olması durumunda yüksek frenleme performansı elde edilmesi sebebiyle fren diskleri HVOF yöntemi ile kaplanarak test edilip incelenmiştir.

## 2.2 Gri Dökme Demirin Otomotivde Uygulama Alanları

Serbest karbonların grafit yaprakları şeklinde oluştuğu demir-karbon-silisyum alaşımlarına gri dökme demir denir. Gri dökme demir, kalıba dökülen ergimiş demirin yavaş soğumasıyla elde edilir. Döküm soğurken, malzeme içindeki karbon, grafit yaprakları şeklinde çökelir. Bu dökme demirlere gri denmesinin nedeni, kırılma yüzeylerindeki gri görünümdür. Gri dökme demirde yapıda bileşke halde bulunan karbon % 0,8'den daha düşüktür. Kalan karbon, grafit yaprakları şeklindedir. Gri dökme demirlerin çekme mukavemeti, sertliği ve mikro yapısı, kimyasal kompozisyon, kalıp karakteristiği, katılaşma sonrası soğuma hızı gibi pek çok faktöre bağlıdır. Ana yapıyı ve grafit oluşumunu kontrol etmek amacıyla; bakır, krom, molibden ve nikel gibi elementler eklenir. Bu elementler aynı zamanda bazı solüsyonlara karşı korozyon dayanımını artırır. Mekanik mukavemetlerini iyileştirmek amacıyla gri dökme demirler ısıtılma tabii tutulur. Hızlı soğutma sonucunda oluşan sertliği düşürmek ve tokluğu yükseltmek amacıyla temperleme ısıtılma işlemi gereklidir. Gri dökme demirlerin sünekliği, grafitin yapraksı yapısı nedeniyle düşüktür. Bu grafitler, ana yapı içinde küçük çatlaklar gibi davranırlar. Ana yapı içinde çatlaklar, bu grafitlerden çok kolay başlar ve malzemeyi plastik deformasyona uğratmadan ilerlerler. Gri dökme demir en yaygın kullanılan dökme demir türüdür ve gerekli önlemler alınarak (ön ısıtılma ve kaynak sonrası soğuma hızı gibi) kaynaklanabilir (American Welding Society 1984).



**Şekil 2.1** Gri dökme demirlerin ferrit ve perlit mikro yapıları.

Gri dökme demirler makine parçaları ve otomotiv endüstrisinde kullanılır. Otomotiv parçalarından fren ve debriyaj diskleri ve şaft kaması, yüksek sıcaklıkta çalışan fırın parçaları, cam kalıpları, ingot, ergitme potaları, basınçlı veya basınçsız ortamlarda çalışmak için farklı tiplerde boru, valf, flanş, bağlantı parçaları, gri dökme demir parçalara örnek olarak verilebilir.

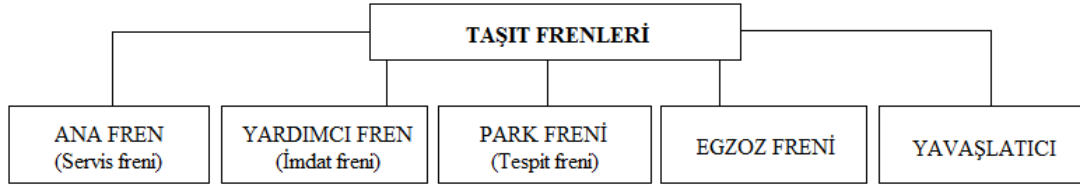
### **2.3 Fren Sistemi**

Hareket halindeki bir aracı yavaşlatmaya veya durdurmaya, duran bir aracın ise yerinde sabit olarak kalmasını sağlamaya yarayan en önemli sisteme fren sistemi denir. Aracın durabilmesi açısından fren gücünün, motor gücünden yüksek olması gerekir. Bu olaya mühendislik açısından bakacak olursak eğer; kinetik enerji, hareket halindeki cismin hızının karesiyle kütesinin çarpımının yarısına eşittir. Kinetik enerji aracın kütlesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Burada dikkat etmemiz gereken kinetik enerjinin, hızın karesi ile orantılı olarak artmasıdır. Aracın hızı iki kat artarsa kinetik enerji de dört kat artacaktır. Fren mekanizmasının bu enerjiyi yenerek aracı durdurması gerekir. Bu sebepten dolayı fren gücünün motor gücünden daha fazla olması gerekir.

Bir aracın kontrol ve emniyetini temin eden sistemlerin bir bölümü olan fren sistemleri:

1. Aracın hızını yavaşlatmak ve gerektiğinde durdurmak,
2. Aracın hızını özellikle yokuş aşağı yollarda sabit tutmak,
3. Duran bir aracın kendi kendine harekete geçmesini önlemek için kullanılırlar.

**Çizelge 2.1** Taşıt frenleri ve çeşitleri.



**Ana fren (servis freni):** Ana fren, sürücüye aracın hareketine kumanda edebilmesi ve onu emniyetli, çabuk ve etkin şekilde durdurmasına olanak vermelidir. Etkisi kademelendirilebilir olmalıdır. Sürücü, frenlemeyi oturduğu yerden ve ellerini direksiyondan ayırmadan sağlayabilmelidir.

**Yardımcı fren (İmdat freni):** Yardımcı fren, ana fren devre dışı kaldığında, aracı uygun bir uzaklıkta durdurabilmelidir. Etkisi kademelendirilebilir olmalıdır. Sürücü frene oturduğu yerden ve en az tek elle direksiyon kumandasını koruyarak erişebilmelidir. Bu frenin, ana frenin en çok bir yerinde arıza olması halinde, aracı durdurmaya yardımcı olabileceği kabul edilmiştir.

**Park freni (Tespit freni):** Park freni, sürücü olmaksızın da, aracı yokuş ve inişlerde hareketsiz tutabilmelidir. Sürücü, römorklar hariç, bu frene oturduğu yerden kumanda edebilmelidir. Park freni, etkisi kademelendirilebiliyorsa, yardımcı fren olarak da sayılabilir.

**Egzoz freni:** Egzoz çıkışını engelleyerek, aracın hızını motordan yararlanarak kesmeyi sağlayan frenlemedir.

**Yavaşlatıcılar:** Motor freni ve tekerleklerdeki sürtünme frenleri dışında, enerji yutarak veya depolayarak aracın hızını kesmekte kullanılan volan, vites kutusu çıkışında kullanılan kasnak gibi düzenlerdir (Demir 2009).

### **2.3.1 Sürtünmeli Frenler**

Taşıtlarda tekerlek freni olarak sürtünmeli frenler kullanılmaktadır. Genel olarak doğrudan doğruya tekerleğe bağlı olan bu frenler iki ana fonksiyonu yerine getirirler.

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

Kampanalı ve diskli olmak üzere iki tipe ayrılan frenlerden disk frenler, nispeten yeni oldukları halde yapılarının basitliği nedeniyle daha çok tercih edilmektedir (Göktan ve diğerleri. 1995).

### **2.3.2 Disk Frenler**

Frenler aracın hareketiyle oluşan kinetik enerjiyi sönmüleyerek ısı enerjisine çevirir. Bunu yaparken sürtünmeyle oluşan yüksek ısının hızlı şekilde disklerden ve balatalardan atılması gerekir. Bu nedenle fren diskleri oldukça yüksek ısı ve mekanik yüklere maruz kalmaktadır. Yüksek aşınma direnci, sertlik ve korozyona karşı dayanıklılık gibi yönlerden dolayı en uygun malzeme maliyet göz önüne alındığında gri dökme demirdir. Gri dökme demirler en az % 2.5 karbon içeren demir esaslı alaşımlardır. Dökme demirlerin yavaş soğutulması sonucu grafitlerin lamel şeklini alır ve gri dökme demir (lamel grafitli dökme demir) oluşur. Gri dökme demirler % 1.7 - 4.5 arasında karbon ve % 1-3 arasında silisyum içerir. Fren disklerine balatalardan baskı kuvveti geldiği için en önemli mekanik özelliklerden biri sertliktir. Lamel grafitli dökme demirlerin sertlik değerleri ortalama 210 HV civarında olup malzeme bileşimi ile bu sertlikler değişmektedir.

Fren diski yöntemi ile ilgili döküm yöntemi seçerken maliyet, üretilecek parça sayısı ve seri üretim gibi parametrelere bakılmaktadır. Bu hususlar göz önüne alındığında en uygun yöntem kum kalıba döküm yöntemidir. Bunun nedenlerinden bazıları;

- Kum kullanıldığı için kumun ucuz olması
- Soğumanın yavaş olması
- Kalıp oluşturma kolaylığı
- Seri üretime uygunluğu gibi hususlar sıralanabilir.

Prensip olarak tekerlekle eş eksenli olarak monte edilmiş olan metal bir disk tekerlekle birlikte dönmektedir. Semer adı verilen ve tekerlek askı kollarına bağlı olan bir parça diski genel olarak bir köşesinden kavrar. Ender olarak diski çepeçevre kavrayan semerler de mevcuttur. Semerin iç kısımlarında diskin iki yüzeyine yaslanan balatalar, frenleme sırasında hidrolik basınç ile diski her iki yönden eşit kuvvetle sıkıştırırlar. Diskin semer tarafından örtülü olmayan kısımları hava akımlarına açık bulunduğundan kolayca soğutulmaktadır. Çamur ve balata tozları merkezkaç kuvvetle ya da hava akımı ile temizlenirler. Fren cevap süresini uzatan nem, oldukça hızlı buharlaştığından cevap çabuklaşır. Disk, kaba kirlenmelere karşı bir çamurluk sacı ile korunmaktadır.



**Şekil 2.2** Disk fren ve balata mekanizması.

Balataların diski her iki yandan eşit kuvvetle sıkıştırabilmesi için ya diskin ya semerin ya da her iki balatanın eksenel yönde hareketli olması gerekir.

Avantajları:

- Tambur frenlerden daha az fading olayına uğrarlar. Çünkü daha iyi havalandırılırlar.
- Balata değişimi kolaydır.
- Balata aşınması eşit şekilde ve ayar otomatik gelişir.
- Frenleme etkisi hareket yönünden bağımsızdır.

Dezavantajları:

- Frenleme yüzeyi tambur frenlerden daha küçüktür. Balata baskı kuvveti daha büyük olmak zorundadır.
- Bu yüzden genelde fren kuvvetlendiricilere gerek vardır.
- Disk aşırı ısınabilir.
- El freninin montajı oldukça karmaşıktır. Bu yüzden genelde arka akslarda tambur fren kullanılır.

## **2.4 Balatalar**

Fren sistemlerinde frenlemeyi sağlayan elemanlardan biri de fren balatasıdır. Balataya uygulanan basınç ile disk-balata arasında bir temas yüzeyi oluşturulur. Diskin hızını yavaşlatmak veya durdurmak için kinetik enerjiyi ısıya dönüştürmek gerekmektedir. Bahsedilen enerji değişimi sürtünme işlemi ile gerçekleştirilir. Bu sistemde genel olarak disk yüzeyi aşınmaya karşı korunurken balata yüzeyinin aşınmasına izin verilir.



**Şekil 2.3** Fren balataları.

Fren balataları zor şartlar altında çalıştıkları için; korozyona karşı direnç, düşük ağırlık, sessiz çalışma, sabit bir sürtünme katsayısını devamlı sağlayabilme, aşınmaya karşı dayanıklılık, düşük maliyet, yüksek basınç altında sorunsuz ve performanslı bir şekilde çalışabilme, yüksek sıcaklıklara dayanabilme gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir. Ayrıca çalışma esnasında herhangi bir problem ortaya çıkmaması gerekir. Çünkü fren sisteminde oluşabilecek bir problem frenlerin tutmamasına veya frenleme performansının düşmesine neden olabilir. Taşıt güvenli mesafede duramayabilir ve kazalara sebep olabilir. Bu yüzden fren sisteminde balatanın performansının yeri ve önemi büyüktür (Toros 2011).

## **2.5 Sürtünme ve Aşınma**

Fren pedalına etki eden ayak kuvveti sistem tarafından desteklenerek tekerlek frenlerinde fren balatalarını fren disklerine bastıran sıkma kuvveti olarak etki eder. Bu esnada oluşan sürtünme kuvveti, aracın hareket enerjisini büyük oranda ve kısa süre içinde ısıya dönüştürür. Fren diskine ve fren balatalarına etki eden mekanik ve termik yüklenmeler çok yüksektir. Frenleme esnasında ortaya çıkan fren gücü aşırı durumlarda azami motor gücünün birkaç misli olabilir.

Bir fren sisteminden beklenen önemli özellikler aşağıda bildirilen şekilde sıralanabilir:

- Her işletme şartında mümkün olduğu kadar kısa frenleme mesafesi sağlanması
- İyi fren konforu (kazıma ve gıcırdaama olmamalı, pedal hissedilebilir olmalı)
- Saf malzemelerin uygun kullanım ömrü



Frenleme işlemi için önemli fonksiyon partneri olarak fren diskleri ve fren balataları için bunun anlamı şöyledir:

- Büyük bir ısı derecesi aralığı dâhilinde sürtünme değeri stabilitesi,
- Sürtünme değerinin, bastırma basıncından, hızdan ve çevre etkilerinden az oranda bağımlı olması,
- İyi mekanik sağlamlık ve şekil koruma özelliği,
- Ön görülmüş sınır değerler dâhilinde aşınma durumu,
- Ön görülmüş sınır değerler dâhilinde parça toleransları,
- Fren balatalarının ve fren disklerinin uygun aşınma özelliği.

Fren diski ve fren balataları, sürüş güvenliği açısından çok önemli anlamda bir fonksiyon elemanlarıdır. Söz konusu talepler sadece ilgili araç için geliştirilmiş ya da uygun kılınmış bileşenler ile elde edilebilir. Kusursuz bir bakım durumu sayesinde güvenlik riskleri, konfor kayıpları ve dayanıklılık süresinde kayıplar olması önlenir.

Sürtünme ve aşınma özellikleri fren balatalarında üzerinde en fazla durulması gereken konudur. Balata kompozisyonun hazırlanmasından üretime kadar birçok aşamanın birincil amacı, sürtünme ve aşınma özelliklerinin istenilen düzeyde elde edilmesini amaçlamaktadır (Gümüş 2012).

## **2.6 Sürtünme Prensibi**

Aracın hızı arttıkça frenleme mesafesi artar. Fren tekerlek mekanizmasındaki balata ile disk arasındaki sürtünme kuvveti araç üzerinde kullanılan fren mekanizmanın gücüne bağlı olarak değişir. Yol ile tekerlek arasındaki sürtünme katsayısı da frenlemeyi etkilemektedir. Islak veya kaygan bir yolda tekerlek yere tutunamayacağı için frenler tutmayacak ya da tekerlek yol üzerinde kayacak, bunun sonucu olarak araç daha uzun bir mesafede duracaktır. Yolun eğimi ise aracın yokuş çıkması veya yokuş aşağı inmesi durumuna göre değişir. Eğer yokuş iniliyorsa aracın ağırlığından kaynaklanan kuvvet aracın hızlanmasına neden olacağından frenlemeye karşı bir kuvvet oluşturarak fren mesafesinin artmasına neden olur. Eğer araç yokuş çıkıyorsa aracın ağırlığından

kaynaklanan kuvvet bu kez aracı durdurmaya çalışacak frenlemeye yardımcı olacağı için araç daha kısa bir mesafede duracaktır.

DIN 50281'e göre sürtünme "Birbiri üzerinde kayan, yuvarlanan veya kaymalı yuvarlanan elemanların izafi hareketlerini yavaşlatan (Dinamik sürtünme) veya engelleyen (Statik Sürtünme) mekanik direnç" olarak tanımlanır.

TS 555 standardında belirtildiği şekliyle sürtünme katsayısı, disk/kampana ile fren balatası arasındaki sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranıdır. Yine aynı standarda göre sürtünme katsayısı, sıcak ve soğuk sürtünme katsayısı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Soğuk sürtünme katsayısı, aşınma deneyi esnasında 100, 150 ve 200 °C sıcaklıkta ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır. Sıcak sürtünme katsayısı ise; 300, 350 ve 400 °C sıcaklıkta ölçülen sürtünme katsayılarının aritmetik ortalamasıdır (Toros 2011).

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

$$\mu = \frac{F_t}{G} \quad (2.1)$$

$F_t$  = Sürtünme kuvveti

$G$  = Cismin ağırlığı

$\mu$  = Sürtünme katsayısı

### 2.6.1 Aşınma

Fren balatası aşınması, kullanım koşullarıyla doğrudan ilişkilidir. Sürücünün arabayı sürüş şekline ve freni ne kadar kullandığına bağlı olarak fren aşınmaları gerçekleşmektedir. Fren balatası kontrolleri ve fren balatası değişimleri ortalama 50 bin kilometrede bir ihtiyaç duyuluyorsa yapılmalıdır. Ancak bu kilometrede aşağı veya yukarı seviyelerde esneyebilmektedir. Bu tamamen araç sürücüsünün freni kullanım şekliyle alakalıdır.

Teknikte, aşınma denilince: "Katı cisimlerin yüzeylerinden tribolojik etkenlerle sürekli malzeme kaybı" anlaşılmaktadır. DİN 50320 (1970)'de ise "**Aşınma:** Kullanılan malzemelerin yüzeylerinden, daha çok mekanik olarak etkileyen enerjiler ve mekanik etkenler ile küçük parçacıkların ayrılması sonucu istenilmeyen şekil değişikliğidir." olarak tanımlanmaktadır (Gürleyik 1986).

Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde gerçekleşebilir. Bunlar; bölgesel erimeler, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel anlamda oluşan ayrılımdır. Uygulamada aşınma kapsamında, daha çok yüzeyden fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar dâhil edilmektedir.

Bir aşınma sisteminde; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük ve hareket aşınmanın temel unsurunu oluşturur. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem, teknikte "Tribolojik Sistem" olarak isimlendirilir.

Aşınma, genellikle önceden bilinen bir hasar tipidir. Birbirleri ile temasta olan malzeme yüzeyleri oksit filmleri veya yağlayıcılar ile korunsalar bile, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yalamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle doğrudan temasına sebep olabilir. Bu temas sonucu oluşan sürtünme, malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya sebep olur. Bu hasar; uygun yalama, filtreleme, uygun malzeme seçimi ve uygun tasarım gibi faktörlerle en aza indirilebilir fakat kesinlikle önlenemez.

## **2.6.2 Fren Sistemlerinde Sürtünme ve Sürtünmeyi Etkileyen Faktörler**

Fren sistemlerinde, fonksiyonu açısından en fazla aşınma tehlikesi gösteren, balatadır. Sürtünme elemanı ise diskli sistemlerde, disklerdir. Frenleme esnasında her iki eleman arasında sürtünme ve aşınma sonucunda tribofilm (sürtünme tabakası) oluşur. Oluşan film disk yüzeyinde yağlayıcı gibi bir koruma görevine sahiptir. Balatanın abrasif etkilerine karşı diskler korunur ve sürtünme olayında çok önemli bir rolü vardır. Frenleme esnasında en önemli faktörlerden biri de çevredir. Toz, kir, su, hava şartları gibi faktörler, tribolojik teması ve dolayısıyla frenleme performansına etkisi büyüktür.

### **2.6.2.1 Kayma Hızının Sürtünmeye Etkisi**

Shorowordi ve arkadaşları, farklı malzeme çiftleri ile yaptıkları bir çalışmada, artan kayma hızıyla birlikte aşınmış partikül miktarında artış olduğunu ve dolayısıyla sürtünme tabakasını oluşturan bileşenlerin de arttığını tespit etmişlerdir. Böylece ara yüzeyde koruyucu kaplama görevi gören bu tabakanın kalınlığının arttığını ve disk-balata temasının azalmasından dolayı sürtünme katsayısının düştüğünü tespit etmişlerdir (Celis et al. 2004).

### **2.6.2.2 Basıncın Sürtünmeye Etkisi**

Ericsson ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, balatalarda ortalama sürtünme katsayısının artan basınçta, azalan basınca göre daha düştüğünü tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada, sürekli frenlemelerde belirli bir aşınma devresinden sonra artan basınç ile temas bölgelerinin büyüdüğünü, buna dayalı olarak aşınmış ürünlerin ve sıcaklığın artmasının da ara yüzeydeki sürtünme tabakası kalınlığını artırdığını belirtmişlerdir. Böylece disk-balata temasının azaldığını ve ara yüzeydeki sürtünme katsayısının düştüğünü, basıncın düşük değerlerde tutulması durumunda ise iki yüzey arasında yeterli temas sağlanmadığından sürtünme katsayısının yine küçük kaldığını tespit etmişlerdir. Ancak, belirli basınç değerleri aralığında en yüksek sürtünme katsayısını elde etmenin mümkün olduğunu bildirmişlerdir (Ericksson *et al.* 2002).

### **2.6.2.3 Sıcaklığın Sürtünmeye Etkisi**

Fren uygulaması esnasında sıcaklık artışı ile sürtünme katsayısındaki azalma sürtünme zayıflaması olarak adlandırılır. Yüksek sıcaklıklardaki sürtünme zayıflaması, sürtünme malzemeleri için kritik bir özelliktir. Ara yüzeyde oluşan sıcaklığı azaltmanın yolu ise çevreye transfer edilen ısı miktarını artırmaktır (Anderson 1992).

Frenlemelerde artan yük ve frenleme süresi ile birlikte sürtünme yüzeylerinde çok yüksek bir sıcaklık artışı meydana gelir. Sıcaklığın etkisiyle sürtünme malzemesinin mekanik özellikleri olumsuz etkilendiği gibi gelişen aşınma mekanizmaları ve temas konfigürasyonları da değişim gösterir. Yüksek sıcaklıklarda aşınma oranında ani bir artış meydana gelir. Fren balata malzemesine karşı gri dökme demir disk kullanarak yapılan deneylerde, sıcaklık yükselmesiyle sürtünme katsayısı düşmekte, buna bağlı olarak aşınma artmakta ve yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır.

### **2.6.2.4 Balata Yapısının Sürtünmeye Etkisi**

Balata yapısına bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi oldukça karmaşık bir kavramdır. Tüm koşullar sabit olsa dahi, testlerden elde edilen sonuçlar farklılık gösterebilmektedir. Sabit frenleme basıncına karşın sürtünme katsayısı her bir frenlemede artabilir ve frenleme sayısına bağlı olarak da belirli bir süre sonra düşebilir. Geometrik açıdan balatanın sürtünme yerindeki küçük sapmalar da belirli bir alışma devresi içinde sürtünme katsayısı değişiminde önemlidir.

### **2.6.2.5 Disk Yapısının Sürtünmeye Etkisi**

Ericsson ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, disk yapısının sadece mikro yapısal olarak değil, aynı zamanda yüzey geometrisi açısından da sürtünme katsayısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Yeni bir diskin ilk çalışması esnasında sürtünme katsayısı düşüktür. Diskin yüzeyi talaşlı işleme operasyonlarından dolayı spiral izlere sahiptir. İlk frenlemelerde bu çizgiler kademeli olarak aşınır ve daha düzgün bir yüzey meydana gelir. Temas alanı artarak sürtünme katsayısının artmasına

sebepler olur. Pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyler ile yapılan incelemelerde, pürüzlü yüzeyde oluşan temas alanı oranının % 90 azaldığı, sürtünme katsayısının da pürüzsüz duruma göre % 25 daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Diskün sadece belirli bir bölgesini partikül püskürtmek suretiyle belirli bir pürüzlülük değerine sahip hale getiren Ericsson ve arkadaşları, disk-balata sistemi üzerinde yaptıkları testler sonucunda kayma esnasında bu bölgeden her geçişte sürtünme katsayısının düştüğünü ve bu bölgeyi geçtikten sonra tekrar eski değerini aldığı gözlemlenmiştir. Buradan da anlaşıldığı üzere sürtünme katsayısı, gerçek temas alanından etkilenmektedir (Ericsson *et al.* 1999).

#### **2.6.2.6 Frenleme Süre ve Sayısının Sürtünmeye Etkisi**

Sürtünme katsayısı, yapılan her frenleme esnasında farklı değerler alabilmektedir. Frenlemenin başlangıç aşamasında, eş çalışan yüzeylerin zamanla birbirine uyum sağlaması ve pürüzlerin ortadan kaldırılmasıyla daha fazla temas alanına sahip olması gibi nedenlerden dolayı sürtünme katsayısı artar. Ancak basıncın sabit olmasına karşın belirli bir frenleme sayısından sonra sıcaklığın artması, temas bölgelerinin parçalanması gibi etkenlerden dolayı sürtünme katsayısı belirli bir değerden sonra çok yavaş düşer.

#### **2.6.2.7 Temas Alanının Sürtünmeye Etkisi**

Deamaley'e göre, temas alanı büyümesi, "pürüz tepeliklerinde durgun haldeki mikro deformasyon alanlarının kayma hareketine bağlı olarak kayma gerilmesi etkisi ile büyümesi" şeklinde ifade edilmektedir. Ayrıca, metalik malzemeler üzerinde sürtünme katsayısının incelenmesinde diğer önemli olay plastik sertleşme (pekleşme) halinin meydana gelmesidir.

Ericsson ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, genelde 50-500 µm genişliğinde ve birkaç mikron yüksekliğindeki temas bölgelerinin, sisteme giren gücün büyük bir kısmının sürtünme gücüne dönüşmesine sebep olduğunu, yapılan ölçümlerde temas bölgelerinin çoğunlukla sertlik değerlerinin balata kompozisyonunun sertliğine göre daha sert

olduğunu gösterdiğini tespit etmişlerdir. (Örneğin; 3000 MPa'a karşılık 200 MPa) Disk yüzeyindeki temas bölgelerinin balata dakilere göre hem yüksekliğinin hem de alanının çok küçük olduğunu, buna karşın, frenlerde tribolojik temasın yapısını tanımlayan gerçek temas alanları balata yüzeyinde oldukça geniş yer tuttuğunu bildirmişlerdir. (Toplam balata alanının % 20'sine denk gelmektedir).

Temas bölgelerinin birleşmesi ile temas bölgelerinin boyutu büyür ve sayısı düşer. Küçük ve çok sayıda temas bölgesine sahip bir fren balatasında, büyük ve az sayıda temas bölgesine sahip olana göre gürültü oluşturma eğilimi daha fazladır.

