

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PASLANMAZ ÇELİK YÜZEYLERİN MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Batuhan ÖZER**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**MART 2023**



**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PASLANMAZ ÇELİK YÜZEYLERİN MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Batuhan ÖZER**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yıldız YARALI ÖZBEK**

**MART 2023**





Batuhan ÖZER tarafından hazırlanan “Paslanmaz Çelik Yüzeylerin Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi” adlı tez çalışması 29.03.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### **Tez Jürisi**

**Jüri Başkanı : Doç.Dr.Yıldız Yaralı Özbek** (Danışman) .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Uğur ÖZSARAC** .....  
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

**Jüri Üyesi : Doç. Dr. Nuray CANIKOĞLU** .....  
Sakarya Üniversitesi



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Paslanmaz Çelik Yüzeylerin Mekanik özelliklerinin Geliştirilmesi” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, etik kurul onay belgesi aldığımı (etik onayı gerekmiyorsa bu cümle metinden çıkartılır), çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(08/02/2023).

(imza)

Batuhan ÖZER



*Aileme ve ÷lkeme,*



## **TEŞEKKÜR**

Bu tez çalışmasının hazırlanması sırasında desteğini ve bilgilerini esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yıldız YARALI ÖZBEK'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım ile ilgili süreçte yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü çalışanlarına ve değerli hocalarıma ve Çalışmalarımı destekleyen , Çokyaşar Holding fabrika müdürüm Taner Şirin'e, Desteklerini esirgemeyen Satış departman müdürüm Emre Danışman'a, Genel müdürüm Erman Korkusuz'a ve her türlü imkanı bana sağlayan Çokyaşar Holding yönetimi ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmam süresince desteğini esirgemeyen ve bana olan inancını hiçbir zaman kaybetmeyen değerli aileme ve eşime teşekkür ederim.

Batuhan ÖZER





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>ix</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>xi</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xxv</b>
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>3</b>
2.1. Isıl Sprey (Termal püskürtme) Yöntemleri .....	5
2.1.1. Alevle püskürtme kaplama metodu .....	7
2.1.2. Plazma püskürtme yöntemi .....	8
2.1.3. D-gun yöntemi .....	9
2.1.4. Elektrik ark püskürtme metodu .....	10
<b>3. YÜKSEK HIZLI OKSİJEN YAKITLI (HVOF) PÜSKÜRTME metodu</b> .....	<b>13</b>
3.1. HVOF Püskürtme Metodunun Avantajları ve Dezavantajları .....	15
3.1.1. AISI 316 paslanmaz çeliğin genel özellikleri .....	16
<b>4. AŞINMA</b> .....	<b>17</b>
4.1. Aşınma Metodlarının Sınıflandırılması .....	18
4.1.1. Aşınma yöntemlerinin sınıflandırılması .....	18
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>23</b>
5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Tozlar .....	24
5.2. HVOF Uygulama Süreci .....	25
5.3. Metalografik Çalışmalar .....	27
5.4. Optik Çalışmalar .....	27
5.5. Stereo Görüntüleri .....	27
5.6. Yüzey Pürüzlülük .....	27
5.7. Sertlik Ölçümleri .....	28
5.8. X-Işınları Analizleri .....	28
5.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri .....	29
5.10. Aşınma Deneyi .....	29
<b>6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>31</b>
6.1. Optik Mikroskop Sonuçları .....	31
6.2. Stereo Mikroskop Görüntüleri .....	33
6.3. Kaplama Kesit SEM Görüntüleri ve EDS Analizleri .....	34
6.4. XRD Analiz Sonuçları .....	44
6.5. Mikro Sertlik Sonuçları .....	46
6.6. Aşınma Deney Sonuçları .....	47
6.7. Sürtünme Katsayıları .....	64
6.8. SEM Görüntüleri ve EDS Analizi .....	72

<b>7. SONUÇLAR VE İRDELEME .....</b>	<b>101</b>
7.1. Giriş .....	101
7.2. Sonuçlar .....	101
7.3. Öneriler .....	103
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>105</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>109</b>

## **KISALTMALAR**

<b>AISI</b>	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
<b>ASTM</b>	: Amerikan Test ve Malzeme Derneği
<b>CVD</b>	: Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>D-GUN</b>	: Detonasyon Püskürtme
<b>HB</b>	: Brinell Sertliği
<b>HV</b>	: Vickers Sertliği
<b>HVOF</b>	: Yüksek Hızlı Oksi Yakıt
<b>OM</b>	: Optik Mikroskop
<b>PVD</b>	: Fiziksel Buhar Biriktirme
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>SS</b>	: Paslanmaz Çelik
<b>XRD</b>	: X-Işını Difraksiyonu
<b>VPS</b>	: Vakumlu Plazma Püskürtme
<b>μ</b>	: Mikron, Sürtünme Katsayısı
<b>μm</b>	: Mikrometre



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1.</b> Termal sprey yöntemlerinin karşılaştırılması [12].	7
<b>Tablo 5.1.</b> AISI 316 mekanik özellikleri [22].	23
<b>Tablo 5.2.</b> AISI 316 paslanmaz çeliklerin standart kimyasal bileşim ile kimyasal analiz sonuçları	24
<b>Tablo 5.3.</b> Diamalloy 2002 tozunun kimyasal bileşimi ve özellikleri	24
<b>Tablo 5.4.</b> Oerlikon (Sulzer Metco) Diamalloy 7202 tozunun kimyasal bileşimi ve özellikleri	25
<b>Tablo 5.5.</b> HVOF kaplama işlem parametreleri	25
<b>Tablo 5.6.</b> HVOF kaplamada kullanılan tozların yüzdece oranları	26
<b>Tablo 6.1.</b> Kaplama kalınlıkları	33
<b>Tablo 6.2.</b> Aşınma sürecinde kullanılan parametreler	47
<b>Tablo 6.3.</b> M grubu deney parametreleri	48
<b>Tablo 6.4.</b> G grubu deney parametreleri	49
<b>Tablo 6.5.</b> 200 metre mesafede % 50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N, 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları	51
<b>Tablo 6.6.</b> 300 metre mesafede % 50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 cm/sn hızlarda 3N, 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları	52
<b>Tablo 6.7.</b> 200 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 cm/sn hızlarda 3N, 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları	53
<b>Tablo 6.8.</b> 300 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 cm/sn hızlarda 3N, 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları	54
<b>Tablo 6.9.</b> 3N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3, 4 ve 5 noktalarından alınmış EDS analizleri	89



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Kaplama yöntemlerinin sınıflandırılmasının şematik gösterimi [8].....	4
Şekil 2.2. Kaplama yöntemlerine göre altlık sıcaklığı ve kalınlık ilişki grafiği [9].....	5
Şekil 2.3. Termal spreyci kaplama yönteminin şematize edilmesi [11]. .....	6
Şekil 2.4. Alev püskürtme kaplama yöntemi uygulaması [14]. .....	8
Şekil 3.1. Yüksek hızlı oksijen yakıtlı (HVOF) püskürtme yönteminin şematize edilmesi [17]. .....	14
Şekil 3.2. Gaz yakıtlı HVOF şematik gösterimi [18]. .....	14
Şekil 3.3. Sıvı yakıtlı HVOF şematik gösterimi [18]. .....	15
Şekil 3.4. HVOF yönteminin endüstrideki uygulama bölgeleri [19]. .....	15
Şekil 4.1. Tribolojik aşınma sisteminin şematik gösterimi [20]. .....	18
Şekil 4.2. Adhezif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi. ....	19
Şekil 4.3. Abrasif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi. ....	20
Şekil 4.4. Eroziyon Aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi. ....	20
Şekil 4.5. Eroziyon Aşınma mekanizmasının şematize edilmesi (a) ve aşınma örneği (b) [20]. .....	21
Şekil 4.6. Yorulma aşınma mekanizmasına ait aşınma örnekleri (a,b) [20]. ....	22
Şekil 5.1. HVOF deney düzeneği görseli.....	26
Şekil 5.2. Pürüzlülük ölçüm cihazı .....	28
Şekil 5.3. Mikrosertlik cihazı (LEICA VHMT MOT).....	28
Şekil 5.4. CSM aşınma test cihazı .....	29
Şekil 6.1 M1 numunesine ait optik mikroskop görüntüsü, b)M2 numunesine ait optik mikroskop görüntüsü, c)M3-G1-G2-G3 numunelerine ait optik mikroskop görüntüleri .....	32
Şekil 6.2. M1, b)-M2, c)M3, d) G1, e) G2, f)G 3 numunelerine ait stereo mikroskop görüntüleri .....	34
Şekil 6.3. G1 numunesine ait SEM görüntüsü.....	35
Şekil 6.4. G2 numunesine ait SEM görüntüleri .....	36
Şekil 6.5. G3 numunesine ait SEM görüntüleri .....	36
Şekil 6.6. M1 numunesine ait SEM görüntüleri .....	37
Şekil 6.7. M2 numunesine ait SEM görüntüleri .....	38
Şekil 6.8. M3 numunesine ait SEM görüntüsü .....	38
Şekil 6.9. G1 numunesine ait EDS analizi .....	39
Şekil 6.10. G2 numunesine ait EDS analizi .....	40
Şekil 6.11. G3 numunesine ait EDS analizi .....	41
Şekil 6.12. M1 numunesine ait EDS analizi .....	42
Şekil 6.13. M2 numunesine ait EDS analizi .....	43
Şekil 6.14. M3 numunesine ait EDS analizi .....	44
Şekil 6.15. M1-M2-M3 numunelerine ait XRD analizi sonuçları .....	45
Şekil 6.16. G1-G2-G3 numunelerine ait XRD analizi sonuçları .....	45
Şekil 6.17. Numunelere ait sertlik değerleri .....	46

<b>Şekil 6.18.</b>	%50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 200 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 4N yük altında aşınma oranı grafiği.....	55
<b>Şekil 6.19.</b>	%50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 200 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği.....	56
<b>Şekil 6.20.</b>	%50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 200 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 4N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği.....	57
<b>Şekil 6.21.</b>	%50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 300 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 4N yük altında aşınma oranı grafiği.....	57
<b>Şekil 6.22.</b>	%50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 300 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği.....	58
<b>Şekil 6.23.</b>	%50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 300 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 4N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği.....	59
<b>Şekil 6.24.</b>	%100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 200 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 4N yük altında aşınma oranı grafiği.....	60
<b>Şekil 6.25.</b>	%100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 200 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği.....	61
<b>Şekil 6.26.</b>	%100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 200 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 4N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği.....	61
<b>Şekil 6.27.</b>	%100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 300 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 4N yük altında aşınma oranı grafiği.....	62
<b>Şekil 6.28.</b>	%100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 300 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği.....	63
<b>Şekil 6.29.</b>	%100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 300 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 4N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği.....	63
<b>Şekil 6.30.</b>	6 pasoda 3N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	65
<b>Şekil 6.31.</b>	6 pasoda 4N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	65
<b>Şekil 6.32.</b>	6 pasoda 5N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	66
<b>Şekil 6.33.</b>	6 pasoda 3N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	66
<b>Şekil 6.34.</b>	6 pasoda 4N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	67
<b>Şekil 6.35.</b>	6 pasoda 5N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	67
<b>Şekil 6.36.</b>	10 pasoda 3N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	68
<b>Şekil 6.37.</b>	10 pasoda 4N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	68
<b>Şekil 6.38.</b>	10 pasoda 5N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	69
<b>Şekil 6.39.</b>	10 pasoda 3N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	69



<b>Şekil 6.40.</b> 15 pasoda 3N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	70
<b>Şekil 6.41.</b> 15 pasoda 4N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	70
<b>Şekil 6.42.</b> 15 pasoda 3N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	71
<b>Şekil 6.43.</b> 15 pasoda 4N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği .....	71
<b>Şekil 6.44.</b> 6pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	72
<b>Şekil 6.45.</b> 6pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	72
<b>Şekil 6.46.</b> 6pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	73
<b>Şekil 6.47.</b> 6pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	73
<b>Şekil 6.48.</b> 6pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	74
<b>Şekil 6.49.</b> 6pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	74
<b>Şekil 6.50.</b> 10pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	75
<b>Şekil 6.51.</b> 10 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	75
<b>Şekil 6.52.</b> 10 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	76
<b>Şekil 6.53.</b> 10 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	76
<b>Şekil 6.54.</b> 10 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	77
<b>Şekil 6.55.</b> 10 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	77
<b>Şekil 6.56.</b> 15 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	78
<b>Şekil 6.57.</b> 15 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri .....	78

- Şekil 6.58.** 15 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 79
- Şekil 6.59.** 10 pasoda 5N yük altında, 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 79
- Şekil 6.60.** 10 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 80
- Şekil 6.61.** 15 pasoda 5N yük altında, 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 80
- Şekil 6.62.** 10 pasoda 5N yük altında, 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 81
- Şekil 6.63.** 10 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 81
- Şekil 6.64.** 15 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 82
- Şekil 6.65.** 6 pasoda 5N yük altında, 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 82
- Şekil 6.66.** 6 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 83
- Şekil 6.67.** 6 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 83
- Şekil 6.68.** 10 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 84
- Şekil 6.69.** 6 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 84
- Şekil 6.70.** 10 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 85
- Şekil 6.71.** 10 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 85
- Şekil 6.72.** 10 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 86
- Şekil 6.73.** 10 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri ..... 86

<b>Şekil 6.74.</b> 6 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri.....	87
<b>Şekil 6.75.</b> 15 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri.....	87
<b>Şekil 6.76.</b> 15 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri.....	88
<b>Şekil 6.77.</b> 15 pasoda 5N yük altında, 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri.....	88
<b>Şekil 6.78.</b> 3N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü.....	89
<b>Şekil 6.79.</b> 15 pasoda 4N yük altında 0,4 m/sn hızında 300 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü.....	90
<b>Şekil 6.80.</b> 6 pasoda 5N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü.....	91
<b>Şekil 6.81.</b> 10 pasoda 4N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü.....	92
<b>Şekil 6.82.</b> 4N yük altında 0,2 m/sn hızında 300 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü.....	93
<b>Şekil 6.83.</b> 5N yük altında 0,2 m/sn hızında 300 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü.....	94
<b>Şekil 6.84.</b> 3N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü.....	95
<b>Şekil 6.85.</b> 5N yük altında 0,4 m/sn hızında 300 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplamaların 3D profimetre görüntüleri.....	96
<b>Şekil 6.86.</b> 4N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplamaların 3D profimetre görüntüleri.....	97
<b>Şekil 6.87.</b> 3N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz kullanılarak hazırlanan kaplamaların 3D profimetre görüntüleri.....	98
<b>Şekil 6.88.</b> 3N yük altında 0,4 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz kullanılarak hazırlanan kaplamaların 3D profimetre görüntüleri.....	99



## PASLANMAZ ÇELİK YÜZEYLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

### ÖZET

Bu tez çalışmasında, Diamalloy 2002 (Tungsten Karbür, krom bazlı) ve Sulzer Metco 7202 (Karbür, Krom bazlı) tozlar, farklı konsantrelerde hazırlanmış olup, endüstri ve sanayide sıkça kullanılan 316 paslanmaz çelik yüzeylerine High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) yöntemiyle yapılan kaplamaların yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada iki tip toz kullanılmıştır. Bu tozlar Diamalloy 2002 ve Sulzer Metco 7202 tozlarıdır. %50 Diamalloy ve %50 Sulzer Metco 7202 toz karışımından oluşan M grubu numuneleri, %100 Sulzer Metco 7202 tozundan oluşan G grubu numuneleri hazırlanmıştır. Bu tozların çeşitli kombinasyonlarda HVOF metodu ile kaplama özelliklerine etkileri analiz edilmiştir.

M ve G numuneleri için aşınma testleri yapılmıştır. Bu testlerde Alümina bilya (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) kullanılmış olup farklı hız, yük, yol mesafesi ve paso sayısı ile testler gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri sonrası numunelerin SEM görüntülerine bakılmış, XRD analizleri gerçekleştirilmiş, pürüzlülük testleri yapılmış ve kaplama sonrası detaylı olarak incelenmiştir. HVOF yöntemi, endüstri ve sanayide yaygın olarak kullanılan maliyeti az bir teknolojik prostestir. HVOF yöntemi ile çok yüksek yoğunlukta kaplama kalınlıkları elde edilir. Yüksek püskürtme sayesinde elde edilen yüksek yapışma sonuçları metodun en iyi özellikleridir. Aynı zamanda HVOF ile elde edilen kaplama sonuçları incelendiğinde parçacık hızlarının fazla olması nedeniyle az sayıda porozite içermektedir. Porozite değerleri %1'in altında kalabilmektedir. HVOF metodu çok yüksek yapışma sağlamakta ve kaplama ömrü uzun olmaktadır. Bütün malzemeler bu metot ile kaplanabilmektedir [4].

Endüstrideki paslanmaz çelikler düşük maliyet ve yüksek korozyon dayanımı ile gerekli uygulamalarda sanayi ve endüstrinin ihtiyacını karşılamaktadır [5]. Paslanmaz çelikler iyi özelliklerinin yanında, yüksek maliyetlere çıkabilen ve zorlu bozunma süreçlerine sebep olabilecek uygulamalarda da çalışılabilmektedir. Bu durum paslanmaz çelik kaplamalarının geliştirilmesi için önem arz etmiştir.

Yüzeye yapılan kaplamalar ile aşınma özelliklerinin geliştirilmesi, numunelere farklı hız, yol, yük ve paso sayısı ile aşınma deneyleri uygulanmış ve kaplama üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kaplama kalınlıkları ölçülerek sertlik ve aşınma üzerine etkileri irdelenmiştir. Kaplama yüzeylerinde aşınma deneyi öncesi ve sonrası görüntüler alınmıştır. Makro ve mikro incelenen görüntüler ile kaplama hataları araştırılmıştır. X ışınları analizleri yapılmış olup yapıda ki fazların tayini yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüklerine bakılmış, aşınma deneyinden sonra iz genişliği ölçümleri yapılarak aşınma oranları tespit edilmiştir. Aşınma yüzeylerinin SEM görüntülerine ve EDS analizlerine göre yüzeylerde meydana gelen değişimler yorumlanmıştır.



# **IMPROVEMENT OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF STAINLESS STEEL SURFACES**

## **SUMMARY**

In this thesis, Diamalloy 2002 (Tungsten Carbide, chrome based) and Sulzer Metco 7202 (Carbide, chrome based) powders have been prepared in different concentration and their surfaces have been coated by the method of HVOF on 316 stainless steel which is frequently used in industry, in order to improve surface characteristics.

Powder of Diamalloy 2002 and Sulzer Metco 7202 have been used in this study. Sample M is the mixture of 50% Diamalloy 2002 and 50% Sulzer Metco where as Sample G is 100% Sulzer Metco 7202. Different combination of these two samples have been coated by HVOF process, thus coated properties have been analyzed.

Corrosion tests have been conducted for the sample of M and G by exposing them to different velocity, pressure, distance and number of passes. In these experiments Alumina ball (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) has been used. Thereafter the corrosion tests, SEM images and XRD results have been analyzed, roughness measurements have been made and evaluated in detail after coating.