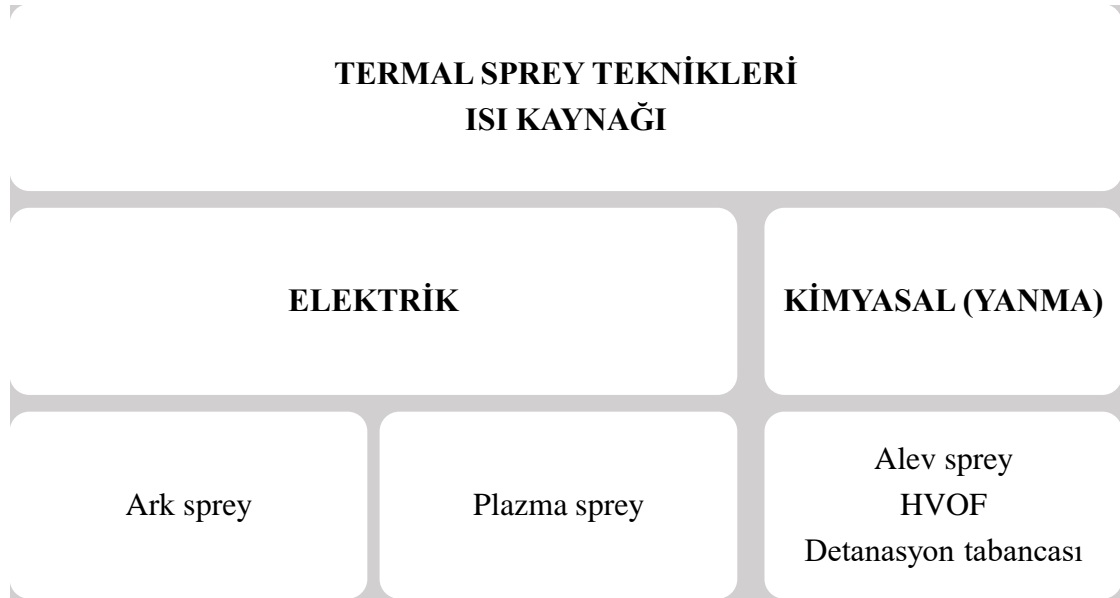
#### **2.6.2.8 Disk Yüzeylerinde Oluşturulan Kaplama Çeşitleri ve Sürtünmeye Etkisi**

Kaplama tasarımı işletme ve bakım giderleri planlamasında en önemli faktördür. Karayolunda güvenli bir sürüşün sağlanabilmesi için sürtünme direncinin belirli bir seviyede olması gerekmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, araçların güvenle durma mesafeleri üzerinde etkili en önemli faktör olmasının yanı sıra; araçların seyir konforu, taşıt yakıt tüketimi, bakım giderleri, sürtünme katsayısı, tekerlek kaplamasının ömrü, iç ve dış tekerlek gürültüsü, ışık yansımaları ve yuvarlanma direnci gibi yol karakteristikleri üzerinde de etkilidir. Dolayısıyla yol yüzey pürüzlülüğünün tanımlanabilmesi; yol yüzeyinin güvenlik, ekonomi ve çevresel etkiler bakımından incelenmesine olanak sağlar. Disk yüzey kaplamaları farklı hava koşullarında tekerlek bandajı ile yol yüzeyi arasında yeterli aderansı (tutunmayı) sağlamalı, sürücünün fren tedbirine başvurduğu zamanlarda güvenle durmasını mümkün kılmalıdır. Özellikle yağmurlu havalarda yüksek taşıt hızlarında yol yüzeyi ile tekerlek bandajı arasında oluşan sürtünme direnci çok küçük değerlere inebilmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar sürtünme direncindeki azalmanın kaza oranlarını arttırdığını ortaya koymuştur. Yeterli pürüzlülüğe sahip olmayan bir yol yüzeyinde, tekerlek ile kaplama arasında oluşan yetersiz sürtünme ile patinaj, savrulma, kayma veya durma mesafesindeki potansiyel artış kritik bir durum oluşturabilir. Yapılan araştırmalar, yolların hizmet yeteneğinin büyük ölçüde yüzey pürüzlülüğüne ve dolayısı ile kayma direncine bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu bakımdan kaplamaların sürtünme dirençlerinde zaman içinde

meydana gelen değişimlerin belirlenebilmesi için yol yüzeyinin belirli periyotlarda ölçülerek değerlendirilmesi gerekmektedir.

## 2.7 Yüzey Kaplama Yöntemleri

Yüzey kaplama, yeni bir yüzey tabakası elde etmek amacıyla kaplama yöntemleri kullanılarak ana malzemeden farklı özellikte ve kimyasal bileşimi bilinen bir metal veya alaşımın ana malzeme yüzeyine kaplanması işlemidir. Yüzey kaplama; aşınmayı, yıpranmayı, darbeyi, erozyonu ve oyulmayı azaltmak için orijinal parçalara uygulandığı gibi bozulan parçaların tamiri amacıyla da uygulanır. Yüzey kaplama işlemi ergitme kaynak yöntemleri ile yapılabildiği gibi, ısıl püskürtme, lazer, kaynak yöntemi vs. kullanılarak da gerçekleştirilebilmektedir. Günümüz teknolojisinde kullanılan ve yaygınlığı hızla artan yüzey kaplama ise, termal sprey kaplamalardır. Şekil 2.4'te termal sprey kaplama teknikleri verilmiştir.

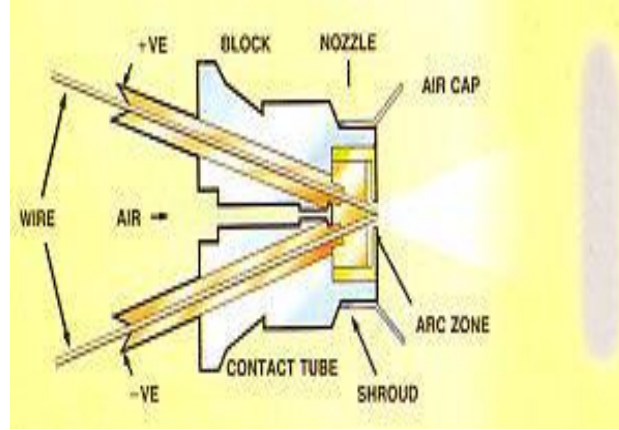


Şekil 2.4 Isı kaynaklarına göre termal sprey kaplama yöntemleri.



### 2.7.1 Elektrik Ark Sprey Kaplama

Elektrik ark sprej kaplama prosesinde gaz alevi veya elektrik ile elde edilen plazma gibi harici ısı kaynakları olmadığından diğer termal püskürtme proseslerinden farklılık göstermektedir. Şekil 2.5'te şematik ark sprej prosesi verilmiştir.

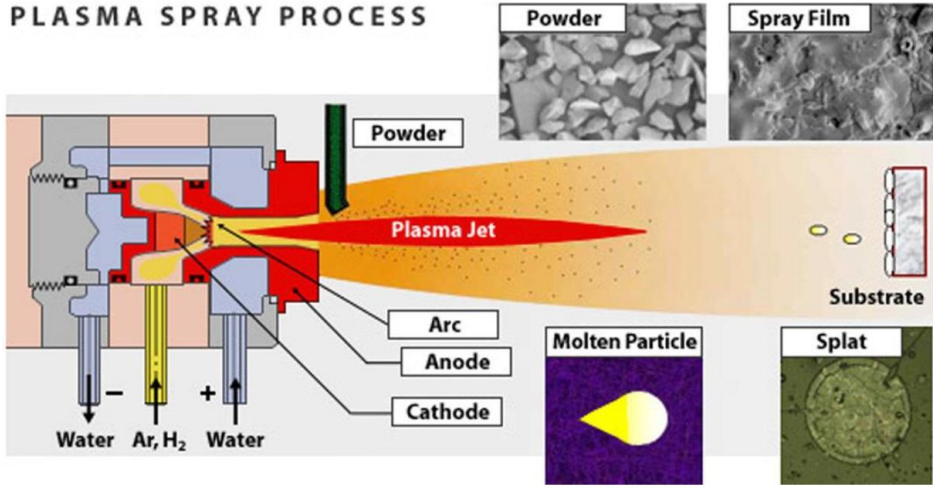


Şekil 2.5 Ark sprej prosesi.

### 2.7.2 Plazma Sprej

Plazma sprej kaplama teknolojisi alev sprej ve ark sprejden sonra geliştirilmiştir. Metallerin korozyona, yüksek sıcaklık oksidasyonuna ve aşınmaya karşı dirençlerinin artırılması seramik kaplamalarla mümkündür. Bu tür kaplamaların uygulanması plazma sprej teknolojisi ile de yapılabilmektedir. Bu yöntemle gerçekleştirilen kaplama belirtilen özellikleri sağladığı gibi, ana malzemenin üstün özelliklerinden tokluk ve şekil değiştirilebilirlik özellikleri korunmaktadır ve böylece metal ve seramiklerin üstün özelliklerinden bir arada faydalanılmaktadır.

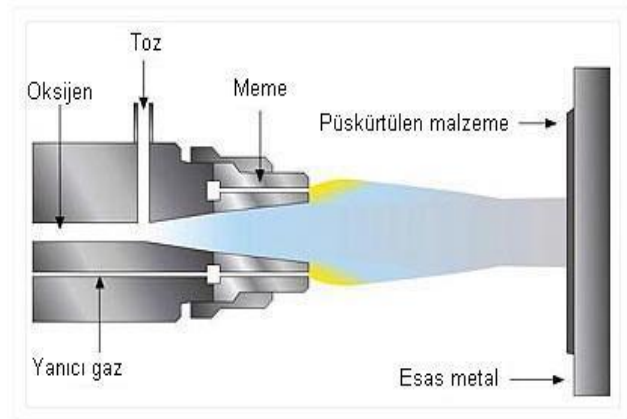
Plazma sprej kaplama ergime derecesi çok yüksek kaplamalar için uygulanır. Elektrik arkı, elektrot ve ikincil elektrot olarak davranan nozula uygulanır. Basınçlı inert gaz (argon, helyum, azot, hidrojen) ve elektrotlar arasından geçirilir. Çok yüksek sıcaklığa ulaşan gaz, plazma formuna dönüşür. Plazma sprej sistemi, güç kaynağı, gaz kaynağı, tabanca ve toz besleme ünitelerini içerir. Şekil 2.6'da plazma sprej yöntemi şematik olarak, kaplama, splat yapısı, kullanılan toz mikro yapısı ile birlikte gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Plazma sprej kaplama prosesi.

### 2.7.3 Alev Sprej

Alev sprej Max Ulrich Schoop tarafından patentlenen bilinen en eski termal sprej yöntemidir, toz alev sprej ve tel alev sprej yöntemleri mevcuttur. İlk önceleri kalay ve kurşun telleri asetilenin oksijenle yakılarak elde edildiği alevde kaplama yapılırken; daha sonra toz kullanımına başlanmıştır. Alev sprej yönteminde asetilen, propan veya hidrojen, oksijen ile birlikte yakılarak alev elde edilir, düşük basınçlı oksijen yakıt kaplama sistemidir. Şekil 2.7'de tel alev sprej yöntemi gösterilmiştir.



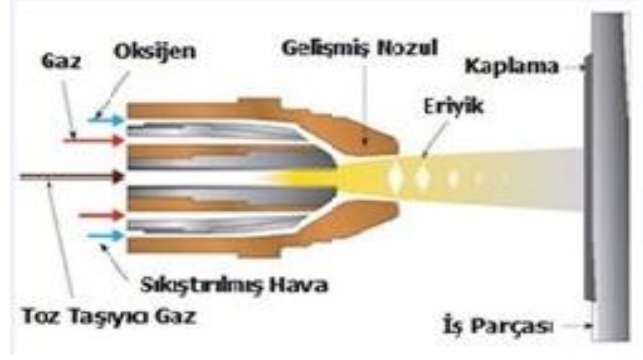
Şekil 2.7 Tel alev sprej yöntemi.

#### **2.7.4 Detonasyon Tabancası**

Bu teknikle kaplama, 2-3 cm iç çapında 1-1.5 m uzunluğunda su soğutmalı bir yanma odasında taşıyıcı gaz ve oksijen-asetilen gaz karışımının kontrollü bir şekilde infilak ettirilmesiyle (patlatılmasıyla) kaplama tozlarının ergitilmesi ve yüzeye püskürtülmesiyle gerçekleşir. Gaz karışımı bir elektrik kıvılcımı ile saniyede 4 ila 8 kez infilak ettirilir. Bu teknikle üretilen kaplamalar, yoğun, sert ve yüksek yapışma özelliğine sahiptir. İş parçasının az ısınması ve karbürler gibi ergime sıcaklığının yüksek olduğu malzemelerin kaplanması prosesin avantajıdır. Buna karşılık düşük biriktirme hızı, fleksibil olmaması ve pahalı bir proses olması tekniğin dezavantajlarıdır. Yüksek sıcaklıklarda çeşitli aşınma türlerine karşı gaz türbin motor parçacıklarının korunmasında, tekstil makine parçaları, kâğıt ve plastik sanayisinde, nükleer güç endüstrisinde ve kesici uçlarda detonasyon tabancası tekniği uygulanmaktadır.

#### **2.7.5 HVOF (Yüksek Hızda Oksi Yakıt Püskürtme)**

HVOF, termal spreycaplama yöntemlerinin en yenilerinden bir tanesidir. Termal püskürtme teknolojisinde son yıllarda sürekli gelişmektedir. Yöntem, 1980'li yılların başında D-Gun yöntemine alternatif olarak geliştirilmiştir. HVOF ile elde edilen kaplamalar yüksek spreycaplık hızlarının elde edilmesi sebebiyle çok az porozite içermekte ve yüksek yoğunluğa sahip olmaktadır. Ayrıca çok değişken bir sistemdir. Kullanılacak malzeme cinsi, istenilen kaplama kalitesine göre spreycaplık parametreleri değiştirilebilir. Elde edilen kaplamalar endüstride kullanımda sınırsız imkânlar sunar.



Şekil 2.8 HVOF termal sprey yöntemi.

Oksijen ve yakıt gazı yüksek basınçlarda kullanılır. Kullanılan gazlar propan, propilen ve hidrojenidir. Yanan gaz karışımı süpersonik hızlara ulaşır ve kaplama tozu alevle beslenir. HVOF, termal enerji girişini minimize ederken, kinetik enerjiyi en yüksek derecelere ulaştırır. Böylece yüksek bağ mukavemetli, yoğun, porozitesi az kaplamalar elde edilir. Jet motoru parçalarında aşınma dayanımı uygulamaları için kullanılır. Havacılık ve uzay, petrol, petro-kimya, kâğıt sektörü gibi sürtünme ve aşınma dayanımı gereksinimi olan sektörlerde sert krom kaplama HVOF ile yapılabildiği için PVD, CVD ve nitrürleme gibi kaplama yöntemlerine alternatiftir.

HVOF kaplama yöntemiyle gaz hızı 2100 m/s hızı aşarken, partikülü 400-800 m/s hıza ulaştırır. Bu değer diğer alev sprey yöntemlerinden kat kat üstündür. Gaz yakıtların yanında kerosen gibi sıvı yakıtlarda kullanılabilir. Kinetik enerji dışındaki diğer avantajlar da listelenmiştir (Erdem ve Altıparmak 2014).

HVOF Kaplama Yönteminin Faydaları;

- Daha düşük maliyetler,
- Daha iyi performans,
- Daha iyi elektriksel özellikler,
- Parçaların daha yüksek/daha düşük sıcaklıklarda çalışmasını sağlamak,
- Parçaların zorlu kimyasal ortamlarda çalışmasını sağlamak
- Daha iyi verimlilik
- Eşleşen parçaların daha uzun ömürlü olması
- Kalınlık kapasitesi artışı

- Nispeten daha pürüzsüz yüzeyler
- Düşük oksit seviyesi.

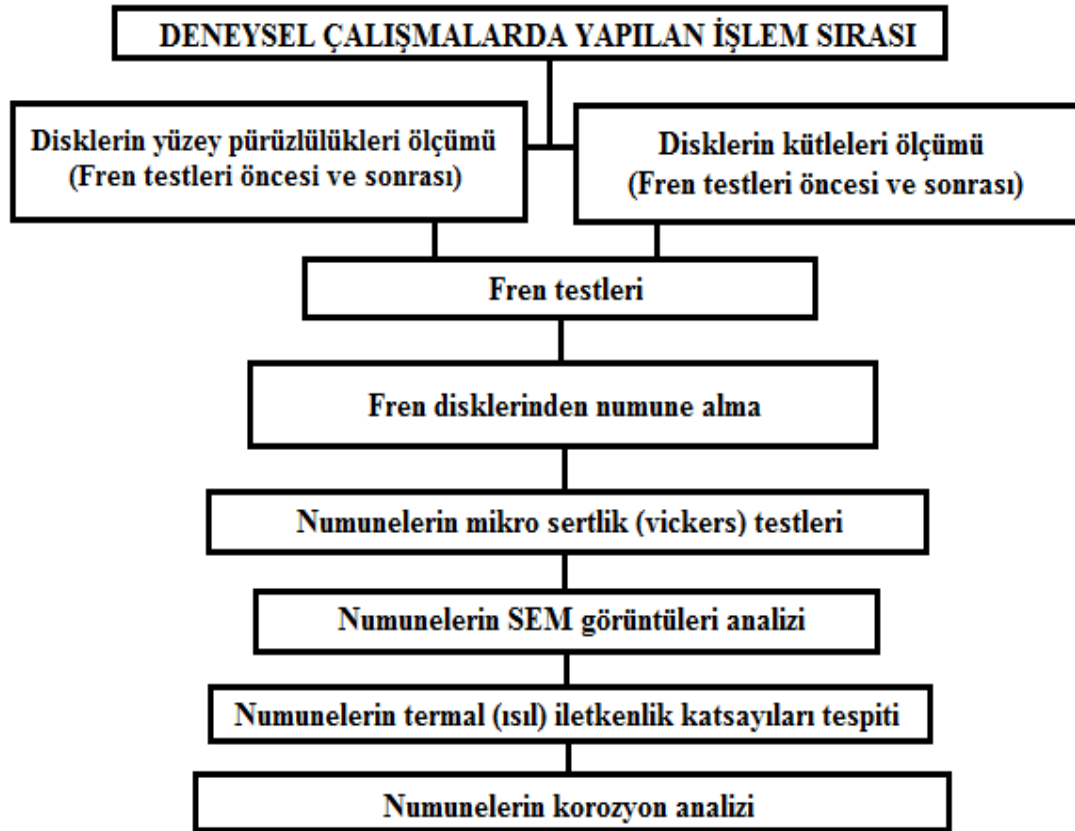
HVOF yöntemiyle yüksek kalitede kaplamaların yapılmasının nedenleri Çizelge 2,2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2** HVOF kaplamaların kullanılmasının getirdiği yararlar ve ana nedenleri.

<b>Kaplamanın yararları</b>	<b>Bu yararların ana nedeni</b>
Yüksek yoğunluk (Düşük gözeneklilik)	Daha yüksek darbe enerjisi
Gelişmiş korozyon engeli	Az gözeneklilik
Yüksek sertlik değerleri	Daha iyi bağlanma, az küçülme
Gelişmiş aşınma direnci	Daha sert ve tok kaplama
Daha iyi bağ ve birleşme mukavemetleri	Gelişmiş partikül bağlanması
Daha az oksit bileşimi	Havada daha az uçuşla, oksijenden az etkilenme
Daha az ergimemiş partikül içeriği	Partiküllerin daha iyi ısıtılması
Daha iyi kimyasal ve faz kararlılığı	Yüksek sıcaklıklarda kalma zamanında azalma
Daha kalın kaplamalar (geçiş başına ve toplamda)	Spreyleşmiş yüzeylerde düzgünlük
Daha yüksek darbe enerjiler	Az kalıntı gerilme

### 3. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde, yapılan çalışmada kullanılan disklerin, kaplamada kullanılan tozların seçimi ve neden HVOF kaplama yönteminin seçildiği açıklanmıştır. Fren test standartları ve frenleme performansları değerlendirme prosedürleri hakkında bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler, mikro yapı çalışmaları, sertlik testleri, termal (ısı) iletkenlik katsayısının belirlenmesi testleri ve bu çalışmalarda kullanılan cihazlar ve metotlar hakkında bilgiler verilmiştir. Şekil 3.1’de bu çalışmada yapılan testlerin ve analizlerin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.1 Deneysel çalışmalarda uygulanan işlem sırası.

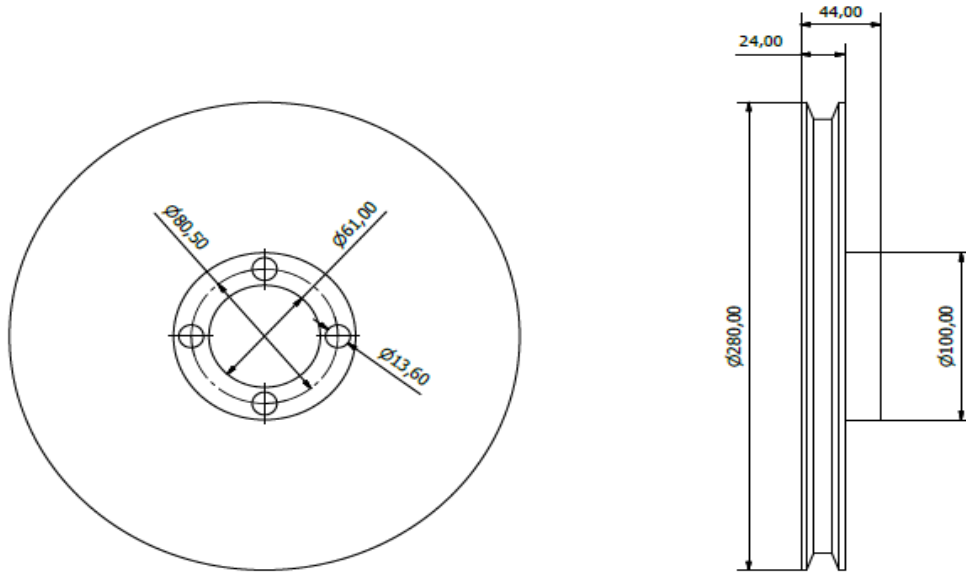
### **3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler**

Yapılan çalışmada diskler üzerine uygulanan farklı kaplamaların değişkenlik gösteren parametreleri ele alınmıştır. Yapılan çalışmada, dört adet fren disk yüzeyi HVOF kaplama yöntemi ile kaplanmıştır. Ayrıca bir adet kaplamasız disk kullanılmıştır. Disk yüzeyleri; CoNiCrAlY, WC-Co (88/12), NiCrBSi ve MoNiCrBSiFe (Mo %25) seramik toz karışımları kullanılarak HVOF kaplama yöntemiyle kaplanmıştır. Kaplamada kullanılan bu seramik toz karışımlarının fren disklerine uygulanmasının nedeni ise; fren disklerinden daha iyi performans ve elektriksel özellikler, disklerin daha yüksek ve düşük sıcaklıklarda çalışması, zorlu kimyasal ortamlarda çalışması ve daha uzun ömürlü olması gibi etkenler bu seramik tozların seçilmesinde önemli etkenler olmuştur.

#### **3.1.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Disklerin Özellikleri**

Fren diskinde istenilen performansı elde edebilmek için mekanik ve ısı zorlamalarına karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Büyük bir ısı derecesi aralığı dâhilinde sürtünme değeri stabilitesini bozmaması istenir. Fren diskinde oluşan sıcaklık sebebiyle disk veya kampananın minimum düzeyde deformasyon göstermesi için ısı genleşme katsayısının küçük olması gerekmektedir. Disklerde en önemli unsur sürtünmedir. Sürtünme ise sıcaklığa bağlı olarak değişebilmektedir. Bu sebepten dolayı fren diski üzerinde bulunan sıcaklığın kısa bir sürede üzerinden atılması istenir. Fren diskinin sıcaklığını ortama kolaylıkla iletmesi için ısı iletkenliğinin yüksek olması gerekmektedir.

Çalışmada kullanılan diskler gri dökme demirinden imal edilmiştir. Fren diskleri olarak orijinal ticari fren diskleri kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada bir tanesi orijinal disk, dört tanesi HVOF kaplama yöntemi uygulanan disk olmak üzere beş tane fren diski, fren performans testlerine tabii tutulmuştur.



**Şekil 3.2** Çalışmalarda kullanılan fren diskinin teknik resmi ve ölçüleri.

Mikroyapı çalışmalarında fren performans testinde kullanılan fren diskinin özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Fren diskinin özellikleri.

<b>Disk özellikleri</b>	<b>Özellik/Değeri</b>
Disk çapı (mm)	280.00 mm
Fren diski kalınlığı (mm)	24.0 mm
Minimum kalınlık (mm)	21.8 mm
Disk tipi	Normal fren diski
Disk yüzeyi	Standart
Bijon bağlantı delik sayısı	4 Delik
Porya çapı (mm)	100 mm
Yükseklik (mm)	44.0 mm
Merkez çapı (mm)	61.0 mm
Gç çap (mm)	140.0 mm
Bijon ölçüsü (mm)	13.6 mm



### 3.1.2 Kaplama Tozlarının Seçimi

Gelişen teknoloji ile birlikte seramik, sermet ve metalik esaslı tozlar bilimsel araştırmalarda daha çok kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan tozların seçilmesinin nedeni ise; gelişen teknolojiye malzemelerin kullanım alanı her geçen gün zorlaştığı için malzemelerin daha ekonomik ve daha uzun ömürlü kullanılabilir mi sorusuna yanıt aramak için bu tozlar ile kaplama yapılması düşünülmüştür. Çalışmada kullanılan tozların kodları ve içerisinde bulunan elementleri aşağıdaki Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2** Kaplamada kullanılan tozların kodları ve özellikleri.

<b>Kaplama Tozları Kodları</b>	<b>Kaplama Tozları Elementleri</b>
GTV 60.95.1	CoNiCrAlY
GTV 80.76.0	WC-CO (88/12)
GTV 80.15.0	NiCrBSi
AMDRY 137	MoNiCrBSiFe (Mo %25)

Sermet, seramik (ser) ve metal (met) malzemelerden oluşmuş bir kompozit malzemedir. Genellikle bir seramiğin yüksek sıcaklık direnci, sertlik gibi özellikleriyle bir metalin plastik olarak deforme edilebilme özelliklerinin optimal bir birleşimi şeklinde dizayn edilirler.