Surface coating methods have become very popular and application areas have increased in recent years thanks to the financial, theoretical and technological benefits they provide [1,2]. Coating is done to change the chemistry and physical properties of a material. The surface coating process aims to improve the surface of the material, improve its appearance, and make it resistant to the conditions in its environment as a result of precipitation of an element suitable for the material on the surface of the material. In surface technology, in some cases, obtaining the desired material is only possible thanks to coating technologies [5,6]. It is a surface engineering method that aims to improve the surface of the coating material by examining its wear, corrosion and fatigue strength, to increase its advantages and to repair the materials in need of repair [7-13]. The high velocity oxy-fuel (HVOF) process can be used to achieve relatively low particle temperature and high speed (900 m/s). Thus, dense coatings with low porosity and less prone to oxidation can be obtained [10]. High velocity oxy-fuel (HVOF) improve the wear resistance and decrease the friction coefficient between various sliding components in automotive, aeronautical and space. The HVOF sprayed WC-based cermet hard coatings such as WC-Co, WC-CoCr and others are applied in different engineering applications due to wear resistance and good corrosion resistance. Cobalt acts as a tough binder, which deforms plastically on impact onto the substrate and accommodates the wear-resistant WC particles [14]. In this work, coatings were made on the surface of 316 stainless steel by using various powders by HVOF method. Coating thicknesses were measured and their effects on hardness and wear were examined. Before the wear test on the coating surfaces and optic images were taken. Coating structure was investigated with macro and micro-examined images. X-ray analyzes were made and the phases in the structure were determined. Surface roughness was checked, trace width after wear test the wear rates were determined by measuring the wear surfaces. Changes in surfaces according to images

and EDS analyzes interpreted. Improving the wear properties with the coatings applied to the surface, wear tests were applied to the samples with different speeds, paths, loads and number of passes. The effects on the coating were investigated.

Level-2 In this experimental study, AISI 304 L stainless steel was used as the substrate and HVOF coating method was applied on the selected steel samples. The changes in the surface properties as a result of the coating were investigated. Two different powders were used in this study. The first powder is Diamalloy 2002 powder and the other powder is Sulzer Metco 7202 powder. These powders were taken in different percentages and it was aimed to observe how they affect the surface properties. From the powders applied to the samples called A and B groups, 50% Diamalloy 2002 powder and 50% Sulzer Metco 7202 powder were mixed into the first sample (A), and the other sample (B) was coated with the HVOF method by using 100% Sulzer Metco 7202 powder. In order to examine the effect of the number of passes in the experiments, different pass numbers were used. 1.5 bar pressure was applied to sample A and sample B. Diamalloy 2002 (Tungsten carbide-Nickel Chromium powder), one of the coating powders used in the experiment, is a powder with wear resistance. This is because it creates very hard surfaces. The properties of Diamalloy 2002 powder consisting of tungsten carbide and Nickel chromium are given in Table 2 [25].

Our other powder used in coatings is Sulzer Metco 7202 (Chromium carbide- 25% Nickel Chromium powder). This powder provides high oxidation and corrosion resistance. It shows high wear behavior especially in acidic and alkaline environments. Sulzer Metco 7202 material is a high hardness and high wear resistant phase, coating material containing 75% chromium-carbide, agglomerated and sintered powders for thermal spray process. Properties of Sulzer Metco 7202(Chromium carbide- 25% Nickel Chromium powder) powder are shown in Table 2.

In the HVOF coating process, 316L stainless steel with dimensions of 100 x 100 x 4 mm was used as the substrate in this parameter (Table 3). AISI 316 stainless steel has been sandblasted for this is to increase the efficiency of the coating to be made on the steel material. Percentages of powders to be coated are given in Table 4.

The number of passes applied to these samples varies. The sample with 15 passes is marked as A1, the sample with 10 passes is marked as A2, and the sample with 6 passes is marked as A3. The parameters of the samples obtained with B group 100% Sulzer Metco powder are 1.5 bar nitrogen pressure, 2 cm length and 10 seconds' time. The number of passes applied to these samples varies. Experimental studies were carried out after coating with HVOF and their findings were evaluated. Mixing 50% Diamalloy 2002 and 50% Sulzer Metco 7202 powders to A group samples, and 100% Sulzer Metco 7202 powder to B group samples using 316 stainless steel HVOF was applied to the steel base material and the coating images of the samples, on which metallographic applications were performed, were examined with an optical microscope and the coating thicknesses were examined.

The different powders are used for HVOF coating such as the 50% Diamalloy 2002 and 50% Sulzer Metco 7202 powder. The process parameters were changed in coating process. The coating thickness of A powder was measured as 213  $\mu\text{m}$ . The layer thickness of B is 232  $\mu\text{m}$ . The fact that the samples coated with the same parameters have different coating thicknesses can be associated with powder composition ratios. This is due to the difference in the structure and dimensions of the mixture powders and the homogeneous non-melting situation. In some cases, it may also occur due to the device used in the experiment phase. WC, W<sub>2</sub>C, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> phases were found



in the X-ray analyzes of the samples after coating.  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  phase was also formed in 100% 7202 powder mixture. In both samples, the hard phase WC and W<sub>2</sub>C phases emerged. These hard phases improved the mechanical properties (wear and hardness) of the coating surface. The wear resistance of AISI 316 stainless steels, which were coated with the HVOF spraying method, was increased and their mechanical properties were improved. In a short time, the surfaces of the steels coated with the HVOF spraying method can be improved and used advantageously in industrial and economic pain. it was found that the number of passes and the wear rates were generally inversely proportional. Wear properties of B group samples better than A samples. The powders content is important for mechanical properties. The coating parameters are very important all surface properties.



## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Mühendislik uygulamalarında kullanılan malzemeler ve makine ekipman parçalarının maruz kaldığı yüklere karşı koyabilmesi için belirli bir seviyede mukavemete sahip olması gerekmektedir. Bu malzemelerin korozyon ve aşınma dayanımlarına karşı direnç göstermesi, malzemenin portatif olarak kullanılabilmesi ve kullanım ömrü için çok önemlidir. Aşınma, korozyon gibi problemlere karşı konulabilmesi için çözüm yolları aranmış ve aranmaktadır. Yüzey mühendisliği, bu tür sorunları çözmek için son yıllarda endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzey mühendisliği neticesinde yüzey kaplama teknolojileri geliştirilmiş ve aşınma, korozyon gibi problemler bu yöntemler ile azaltılabilmektedir. Bu kaplama teknolojileri, aşınma direncini kuvvetlendirmek, korozyon direncini arttırmak, mekatronik ve elektronik yönden geliştirmek, savunma sanayi, uzay bilimi ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda geniş kapsamda kullanılmaktadır. Yüzey mühendisliğindeki amaç kritik ve maliyetli parçaların kullanım ömrünü uzatmak ve maliyet tasarrufu yapmaktır. Yüksek sıcaklıklara ve sabit yüklere maruz kalan makine ekipmanlarında aşınmalar kaçınılmaz olmaktadır. Bu aşınmalar parçalarda daha sonra ciddi hasarlara, kırılmalara sebep oluşturmakta olup ciddi zararlara sebebiyet verebilmektedirler. Metalik parçaların çeşitli yüzey özelliklerini geliştirmeyi hedefleyen çeşitli termal püskürtme yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biride endüstri alanında yaygın olarak kullanılan HVOF kaplama metodudur. Aşınmaya uğrayan parçalar, ciddi hasarlara, kırılımlara sebep olup ekonomik olarak zarara sebep olmaktadır. HVOF kaplama yöntemi ile aşınan veya aşınmaya maruz kalabilecek bölgelerin kaplanması bu zararların, hasarların önüne geçebilmek için ciddi bir termal sprej kaplama yöntemidir [1–3].

HVOF yöntemi, endüstri ve sanayide yaygın olarak kullanılan maliyeti az bir teknolojik prosestir. HVOF yöntemi ile çok yüksek yoğunlukta kaplama kalınlıkları elde edilir. Yüksek püskürtme sayesinde elde edilen yüksek yapışma sonuçları metodun en iyi özellikleridir. Aynı zamanda HVOF ile elde edilen kaplama sonuçları incelendiğinde parçacık hızlarının fazla olması nedeniyle az sayıda porozite içermektedir. Porozite değerleri %1'in altında kalabilmektedir. HVOF metodu çok

yüksek yapışma sağlamakta ve kaplama ömrü uzun olmaktadır. Bütün malzemeler bu metot ile kaplanabilmektedir [4].

Endüstrideki paslanmaz çelikler düşük maliyet ve yüksek korozyon dayanımı ile gerekli uygulamalarda sanayi ve endüstrinin ihtiyacını karşılamaktadır [5]. Paslanmaz çelikler iyi özelliklerinin yanında, yüksek maliyetlere çıkabilen ve zorlu bozunma süreçlerine sebep olabilecek uygulamalarda da çalışılabilmektedir. Bu durum paslanmaz çelik kaplamalarının geliştirilmesi için önem arz etmiştir.

Yüzeye yapılan kaplamalar ile aşınma özelliklerinin geliştirilmesi, numunelere farklı hız, yol, yük ve paso sayısı ile aşınma deneyleri uygulanmış ve kaplama üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kaplama yüzeylerinde aşınma deneyi öncesi ve sonrası görüntüler alınmıştır. Makro ve mikro incelenen görüntüler ile kaplama hataları araştırılmıştır. X ışınları analizleri yapılmış olup yapıda ki fazların tayini yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüklerine bakılmış, aşınma deneyinden sonra iz genişliği ölçümleri yapılarak aşınma oranları tespit edilmiştir. Aşınma yüzeylerinin SEM görüntülerine ve EDS analizlerine göre yüzeylerde meydana gelen değişimler yorumlanmıştır.