Sert seramikler; yüksek mukavemet değerleri, sertlikleri ve aşınma dirençleri ile söz konusu mekanik etkenlerin ağır olduğu ortamlarda en çok kullanılan malzemelerdir. İlk ticari sement karbür olan WC-Co, yüksek aşınma direnci ve kobalt ilavesine bağlı olarak artan eğme mukavemeti ile sert malzemeler arasında ayrı bir yere sahiptir. WC-Co, metalik kobalt ile bağlı düzgün açılı WC tanelerinden oluşan yapısıyla halen basit aşınmalara karşı en dirençli malzemedir (Yazıcı 2016).

HVOF yöntemi ile aşınma ve korozyon direnci yüksek Tungsten Karbür kaplamalar yapılabilmektedir. Tungsten Karbür ile kaplanan parçaların ağır yükler altında, aşınma ve korozyonun yoğun olduğu iş parçalarında kullanılabilir.

HVOF yöntemi ile aşınma ve korozyona dayanımı yüksek krom karbür kaplamalar üretilmektedir. Ağır yükler altında çalışan; aşınma, sıcaklık ve korozyonun yoğun olduğu iş parçaları bu yöntemle elde edilebilir. Kaplanan malzemenin yüksek sıcaklık ve korozyon etkilerinin yüksek olduğu şartlarda aşınma ve korozyon dayanımı ömrü 5-6 kat artmakta ve çıkan ürün kalitesi bundan çok önemli derecede olumlu etkilenmektedir.

Nikel, katı haldeyken 8.9 kaplanmış haliyle 8.85 yoğunluğunda, gümüş renkli bir metaldir. Nikelin değeri 2 ya da 3'tür, ancak kaplama banyolarında değeri her zaman 2'dir. Nikel korozyona karşı yüksek dirençli, oldukça sert ve fazlasıyla güçlü bir metaldir. Nikelin elektriksel direnci kabaca bakırın beş katıdır.

Termal püskürtülür molibden kaplamanın yüksek ısı iletkenliğine sahipliği kanıtlanmıştır. Molibden atmosferi altında püskürtüldüğünde, oksitler kaplamanın içinde üretilmektedir. Onlar düşük sürtünme katsayısı ve yüksek sertliğe sahiptir. Çünkü bu oksitler hizmet performansı için yararlıdır. Titanyum ve alüminyum'a, molibden kaplamalar uygulanabilir. Dahası, saf molibden belli niteliklerini geliştirmek için özel elemanlar ile alaşım edilebilir. Örneğin; aşınma direnci, molibden matris içindeki karbon eklenmesi ile geliştirilebilir. Her sektör için farklı uygulamalara ilişkin, molibden-bazlı kaplama, farklı özellikleri üretmek için çeşitli yanma ve plazma işlemleri ile yapılmaktadır.

HVOF kaplama yöntemi kullanılarak piyasadan tedarik edilen diskler disk 2 CoNiCrAlY, disk3 WC-Co (88/12), disk 4 NiCrBSi, disk 5 MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplama tozları ile kaplama yapılmıştır.

### **3.1.3 Neden HVOF**

Kaya A.Ö. yaptığı çalışmada, HVOF test edilmiş ve gaz yakıtlı sistemlerden çok daha az gözeneklilik göstermiştir. Diğer olası korozyon yolu kaplamada püskürtme sürecinde üretilen oksitler ile oluşur. HVOF düşük yanma sıcaklıklarına en kısa partikül ısınma sürelerine sahiptir, bu yüzden HVOF teknolojisiyle olası en düşük oksit kaplamaları üretir. HVOF işlemi bizlere birçok avantajlar sunar. Bunlar; kalın kaplama kapasitesi

(belirli metaller için 2.5 mm den fazla), parça büyüklüğü sınırlaması olmaması, kimyasal solüsyon korumasına ihtiyaç duymaması ve daha düşük tertibat (kurma) ve uygulama maliyeti. HVOF termal püskürtme minimum sekiz aşamalı bir işlemdir. HVOF' un ekonomik avantajları ve yüksek kaplama hızları eskiden ekonomik veya pratik olarak olası olandan çok daha geniş uygulama alanlarının ele alınmasına olanak verir. Ayrıca aşınma direnci uygulanmasında parçanın ömrünü uzatmanın bir yolu olan daha kalın kaplama uygulaması seçeneği sunar. Bu pazardaki diğer gaz yakıtlı HVOF sistemlerinde olası bir seçenek değildir. HVOF'un diğer bir faydası tamamlama maliyetinde azalmadır. Doğru tozla, üretilen kaplama yoğunlukları daha pürüzsüz sonuçlara olanak verir ve çok ince püskürtülmüş profil (görünüm) bitirmek için gereken zamanda azalmaya yol açar. Daha pürüzlü püskürtülmüş kaplama gerektiğinde, ya püskürtme parametrelerinde ya da toz boyutunda bir değişiklik kolaylıkla doğru çözümü sağlar (Kaya 2007).

HVOF'un bahsedilen özellikleri ve teknolojinin son ürünlerinden biri olması sebebiyle kaplama yöntemi olarak HVOF seçilmiştir.

### **3.1.4 Fren Test Standartları ve Frenleme Performansı Değerlendirme Prosedürü**

Frenleme etkinliğini değerlendirme konusu her zaman otomotiv mühendisliğinde zor bir konu olmuştur. Bu yüzden frenleme etkinliğinde kullanılan disk/kampana ve balata ikilisinin gerçek frenleme performansını değerlendirmek için emniyetli kriterler oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kriterler yeni ve güçlü fren performans ihtiyacını test etmek için geliştirilmiştir. Bunun yanında test maliyetlerini azaltmak, geliştirme sürelerini kısaltmak, güvenlik problemlerini çözmek, satış sonrası yedek parçaya olan ilgiyi artırmak, çeşitli araç gruplarını test etmek, müşterilerin endişelerini azaltmak, teknolojik gelişme sağlamak gibi amaçlar için geliştirilmiştir.

Bu testler aşağıdaki şekilde değerlendirilebilir;

1. Motorlu karayolu taşıtı olmalı.
2. Brüt taşıt ağırlığı 3500 kg'a kadar olmalı.
3. İlgili temel kontrolleri ve önlemleri mevcut olmalı.

### 3.2 Mikroyapı Çalışmaları

Mikroyapı çalışmalarına başlamadan önce, her bir numuneden bir adet 30 mm çapında ve 10 mm çapında üç adet numune CNC tezgâhında işlenerek alınmıştır. Daha sonra 30 mm çapındaki numuneler SEM görüntüleri alınırken ve termal (ısı) iletkenlik katsayısı bulunurken kullanılmıştır. 10 mm çapındaki numuneler ise korozyon direnci analizi testlerinde ve mikro sertlik deneylerinde kullanılmıştır.

### 3.3 Sertlik Testleri

Kaplanmamış ve kaplanmış disklerin mikro sertlik deneyleri TS 6503 EN ISO 4516'da "Metalik ve diğer inorganik kaplamalar-vickers ve knoop mikro sertlik deneyleri" belirtilen şartlarda yapılmıştır. Çok ince saçların hassas parçaların ve kaplamaların mikro sertliklerinin ölçümünün yapıldığı bu yöntemde baskı elemanı olarak tepe açısı 136° olan elmas uç kare piramit kullanılır. Düşük miktardaki F yükü ile malzemeye bastırılan piramit ucun bıraktığı dörtgen izin köşegenleri ölçülerek elde edilen ortalama köşegen uzunluğu aşağıdaki formülde yerine konarak hesaplanır.

$$VSD = 1.8544 * F/d^2 \quad (3.1)$$

Burada;

VSD: Vickers sertlik değeri

F: Deney yükü (Kgf)

d: Batıcı uç ortalama köşegen uzunluğu (mm)

Vickers sertliği yüke bağlı değildir. Ölçme hatalarını azaltmak ve heterojen yapılarda ortalama değer elde edebilmek için yükü ve dolayısı ile izi büyütme faydalıdır. Ancak köşegen uzunluğu sertliği ölçülen numune kalınlığının en çok üçte ikisi kadar olmalıdır. Yük 0.0025 gr ile 12000 gr arasında değişebilir. Yükün uygulanma zamanı yaklaşık 20 sn'dir. Mikro sertlik ölçmede batıcı ucun derinliği hiçbir zaman bir mikronu geçemez. Bundan dolayı numunelerin sertliği alınan yüzeyinde iz görmek gözle mümkün değildir.

### 3.4 Isıl İletkenlik Katsayısı Belirlenme Testleri

Kaplama yapılmamış disk ve kaplama yapılmış disklerden alınan 30 mm çapındaki silindir numuneler bu testlerde kullanılmıştır. Deney cihazı elektrik gücünü dengeleyen ve sıcaklığı ölçmek için kullanılan bir cihazdan destek almıştır. Testlerde kullanılan numuneleri sıkıştırmak için iki polyamit silindir bulunmaktadır. Bu silindirlere numunelerin sıkıştırıldığı yerlerde silindir şeklinde pirinçten imal edilmiş vericiler bulunmaktadır. Bu vericiler sayesinde test esnasında numunelerdeki sıcaklık değişimleri kaydedilmiştir. Kaydedilen değerler sayesinde her numunenin ısı iletkenlik katsayısı çeşitli formüllerle bulunmuştur. Numunelerin her biri için yaklaşık 1 saatlik testlere tabi tutulmuştur. Cihazda bulunan termometre verilen elektriksel güçle maksimum sıcaklığa çıkana kadar bekletilmektedir. Termometre maksimum sıcaklığı gösterdiğinde ve yaklaşık 5 dakika sıcaklık değerleri değişmediğinde testler sonlandırılmıştır. Aşağıdaki formüller yardımıyla çeşitli işlemler yapılarak kaplamasız disk ve kaplamalı disklerin termal (ısı) iletkenlik katsayıları belirlenmiştir.

$$\frac{T_1 - T_{g1}}{T_1 - T_3} = T_{g1} \quad (3.2)$$

$$\frac{T_{\zeta 1} - T_{g1}}{T_7 - T_9} = T_{\zeta 1} \quad (3.3)$$

$$k = \frac{Q * X}{A * (T_{g1} - T_{\zeta 1})} \quad (3.4)$$

$T$  = Sıcaklık değerleri

$Q$  = Elektriksel güç

$A$  = Alan

$T_{g1}$  = Giren sıcaklık değeri

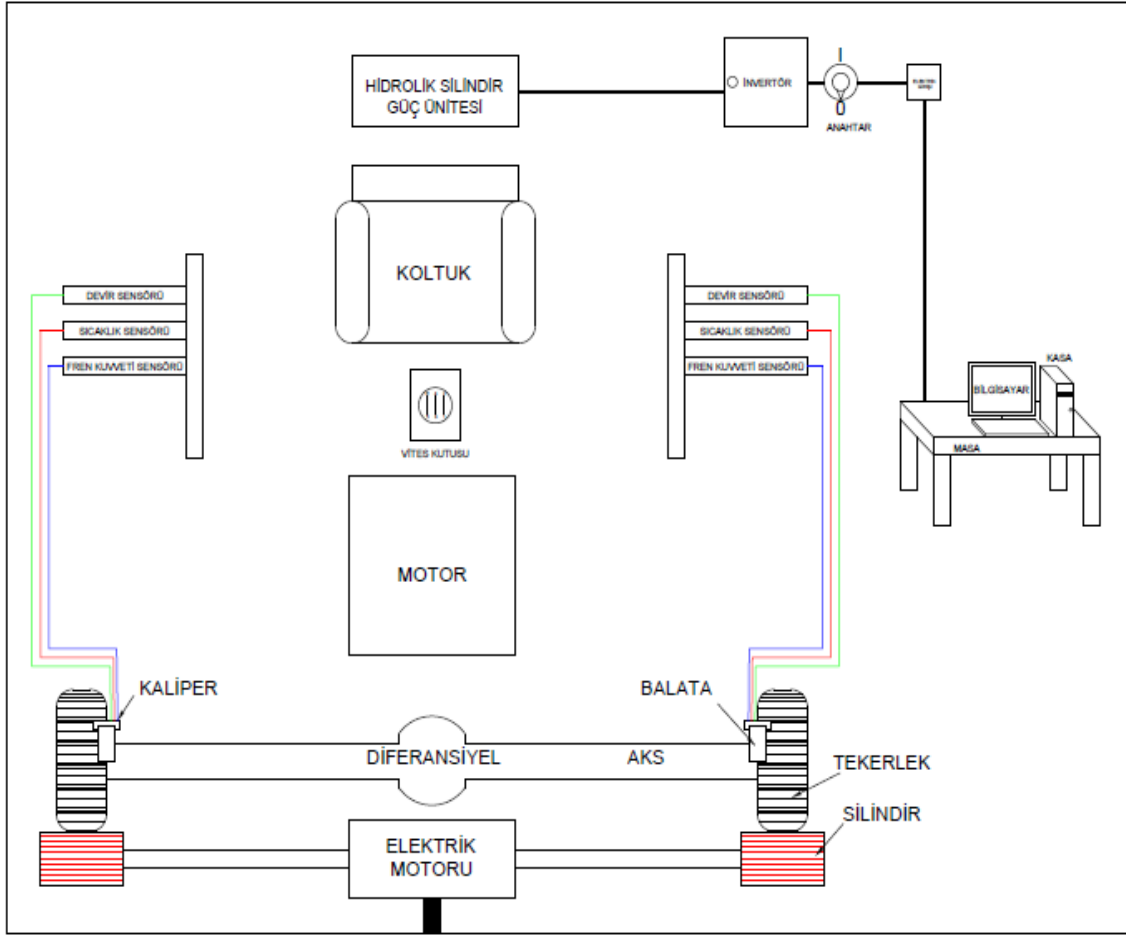
$T_{\zeta 1}$  = Çıkan sıcaklık değeri

### **3.5 Çalışmada Kullanılan Makine ve Cihazlar**

Frenleme performansı, sürtünme malzemelerinin sıcaklığına, sertliğine, temas alanına, mikro yapısına, fiziksel özelliklerine, yanal salgısına, aşınma direncine bağlıdır. Çalışmamızda kullandığımız kaplama yapılmayan ve kaplamalı disklerin bu özelliklerini tayin edebilmek için kullandığımız makine ve cihazlar bu bölümde ayrıntılı bir şekilde tanıtılmıştır.

#### **3.5.1 Fren Test Cihazı ve Özellikleri**

Kaplama yapılmamış ve kaplamalı diskler, frenleme performansı etkinliği testine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmaların yapıldığı fren test cihazı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Laboratuvarında bulunan fren test cihazında yapılmıştır. Cihazda yapılan testler isteğe bağlı olarak, hem elektrik motoru yardımı ile hem de cihaz bünyesinde bulunan içten yanmalı motor sayesinde iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Ayrıca testler; çukur, tümsek ve düz yol şartları gibi üç farklı yol durumuna göre test yapma olanağı sağlamaktadır. Fren performans testlerini gerçekleştirebilmek için cihazın mekanik donanımları tamamlanmış ve bu donanımları bilgisayar kontrolünde, bu test cihazı için özel yazılmış fren test ara yüzü programı sayesinde Microsoft Excel ortamına aktarılmaktadır. Aktarılan bu bilgiler ise; sol fren kuvveti, sağ fren kuvveti, sol disk sıcaklığı, sağ disk sıcaklığı ve deney esnasında elektrik motoruna verilen devir hızıdır. Elektrik motorundan çıkan dairesel hareketin mil üzerinden diske istenilen devirlerde aktarılması invertör sayesinde gerçekleşmektedir. Yapılan fren testleri 750 dev/dk sabit devirde yapılmıştır. Fren sistemi test cihazının şematik görünüşü Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Fren sistemi test cihazı şematik görüntüsü.

### 3.5.2 Hassas Terazi

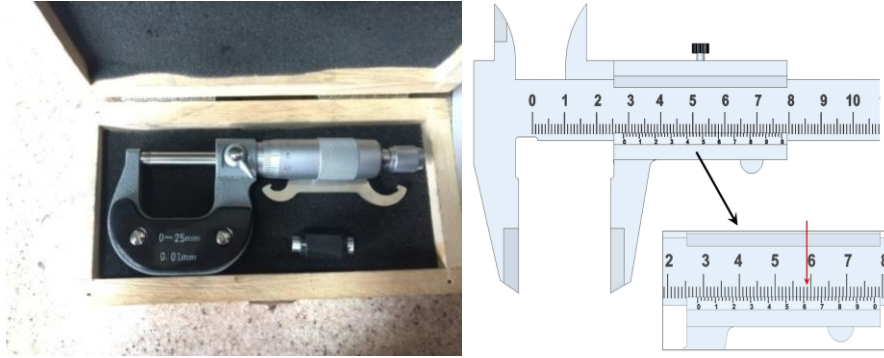
Disklerde oluşan kütle kaybını ölçmek için 0.1 gr hassasiyetli, max 30 kg'a kadar ölçme kapasiteli TEKSTAR JZC-TSC marka terazi kullanılmıştır. Kullanılan terazi Resim 3.1'de verilmiştir.



**Resim 3.1** Hassas terazi.

### 3.5.3 Mikrometre ve Kumpas

Disklerin fren testinden önce ve sonra olmak üzere kalınlık ölçüleri 0-25 mm ölçü mesafesinde 0.01 hassasiyetindeki mikrometre ile 1/20 yani 0.05 hassasiyetinde ölçü aletleri kullanılarak ölçümler yapılmıştır.



**Resim 3.2** Mikrometre ve kumpas

### 3.5.4 Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Disklerin yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük değerlerini belirlemek için Mahr marka yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır (Resim 3.3). Elde edilen değerlerle, deneyde kullanılan disk yüzeylerinin pürüzlülük değerleri testlerden önce ve sonra belirlenmiştir.

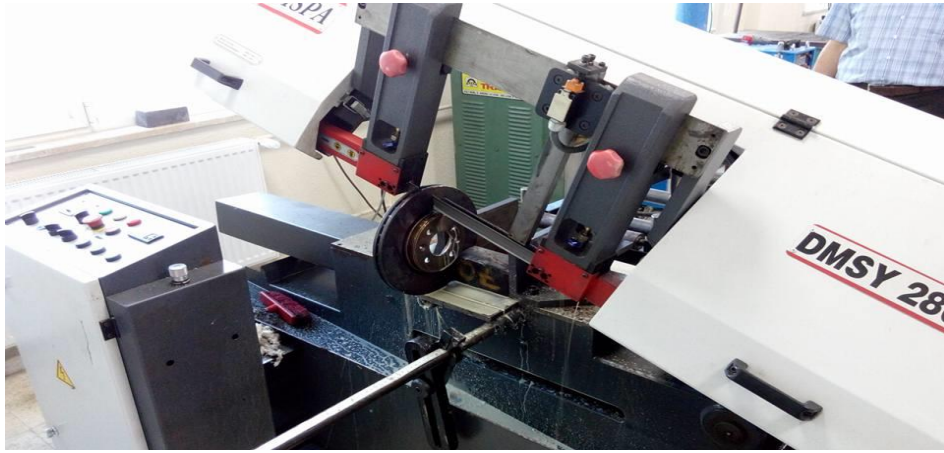




**Resim 3.3** Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.

### 3.5.5 Şerit Testere Makinesi

Fren testi uygulanmış disklerden uygun ebatlarda kesmek için Resim 3.4'te gösterilen Dispa DMSY 280 marka yarı otomatik şerit testere makinesi kullanılmıştır.



**Resim 3.4** Şerit testere makinesi.

### 3.5.6 Numune Kesme Cihazı

Şerit testere makinesinde kesilen disklerden istenilen boyutlarda numune almak için Resim 3.5'te gösterilen Microcut Challenger 1000 CNC işleme tezgâhı kullanılmıştır.



**Resim 3.5** Numune kesme cihazı.

### **3.5.7 Metalografik Kalıplama Cihazı**

Bu cihazlar her çeşit termo plastik malzemeleri ve ısı ile sertleşebilen reçineleri kullanarak numuneleri kolaylıkla kalıba almak için dizayn edilmiş kalıplama presleridir. Kesilen numuneler MP2-30 kalıplama cihazı ile kalıba alınmıştır.

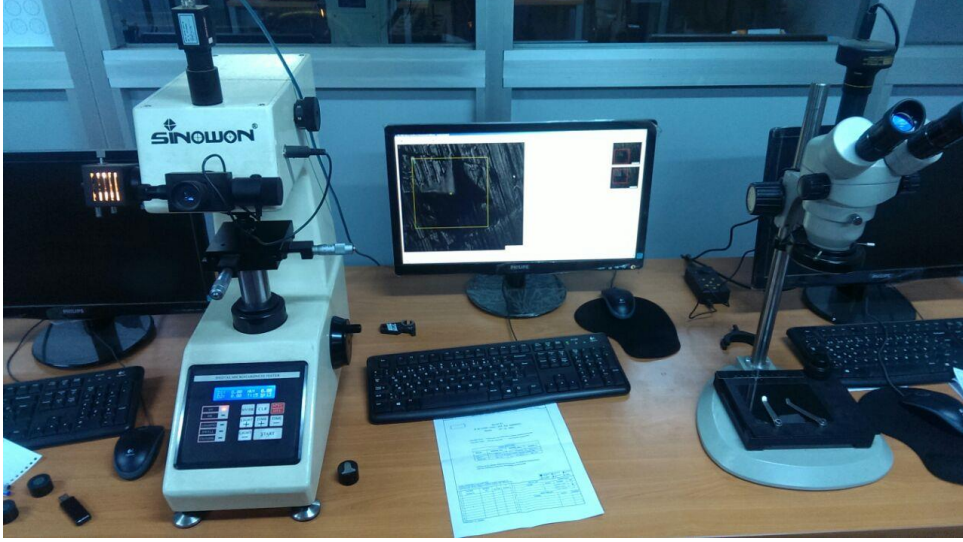


**Resim 3.6** Metalografik kalıplama cihazı.

### **3.5.8 Mikro Sertlik Ölçüm Cihazı**

Fren disklerinden alınan numunelerin mikro sertliklerini ölçmek için Resim 3.7’de gösterilen SİNOWON marka mikro sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Numunelerin

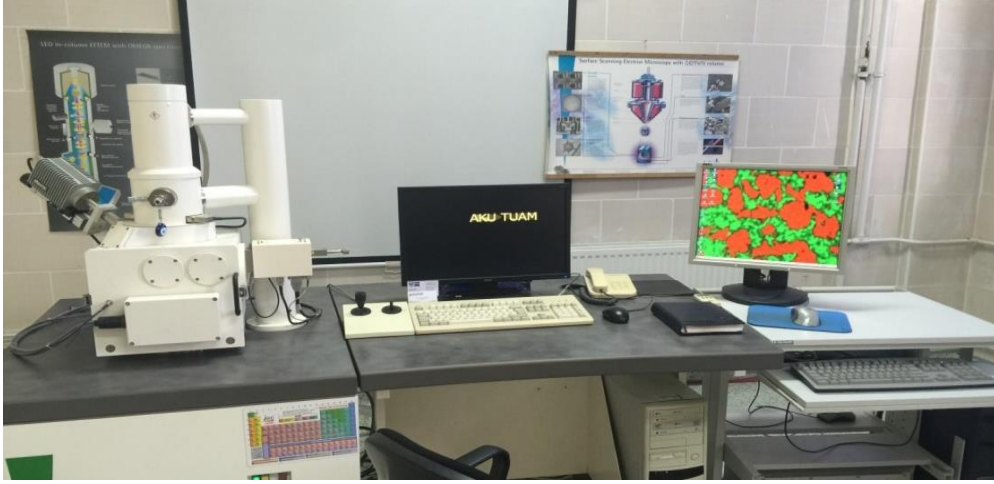
farklı noktalarından alınan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak disklerden alınan numunelerin sertlik değerleri tespit edilmiştir.



**Resim 3.7** Mikro sertlik ölçüm cihazı.

### **3.5.9 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)**

Fren disklerinden alınan numunelerin mikro yapılarını incelemek amacıyla Resim 3.8’de gösterilen LEO 1430VP model SEM cihazı kullanılmıştır. Bu cihazda geri yansıyan elektron (backscattered electron) ve EDS (Enerji Dağılımı Spektrometresi) detektörleri sayesinde görüntü üzerinde, çizgi ve haritalama yöntemleri ile analiz yapılmıştır.



**Resim 3.8** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

### 3.5.10 Isıl İletkenlik Test Cihazı

Fren disklerinden alınan numunelerin termal (ısı) iletkenlik katsayıları bulunması için bu cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz parçaların sıcaklığını ölçmek için termometre ve elektrik gücünü sabitleyici bir yapıdan oluşmaktadır.



**Resim 3.9** Isıl iletkenlik katsayısı belirleme cihazı.

Ayrıca ısıl iletkenliği ölçülen parçanın sıkıştırılması için iki adet silindir polyamit ve içerisindeki pirinç vericilerden oluşmaktadır. Test cihazında su ile devir daim yapılarak termal sıcaklık değerleri dengelenmektedir.

### 3.5.11 Korozyon Analizi Cihazı

Fren disklerinden alınan numunelerle korozyon analizi GAMRY INSTRUMENTS (Referance 600) marka cihaz ile yapılmıştır. Ayrıca yardımcı eleman olarak referans elektrot ve platin kullanılmıştır. Numunelerin korozyon analizi yapılabilmesi için (0.5 mol NaCl) çözeltisi hazırlanmıştır. Çözeltiler bir beher kap içerisinde bir süre kararlı hale gelebilmesi için ısıtılmıştır. Hazırlanan çözeltilerle teste tabi tutulan her numune monitör ekranında korozyon analizi grafiği oluşana kadar devam etmiştir. Testler yaklaşık 45'er dakika sürmüştür. Korozyon analizi cihazı, yardımcı ekipmanları ve malzemeleri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Resim 3.10'de gösterilmiştir.



**Resim 3.10** Korozyon analizi cihazı ve yardımcı elemanları.

## 4. BULGULAR

Yapılan çalışmada, öncelikle aynı özellikte beş adet otomobil diski tedarik edilmiştir. Daha sonra bu fren disklerinden dört tanesinin yüzeyi farklı seramik tozlar karışımı ile HVOF kaplama yöntemi ile kaplatılmıştır. Bu tozlar, CoNiCrAlY, NiCrBSi, WC-Co (88/12) ve MoNiCrBSiFe (Mo %25) seramik toz karışımlarıdır. Kaplanan diskler ve kaplama yapılmayan disk fren test cihazında frenleme testlerine tabi tutulmuştur. Bu test esnasında diskler 5 dakikada 15 saniye aralıklarla 20 kez frenlemeye maruz bırakılmıştır. Testlerden önce ve sonra disklerin yüzey pürüzlülükleri, kütle değişimleri ve sıcaklık değişimleri tespit edilmiştir. Frenleme testleri bittikten sonra, fren disklerinin hepsinden 30 mm çapında ve 10 mm çapında numuneler bir CNC freze tezgâhının yardımıyla alınmıştır. Alınan numuneler sırasıyla, mikro sertlik deneyleri, SEM görüntü ve analizi, termal (ısı) iletkenlik katsayısı belirlenme testleri ve korozyon analizleri yapılmıştır.