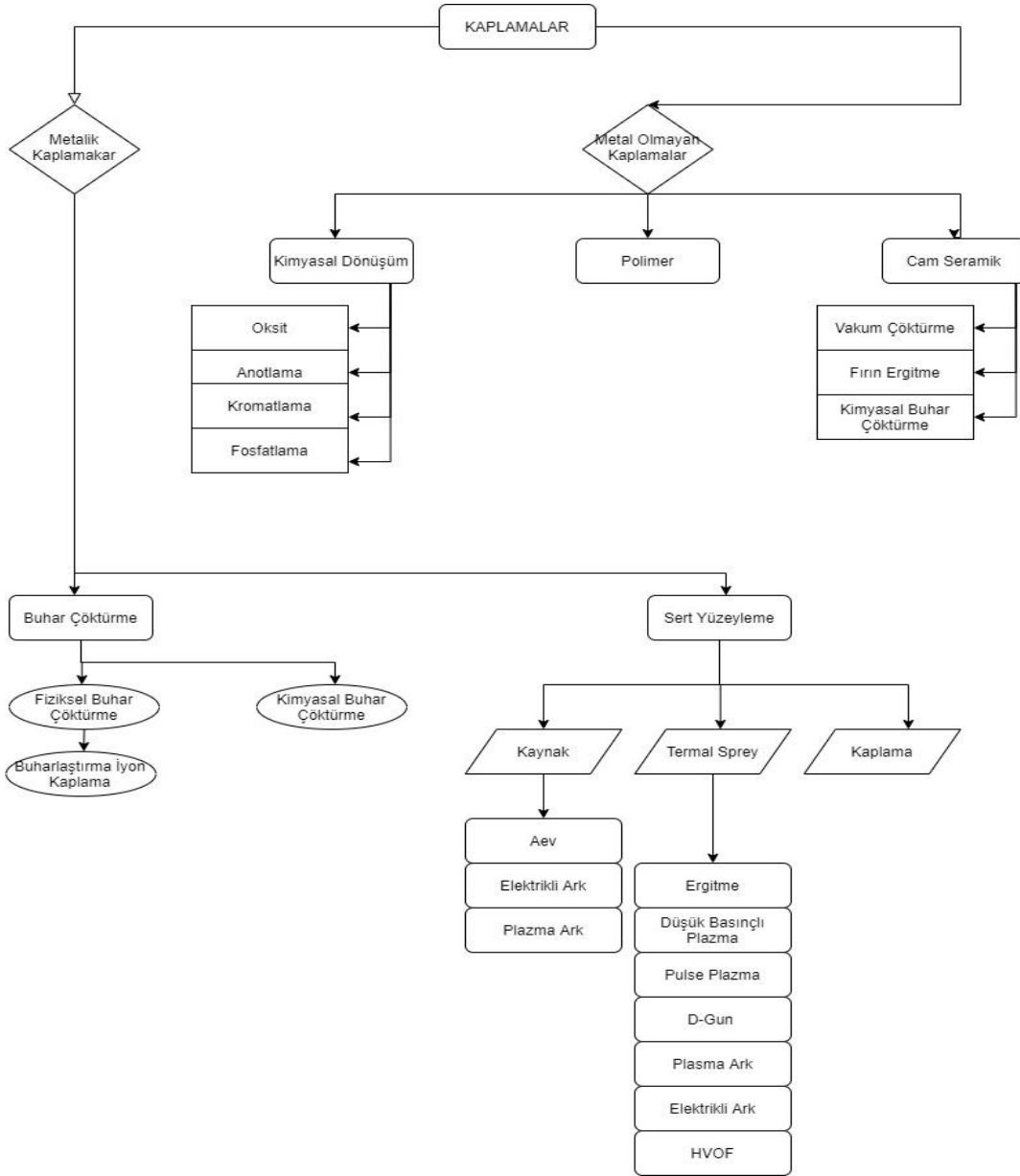
## 2. YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Yüzey kaplama yöntemleri son yıllarda sağladığı finans, teorik ve teknolojik faydalar sayesinde oldukça popülerleşmiş ve uygulama alanları artmıştır. Günümüzde gelişen teknoloji ile beraber yeni pazarlar, yeni endüstriler oluşmakta olup buna paralel yeni malzeme ihtiyaçları, tedarik süreçlerinde problemler, malzeme kıtlığı gibi sorunlar ortaya çıkmıştır. Yeni ihtiyaçların ortaya çıkması ile yüzey kaplama yöntemlerine bağlılık artmış ve kaplama yöntemleri geliştirilip endüstrinin ihtiyaçlarını karşılayabilmek hedeflenmiştir. Yüzey kaplama işlemi malzemenin yüzeyine malzemeye uygun bir element çöktürülmesi sonucu malzemenin yüzeyini geliştirmeyi, görüntüsünü iyileştirmeyi, bulunduğu ortamdaki koşullara dayanıklı hale getirmeyi hedeflemektedir. Talep edilen bazı özellikler kaplama yöntemleri ile daha az maliyetle karşılanabilmektedir [6].

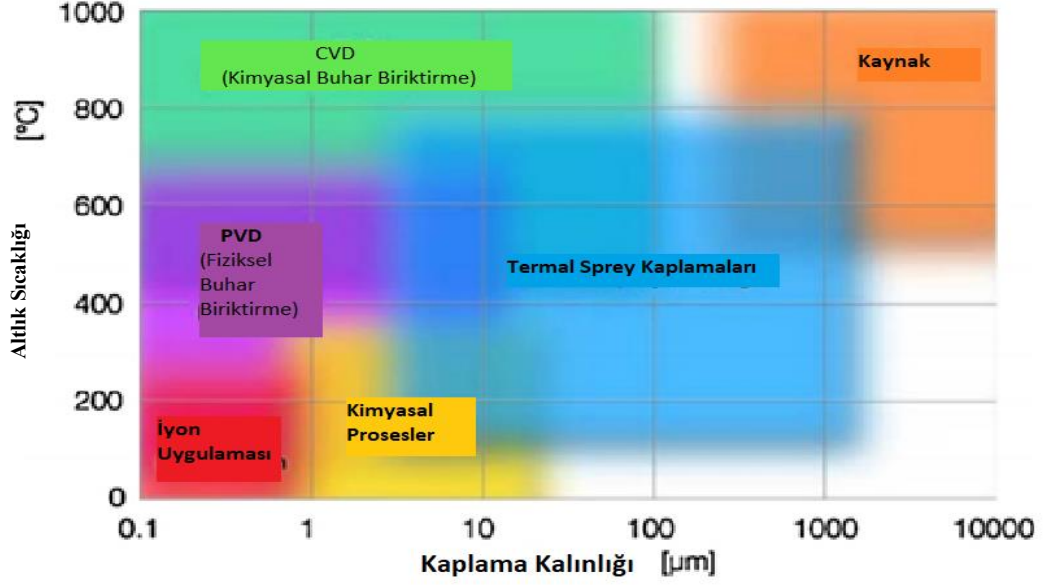
Kaplama işlemi bir malzemenin kimyasını ve fiziksel özelliklerini değiştirmek amaçlı yapılmaktadır. Teknolojide bazı durumlarda istenilen malzemenin elde edilebilmesi sadece kaplama teknolojileri sayesinde mümkün kılınabilmektedir. Kaplama malzemenin yüzeyini geliştirerek aşınmasını, korozyonunu ve yorulma dayanımlarını inceleyerek tedavi etmek, avantajlarını arttırmak ve onarıma ihtiyacı olan malzemelerin onarımını sağlamayı amaçlayan bir yüzey mühendislik metodudur [7].

Yüzey mühendisliğinin hedefleri;

1. Aşınma dayanımının iyileştirilmesi
2. Isı yalıtımını iyileştirmek ve sürtünme kaynaklı azalan enerjinin önüne geçmek
3. Mekanik ve teknik özelliklerin iyileştirilmesi
4. Materyallerin görünümünün iyileştirilmesi



**Şekil 2.1.** Kaplama yöntemlerinin sınıflandırılmasının şematik gösterimi [8].



Şekil 2.2. Kaplama metotlarına göre altlık sıcaklığı ve kalınlık grafiği [9].

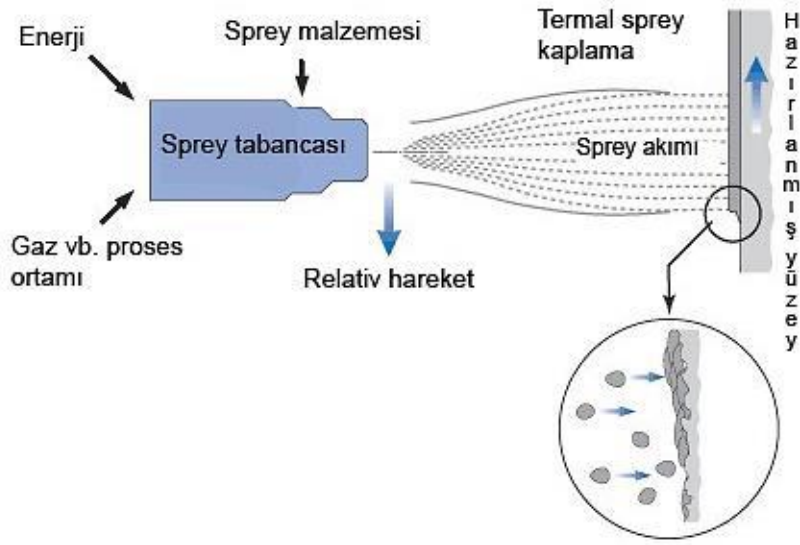
Kaplama metotlarında altlık sıcaklıkları ve kalınlıklar arasında bir ilişki vardır. Kaplama yöntemine karar verilirken malzeme cinsi, sıcaklık ve kalınlık göz önünde bulundurulmalıdır. Bu ilişki Şekil 2.2.'de görülmektedir [9].

### 2.1. Isıl Sprey (Termal püskürtme) Yöntemleri

Geniş kullanım alanlarına sahip olan ısıl püskürtme metodu endüstride ve yükselen teknolojik alanlarda çeşitli yeniliklere öncülük etmektedir. Malzemelerin endüstride kullanılabilmesi için çeşitli yüzey özellikleri bünyesine katması gerekmektedir. Isıl püskürtme yöntemi oksidasyon dayanımı, aşınma dayanımı, ısıl yalıtım ve korozyona karşı etkili bir yöntemdir. Malzeme bilimi tarihinde diğer uygulamalara nispeten daha yeni bir metot olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yöntem otomotiv sanayinde ve makine donanım parçalarında oldukça fazla kullanılmaktadır. Fabrikalar da, endüstride kullanılan ve zamanla deformasyona uğrayan çeşitli ekipmanlar bu yöntemle onarılabilir ve sabit gerilimlere maruz kalan parçaların bu yöntem ile kaplanarak dayanım ömürleri uzatılabilmektedir [1].

Isıl püskürtme yönteminin avantajlarından bir tanesi de malzemeler düşük sıcaklıklarda 100derece-250derece arası kaplanabilmektedir. Yani bu sayede yüksek sıcaklıklarda oluşabilecek oksidasyon, sıcaklık çarpılması ve kimyasal özelliklerin değişmesi gibi durumların önüne geçilmektedir. Bu yöntem ile kaplanan malzemelere kaynak işlemi, ısıl işlem ve benzeri yüksek sıcaklık metotları uygulanabilir.

Isıl püskürtme metodu, tel ya da toz halindeki kaplama materyalinin erime noktasına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, tamamı veya bir kısmı erimiş damlacıklar şeklinde basınçlı gaz akımı efektiyle alt malzeme yüzeyini kaplama, ilkesine dayanır. Bu tel ya da toz halindeki malzemeler taşıyıcı gazlar ile tabancadan püskürtülerek kaplanacak malzeme üstüne toplanması mantığına dayanır. Püskürtülen malzemenin kuvveti, bu yüzeyi şekillendirecek kadar yüksek yoğunlukta olmalıdır. Püskürtülen damlacıkların malzeme yüzeyinde aldığı şekil ince ince tabakalar halindedir. Kaplama kalınlığı malzemeyi püskürten torçun nereden, ne kadar fazla geçtiği ile doğru orantılıdır. Kaplama kalınlığını oluşturan malzemelerin tabaka üstünde yığılması gerekmektedir. Birbiri üstünde yığılan malzemeler damlacıkların yüzeye temas ettiği anda hızla soğuyarak katılaşırsa, katılaştıran malzemenin üstüne gelen damlacık tabakayı kuvvetlendirecektir ve kaplama sağlıklı olmuş olacaktır. Kaplama sıcaklığı ve kalınlığı çok önemlidir [10].



**Şekil 2.3.** Termal sprej kaplama metodunun şeması [11].

Kaplama kalınlığı ve sıcaklığı en önemli iki parametredir. Kaplama metodunun karakteristik parametreleri ayrıntılı biçimde Tablo 2.1.'de verilmektedir [12].

Isıl sprej püskürtme metodları aşağıda kategorilendirilmiştir.

1. Alevle püskürtme kaplama Metodu
2. Plazma- jeti ile püskürtme Metodu
3. D-Gun (Patlatmalı püskürtme) Metodu



4. Elektrik Ark Püskürtme Metodu
5. Yüksek hızlı oksji-yakıt (HVOF) püskürtme Metodu.

**Tablo 2.1.** Termal sprej yöntemlerinin karşılaştırılması [12].

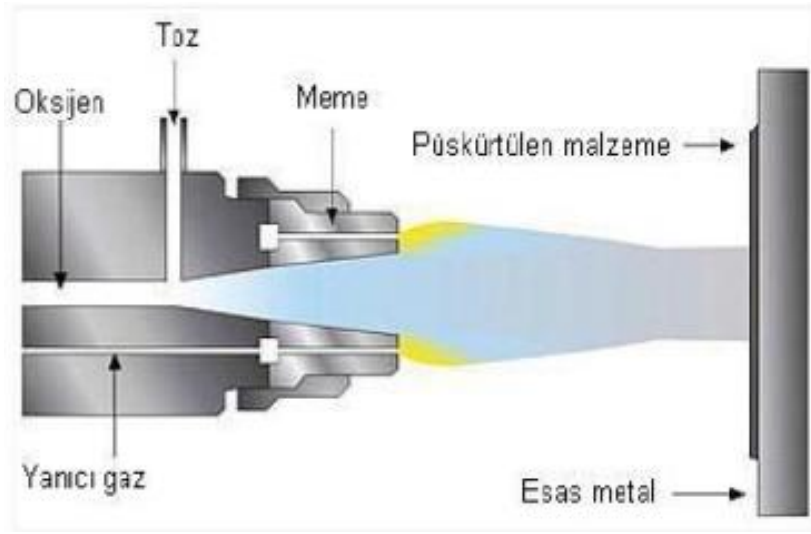
	Alev Sprej	Ark Sprej	D-Gun	HVOF	APS	Soğuk Sprej
<b>TUTUŞMA</b>						
Sıcaklık (°C)	3500	>6000	>4000	2500-3000	10000-15000	0 - 700
Hız (m/s)	80 – 100	50 - 100	>2500	500 - 2000	300 - 1000	300 -1200
Gaz Tipi	O <sub>2</sub> / Asetilen Propan, H <sub>2</sub>	Hava, Nitrojen, Ar	O <sub>2</sub> , Asetilen Propan, H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> , Kerosen Propan, H <sub>2</sub>	Ar, H <sub>2</sub> , Helyum, N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> , Hava, Helyum
Güç (kW)	20	5 - 10	-	150 - 300	40 -200	-
<b>ALEV</b>						
Max Alev Sıc. (°C)	2500	>3800	-	3300	>3800	250
Alev Sıc.(°C)	50 - 100	50 - 150	750 - 1000	200 -1000	50 - 100	500
<b>KAPLAMA</b>						
Porozite (%)	10-15	10-20	<2	<2	5-10	<5
Kalınlık(µm)	100 - 2500	100 - 2000	100 - 400	50 - 20000	100 -1500	250 - 600
Oksit İçeriği	<1		<1	<1	<3	

### 2.1.1. Alevle püskürtme kaplama metodu

İsviçreli Max Schoop tarafından bilim dünyasına kazandırılmıştır. En eski kaplama metodu olan alevle püskürtme yöntemi ısıl püskürtme yöntemleri arasında en basit ve ekonomik olan yöntemdir. Alevli püskürtme kaplama metodunun asıl amacı termal tozların, asetilen ve oksijen gaz karışımından oluşan aleve yönlendirilmesi ve eriyik ya da yarı eriyik haldeki bu termal tozların yüzeye püskürtülmesidir. Asetilen 3080 gibi yüksek derecelerde kaplama malzemesi kullanımı açısından uygundur. Bunun dışında propan, oksijen ve hidrojen genel olarak kullanılan gazlardır. Maliyet ve kolay tedarik süreci kullanımı yaygınlaştırmıştır. Kaplama malzemesi olarak genellikle metal termal tozlar, nikel, krom, demir, bakır, alüminyum tozlar kullanılır [13].

Alevle püskürtme metodu ile kaplanan yüzeyler, torna ve taşlama işlemleri için elverişlidir. Günümüzde endüstri alanında bu yönteme alternatif daha ekonomik ve

güvenli metotlar araştırılmaya devam etmektedir. Alev püskürtme metodunun şematik gösterimi Şekil 2.4.'te verilmektedir.



Şekil 2.4. Alev püskürtme kaplama yöntemi uygulaması [14].

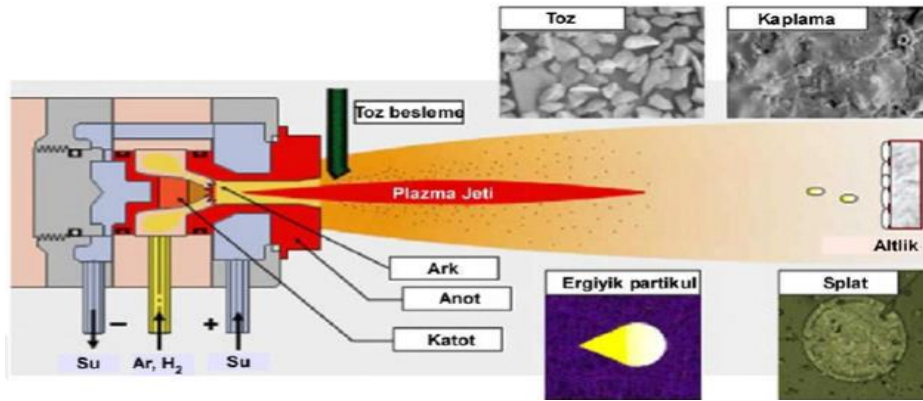
### 2.1.2. Plazma püskürtme yöntemi

Plazma püskürtme modern endüstride kullanılan kaplama teknolojilerinin önemli yöntemlerinden bir tanesidir. Püskürtme tabancasının içinde güçlü elektrik kuvvetinden geçirilen plazma halindeki argon ve hidrojen gazları iyonize hale getirilir ve çekirdek sıcaklığı 3000 °C ye çıkan plazma alevi meydana gelir. Bu alevle iletilen termal tozlar erimiş halde hızlı bir biçimde püskürtülür. Toz partiküllerinin surati 300m/s'dir. Bu yöntem ile çok fazla olan sıcaklık ve tane surati çok iyi mekanik ve mikro yapı özellikleri sağlar.