Bu bölümde, tez çalışması boyunca yapılan testler ve analizlerden alınan sonuçlar hakkında somut bilgiler verilmiştir.

### 4.1 Fren Disklerinin Aşınma Sonuçları ve Değerlendirmeleri

Her fren testi için, teste başlamadan önce test yapılacak disklerin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülükleri ölçülen disklerin, hassas terazide ağırlıkları ölçülmüştür. Test bitiminde, kullanılan disklerin yeniden yüzey pürüzlülükleri ve ağırlıklarının verileri alınmıştır. Daha sonra fren disklerinden alınan numunelerle çeşitli testler titizlikle yapılmıştır. Bu fren test cihazından, fren sol kuvveti, fren sağ kuvveti, disk sıcaklıkları ve araç tekerleklerine verilen döndürme kuvveti (dev/dak) olarak bilgiler alınmaktadır.

### 4.2 Fren Disklerinden Test Aşamasında Alınan Ölçümler ve Değerlendirmeleri

Bu kısımda, kaplanma yapılmamış diskte ve diğer dört adet farklı tozlarla HVOF kaplama yöntemi ile kaplanmış fren disklerinin yüzey pürüzlülükleri, mikro sertlik

analizleri, disklerde aşınma öncesi ve sonrası oluşan kütle değişimleri, disklerdeki sıcaklık değişimleri ve disklere uygulanan maksimum frenleme kuvveti testlerinin sonuçları verilmiştir.

#### 4.2.1 Orijinal ve Kaplanmış Disklerin Yüzey Pürüzlülüğü

Orijinal ve kaplanmış diskler aşındırma yapılmadan önce ve sonra yüzeylerinden 5 ayrı noktadan pürüzlülükleri ölçülmüştür. 5 ayrı pürüzlülük değerinin ortalaması bulunmuştur. Ölçümler, diskin dönme esnasında oluşan kayma çizgilerine dik olacak şekilde tanıtılmış olan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıyla ölçülerek değerlendirilmiştir. Disklerin yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1** Disklerin yüzey pürüzlülük değerleri ve değişim oranları.

<b>TEST NUMUNELERİ</b>	<b>Frenleme öncesi diskin yüzey pürüzlülüğü (Ra)</b>	<b>Frenleme sonrası diskin yüzey pürüzlülüğü (Ra)</b>	<b>Değişim oranı (%)</b>
Orijinal (Disk 1)	2.61	2.692	3.14
CoNiCrAlY (Disk 2)	0.51	0.56	9.80
WC-Co (88/12) (Disk 3)	0.194	0.308	58.76
NiCrBSi (Disk 4)	0.64	0.532	16.87
MoNiCrBSiFe (Mo %25) (Disk 5)	0.66	0.752	13.94

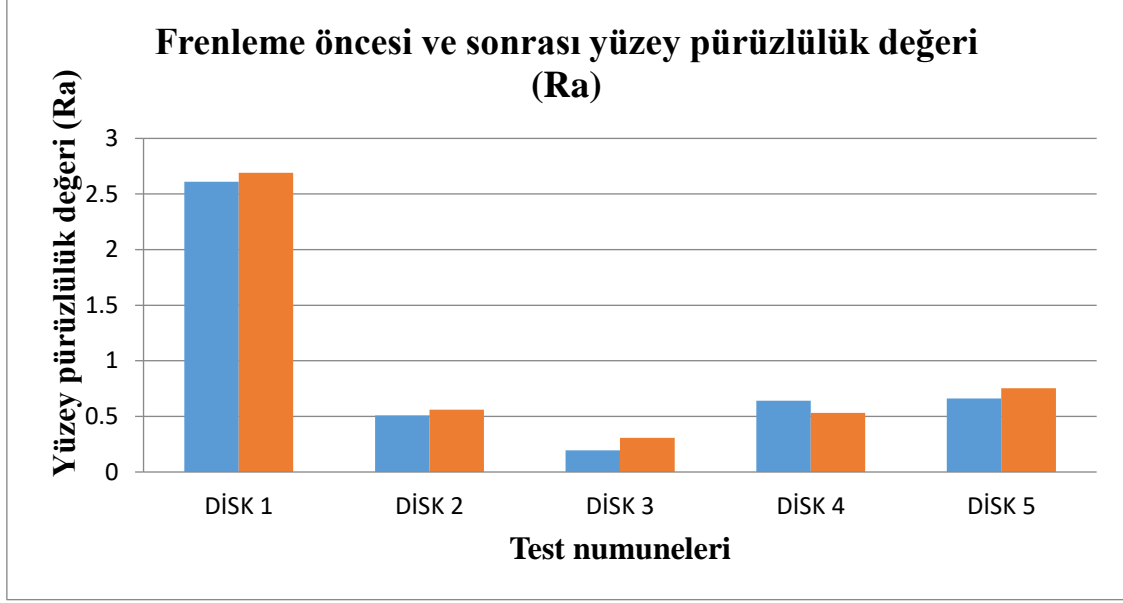
Yapılan bir çalışmada gri dökme demirlerin yüksek kesme hızlarında son bitirme işlemlerinde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Deneyler; ısıtılmış işlemsiz numunelere, seramik ve karbür kesiciler kullanılarak yapılmıştır. Kesici takımlar üç farklı kesme hızında (600-700-800 m/dak) ve dört farklı ilerleme hızlarında (0.05-0.08-0.12-0.16 mm/dev) değerinde kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre; en iyi pürüzlülük değeri seramik kesici ile kesme hızının 600 m/dak ve ilerlemenin 0.05 mm/dev olduğu kesme şartında 0.4 µm değeriyle elde edilmiştir. Isıl işlem görmemiş gri dökme demirlerin son bitirme işleminde elde edilen yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına göre taşlama gibi ikincil bir işlemin gerekmediği görülmüştür.

Yaptığımız çalışmada kaplamasız diske en yakın pürüzlülük değerleri MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı diskte gerçekleşmiştir. Diğer kaplamalı disklerin yüzey pürüzlülük değerleri daha düşüktür.

CoNiCrAlY, NiCrBSi ve MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı disklerdeki yüzey pürüzlülük değerleri birbirine yakındır. Bunun sebebi aynı kaplama yöntemi ile kaplanmalarından kaynaklanabilir. Ayrıca, toz karışımlarının hepsinde nikel elementi bulunmaktadır. Bu yüzden pürüzlülük değerleri yakın olabilir. WC-Co (88/12) kaplamalı diskin yüzey pürüzlülüğü değeri, diğer kaplamalı disklere ve kaplamasız diske göre daha düşüktür. Pürüzlülük değerlerindeki farklılık ise tozların kimyasal özelliklerinin farklı olmasına bağlanabilir.

Sermet kaplamalar aşınma direncinin çözümünde geniş bir aralıkta uygun çözümler sunar. Bu kaplanmış malzemeler, çalıştığı bölgedeki çevresel ve fiziksel etkilerden korunarak daha performanslı hale gelebilir. Diskler sertlik, kimyasal yapı, mikro yapı ve çalışma şartları gibi etmenler, yüzey pürüzlülük değerlerini etkilemektedir. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere yüzey pürüzlülüğü en düşük olan disk ise WC-Co (88/12) ile kaplanmış olan disklerdir.

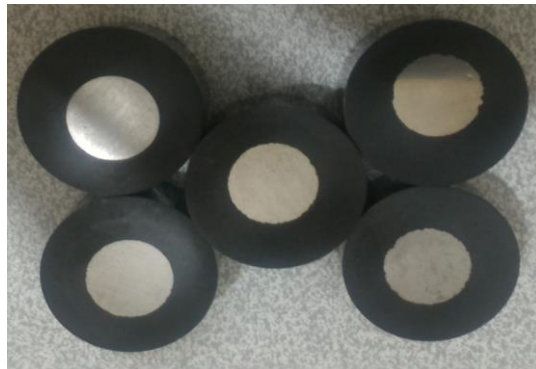




Şekil 4.1 Disklerde yüzey pürüzlülük değişim grafiği.

#### 4.2.2 Orijinal ve Kaplanmış Disklerin Mikro Sertlik Değerleri

Mikro sertlik deneylerinde kullandığımız mikro sertlik cihazına deney esnasında numunelerin yüzeyine 1000 gram sabit ağırlık verilerek yapılmıştır. Testler vickers sertlik testi yöntemi ile yapılmıştır. Mikro sertlik testlerinin daha kolay yapılabilmesi için, fren disklerinden alınan numunelerin hepsi materyal ve metot kısmında anlatılan kalıba alma cihazı ile bakalit kalıba alınmıştır. Bakalit kalıba alınan numuneler Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Bakalite alınan numuneler.

Daha sonra bakalit kalıba alınan numunelerin hepsinin ayrı ayrı sertlik analizleri yapılmıştır. Her bir numune yüzeyinden 4 ayrı noktadan değer alınmıştır. İlk iki değer aşınma olmayan yüzeyden, son iki değer ise aşınma olan yüzeyden alınmıştır. Her numune için bulunan sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır. Yapılan testler normal şartlar altında yapılmıştır. Her noktadan alınan sertlik testi yaklaşık 20 saniye sürede yapılmıştır. Numunelerin sertlik analizi yapıldığı sırada sertlik değerini ölçen elmas uca 1000 gr. sabit yük uygulanmıştır. Bütün numuneler bu yükte analiz edilmiştir. Çizelge 4.2’de sertliği ölçülen numunelerin ortalama değerleri görülmektedir.

**Çizelge 4.2** Disklerin mikro sertlik değerleri.

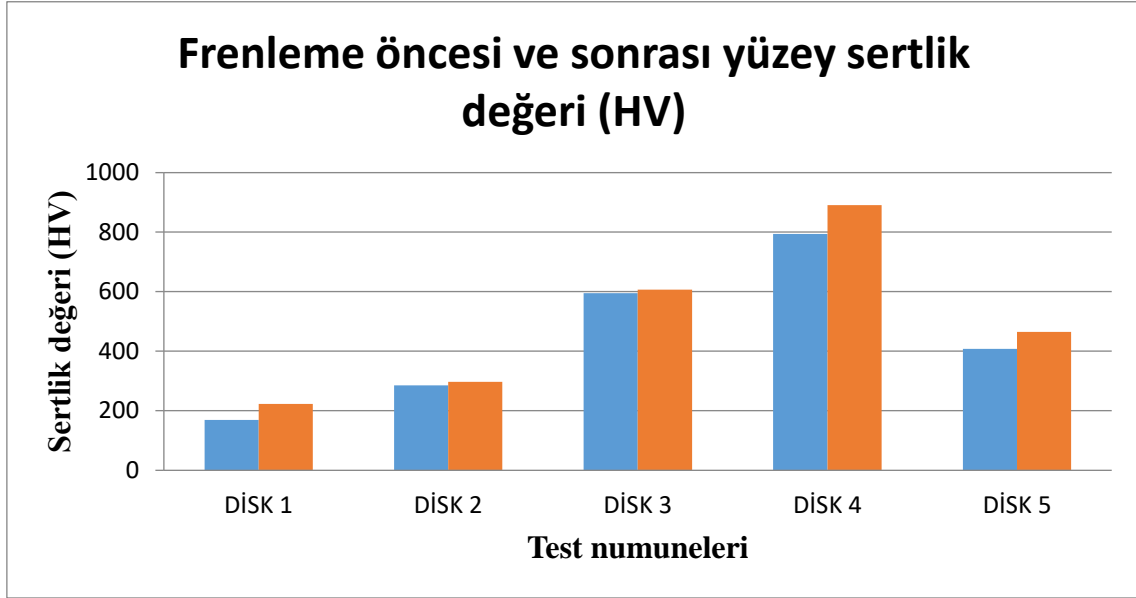
<b>TEST NUMUNELERİ</b>	<b>Frenleme olmayan yüzeyden alınan sertlik değerleri (HV)</b>	<b>Balatanın oluşturduğu yüzeyden alınan sertlik değerleri (HV)</b>	<b>Yüzeyde sertlik değişim oranı (%)</b>
Orijinal (Disk 1)	169.15	222.55	31.57
CoNiCrAlY (Disk 2)	285.45	269.9	4.01
WC-Co (88/12) (Disk 3)	594.9	606.9	2.02
NiCrBSi (Disk 4)	793.65	891.15	12.28
MoNiCrBSiFe (Mo %25) (Disk 5)	407.55	465.5	14.22

Çizelge 4.2’de verilen bilgilere göre, sürtünme olmayan yüzeylerden alınan mikro sertlik değeri en yüksek 793.65 HV ile WC-Co (88/12) seramik tozu ile kaplanmış numunede görünmektedir. En az mikro sertlik değeri 169.15 HV ile orijinal disk numunesinde görünmektedir. Sürtünme sonrası balataların oluşturduğu yüzeylerden alınan mikro sertlik değerleri ise, 891.15 HV mikro sertlik değeriyle yine en yüksek değer WC-Co (88/12) kaplamalı numunede tespit edilmiştir. En düşük mikro sertlik değeri de yine 222.55 HV sertlik değeri ile orijinal numunede tespit edilmiştir. Sürtünme anında balataların oluşturduğu yüzeylerin mikroskop görüntüleri Şekil 4.3’ te verilmiştir.



Şekil 4.3 Sürtünme esnasında balataların fren diskleri yüzeyinde oluşturduğu görüntüler.

Frenleme testleri esnasında balataların oluşturduğu yüzeylerden alınan sertlik değerleri ve balatanın temas etmediği yüzeylerden alınan mikro sertlik değerleri grafiği Şekil 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.4 Disklerdeki yüzey pürüzlülük farkları grafiği.

#### 4.2.3 Orijinal ve Kaplanmış Disklerin Aşınma Değerleri

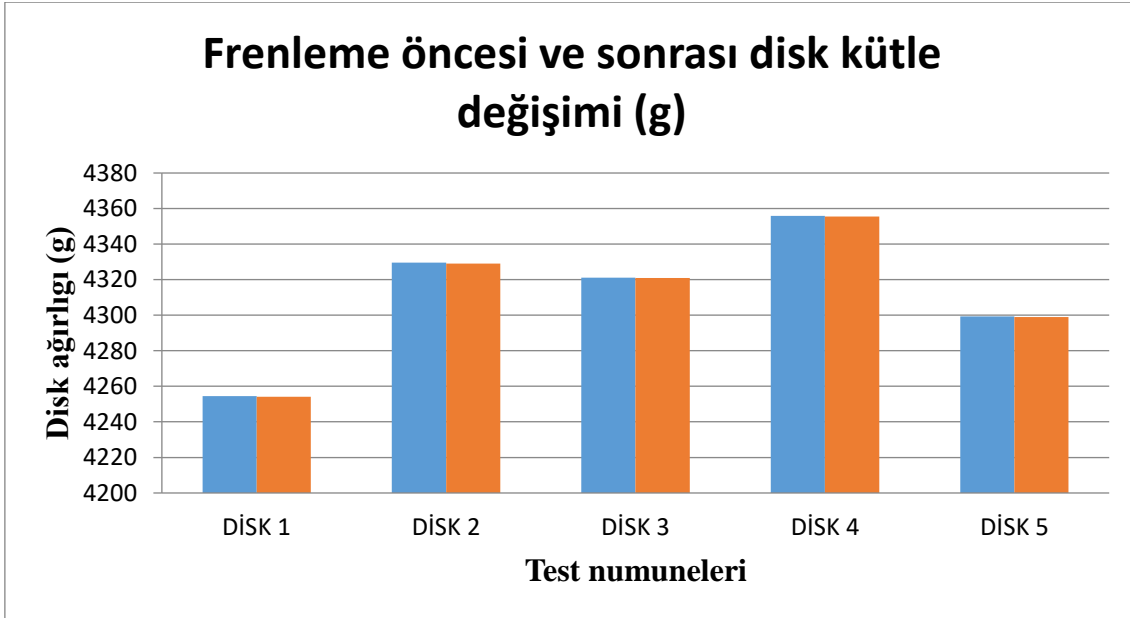
Frenleme performansı değerlendirilirken, sadece fren sisteminin parçaları olan disk-balata malzemelerinin gösterdiği sürtünme katsayısı değişimini göz önünde bulundurmamak, doğru sonuç elde etmek için yeterli değildir. Disk-balata parçalarının uzun ömürlü olmayışından kaynaklı olarak değiştirme ve tadilat gibi ek maliyetler, sürtünme katsayısının yüksek olmasına rağmen, tercih edilmesi durumunda bir dezavantaj oluşturur. Dolayısı ile parçaların ömrünü belirleyen aşınma miktarı da en az sürtünme katsayısı kadar önemlidir.

Kullanılan kaplanmasız ve kaplanmış disklerin aşınma miktarları da kıyaslanmıştır. Hassas teraziler yardımıyla test öncesi ve test sonrası ölçülen kütle değerleri Çizelge 4.3’te gösterilmiş olup bu değerler yardımıyla çizilen grafik Şekil 4.5’te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3** Test öncesi ve sonrası disklerin ağırlık değişimi.

TEST NUMUNELERİ	Frenleme öncesi kütlesi (g)	Frenleme sonrası kütlesi (g)	Kütle kaybı (g)	Kütle kaybı oranı (%)
Orijinal (Disk 1)	4254.5	4254.2	0.3	0.007
CoNiCrAlY (Disk 2)	4329.5	4329.1	0.4	0.009
WC-Co (88/12) (Disk 3)	4321.2	4320.9	0.3	0.007
NiCrBSi (Disk 4)	4355.8	4355.6	0.2	0.005
MoNiCrBSiFe (Mo %25) (Disk 5)	4299.3	4299.0	0.3	0.007

Disklerdeki aşınma sonrası en az kütle kaybı 0.2 gr ile NiCrBSi toz karışımı kaplaması ile yapılan diskte hesaplanmıştır. En çok kütle kaybı ise, 0.4 gr ile CoNiCrAlY kaplamalı diskte hesaplanmıştır. Kaplama yapılmayan disk, WC-Co (88/12) kaplamalı ve MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı disklerde ise 0.3 gr kütlede eşit miktarda kütle kaybı hesaplanmıştır. Şekil 4.5'te disklerin aşınmadan önceki kütleleri ve aşınmadan sonraki kütleleri karşılaştırılarak aralarındaki kütle kayıplarının grafiği verilmiştir.



**Şekil 4.5** Sürtünme öncesi ve sonrası ağırlık kaybı değişim grafiği.

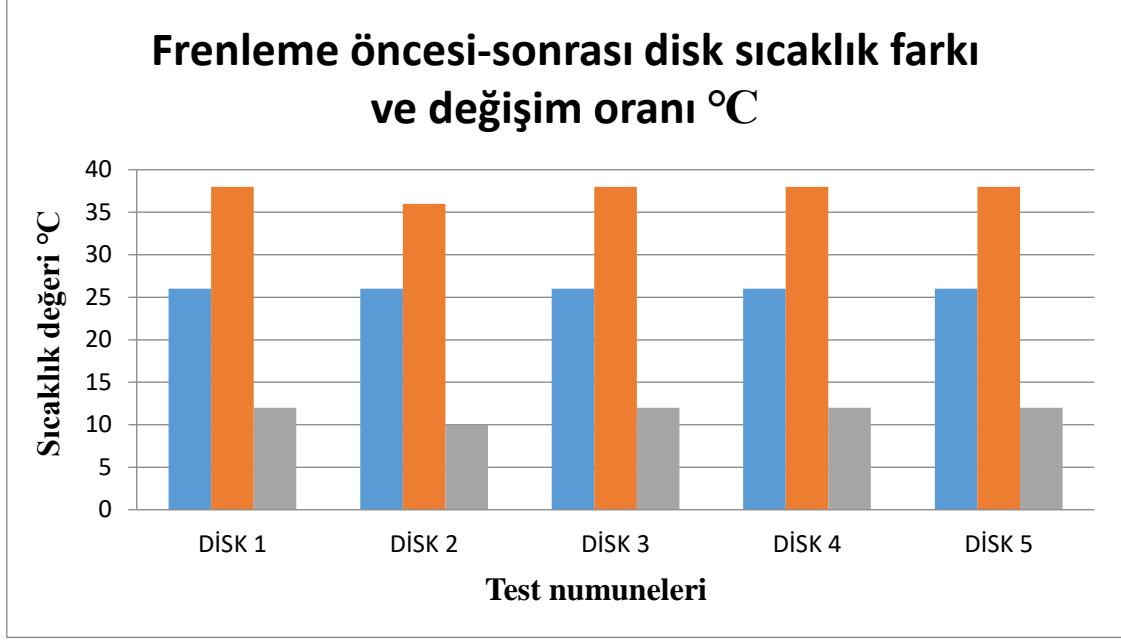
#### 4.2.4 Disklerin Frenleme Performansı

Her disk, fren test cihazında, 5'er dakika süre ile fren performans testine tabi tutulmuştur. Bu süre içerisinde 15 saniye aralıklarla frenlemeye maruz bırakılmıştır. Test sonucunda her diske 20 kez frenleme yapılmıştır. Fren test cihazından alınan bilgiler eşliğinde frenleme testleri öncesi ve sonrası disklerde meydana gelen sıcaklık değişimleri ve fren kuvvetleri aşağıdaki Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4** Test öncesi ve sonrası disklerin sıcaklık değişimi.

TEST NUMUNELERİ	Test öncesi sıcaklık °C	Test sonrası sıcaklık °C	Sıcaklık değişim miktarı °C	Sıcaklık değişim miktarı (%)
Orijinal (Disk 1)	26	38	12	46.15
CoNiCrAlY (Disk 2)	26	36	10	38.46
WC-Co (88/12) (Disk 3)	26	38	12	46.15
NiCrBSi (Disk 4)	26	38	12	46.15
MoNiCrBSiFe (Mo %25) (Disk 5)	26	38	12	46.15

Disklerin frenlemeden önceki sıcaklıklarının hepsinin eşit sıcaklıkta olduğu gözlemlenmiştir. Frenleme sonrası disklerde oluşan sıcaklık farkı en az CoNiCrAlY tozu ile kaplanan diskte görülmüştür. Diğer kaplamalı diskler ve kaplamasız disklerin sıcaklık değişimleri eşit sıcaklıkta olarak ölçülmüştür. Sıcaklık değişim miktarı ise, Çizelge 4.4'ten yardım alınarak Şekil 4.6'da gösterilen grafikte belirtilmiştir.



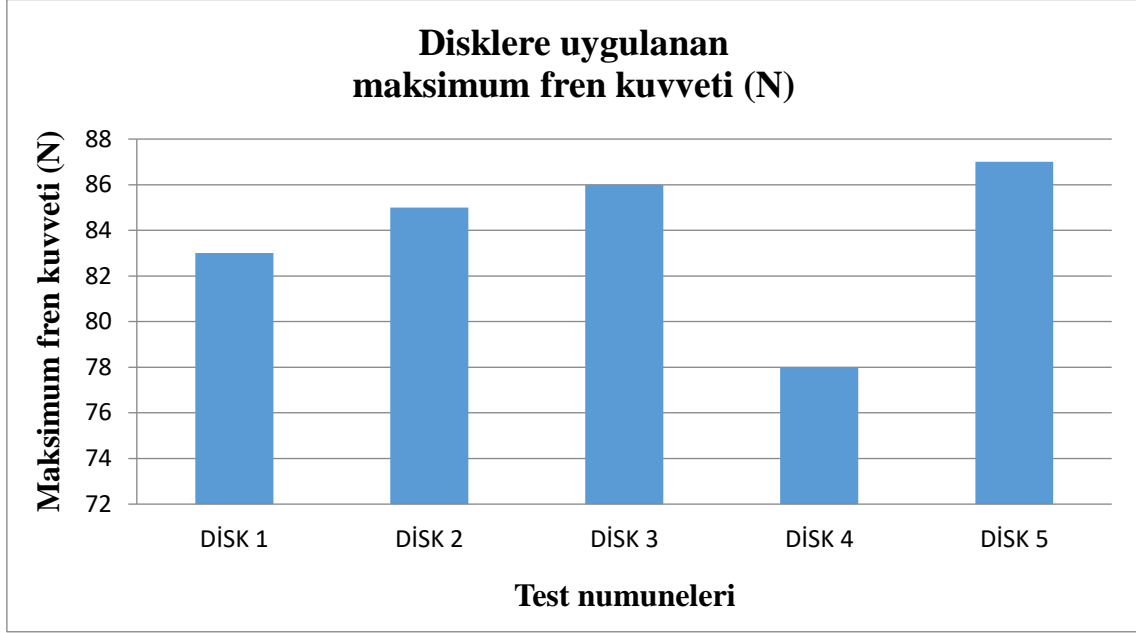
**Şekil 4.6** Disklerdeki test öncesi ve sonrası sıcaklık değişim miktarları.

Frenleme testleri esnasında fren disklerine uygulanan maksimum frenleme kuvvetleri Çizelge 4.5’te verilmiştir. En yüksek frenleme kuvveti MoNiCrBSiFe (Mo %25) seramik tozu ile kaplanmış diskte gözlemlenirken, en düşük frenleme kuvveti ise, NiCrBSi seramik tozu ile kaplanmış diskte görülmüştür. Frenleme kuvvetinin farklılık sebebi ise, Frenlemeler bir araç kullanıcısı tarafından yapılmaktadır. Bu yüzden testler esnasında frenlemenin bir cihazla sabit kuvvette yapılmamasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

**Çizelge 4.5** Disklere uygulanan maksimum frenleme kuvvetleri.

TEST NUMUNELERİ	Disklere uygulanan maksimum fren kuvveti (N)
Orijinal (Disk 1)	83
CoNiCrAlY (Disk 2)	85
WC-Co (88/12) (Disk 3)	86
NiCrBSi (Disk 4)	78
MoNiCrBSiFe (Mo %25) (Disk 5)	87

Şekil 4.7’de ise, frenleme testleri esnasında bulunan maksimum frenleme kuvvetlerinin grafiği verilmektedir.



Şekil 4.7 Disklere uygulana maksimum frenleme performansı değerleri grafiği.