Bu yöntem diğer kaplama yöntemlerine göre nispeten daha pahalıdır. Lakin yöntemin endüstride sağladığı çeşitlilik ve esneklik yaygın olarak kullanılabilmesine sebep olmaktadır. Pompa ekipmanları, dişliler, makine şaftları ve pistonlar uygulama alanlarına örnektir. Bu yöntem aşınma dayanımında, korozyon direncinde ve termal yalıtımda iyileşme gibi özelliklerde fayda sağlamaktadır. Asit ve bazik ortamlarda, termal bariyer oluşumunda başarı ile kullanılır.

Uygulama anında parça yüzeyi sıcaklığı ölçülerek kaplamada oluşabilecek gerilim kontrol altında tutulur. Bu uygulama esnasında çeşitli termal tozlar kullanılabilir. Bunlar alümina & titanyum oksit, krom & zirkonyum oksit, çok sert olan tungsten &

krom karbür, nikel, demir, alüminyum, titanyum özlü termal tozlar, seramik ve metal karışımlardır. Sistemin çalışma mantığı Şekil 2.5.'de gösterilmiştir [15].



Şekil 2.5. Atmosferik püskürtme metodunun şematik gösterimi [15].

### 2.1.3. D-gun yöntemi

Detanasyon veya patlamalı püskürtme yöntemi özel tasarlanmış bir tabanca yardımı ile yapılır. Patlama alev püskürtme, aralıklı bir püskürtme metodudur. Asetilen maddesi oksijen ve azot kaplama malzemeleri yanma kısmı içinde karışarak kıvılcım ile kuvvetli patlamalara sebebiyet getirir. Tabancada üretilen şok püskürtme parçacıklarını hareketlendirir. Bu patlama neticesinde toz taneleri sıcaklık ve yüksek kinetik hareket ile altlık malzeme yüzeyine püskürtülür. 3000 °C sıcaklığa çıkılıp, saniyede 5-10 kere birbiri ardına patlamalar gerçekleşir. Toz partikülleri 850-950 m/s çıkabildiği bu metotta partiküller yüzeye çok kuvvetli bir kinetik enerji ile çarpması neticesinde yüzeyler arası yapışma optimum şartlarda sağlanmıştır. Bu nedenle mukavemeti yüksek kaplamalar meydana gelir. Bu metot ile yüzey sertliği 55-65 HRC' den daha yüksek malzemeler kaplanabilmektedir. Lakin metal dışı altlık malzemeler bu yöntem ile kaplanamamaktadır. Çünkü yüksek seviyedeki gaz sirkülasyonu erozyona sebebiyet vermektedir [16]. Endüstride çok yoğun sahalarda kullanılması ile beraber aşınma dayanımı ve korozyon dayanımı isteyen koşulları karşılamaktadır. Tekstil makine ekipmanları, plastik sanayinde, kimyasal endüstrilerde ve motor parçacıklarının korunmasında yaygın olarak kullanılır.

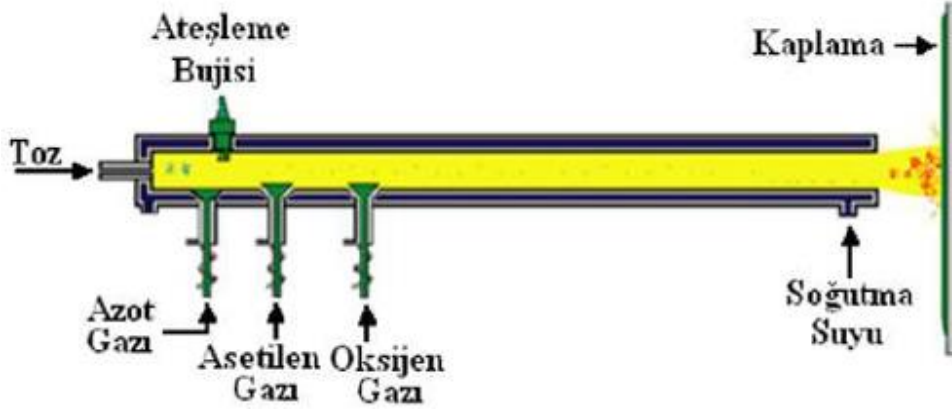
D-Gun patlamalı püskürtme yöntemini diğer yöntemlerden ayıran özellikler;

Yaklaşık olarak 1,5m uzunluğunda ivmeleme borusuna sahiptir.

Kaplama çok kuvvetli, berrak ve koyudur.

Oksit azdır.

Üstün yapıya sahiptir [16].



Şekil 2.6. D-Gun (Patlatmalı) metodu şematik gösterimi [11].

#### 2.1.4. Elektrik ark püskürtme metodu

Elektrik Ark Püskürtme metodu 1970'li senelerde metallerin korozyon direncini arttırmak için yaygın olarak uygulamaya konulmuştur. Bu yöntemin ortaya çıkış tarihi ise 1900'lü yıllara dayanmaktadır.

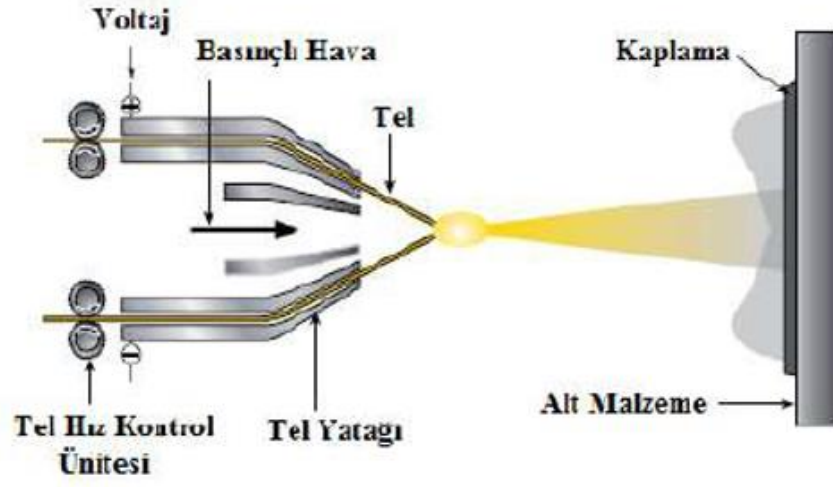
Bu metotta düzenekte bulunan iki tel ortasında sabit bir ark meydana gelmektedir. İki elektrot anot ve katottur ve düzenekten ısı ortaya çıkması esasına dayanır. Tel uçlarının birbirlerine bağlantısı neticesinde ısı oluşması esasına dayanır. Telleri eritmek için gerekli olan sıcaklık elektrik arkı tarafınca gerçekleştirilir. Bunun sonucunda teller erir ve eriyen tel suratla ve soğuk hava jeti tarafından atomize edilir ve neticesinde kaplamayı meydana getirebilmek için altlık malzemenin yüzeyine püskürtülür.

Elektrik ark püskürtmesinin alevle püskürtülmüş kaplamalara kıyasla avantajları;

- Çökelme hızı daha fazladır.
- Bağ mukavemeti iyidir.
- Ekonomik olarak daha avantajlıdır.
- Elektrik ark püskürtme yöntemi, malzemeye aşınma direnci ve korozyon dayanımı verdiği gibi dekoratif çeşitlilikte sağlamaktadır.

Uygulama alanları; otomotiv sanayi, havacılık sanayi, sanat alanında kullanılabilir. Malzemeye uygulanan alüminyum ve çinko kaplamalar korozyon direncini, karbür kaplamalar aşınma dayanımını artırır. Aynı zamanda yüksek sıcaklık proseslerinde

yüksek ısı kayıplarını engellemek için güzel bir uygulamadır.Şekil 2.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Elektrik Ark Püskürtme metodunun şematik gösterimi [17].



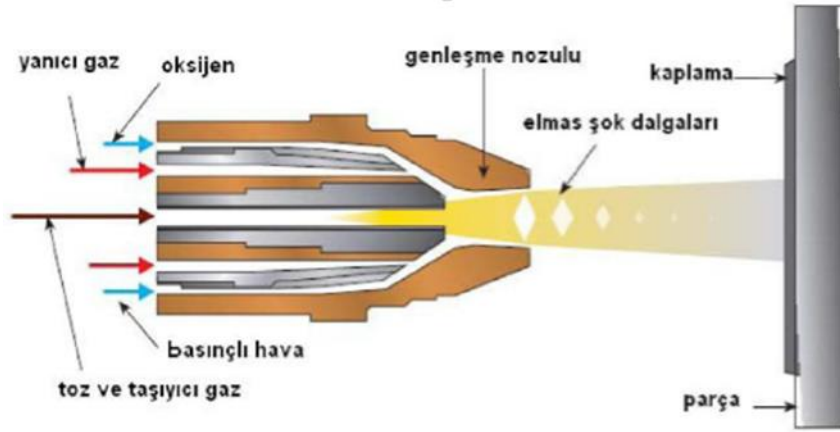
### 3. YÜKSEK HIZLI OKSİJEN YAKITLI (HVOF) PÜSKÜRTME METODU

Günümüzün en önemli kaplama yöntemlerinin başında gelen HVOF kaplama yöntemi Union Carbide tarafından icat edilen ve 1960-1980 yılları arasında geliştirilmiş bir metottur. İçeriğinde propilen, propan, kerosen, asetilen ve hidrojen içermektedir. Bu içerikler şekilde gösterilmiş olan HVOF tabancasında çok yüksek basınçlarda püskürtülerek uygulanmaktadır. HVOF tabancası dizaynı erimiş termal tozları çok yüksek basınçla püskürtecek şekilde dizayn edilmiştir. Tabanca içinde bir depoda yüksek basınç altında yakıt ve oksijen karışımının yanması neticesinde oluşan aleve püskürtülen termal tozlar 600-800 m/sn. bir hızda kaplama işlemi gerçekleşir. HVOF yönteminde ergimesi 3000 K 'ni aşmayan malzemeler bu metotla kaplama yöntemi olarak kullanılır. HVOF yöntemi ile çok yüksek yoğunlukta kaplama kalınlıkları elde edilir. Yüksek püskürtme sayesinde elde edilen yüksek yapışma sonuçları metodun en iyi özellikleridir. Aynı zamanda HVOF ile elde edilen kaplama sonuçları incelendiğinde parçacık hızlarının fazla olması nedeniyle az sayıda porozite içermektedir.

Porozite değerleri %1'in altında kalabilmektedir. Yapışma mukavemeti 85Mpa'nın üzerindedir. HVOF metodu çok yüksek yapışma sağlamakta ve kaplama ömrü uzun olmaktadır. Bütün malzemeler bu metot ile kaplanabilmektedir. HVOF yönteminde 0,2-2 mm değerlerinde kaplama kalınlığı oluşmaktadır. HVOF kaplı malzemelerin aşınma dayanımı iyi olduğu tespit edilmektedir. HVOF kaplamalar korozyon, oksidasyon ve özellikle aşınma dayanımı konusunda sağladığı avantajlarla endüstride çok ciddi ihtiyaçları karşılamaktadır. Yüksek sıcaklıklara ve sabit yüklere maruz kalan makine ekipmanlarında aşınmalar kaçınılmaz olmaktadır. Bu aşınmalar parçalarda daha sonra ciddi hasarlara, kırılmalara sebep oluşturmakta olup ciddi zararlara sebebiyet verebilmektedirler. Parçalar, makine ekipmanları, makineler HVOF kaplama yöntemi ile aşınan veya aşınmaya maruz kalabilecek bölgelerin kaplanması bu zararların, hasarların önüne geçebilmek için ciddi bir termal spreycaplama yöntemidir.

Volfram Karbür, krom karbür benzeri fazla sert malzemeler için uygun bir metottur.

Sistemin çalışma prensibi Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.

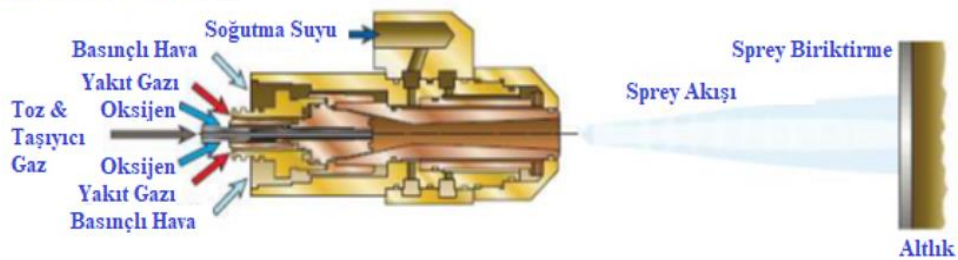


Şekil 3.1. Yüksek hızlı oksijen yakıtlı (HVOF) püskürtme metonunun şeması [17].

HFOV kaplamaların avantajları;

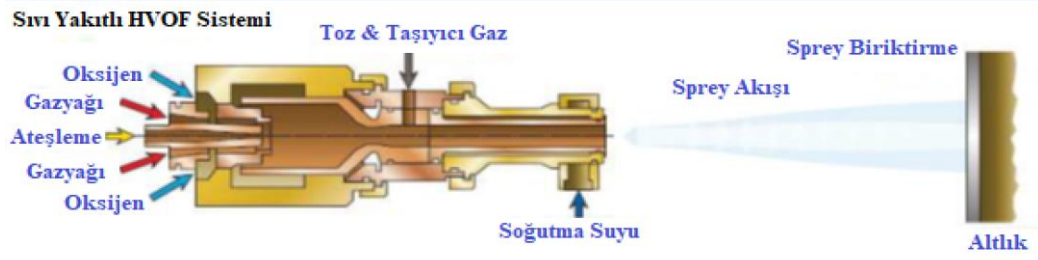
- Yüksek mukavemet
- Yüksek yoğunluk
- Geniş kullanım alanı ve endüstriye entegrasyonun kolaylığı
- Alt malzemeye kuvvetli yapışma izlenimi
- Yüzey kalitesinde sağlanan başarı
- Yüzeyin pürüzsüzlüğü
- Düşük porozite
- Yüksek sertlik
- Mükemmel aşınma dayanımı
- Homojen yüzey
- Torna, taşlama gibi işlemlerde kolay işlenebilme
- Düşük oksidasyon

Gaz Yakıtlı HVOF Sistemi



Şekil 3.2. Gaz yakıtlı HVOF şeması [18].





Şekil 3.3. Sıvı yakıtlı HVOF şematik gösterimi [18].

### 3.1. HVOF Püskürtme Metodunun Avantajları ve Dezavantajları

HFOV kaplamaların avantajları;

- Yüksek mukavemet
- Yüksek yoğunluk
- Geniş kullanım alanı ve endüstriye entegrasyonun kolaylığı
- Alt malzemeye kuvvetli yapışma izlenimi
- Yüzey kalitesinde sağlanan başarı
- Yüzeyin pürüzsüzlüğü
- Düşük porozite
- Yüksek sertlik
- Mükemmel aşınma dayanımı
- Homojen yüzey
- Torna, taşlama gibi işlemlerde kolay işlenebilme
- Düşük oksidasyon

Hvof metodunda kullanılan ısı çok yüksek değerlere ulaşabildiği için kaplanan malzemeninde çok yüksek seviyede ısınmasına sebebiyet verebilir. Malzeme çok dikkatli bir şekilde soğutulmalıdır. Olası hata da parçada bozulma meydana gelmesi yüksek ihtimallidir. Fazla gözenekli malzemelerde kaplama yapılabilmesi için ilave malzeme gerekebilir. Bu nedenle hvof kaplamayı zorlaştırabilir



Şekil 3.4. HVOF yönteminin endüstrideki uygulama bölgeleri [19].

### 3.1.1. AISI 316 paslanmaz çeliğin genel özellikleri

AISI 316 paslanmaz çelik, paslanmaz çelik sektörünün temellerinden ve en yaygın olarak kullanılanlarından birtanesidir. Tedarik ve lojistiğindeki kolaylık korozyon direncinin yüksek olması gibi özellikleri kullanımında yaygınlık sağlamaktadır. 316 kalite paslanmaz çelik içerisinde molibden ve nikel ilavesiyle elde edilen bir paslanmaz çeliktir. Pitting korozyonu direnci oldukça yüksektir. Mo ilavesi ile sıcaklığa dayanıklıdır. Kopma dayanımı oldukça yüksek olan AISI 316 paslanmaz çeliği sert koşullarda, deniz suyu ve asidik ortamlarda korozyon direnci oldukça fazladır.

Kâğıt, boya, gübre, deniz suyu ve kimyasallarda kullanılan teçhizatlarda, halatlarda, çubuklarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

**Tablo 3.1.** Yaygın HVOF yüzey uygulamaları [19].

Sektör	Uygulama Alanları
Havacılık	Kompresör kanatları, Türbin motor fan kanadı ve diğer kanat parçaları, iniş takımları
Güç Üretimi	Endüstrideki gaz türbinleri, hidroelektro kovalar, kanatlar ve nozullar, egzoz fanları
Otomotiv	Şanzıman vites dişleri
Ağır Ekipmanlar	Hidrolik ekipmanlar, bazı pistonlar, gemi dümenleri
Yazıcı ve Kâğıt	Baskı kapakları, mürekkep, baskı ve takvim rulosu
Petrokimyasallar	Pompa bileşenleri, sürgülü & küresel vanalar, egzoz yığımları, hidrolik & enayi çubuklar, konveyör vidaları
Cam Üretimi	Cam kalıbı için kullanılan pistonlar
Metal Prosesleri	Çelik üretim tesisi kılavuzları, tel çekme makine kapakları, hadde kalıpları
Tekstil	İplik kılavuzları, sıkma silindirleri
Genel Endüstri	Pompa gövdeleri, dişler & şaftlar, makine monte iskeletleri, baskı ve bağlantı parçaları,

#### 4. AŞINMA

Aşınma fazla komplike olduğu için birçok tanımı yapılmaktadır. Aşınmayı tam olarak tanımlamak zordur. Malzemede mekanik olarak küçük parçaların ayrılması neticesinde meydana gelen istenmeyen değişiklikler diye tanımlanmaktadır.

Katı cismin yüzeyinde meydana gelen malzeme kaybıdır. Dış ortamlara bağlı olarak malzemede meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu meydana gelen hasarlanmalardır.