### 4.3 Mikroyapı Çalışmaları

Bu bölümde, kaplanmamış diskte ve diğer dört adet farklı tozlarla HVOF kaplama yöntemi ile kaplanmış fren disklerinin SEM görüntüleri ve elemental analizi, hakkında bilgiler verilmiştir.

#### 4.3.1 SEM Görüntüleri ve Yorumlanması

Mikroyapı çalışmalarında numunelerin taramalı elektron mikroskobu yardımıyla SEM görüntüleri ve elemental analizi grafikleri alınmıştır. Alınan görüntüler yardımıyla, fren disklerinden alınan numunelerin mikro yapı ve elemental analiz yorumlamaları bu bölümde yer almıştır. Demir alaşımlarının en akışkan olanı olan gri dökme demir olarak bilinen yapının ve kaplanmış numunelerin SEM görüntüleri ve elemental analizleri Şekil 4.8-4.37’de verilmiştir. Bu tür alaşımların viskozitesi düşük olmasına rağmen iyi bir akma dayanımı göstermektedir. Bunların bu özelliği ince cidarlı ve karmaşık

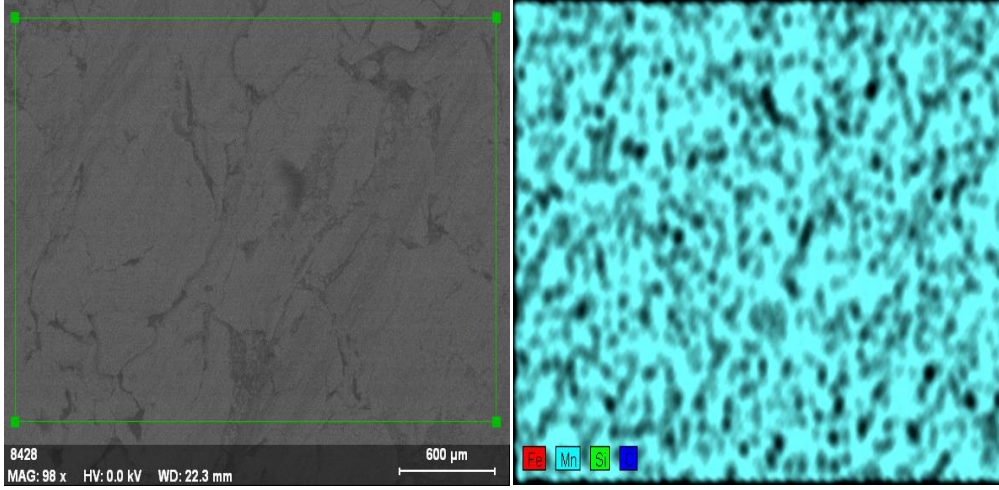


parçaların üretiminde kolaylık sağlar. Bunlardan üretilen makine parçalarının aşınma dirençleri ve sertlikleri de beklenen performansı karşılamaktadır. Bununla birlikte sınırlı yağlamalı sürtünme direnci ve titreşimi absorbe özelliğine de sahiptir. Bu alaşımların çekme dayanımları matris yapısına ve matris içindeki grafit lamellerinin boyut, dağılım oranı ve tipine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu alaşımlarda ana alaşım elementleri C ve Si' dur. Bunlar mikro yapı üzerinde en büyük etkiye sahiptirler. Grafit oluşumunu arttıran elementler grafit kararlaştırıcı olarak adlandırılır. Si, kuvvetli bir grafit kararlaştırıcıdır ve gri dökme demirde grafitleşmeyi artıran en önemli bireysel kompozisyon faktörüdür (Yazıcı 2016).

#### **4.3.1.1 Orijinal Diskin SEM Görüntüleri ve Elemental Analizi**

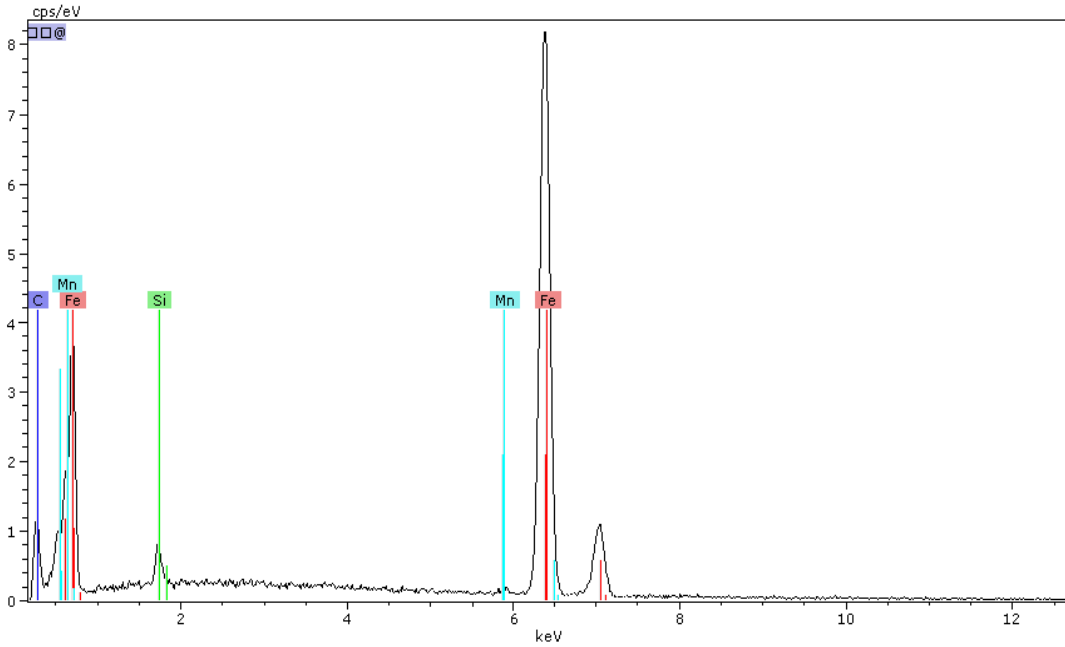
Kaplama yapılmamış diskin SEM görüntüleri ve elemental analizi Şekil 4.8-13'de gösterilmiştir. Disk, lamel grafitli dökme demirden oluşmaktadır. Lamel grafitli dökme demir, literatürde bilinen yapısındaki alaşım elementleri ve dağılımları SEM görüntülerinde görülmektedir. Yapı içerisinde karbon, lamel çizgisel şekilde dağılım gösterirken, bununla beraber demir ve silisyum elementleri homojen bir dağılımla yapı içinde yer almaktadır.

Şekil 4.8-4.9'da kaplama yapılmamış orijinal diskin aşınmış yüzeyinden alınan SEM görüntüleri ve elemental analizi verilmiştir.



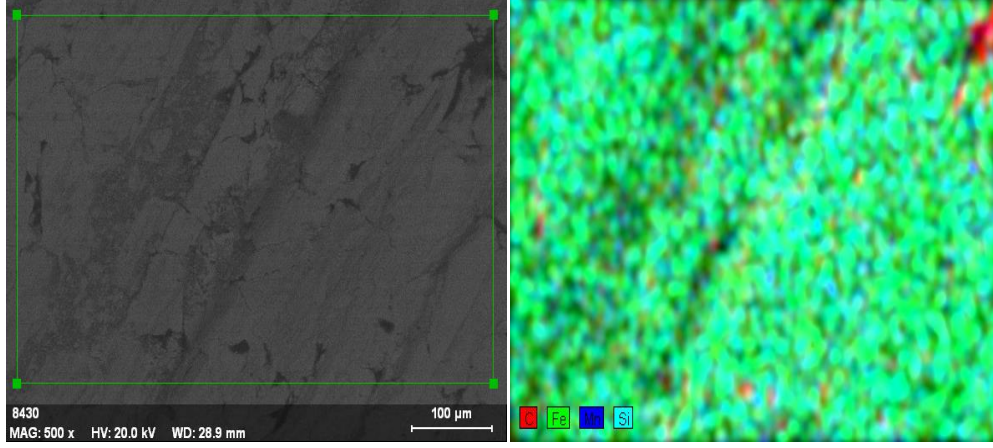
Şekil 4.8 Orijinal disk aşınmış yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

Bu mikro yapıda; ağırlıklı olarak demir, karbon, mangan ve silisyum elementleri alaşım içinde varlıklarını göstermektedir. Elemental analizi grafiğinde ise, cps/eV (eV başına alınan veri) ve orbitallerden elektron koparmak için gerekli olan enerji keV (kilo elektron volt) miktarı gösterilmektedir.



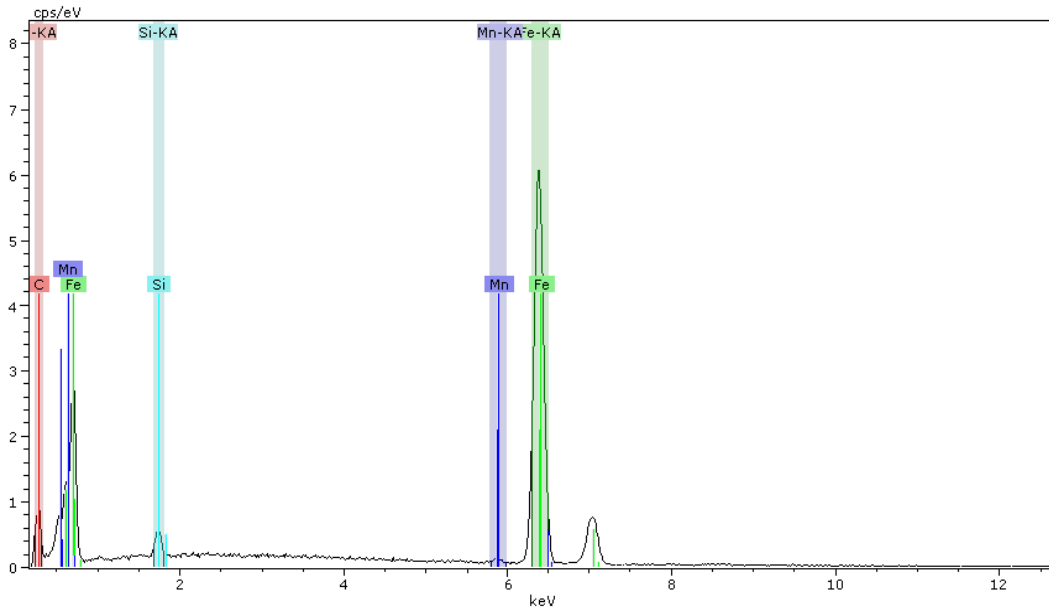
Şekil 4.9 Orijinal disk aşınmış yüzey elemental analizi.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de ise kaplama yapılmamış orijinal fren diskinin ara bölgesinden alınan SEM görüntüleri ve elemental analizi verilmiştir.



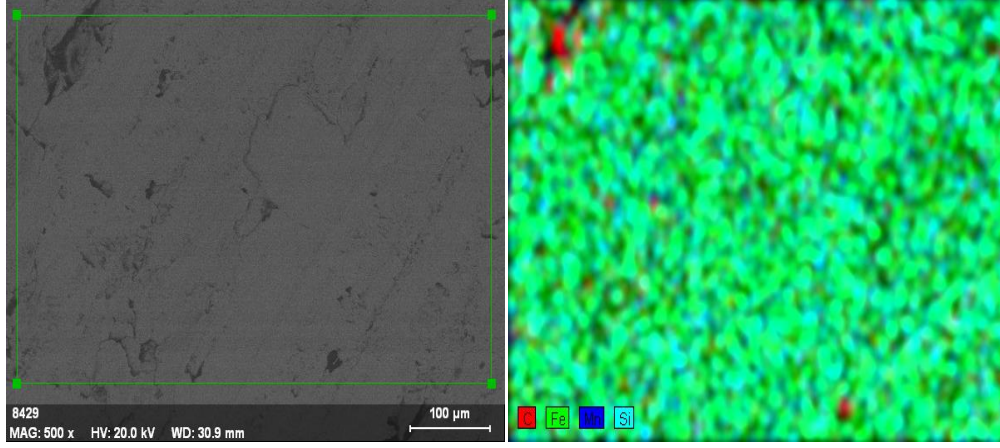
Şekil 4.10 Orijinal disk ara yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

Bu mikro yapıda; en çok demir, daha sonra karbon, mangan ve silisyum elementi alaşım içerisinde varlıklarını göstermektedir. Elemental analizi grafiğinde ise, cps/eV (eV başına alınan veri) ve orbitallerden elektron koparmak için gerekli olan enerji keV (kilo elektron volt) miktarı gösterilmektedir.



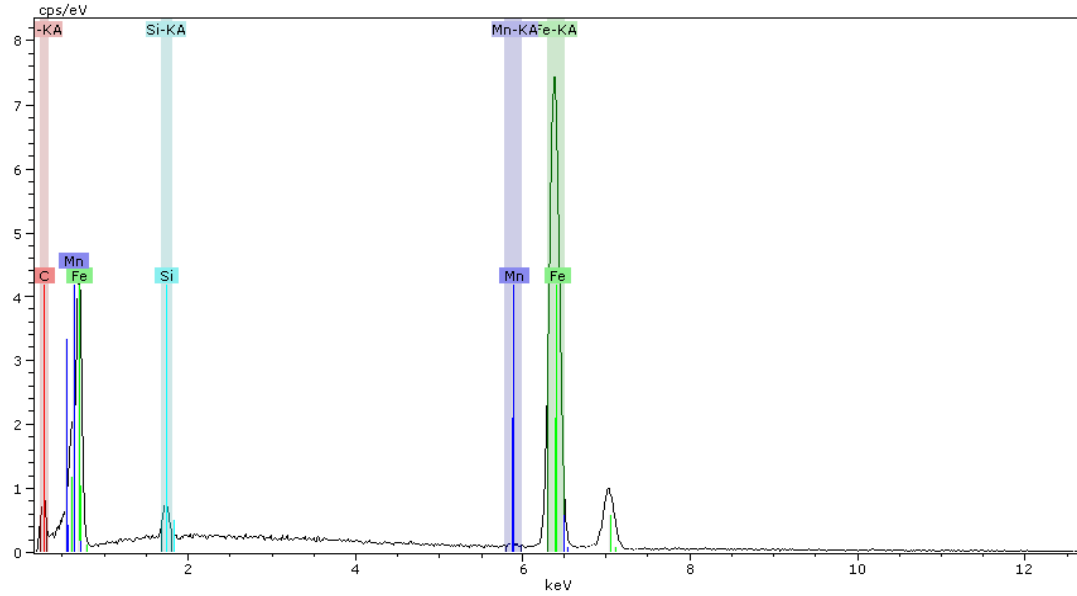
Şekil 4.11 Orijinal disk ara yüzey elemental analizi.

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de ise orijinal fren diskinin aşınmayan bölgesinden alınan SEM görüntüleri ve elemental analizi verilmiştir.



Şekil 4.12 Orijinal disk aşınmayan yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

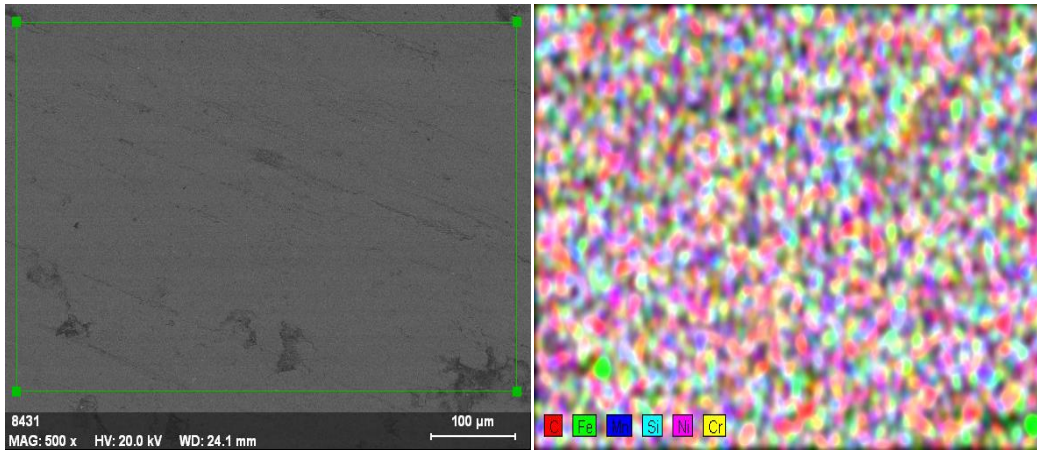
Bu mikro yapıda da yine en çok demir, daha sonra karbon, mangan ve silisyum elementi alaşım içerisinde varlıklarını göstermektedir. Elemental analizi grafiğinde, cps/eV (eV başına alınan veri) ve keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli enerji miktarı göstermektedir.



Şekil 4.13 Orijinal disk aşınmayan yüzey elemental analizi.

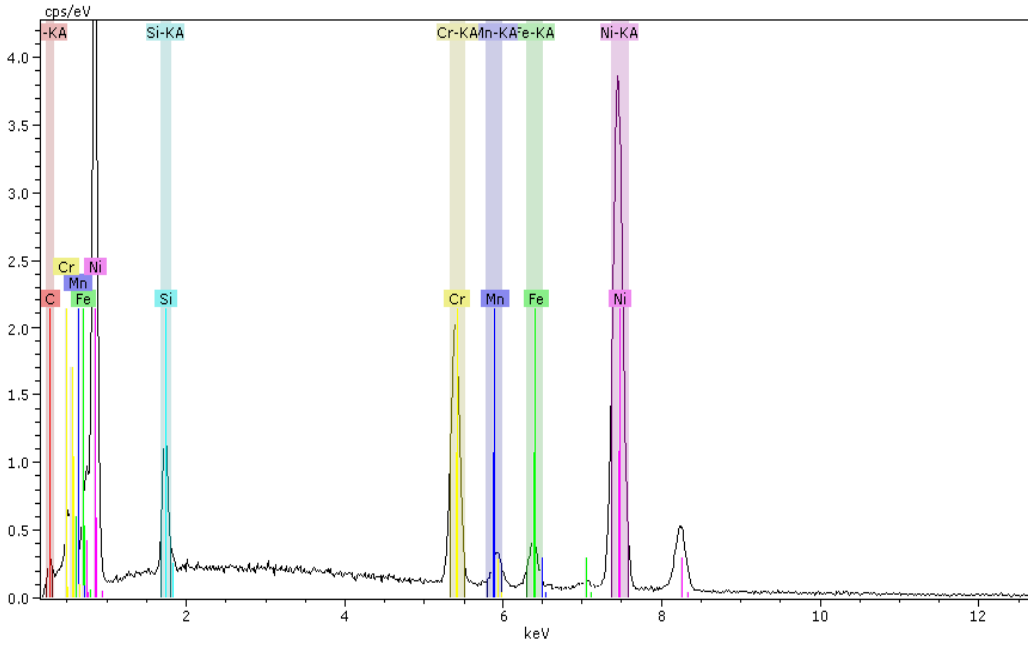
### 4.3.1.2 NiCrBSi Kaplamalı Diskin SEM Görüntüleri ve Elemental Analizi

Şekil 4.14-4.19’da, NiCrBSi kaplanmış diskin SEM haritalama ve elemental analizleri verilmiştir. NiCrBSi kaplanmış diskin SEM haritalama elemental analizinde, mikro yapı içerisinde Ni oranı diğer Cr, Si gibi elementlerden daha fazla olduğu aynı zamanda kaplanmış yüzeyin esas metal üzerine tamamen difüze olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca esas metal üzerine kuvvetli bir bağ oluşturduğu görülmektedir. Fren testi öncesi ve sonrası SEM görüntülerinde görüldüğü üzere yapı içerisinde var olan elementlerin dağılımında azalma olmadığı ve kaplamanın kaybolmadığı, bununla birlikte NiCrBSi kaplı numunelerde kaplama kalınlığındaki azalma oranı, frenlemedeki balata-disk ikilisinin sürtünme süresine bağlı olarak değişebileceği öngörülmektedir.



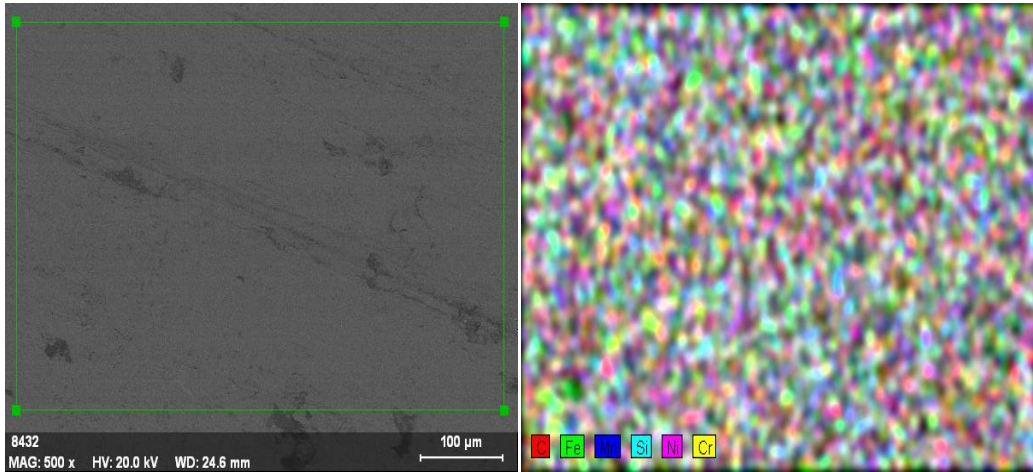
Şekil 4.14 NiCrBSi kaplamalı disk aşınmış yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

Bu mikro yapı içerisinde, nikel oranının diğer elementlerden daha fazla olduğu görülmekte olup aynı zamanda kaplanmış yüzeyin esas metal üzerine tamamen difüze olduğu gözlemlenmiştir. Elemental analizi grafiğinde, cps/eV (eV başına alınan veri) ve keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli enerji miktarı göstermektedir.



Şekil 4.15 NiCrBSi kaplamalı disk aşınmış yüzey elemental analizi.

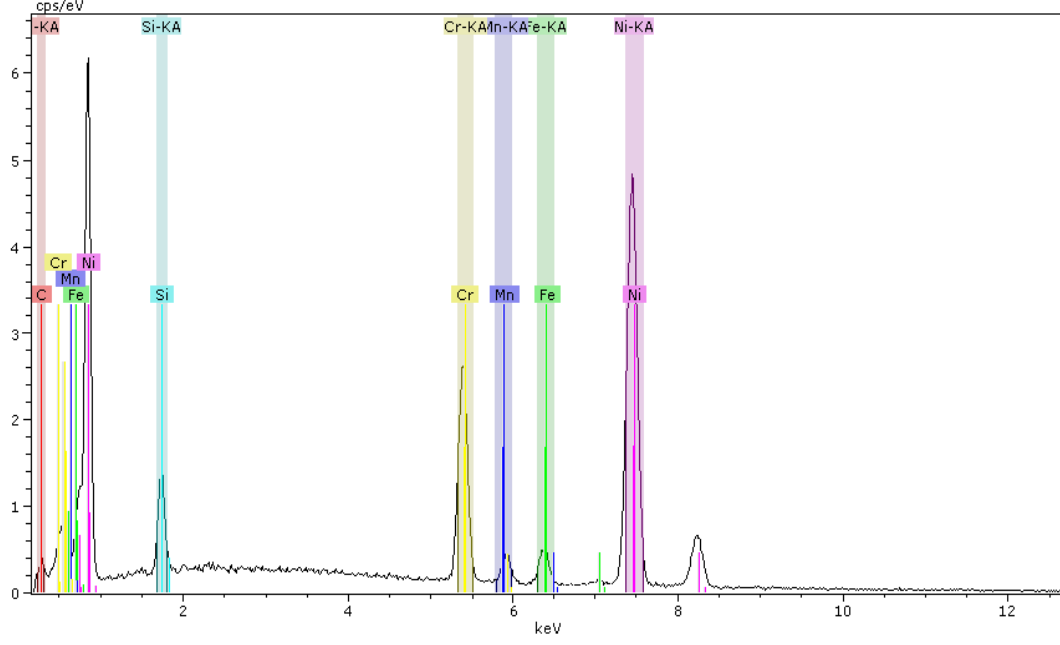
Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de ise NiCrBSi kaplamalı fren diskinin ara bölgesinden alınan SEM görüntüleri ve elemental analizi verilmiştir.



Şekil 4.16 NiCrBSi kaplamalı disk ara yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

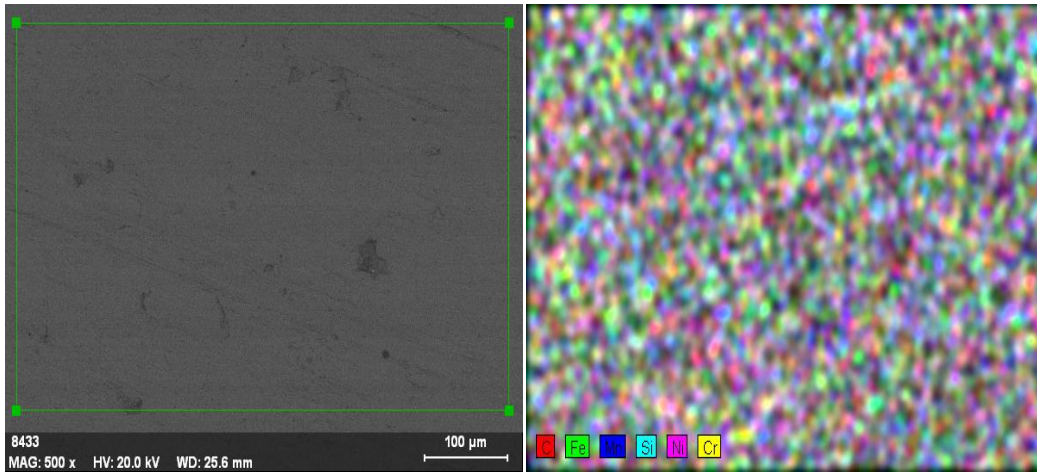
Bu mikro yapıda; karbon, demir, mangan, silisyum, nikel ve krom elementi alaşım içerisinde varlıklarını göstermektedir. Ayrıca her elementin disk yüzeyi üzerine çok iyi difüze olduğu gözlemlenmiştir.

Elemental analizi grafiğinde ise, cps/eV (eV başına alınan veri) ve keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli enerji miktarı göstermektedir.



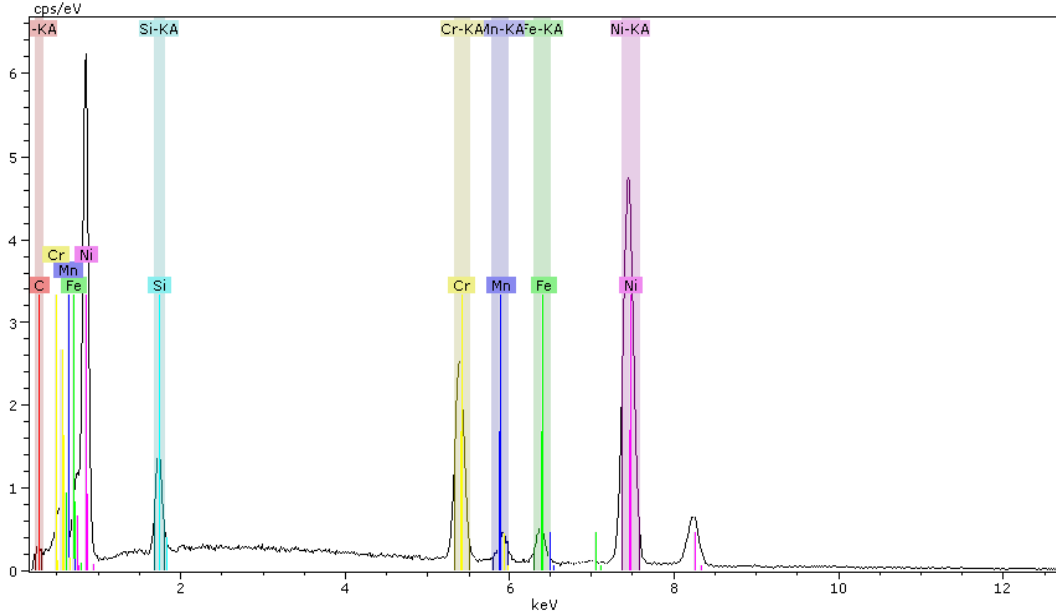
Şekil 4.17 NiCrBSi kaplamalı disk ara yüzey elemental analizi.

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da ise, NiCrBSi kaplamalı fren diskinin aşınmayan bölgesinden alınan SEM görüntüleri ve elemental analizi verilmiştir.



Şekil 4.18 NiCrBSi kaplamalı disk aşınmayan yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

Bu mikro yapıda ise; karbon, demir, mangan, silisyum, nikel ve krom elementi alaşım içerisinde varlıklarını göstermektedir. Ayrıca her elementin disk yüzeyi üzerine çok iyi difüze olduğu gözlemlenmiştir. Elemental analizi grafiğinde, cps/eV (eV başına alınan veri) ve keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli olan enerji miktarı gösterilmektedir.



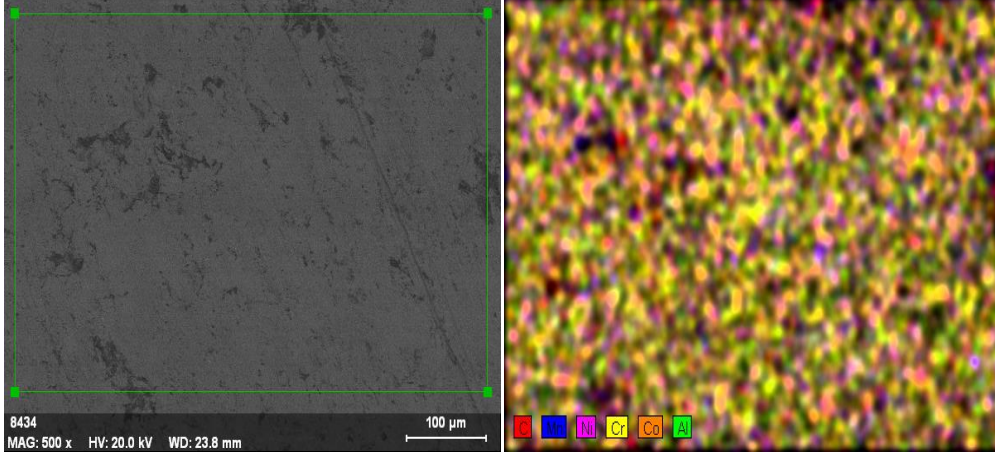
Şekil 4.19 NiCrBSi kaplamalı disk aşınmayan yüzey elemental analizi.

#### 4.3.1.3 CoNiCrAlY Kaplamalı Diskin SEM Görüntüleri ve Elemental Analizi

Şekil 20-25'te, CoNiCrAlY kaplanmış diskin SEM haritalama ve elemental analizi verilmiştir. CoNiCrAlY kaplanmış diskin SEM haritalama elemental analizinde mikro yapı içerisinde Co, Cr ve Ni gibi elementlerin homojen dağılımı bununla birlikte Al elementi de kaplama yüzeyinde yer almaktadır. Y elementi bu yapı içerisinde gözlenememiştir. Bu elementlerin oluşturduğu kaplanma tabakası, esas metal yüzeyine tamamen difüze olduğu ve esas metal yüzeyine kuvvetli bir bağ oluşturduğu görülmektedir. Fren testi öncesi ve sonrası SEM görüntülerinde görüldüğü üzere aşağıdaki yapılar içerisinde var olan elementlerin dağılımında azalma olmadığı ve kaplamanın kaybolmadığı, bununla birlikte CoNiCrAlY kaplı numunelerde kaplama

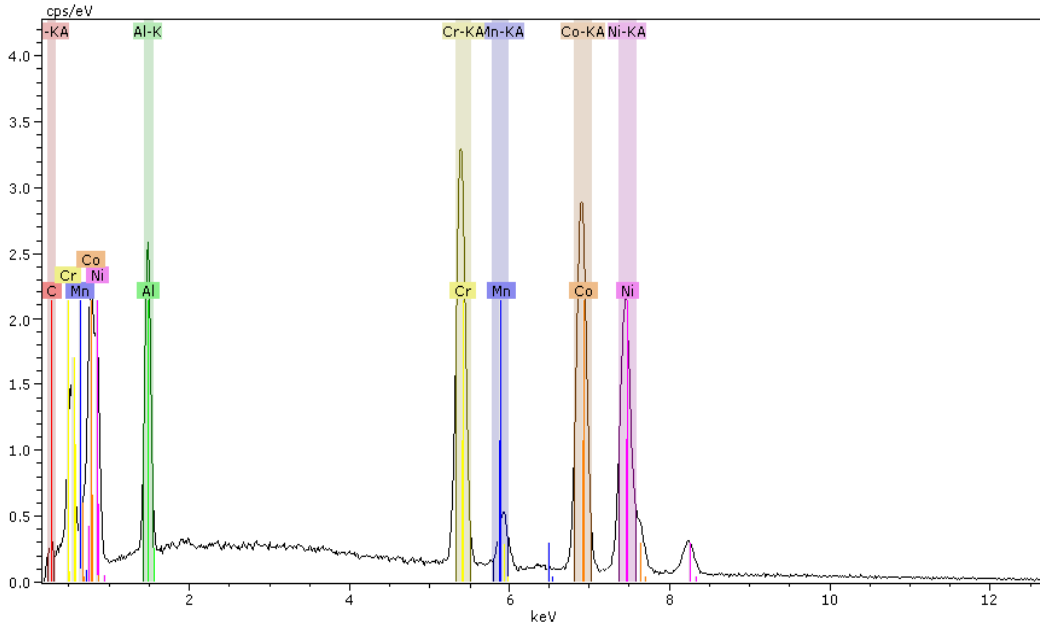


kalınlığındaki azalma oranı frenlemedeki balata disk ikilisinin sürtünme süresine bağı olarak değışebileceğı öngörülmektedir.



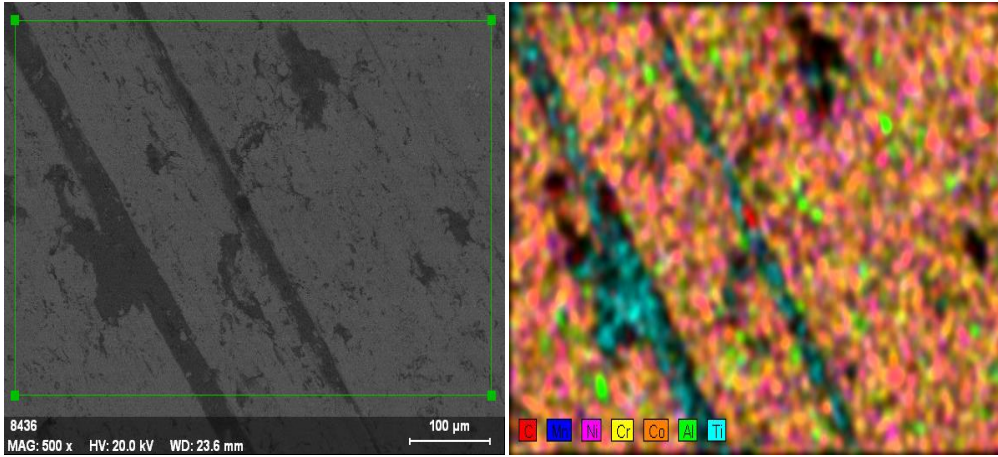
Şekil 4.20 CoNiCrAlY kaplamalı disk aşınmış yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

Bu mikro yapıda; kobalt, krom ve nikel gibi elementlerin homojen dağılımı ve bununla birlikte Alüminyum elementi de kaplama yüzeyinde yer almaktadır. İtiryum elementi kaplama yapılan tozun içerisinde olmasına rağmen bu yapı içerisinde gözlenememiştir. Elemental analizi grafiğinde, cps/eV (eV başına alınan veri) ve keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli olan enerji miktarını göstermektedir.



Şekil 4.21 CoNiCrAlY kaplamalı disk aşınmış yüzey elemental analizi.

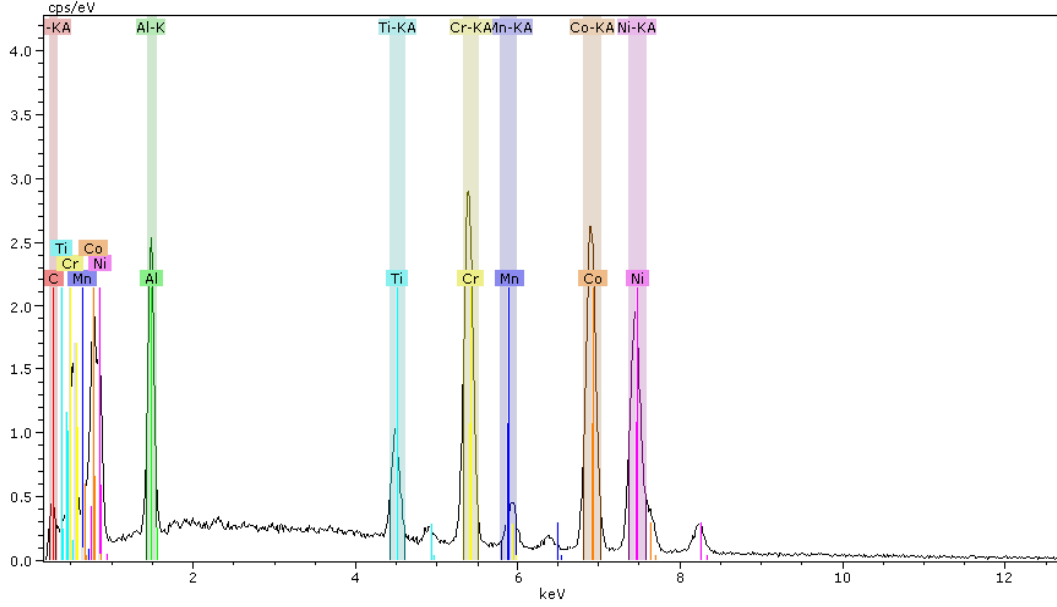
Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te ise, CoNiCrAlY kaplamalı fren diskinin ara bölgesinden alınan SEM görüntüleri ve elemental analizi verilmiştir.



Şekil 4.22 CoNiCrAlY kaplamalı disk ara yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

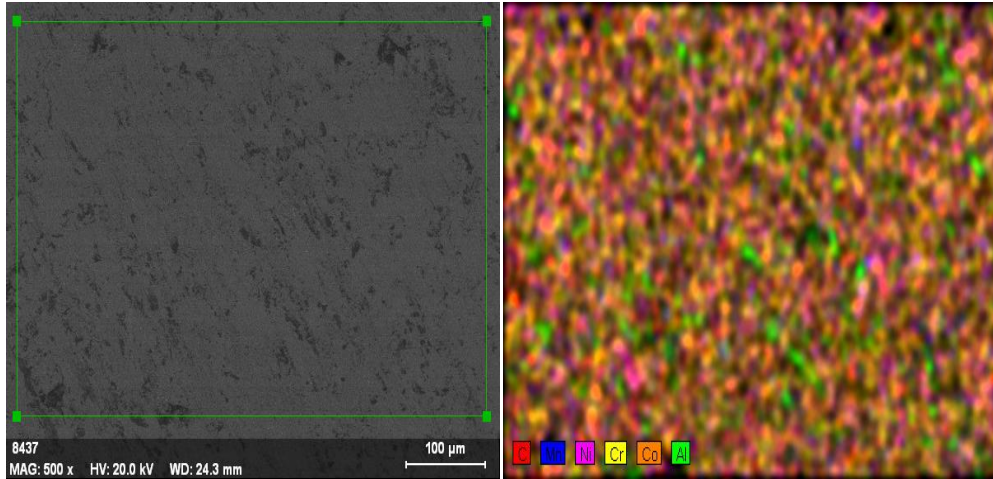
Bu mikro yapıda ise; karbon, mangan, nikel, krom, kobalt, alüminyum elementi alaşım içerisinde varlıklarını göstermektedir. Ayrıca titanyum elementi, bu toz karışımın içerisinde olmamasına rağmen gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise, fren diskine sürtünen balatadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Elemental analizi grafiğinde, cps/eV (eV başına alınan veri) ve keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli olan enerji miktarını göstermektedir.



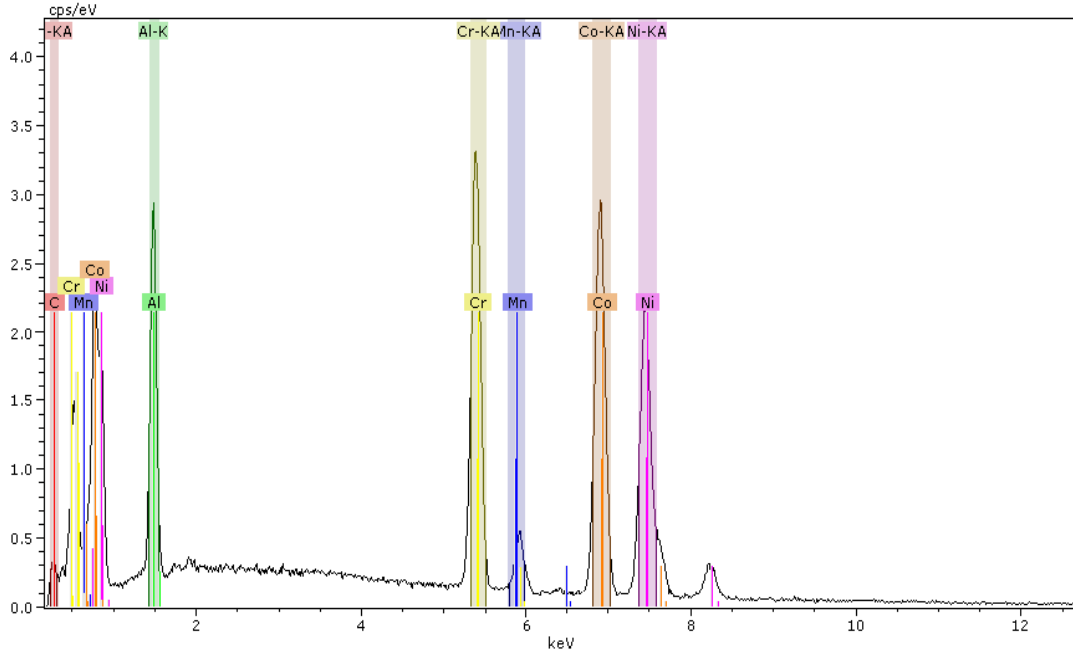
Şekil 4.23 CoNiCrAlY kaplamalı disk ara yüzey elemental analizi.

Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te ise, CoNiCrAlY kaplamalı fren diskinin aşınmayan yüzeyinden alınan SEM görüntüleri ve elemental analizi verilmiştir.



Şekil 4.24 CoNiCrAlY kaplamalı disk aşınmayan yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

Bu mikro yapıda; karbon, mangan, nikel, krom, kobalt, alüminyum elementi alaşım içerisinde varlıklarını göstermektedir. Ayrıca, aralarında sıkı bir bağ oluşturduğu ve disk yüzeyi üzerine mükemmel bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Elemental analizi grafiğinde, cps/eV (eV başına alınan veri) ve keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli olan enerji miktarını göstermektedir.

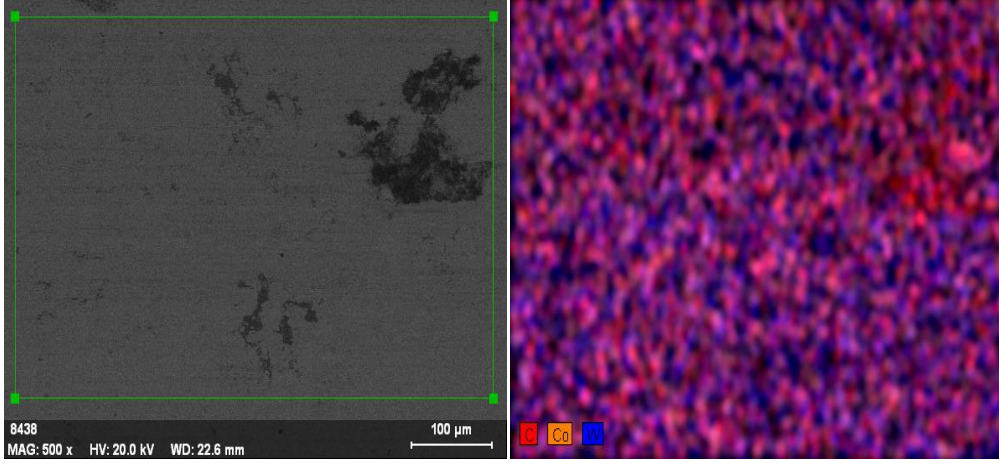


Şekil 4.25 CoNiCrAlY kaplamalı disk aşınmayan yüzey elemental analizi.

#### 4.3.1.4 WC-Co (88/12) Kaplamalı Diskin SEM Görüntüleri ve Elemental Analizi

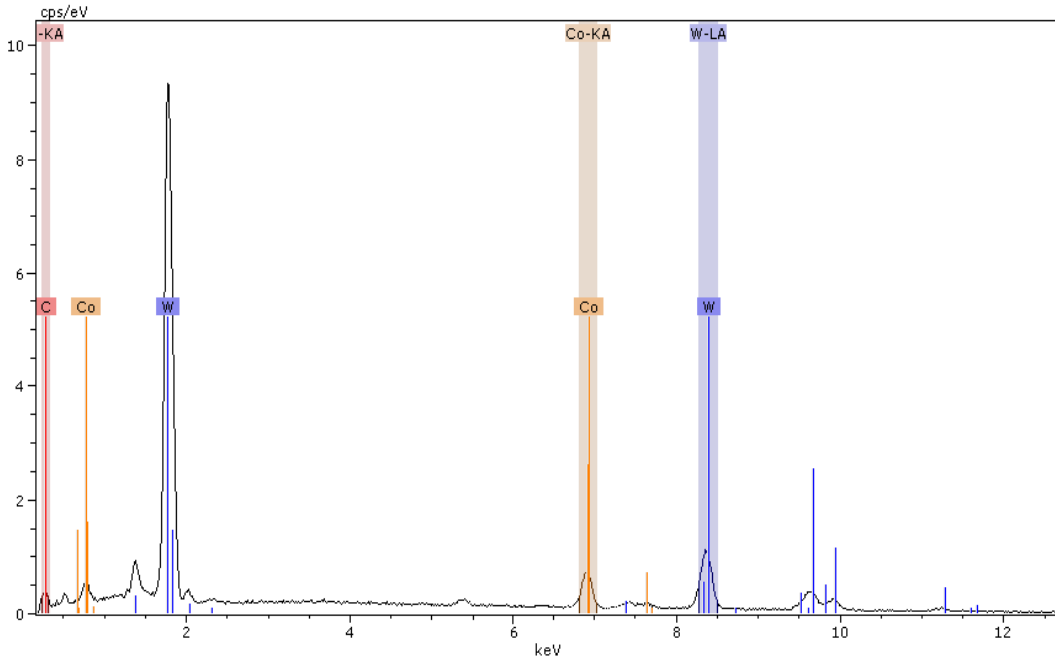
Şekil 26-31'de, WC-Co (88/12) kaplanmış disk SEM haritalama görüntüleri ve elemental analizi verilmiştir. WC-Co (88/12) kaplanmış disk SEM haritalama elemental analizinde mikro yapı içerisinde ağırlıklı olarak W ve Co elementlerinin homojen dağılımı kaplama yüzeyinde yer almaktadır. Bu elementlerin oluşturduğu kaplanma tabakası esas metal yüzeyine tamamen difüze olduğu ve esas metal yüzeyine kuvvetli bir bağ oluşturduğu görülmektedir. Fren testi öncesi ve sonrası SEM görüntülerinde görüldüğü üzere aşağıdaki yapı içerisinde var olan elementlerin dağılımında azalma olmadığı ve kaplamanın kaybolmadığı görülmüştür. Bununla birlikte

WC-Co (88/12) kaplı numunelerde kaplama kalınlığındaki azalma oranı frenlemedeki balata disk ikilisinin sürtünme süresine bağılı olarak değişebileceği öngörülmektedir.



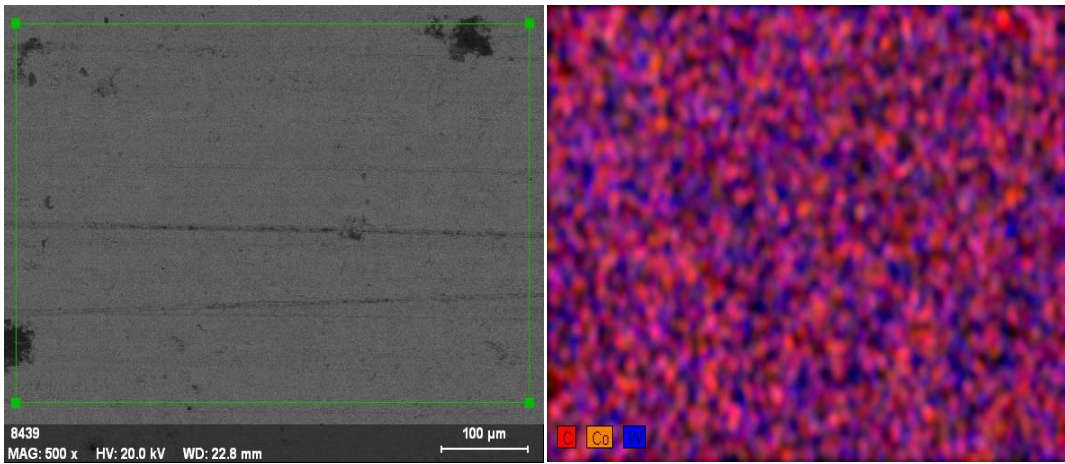
Şekil 4.26 WC-Co (88/12) kaplamalı disk aşınmış yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

Bu mikro yapı içerisinde ağırlıklı olarak; volfram, kobalt ağırlıklı olarak ve karbon oranı da bu elementlerden az miktarda görüntülenmektedir. Volfram ve kobalt elementlerinin homojen dağılımı kaplama yüzeyinde yer almaktadır. Bu elementlerin oluşturduğu kaplama tabakası esas metal yüzeyine tamamen difüze olduğu ve esas metal yüzeyine kuvvetli bir bağı oluşturduğu görülmektedir. Elemental analizi grafiğinde, cps/eV (eV başına alınan veri) ve keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli olan enerji miktarını göstermektedir.



Şekil 4.27 WC-Co (88/12) kaplamalı disk aşınmış yüzey elemental analizi.

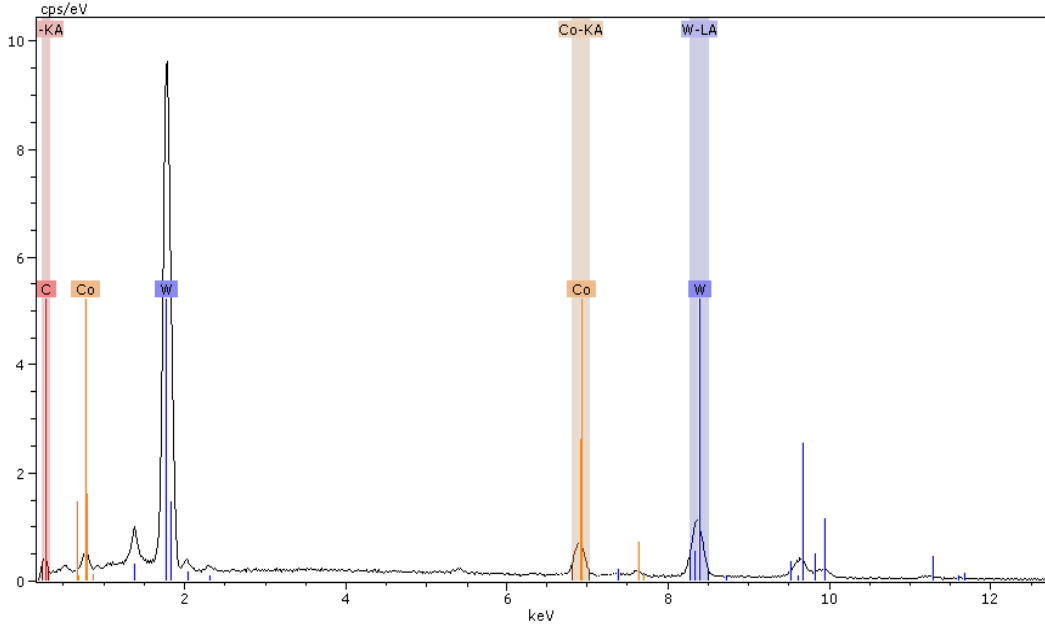
Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da ise, WC-Co (88/12) kaplamalı fren diskinin ara yüzeyinden alınan SEM görüntüleri ve elemental analizi verilmiştir.



Şekil 4.28 WC-Co (88/12) kaplamalı disk ara yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

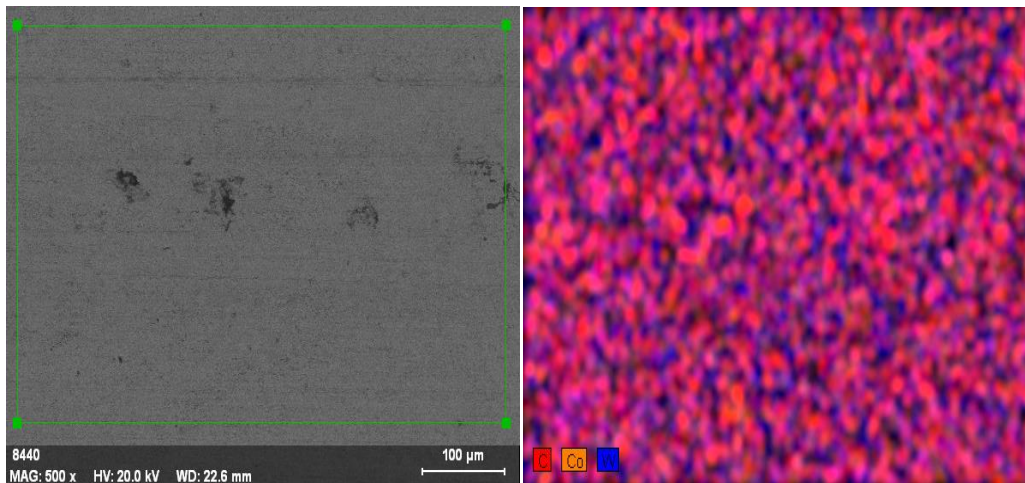
Bu mikro yapıda; karbon, kobalt ve volfram elementleri alaşım içerisinde varlıklarını göstermektedir. Ayrıca aralarında sıkı bir bağ oluşturduğu ve disk yüzeyi üzerine mükemmel bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Elemental analizi grafiğinde, cps/eV

(eV başına alınan veri) ve keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli olan enerji miktarını göstermektedir.



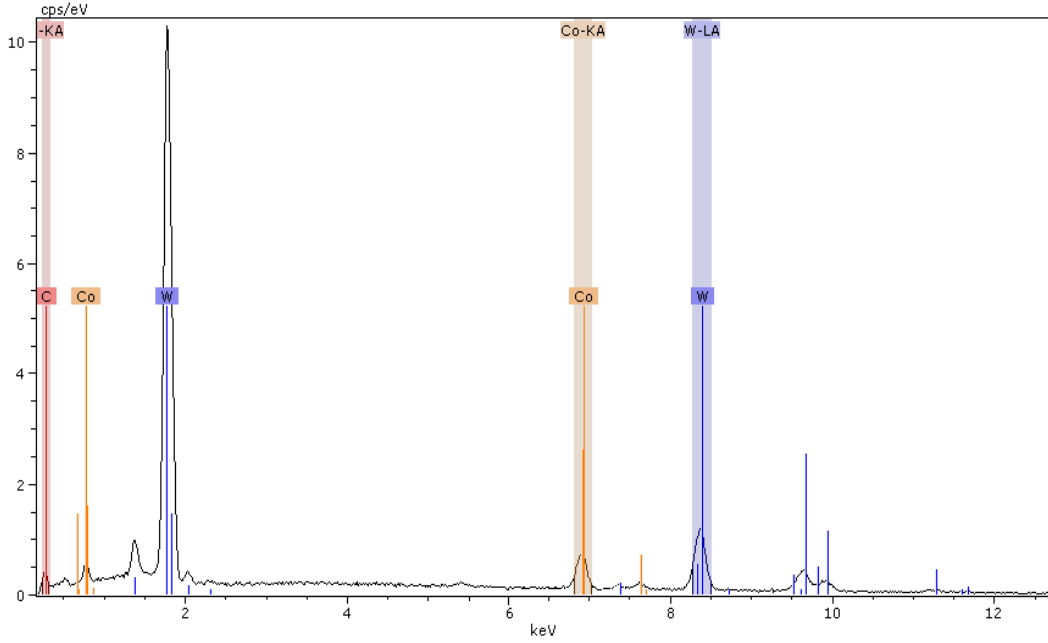
Şekil 4.29 WC-Co (88/12) kaplamalı disk ara yüzey elemental analizi.

Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de ise, WC-Co (88/12) kaplamalı fren diskinin aşınmayan yüzeyinden alınan SEM görüntüleri ve elemental analizi verilmiştir.



Şekil 4.30 WC-Co (88/12) kaplamalı disk aşınmayan yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

Bu mikro yapıda yine karbon, kobalt ve volfram elementleri alaşım içerisinde varlıklarını göstermektedir. Ayrıca disk yüzeyi üzerine mükemmel bir şekilde dağılarak kararlı bir bağ oluşturdukları gözlemlenmiştir. Elemental analizi grafiğinde, cps/eV (eV başına alınan veri) ve keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli olan enerji miktarını göstermektedir.



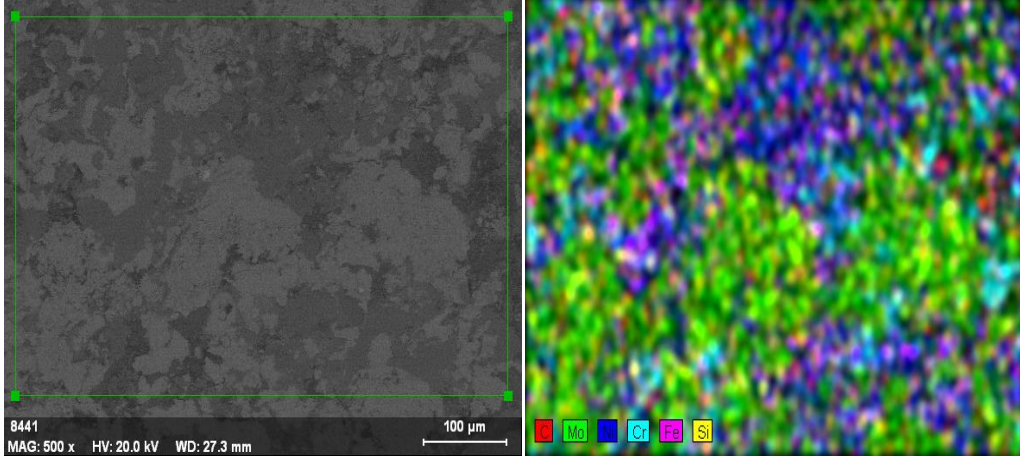
Şekil 4.31 WC-Co (88/12) kaplamalı disk aşınmayan yüzey elemental analizi.

#### 4.3.1.5 MoNiCrBSiFe (Mo %25) Kaplamalı Diskin SEM Görüntüleri ve Elemental Analizi

Şekil 32-37'de MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplanmış disk SEM haritalama analizinde, yapılan kaplamanın elemental analizinde, mikro yapı içerisinde ağırlıklı olarak Mo ve Ni elementlerinin yerel alanlarda kümeleşme yaptığı, diğer elementlerin de bunların içerisinde homojen dağılımla kaplama yüzeyinde yer aldığı görülmektedir.. Bu elementlerin oluşturduğu kaplanma tabakası esas metal yüzeyine tamamen difüze olduğu ve esas metal yüzeyine kuvvetli bir bağ oluşturduğu görülmektedir. Fren testi öncesi ve sonrası SEM görüntülerinde görüldüğü üzere, yapı içerisinde var olan elementlerin dağılımında azalma olmadığı ve kaplamanın kaybolmadığı, bununla birlikte MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplı numunelerde kaplama kalınlığındaki azalma

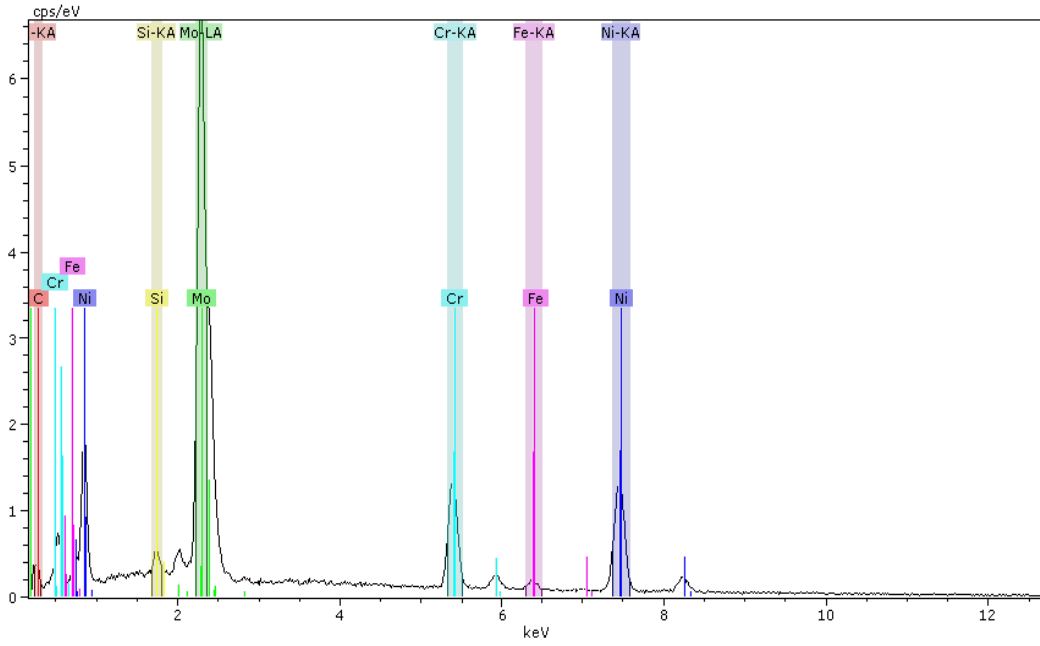


oranı frenlemedeki balata disk ikilisinin sürtünme süresine bağı olarak değişebileceği öngörülmektedir.



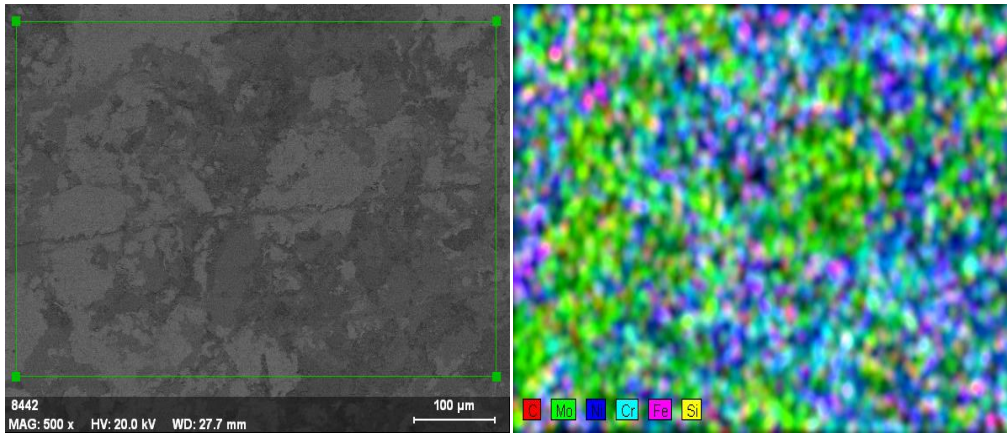
**şekil 4.32** MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı disk aşınmış yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

Bu mikro yapıda, molibden ve nikel elementinin kümeleşme yaptığı görülmüştür. Diğer elementlerin alaşım içerisinde varlıkları çok az miktarda gözlemlenmiştir. Bu diskte kaplama yapılan tozların birbiri ile iyi bir bağ yaptığı gözlenememiştir. Elemental analizi grafiğinde, cps/eV (eV başına alınan veri) ve keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli olan enerji miktarını göstermektedir.



Şekil 4.33 MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı disk aşınmış yüzey elemental analizi.

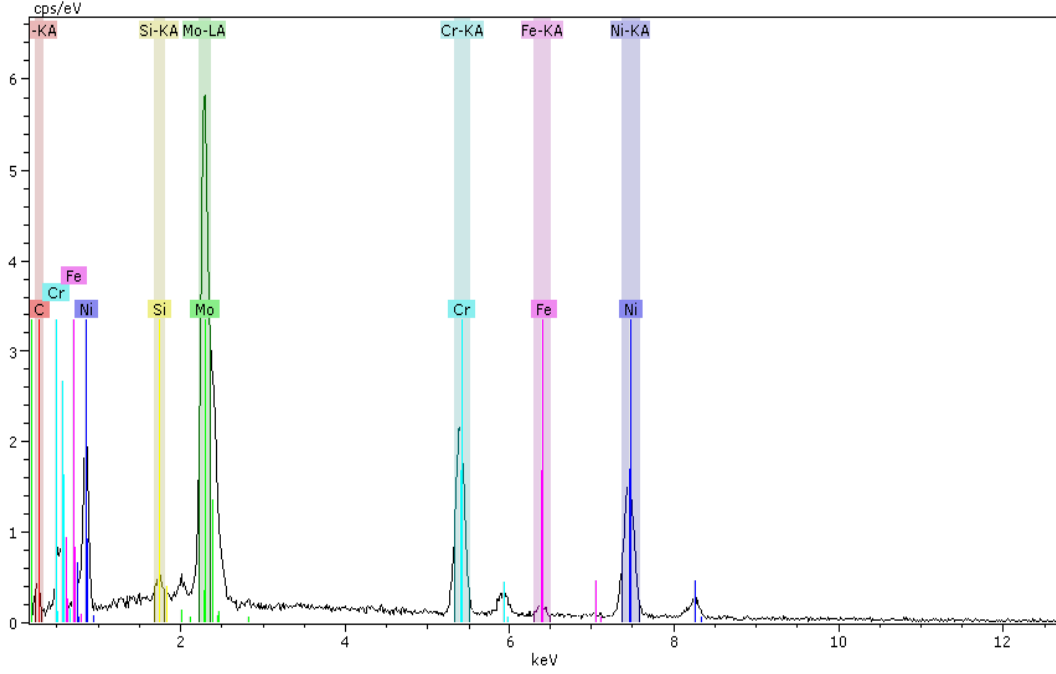
Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te ise MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı fren diskinin ara yüzeyinden alınan SEM görüntüleri ve elemental analizi gösterilmiştir.



Şekil 4.34 MoNiCrBSiFe (Mo %25) disk ara yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

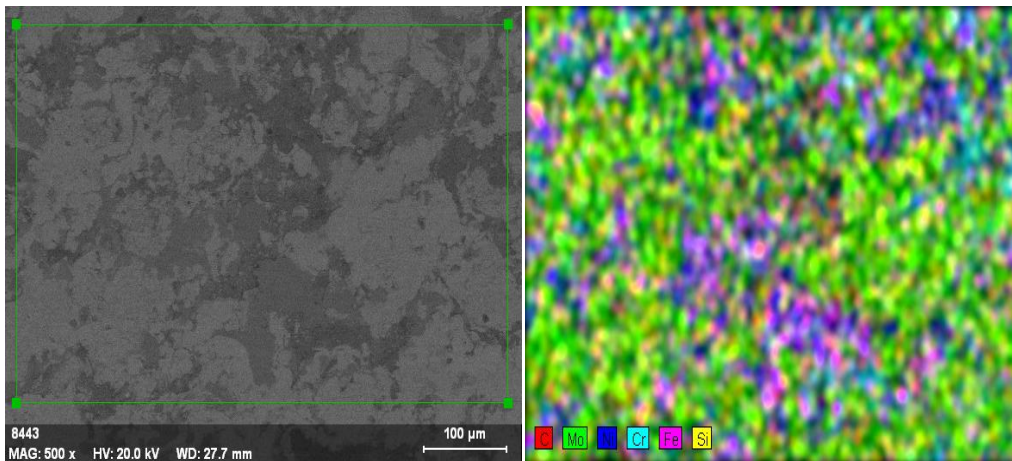
Bu mikro yapıda, molibden ve nikel elementinin kümeleşme yaptığı görülmüştür. Diğer elementlerin alaşım içerisinde varlıkları molibden ve nikel elementine göre daha az miktarda gözlemlenmiştir. Bu diskte kaplama yapılan tozların birbiri ile iyi bir bağ yaptığı gözlemlenmemiştir. Elemental analizi grafiğinde, cps/eV (eV başına alınan veri) ve

keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli olan enerji miktarını göstermektedir.



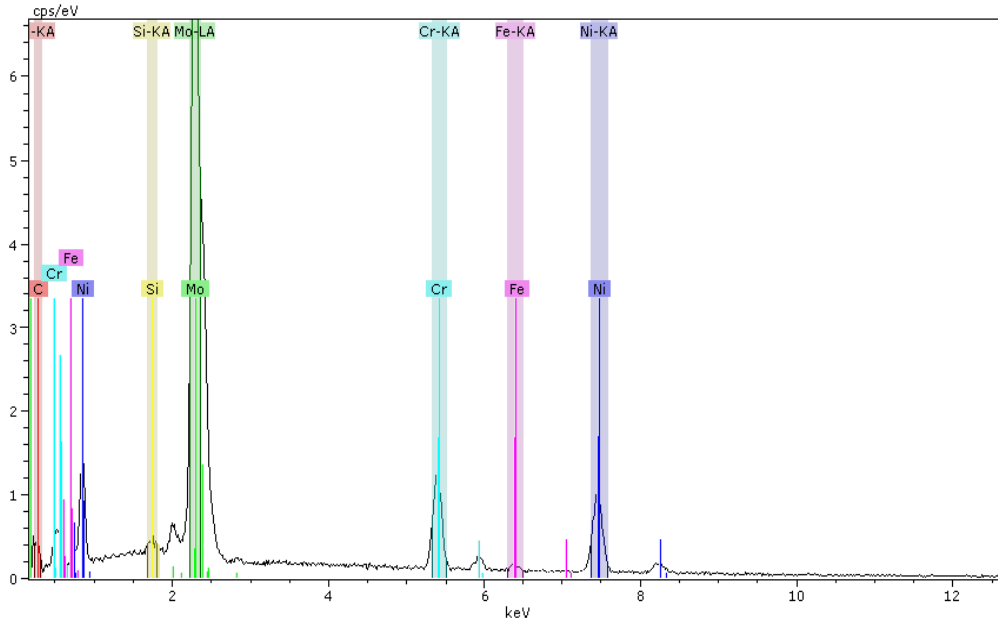
Şekil 4.35 MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı disk ara yüzey elemental analizi.

Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de ise MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı fren diskinin aşınmayan yüzeyinden alınan SEM görüntüleri ve elemental analizi verilmiştir.



Şekil 4.36 MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı disk aşınmayan yüzey SEM görüntüsü ve mikro yapısı.

Bu mikro yapıda ise; yine özellikle molibden elementinin ve nikel elementinin kümeleşme yaptığı görülmüştür. Diğer elementlerin alaşım içerisinde varlıkları çok az miktarda gözlemlenmiştir. Bu diskin yüzeyinde de kaplama yapılan tozların birbiri ile iyi bir bağ oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Elemental analizi grafiğinde, cps/eV (eV başına alınan veri) ve keV (kilo elektron volt) orbitallerden elektron koparmak için gerekli olan enerji miktarını göstermektedir.



Şekil 4.37 MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı disk aşınmayan yüzey elemental analizi.

#### 4.4 Disklerin Isıl İletkenlik Değerlerinin Ölçülmesi

Bu bölümde fren disklerinden alınan numunelerin ayrı ayrı ısıl iletkenlik katsayıları tespit edilmiştir. Bu çalışma Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan, ısıl iletkenlik değerleri tespit etme cihazında yapılmıştır. Deney düzeneği materyal ve metot kısmında detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Deneyler sonucunda, en düşük ısıl iletkenlik katsayısı, 1.62 W/mK ile kaplama yapılmayan orijinal diskte tespit edilirken, en yüksek değerdeki ısıl iletkenlik katsayısı ise; 2.69 W/mK ile WC-Co (88/12) kaplamalı diskten alınan numunede ölçülmüştür.

Yapılan çalışmada, termal (ısı) iletkenlik değerinin belirlenmesi hesaplamalar yapılarak bulunmuştur. Aşağıda WC-Co (88/12) kaplamalı disk için ısı iletkenliği değerinin bulunması için yapılan hesaplamalar gösterilmektedir. Isı iletkenlik değeri bulunan cihazdan alınan bilgiler;

$$T_1=85.6 \quad T_2=80.3 \quad T_3=72.7 \quad T_7=18.3 \quad T_8=17.0 \quad T_9=15.7$$

( $T_4$  ve  $T_5$  sıcaklık kabloları boşta olduğu için değerler alınmamıştır. Ayrıca  $T_6$  kablosu da ısı iletkenlik cihazı ile numunelerin bağlandığı mekanizma ile ilişkiyi kurmaktadır).

Cihaza verilen elektrik kuvveti;  $Q= 12.0 \text{ W}$

İşlemler;

$$\frac{T_1 - T_{g1}}{T_1 - T_3} = T_{g1} = \frac{85.6 - T_{g1}}{85.6 - 72.7} = \frac{0.025}{0.020} = 69.47$$

$$\frac{T_{\zeta1} - T_{g1}}{T_7 - T_9} = T_{\zeta1} = \frac{0.053 - 0.028}{0.053 - 0.033} = \frac{T_{\zeta1} - 15.7}{18.3 - 15.7} = 18.95$$

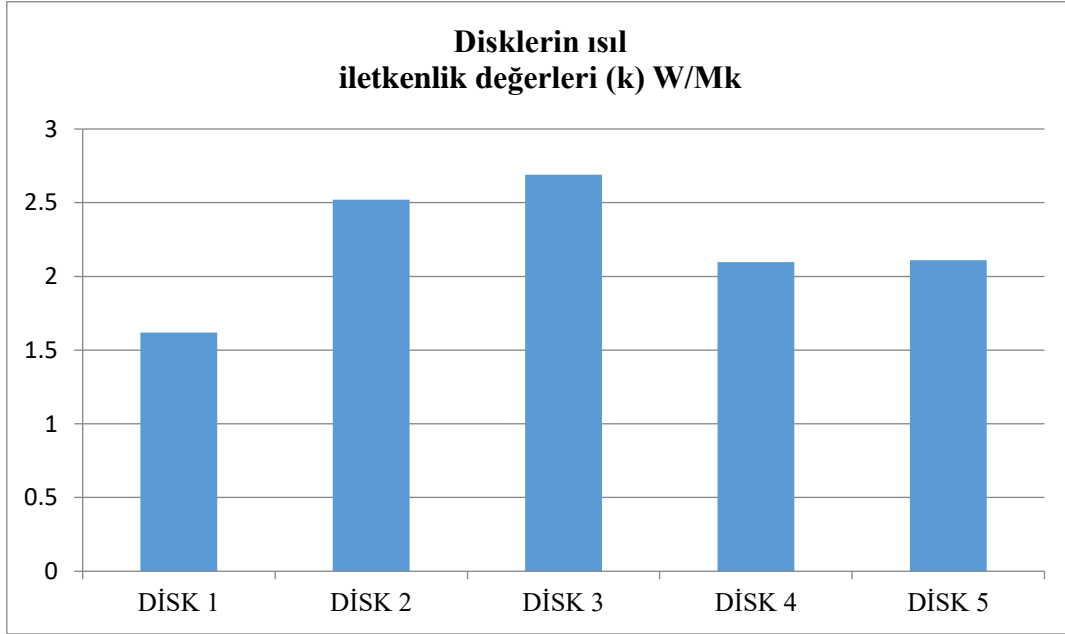
$$k = \frac{Q * X}{A * (T_{g1} - T_{\zeta1})} = \frac{12 * 0.008}{\pi * 0.015^2 (69.47 - 18.95)} = \mathbf{2.69 \text{ W/mK}} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Diğer üç adet kaplamalı disklerin ise ısı iletkenlik değerleri, WC-Co (88/12) kaplamalı disk için ısı iletkenlik katsayısı değerlerine yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 4.6'da numunelerin ısı iletkenlik katsayısı değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.6** Fren diskleri numunelerinden alınan ısı iletkenlik katsayıları.

TEST NUMUNELERİ	Disklerin ısı iletkenlik değerleri (W/mK)
Orijinal (Disk 1)	1.69
CoNiCrAlY (Disk 2)	2.52
WC-Co (88/12) (Disk 3)	2.69
NiCrBSi (Disk 4)	2.09
MoNiCrBSiFe (Mo %25) (Disk 5)	2.11

Bunun sonucunda, kaplamalı disklerin ısı iletkenliği kaplama yapılmayan diske göre daha iyi ısı iletkenlik gösterdiği görülmüştür. Şekil 4.38’de, Çizelge 4.6’dan alınan değerler yardımı ile ısı iletkenlik katsayısı grafiği verilmiştir.



Şekil 4.38 Disklerin ısı iletkenlik katsayısı değerleri grafiği.

#### 4.5 Korozyon Analizi

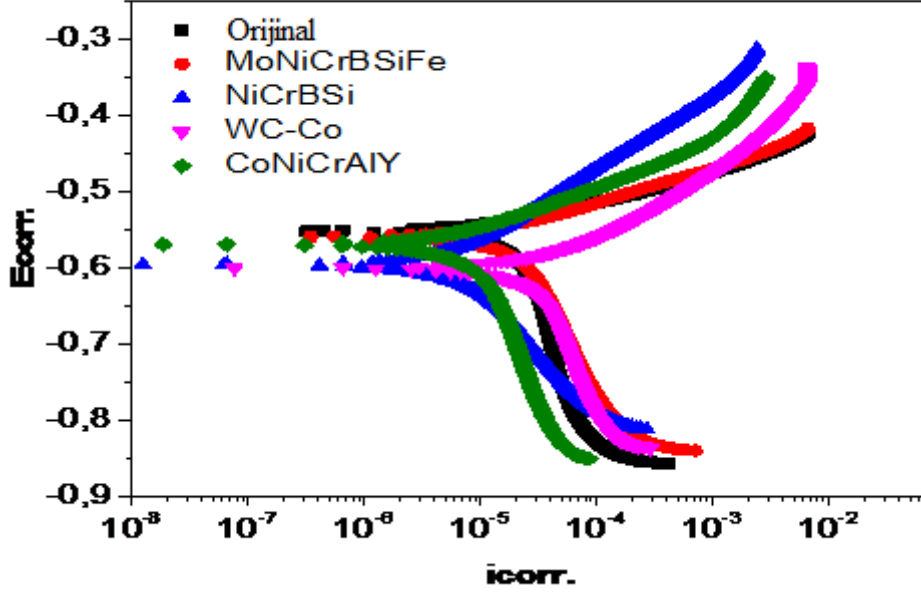
Yapılan çalışmada 0.5 Molar NaCl (deniz suyu) kullanılmıştır. Bu çalışmada deniz suyunun kullanılmasının nedeni ise, yaklaşık içerisinde % 3.5 sodyum klorüre eşdeğer elektrolit içermesidir. İçerdikleri elektrolit değerleri sayesinde yapılan korozyon analizlerinden daha hızlı sonuçlar alınmasıdır. Bu yüzden, korozyon analizlerinde 0.5 Molar NaCl (deniz suyu) kullanılmıştır. Bu bölümde fren disklerinden alınan numunelerin her birinin korozyon analizi yapılmıştır. Öncelikle, numuneler 15 mm çapında ve 10 mm yüksekliğinde hazırlandı. Daha sonra numunelerin tam merkezinden 5 mm çapındaki kılavuz açıldı. Kılavuzu açılan numunelerin her biri asetonla yıkandı. Korozyon analizi için 0.5 Molar NaCl (deniz suyu) deneye hazır hale getirildi. Deney düzeneğine numuneler ayrı ayrı yerleştirildi. Her numune yaklaşık 15-20 dakika içerisinde kararlı hale gelebilmesi için bekletildi. Daha sonra analize başlandı.

**Çizelge 4.7** Fren diskleri numunelerinden alınan korozyon değerleri.

<b>Çözelti</b>	<b>Deney Metodu</b>	<b>Korozyon akımı (µA)</b>	<b>Korozyon potansiyeli (mV)</b>	<b>Korozyon hızı (mpy)</b>	<b>Korozyon direnci (kohms)</b>
<b>0,5 Molar NACl Çözeltisi</b>	Orijinal (Disk 1)	14.80	-552.0	3.842	1.119
	CoNiCrAlY (Disk 2)	52.60	-601.0	13.69	0.7559
	WC-Co (88/12) (Disk 3)	20.50	-560.0	5.322	1.148
	NiCrBSi (Disk 4)	8.400	-596.0	2.185	3.707
	MoNiCrBSiFe (Mo %25) (Disk5)	27.70	-582.0	7.182	1.786

Korozyon analizi yapılan dört adet kaplamalı ve bir adet kaplama yapılmayan orijinal diskten alınan numunelerin korozyon analizi sırasında ortaya çıkan değerler, Çizelge 4.7’de verilmiştir. Çizelgede numunelerin; analiz esnasında ilettikleri korozyon akımları, korozyon potansiyelleri, korozyon hızları ve korozyon dirençleri tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonrasında her bir numunenin ayrı ayrı değerlendirmeleri yapılmıştır.

Korozyon akımı değeri arttıkça, malzemenin korozyon direnci azalmaktadır. Dolayısı ile korozyon hızı artmaktadır. Bunlar tafel eğrileri ve korozyon direnci deneyleri ile tespit edilmiştir.



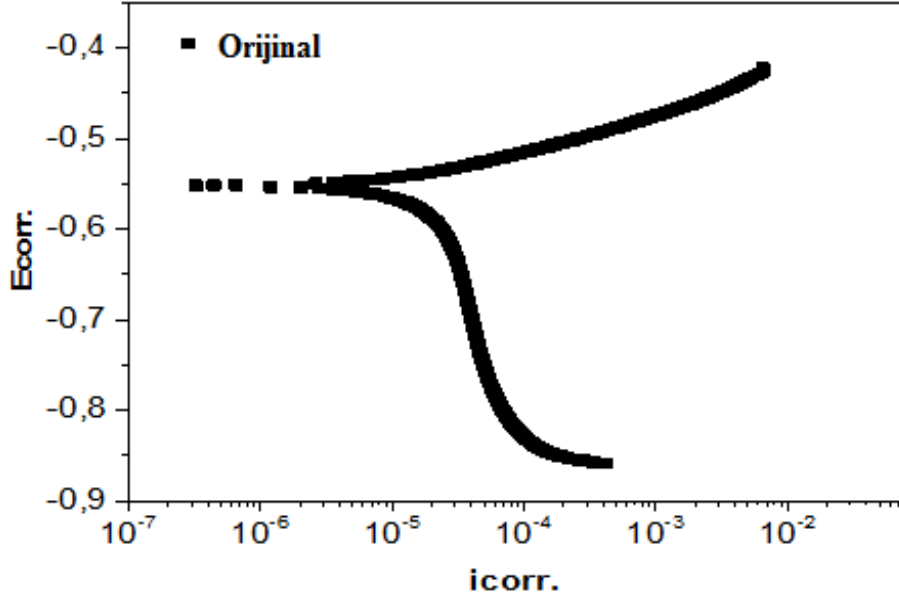
Şekil 4.39 Orijinal ve kaplamalı numunelerin tafel ekstrapolarizasyon eğrileri.

Şekil 4.39’da orijinal ve kaplamalı numunelerin korozyon analiz esnasında oluşan tafel ekstrapolarizasyon eğrileri karşılaştırılmıştır. Buna göre, siyah çizgilerle gösterilen kaplamasız numunenin, kırmızı çizgi ile gösterilen MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı numunenin, mavi çizgi ile gösterilen NiCrBSi kaplamalı numunenin, pembe çizgi ile gösterilen WC-Co (88/12) kaplamalı numunenin ve yeşil çizgi ile gösterilen CoNiCrAlY kaplamalı numunedan alınan tafel ekstrapolarizasyon eğrileri gösterilmektedir.

#### 4.5.1 Orijinal Numunenin Korozyon Analizi

Şekil 4.40’da, kaplamasız numunenin analiz esnasında 3.842 mpy korozyon hızına ulaştığı görülmüştür. Ayrıca korozyon direnci, WC-Co (88/12) ile kaplanmış numunedan daha fazladır. Ancak kaplamasız numunenin korozyon esnasında iletildiği akım miktarı ve gerilim değerleri, WC-Co (88/12) kaplamalı numunenin değerlerine göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Aşağıda kaplamasız numunenin analiz esnasında ortaya çıkan tafel ekstrapolarizasyon eğrisi gösterilmiştir.

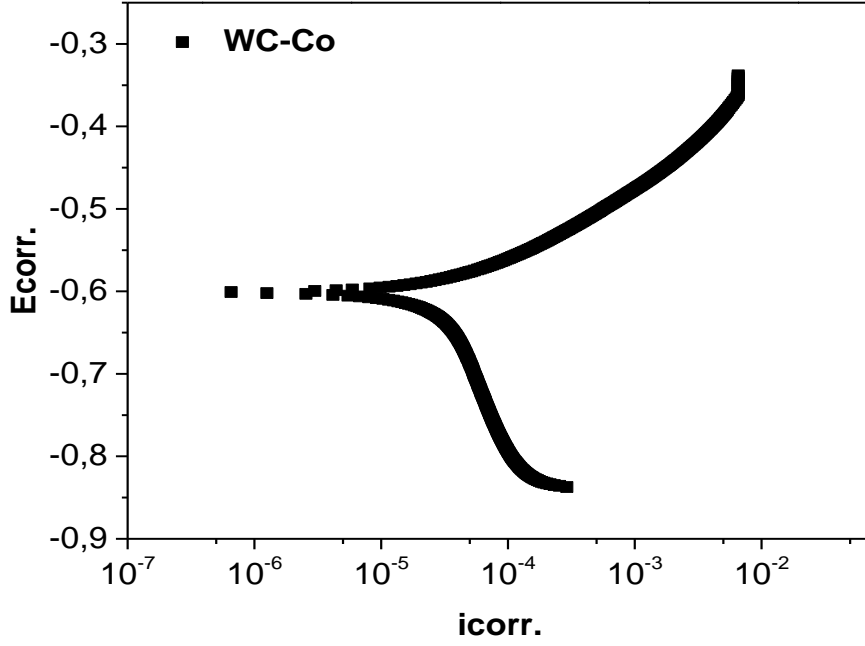




Şekil 4.40 Orijinal disk numunesinin tafel ekstrapolarizasyon eğrisi.

#### 4.5.2 WC-Co (88/12) Kaplamalı Numunenin Korozyon Analizi

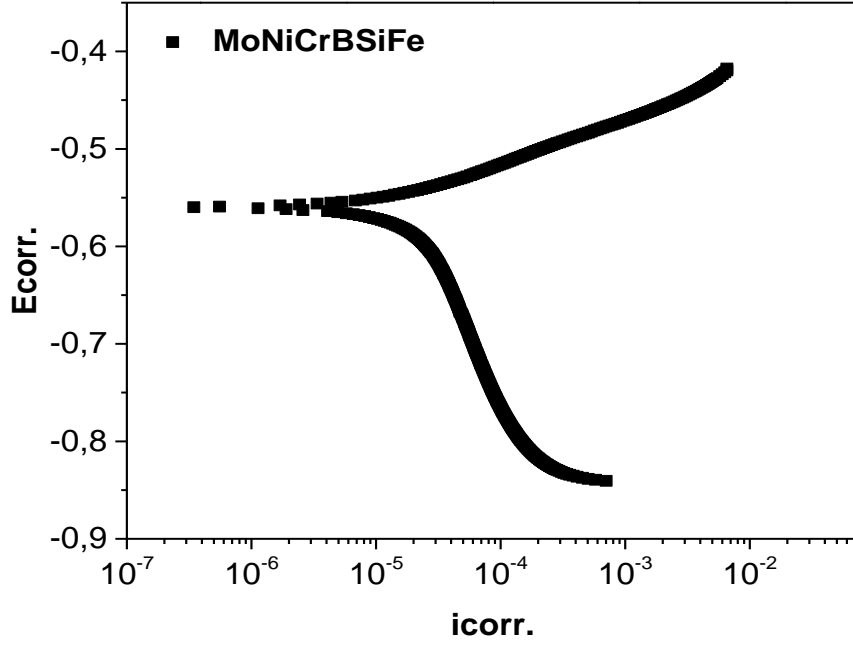
Şekil 4.41’de, WC-Co (88/12) kaplamalı numunenin korozyon esnasında diğer numuneler arasında en yüksek korozyon hızına ulaşan numune olmuştur. Bu yüzden korozyon direnci en düşük bu numunede ölçülmüştür. Ayrıca, korozyon analizi esnasında en yüksek elektrik akımını ileten ve gerilimi en yüksek numune olarak ölçülmüştür. Şekil 4.41’de WC-Co (88/12) ile kaplanmış numunenin korozyon esnasında ortaya çıkan tafel ekstrapolarizasyonu verilmiştir.



Şekil 4.41 WC-Co (88/12) kaplamalı numunenin tafel ekstrapolarizasyon eğrisi.

#### 4.5.3 MoNiCrBSiFe (Mo %25) Kaplamalı Numunenin Korozyon Analizi

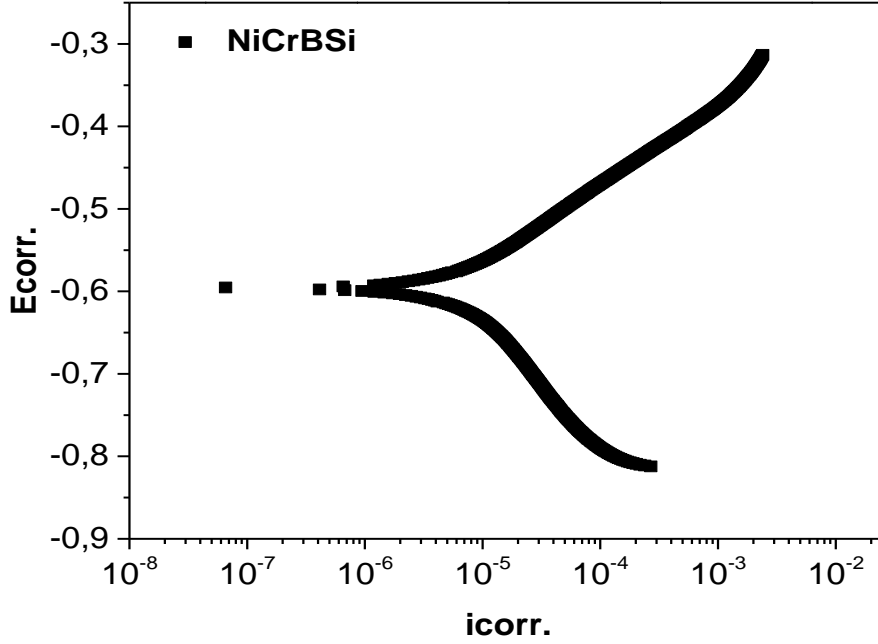
Şekil 4.42’de, MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı numune analiz esnasında 5.322 mpy korozyon hızına ulaşmıştır. Ayrıca korozyon direnci, kaplamasız numunenin korozyon direnci değerlerine en yakın numunedir. Korozyon esnasında ilettiği elektrik akımı ve oluşan gerilim miktarıda yine kaplamasız numuneye en yakın değerlerde gözlemlenmiştir. Şekil 4.42’de korozyon analizi esnasında oluşan tafel ekstrapolarizasyonu eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.42 MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı numunenin tafel ekstrapolarizasyon eğrisi.

#### 4.5.4 NiCrBSi Kaplamalı Numunenin Korozyon Analizi

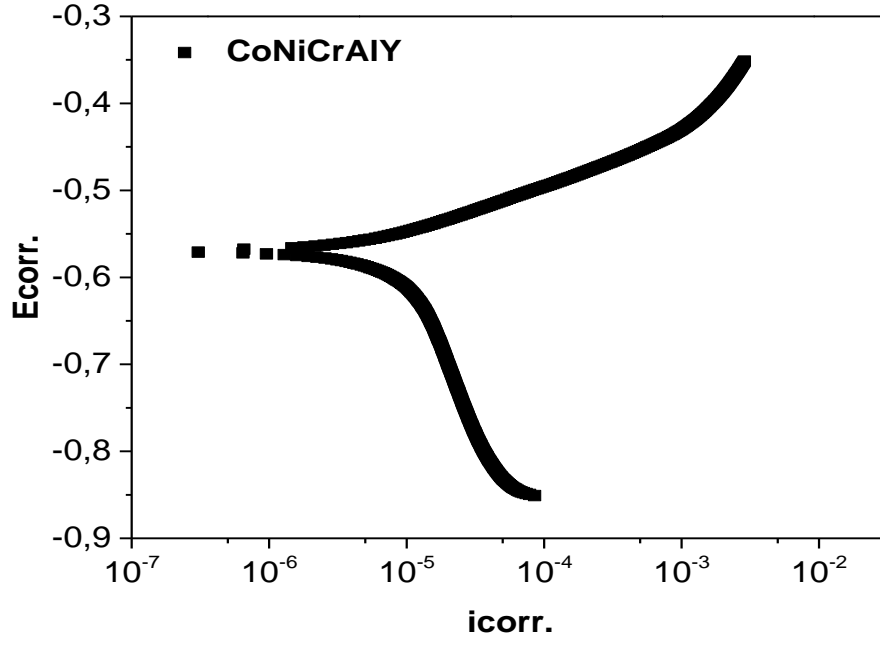
Şekil 4.43'te, NiCrBSi kaplamalı numunenin analiz esnasında en yüksek korozyon direncini gösteren numune olmuştur. Buna paralel olarak en düşük korozyon hızı bu numunede gözlemlenmiştir. Ancak, korozyon analizi esnasında en düşük elektrik akımını ileten numune olmasına rağmen oluşan korozyon gerilimi WC-Co (88/12) kaplamalı numune ile en yüksek değerlerde görülmüştür. Şekil 4.43'te NiCrBSi kaplamalı numunenin korozyon analizi esnasında oluşan tafel ekstrapolarizasyon eğrisi verilmektedir.



Şekil 4.43 NiCrBSi kaplamalı numunenin tafel ekstrapolarizasyon eğrisi.

#### 4.5.5 CoNiCrAlY Kaplamalı Numunenin Korozyon Analizi

Şekil 4.44'te, CoNiCrAlY kaplamalı numunenin korozyon analizi esnasında ortaya çıkan tafel eğrisi verilmiştir. Bu numune en zor korozyon değerleri alınan numune olmuştur. Bunun nedeninin ise, diğer kaplama tozlarında bulunan elementlerden farklı olarak Al elementinin geçiş metalleri elementlerinden olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Korozyon analizi esnasında alınan değerler, MoNiCrBSiFe (Mo %25) kaplamalı numunenin değerlerine yakın değerlerde ölçülmüştür. Sebebinin ise, her iki toz karışımında da molibden, nikel ve krom elementlerinin birarada bulunması olarak bir düşünce ileri sürülmüştür. Şekil 4.44'te CoNiCrAlY kaplamalı numunenin tafel ekstrapolarizasyonu verilmiştir.



Şekil 4.44 CoNiCrAlY kaplamalı numunenin tafel ekstrapolarizasyon eğrisi.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

1. Seramik kaplamalı disklerde abrasif aşınma direncinin kaplama yapılmamış gri dökme demir diske göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Dolayısı ile serment kaplamaları disklerin kullanım ömrünü artıracakı düşünülebilir.
2. Kaplamasız diskin yüzey pürüzlülük değerleri 2.61 (Ra) civarında görülmüşken, kaplama yapılmış disklerin yüzey pürüzlülükleri 0.66 - 0.19 (Ra) aralıklarında görülmüştür.
3. Mikro sertlik deneyleri sonucunda en düşük mikro sertlik değeri 169.15 HV ile kaplamasız diskten alınan numunede görülürken, en yüksek mikro sertlik değeri ise, 793.65 HV yüzey sertliği ölçülen, WC-Co (88/12) seramik tozu ile kaplanmış disk numunesinde görülmüştür.
4. Aşınma deneyleri esnasında disk yüzeylerinde en düşük sıcaklık 36° sıcaklıkla CoNiCrAlY ile kaplanmış diskte görülürken, diğer kaplamalı diskler ve kaplamasız diskte 38° derece ile aynı sıcaklık değerleri ölçülmüştür.
5. Termal (ısı) iletkenlik katsayısı belirlenmesi deneyinde, en düşük ısı iletkenlik katsayısı 1.62 W/mK ile kaplamasız diskten alınan numunede görülürken en yüksek ısı iletkenlik katsayısı 2.69 W/mK ile WC-Co (88/12) kaplama tozu ile kaplanmış diskten alınan numunede görülmüştür. Diğer kaplama yapılmış disklerden alınan numunelerin ısı iletkenlik katsayı değerleri ise, 2.09-2.52 W/mK arasında olup, WC-Co (88/12) ile kaplanmış diskten alınan numuneye yakın değerlerde görülmüştür.
6. Fren testleri sonucunda, en fazla kütle kaybı 0.4 g ile CoNiCrAlY kaplama tozu ile kaplanmış numunede görülmüştür. En az kütle kaybı ise, 0.2 g ile NiCrBSi ile

kaplanmış numunede görülmüştür. Diğer numunelerde ise, 0.3 g yaklaşık eşit miktarda kütle kaybı görülmüştür.

## 5.2 Öneriler

1. Fren disklerinin kaplamasında kullanılan tozların özellikleri ile balata malzemesi ikili oluşturmalı ve kaplama tozları ona göre belirlenmelidir.
2. Kaplama yönteminde farklı kaplama yöntemleri ve parametreleri ile yapılacak frenleme performans testleri yapılabilir.
3. Kaplama uygulanacak disk ve balata çalışmalarında yapılan testlere ve parametrelere ek olarak çeşitli analiz programlarıyla termik haritalandırma incelemeleri yapılabilir.
4. Kaplamalı disklerin tribolojik özelliklerini arttırmak için kimyasal bileşimi farklı balata numuneleriyle çalışmalar yapılarak optimum disk ve balata ikilisi oluşturulabilir.
5. Kaplamalı diskler fren test cihazının dışında araç üzerinde deneme yapılarak durma mesafeleri değerlendirilebilir.
6. Et kalınlığı azalmış veya kullanılmış diskler üzerine kaplama yapılarak diskler geri dönüşümle tekrar kullanılabilir hale getirilebilir.

## 6. KAYNAKLAR

- 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.
- Bergmann, F. Eriksson, M. Jacobson, S. (1999). A software based measurement system or test and analysis of automotive brake squeal. *TriboTest Journal*, **5(3)**: 265-275.
- Deamaley, I. (1985). Adhesive, abrasive and oxidative wear in on ion imploanted metals. *Materials Science-Engineering*, **69**: 139-147
- Demir A, “Fren Disklerine Uygulanan Kaplamaların Frenleme Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., 2009
- Demir A. “Frenler–Genel” Ders Notu, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 2009.
- Düzgün M. Yıldız Y. ” Soğutma Kanallı Fren Disklerinin Frenleme Kuvvetlerine ve Isı Değişimine Etkileri” , 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs 2009
- Erdem M. Altıparmak D. “Fren Disk Sıcaklığının Frenleme Performansına Etkisi” , Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. , Cilt 29, No **2**, 425-432, 2014
- Ericksson, M. Bergman, F. Jacobson, S. (2002). On the nature of tribological contact in automotive brakes, *Wear*, **252**: 26-36
- Filip, P. Weiss, Z. D. Rafaja, D. (2002). On friction layer formation in polymer matrix composite materials for brake applications. *Wear*, **252**: 189-198.
- Göktan A.G. Güney A. Ereke M. , “Taşıt Frenleri “ , İTÜ Makina Fakültesi, Otomotiv Anabilim Dalı, İstanbul, Ocak 1995.
- Gümüş E., “Otomotivde Kullanılan Kompozit Sürtünmeli Fren Balatalarında Yerli Uçucu Kül Katkısının Balata Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- Gürleyik M.Y. , ”Makina Mühendisliğinde Aşınma Olaylar” , Karadeniz Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Bölümü, Mühendis Ve Makina Cilt 27 Sayı **323** Aralık 1986.



- Kao, T.K. Richmond, J.W. Douarre, A. “Brake disc hot spotting and thermal judder: an experimental and finite element study”, *International Journal of Vehicle Design*, **23**, 3-4, 276-296, 2000.
- Kaya A. Ö. , “Plazma Püskürtme Ve Hıf Yöntemleri Kullanılarak, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>NiCr(75/25) Ve CrNiBSi+%80 Wc-Co Tozlarıyla Kaplanan Çeliğin Yapısı Ve Yüzey Özellikleri “, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- Lee, K. Barber, J.R. "An experimental investigation of frictionally excited thermoelastic instability in automotive disk brakes under a drag brake application", *Journal of Tribology*, 116, **3**, 409–414, 1994.
- Mutlu İ. “Seramik Katkılı Asbestsiz Otomotiv Fren Balatası Üretimi ve Frenleme Karakteristiğinin Deneysel İncelenmesi.” Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya. 2002
- Stanford, M.K. ve Jain, V.K. “Friction and wear characteristics of hard coatings”, *Wear*, **250/51**, 990–996, 2001.
- Seong, K.R. Michael, G.J. ve Peter, H.S.T. “The role of friction film in friction, wear, and noise of automotive brakes”, ABS Traction Control and Brake Components, SAE: 900004, 1990.
- Shorowordi, K.M., Haseeb, A.S.M.A., Celis, J.P. (2004). Velocity effects on the wear, friction and tribochemistry of aluminium MMC sliding against phenolic brake pad, *Wear*, **256**: 1176-1181.
- Stokes J. , Production of coated and free-standing engineering componenets using the HVOF process, Doktora Tezi, Dublin City University, 2003.
- Thuresson, D. “Influence of material properties on sliding contact braking applications”, *Wear*, **257**, 451-460, 2004.
- Toros M. , “Fren Balatalarında Nano Malzemelerin Kullanımının Frenleme Performansına Etkilerinin Deneysel Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, Konya, Haziran 2011.
- Ulutan M. , ” AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri Ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması” , Eskişehir

Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Müh. Anabilim Dalı,  
2007

‘*Welding Handbook*’, Cilt 4, American Welding Society, 1984.

Yazıcı Z.Ö. ,”Metalik Malzemeler” Ders Notu, Afyon Kocatepe Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi, Afyonkarahisar, 2016.

## 6.1 İnternet Kaynakları

- 1) [http://www.teknik.belgeler.com/dokuman/belge/fren\\_sistemi.pdf](http://www.teknik.belgeler.com/dokuman/belge/fren_sistemi.pdf), 12.05.2017
- 2) <http://kisi.deu.edu.tr//mustafa.karaoglan/Sunu%2014%20Fren%20Sistemleri.pdf>,  
14.05.2017
- 3) <http://www.atggoleta.com/services/services-we-provide/brake-repair-2-2/>, 15.05.17
- 4) <http://www.focusclubtr.com/topic/9388-fren-balatas%C4%B1de%C4%9Fi%C5%9Fi>  
[mi/](http://www.focusclubtr.com/topic/9388-fren-balatas%C4%B1de%C4%9Fi%C5%9Fi), 15.05.2017
- 5) <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DUY-056.pdf>, 19.05.2017
- 6) <http://www.ytmk.sakarya.edu.tr/yuzey.html>, 22.05.2017
- 7) [http://www.bodycote.com/tr-TR/services/surface-technology/hvofcoating.aspx\\_](http://www.bodycote.com/tr-TR/services/surface-technology/hvofcoating.aspx_),  
28.05.2017
- 8) <http://www.plazmatekniksertmetal.com/>, 01.06.2017

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Salih KARANFİL  
Doğum Yeri ve Tarihi : Polatlı/ANKARA - 26.02.1991  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 536 965 0272 / slh.krnfl1903@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Polatlı Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi,  
(2005-2008)  
Lisans : Sakarya Üniversitesi, Otomotiv Öğretmenliği  
Bölümü, (2009-2013)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv  
Mühendisliği Bölümü, (Müh. Tam. / 2015-2016)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri  
Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı,  
(2015-2017)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Eskasan Makina İmalat ve Sanayi A.Ş.

(Kalite Kontrol Mühendisi 2015-2017)

: Ay Döküm Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş.

(Kalite Kontrol Yöneticisi 2017-...)

Yayımları (SCI ve diğer) : AlCu (Alüminyum-Bakır) Element  
Birleşimlerinin Abrasif Aşındırma Deneyleri ve  
Sonuçları 2013 Sakarya.