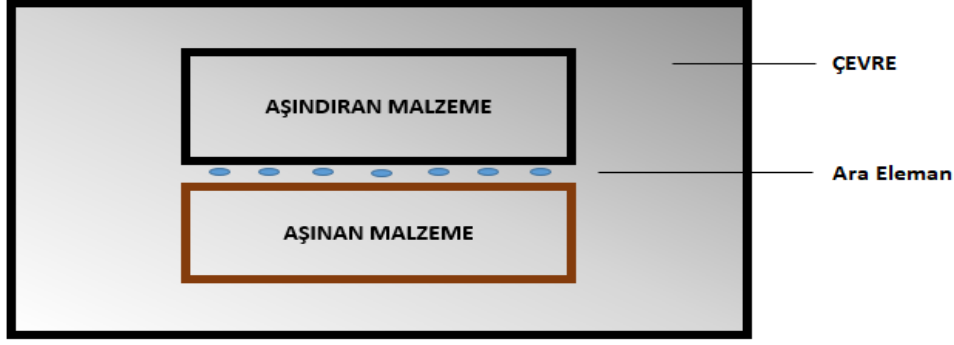
Malzemede aşınma meydana gelebilmesi için;

- Bağlı hareket olmalıdır.
- Sürtünme meydana gelmelidir.
- Mekanik müdahale gerçekleşmelidir.
- Yavaş ve sürekli bir bozulma meydana gelmelidir.
- Malzemede değişiklik gözlenmelidir.

Aşınma sadece malzemeye zararlı değil aynı zamanda kullanılan endüstriyel makinelerde büyük zararlar vermektedir. Makine elemanlarının kullanım ömrünü azaltmaktadır ve hasarlar tamamen giderilememektedir. Her türlü ekipmanın kullanıldığı ortamlarda aşınma hareketleri sürekli kontrol edilmeli ve gözlemlenmelidir.

Aşınma önceden tahmin edilebilir, aşınma derecesi azaltılabilir lakin tamamen engellenmesi mümkün değildir. Aşınma aniden ortaya çıkan ve zamanla ortaya çıkan aşınmalar olarak değerlendirilebilir. Aşınmaya sebebiyet veren genel parametreler Şekil 4.1.'de ifade edilmiştir.

- 1 Aşınan malzeme; Ana malzeme
- 2 Aşındıran malzeme; Karşı malzeme
- 3 Ara malzeme
- 4 Çevresel faktör, karşılaşılan yük, ortam, sıcaklık



Şekil 4.1. Tribolojik aşınma sisteminin şeması [20].

#### 4.1. Aşınma Metodlarının Sınıflandırılması

- 1 Adhesif aşınma,
- 2 Abrasif aşınma
- 3 Eroziv aşınma
- 4 Yorulma aşınması

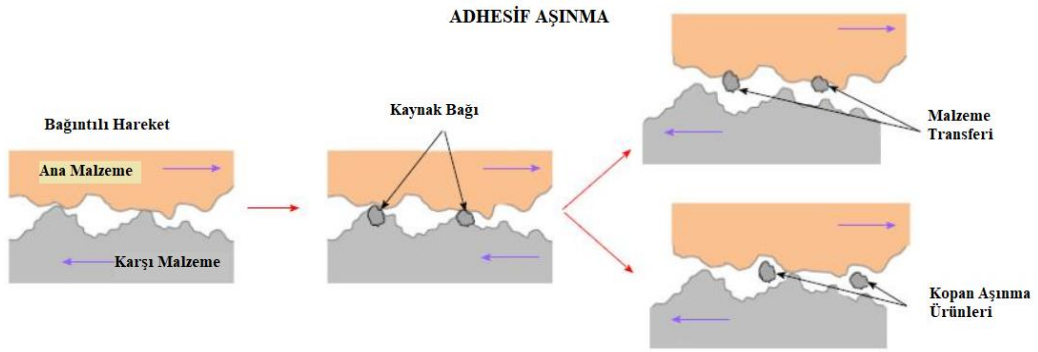
##### 4.1.1. Aşınma yöntemlerinin sınıflandırılması

- 1- Adhesif aşınma,
- 2- Abrasif aşınma
- 3- Korozif aşınma
- 4- Yorulma aşınması
- 5- Tabaka aşınması
- 6- Yenme aşınması
- 7- Erozyon aşınması
- 8- Kaviteasyon aşınması
- 9- Erozyonlu Kaviteasyon aşınması
- 10- Püskürtme aşınması
- 11- Kimyasal aşınma

##### Adhesif aşınma

Adhesif aşınma metalografik benzerlik gösteren yapılar arasında meydana gelmektedir. Birbirlerine benzeyen ve kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında oluşmaktadır. Daha çok fazla sürtünme hızında ve yükünde meydana gelir. Tabakaların üstünde oksitlenme veya nem gibi dış faktörler varsa Adhesif aşınma gözlemlenme olasılığı artar. Sürtünmenin yaşandığı her kaynak noktasında meydana

gelmeyebilir. Yüzeyde yağ var ise Adhezif aşınma engellenmeye çalışılır. Yağlama son derece önemlidir. Temas çiftinin sertlikleri arasında büyük farklılıklar varsa yumuşak Adhezif aşınma metalografik benzerlik gösteren yapılar arasında meydana gelmektedir. Birbirlerine benzeyen ve kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında oluşmaktadır. Daha çok fazla sürtünme hızında ve yükünde meydana gelir. Tabakaların üstünde oksitlenme veya nem gibi dış faktörler varsa Adhezif aşınma gözlemlenme olasılığı artar. Sürtünmenin yaşandığı her kaynak noktasında meydana gelmeyebilir. Yüzeyde yağ var ise Adhezif aşınma engellenmeye çalışılır. Yağlama son derece önemlidir. Temas çiftinin sertlikleri arasında büyük farklılıklar varsa yumuşak malzemedeki kaynak bağlar koparak sert malzemeye yapışır. Şayet temas esnasında yüzeyde Abrazif aşınma doğarsa orada Adhezif aşınma meydana gelmez. Adhezif aşınma mekanizması şematiki Şekil 4.2.'de ifade edilmiştir.



**Şekil 4.2.** Adhezif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi.

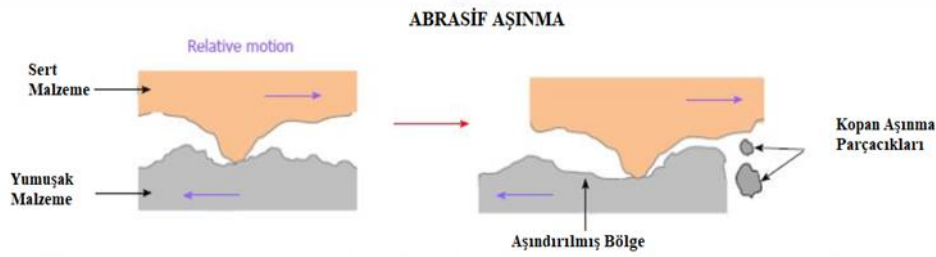
#### Abrazif aşınma

Abrazif aşınma, temas eden yük ve devinim ile iki malzemedan sert olanın, pürüzlü yüzey ve taneleri ile diğer cismi çizmesi ve talaş oluşumuna sebebiyet vermesi durumuna denir. Aşınma tozları kesim, çizim, çarpışma gibi olaylar sonucunda oluşabilir. Burada sertlikleri benzer veya daha sert malzeme parçacıkları altında çalışılıyorsa abrazif aşınma meydana gelir. Tanecik-katı, katı-sıvı gibi aşınma çiftleri meydana gelebilir. Temas eden iki cisim arasında fark incelendiğinde bir cisim diğer cisimden daha sert ise ve sert olan cisim talaş oluşumu ile hasara sebebiyet veriyorsa bu duruma iki cisimli abrazif aşınma denir. Eğer iki cisim incelendiği bu cisimler arasında serbest hareket edebilen aşındırıcı tanecikler var ise üç cisimli abrazif aşınma meydana gelmektedir.

Aşınma, iki cisimli abrasiv ya da adhesiv olarak başlar ve sonradan araya temas eden toz, tanecikler, talaş veya oksit parçacıklar neticesinde üç cisimli abrasiv olarak sürmektedir.

Üç cisimli abrasiv aşınma kendi arasında aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır;

1. Oymalı sürtünme Abrasyon Aşınması
2. Yüksek gerilmeli Abrasyon Aşınması
3. Düşük gerilmeli Abrasyon Aşınması

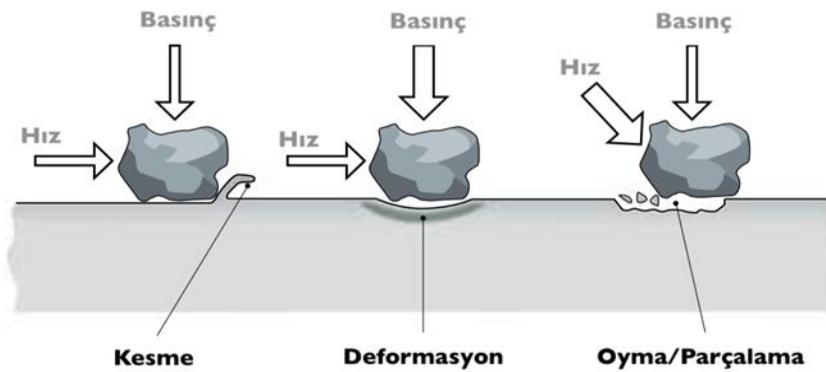


Şekil 4.3. Abrasif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi.

Erozif aşınma

Erozif aşınma, malzemenin tabakasına bazı durumlarda katı veya sıvı aşındırıcı partiküllerin malzeme yüzeyine vurarak malzeme kaldırma olayıdır. Erozif aşınmaya örnek olarak; uçağın toz bulutlarından geçerken türbün kanatlarında erozif aşınma meydana gelebilir ve cevher çıkarma prosesinde pompa çarklarında görülebilir.

Erozif aşınma çeşitli aşınma mekanizmalarını kapsamaktadır. Kapsanan mekanizmalar çarpmanın hızı, boyutu geliş açısı ve partiküllerin boyutunu kontrol altında tutabilir. Eğer sıvı parçacıklar varsa abrasif aşınma gerçekleşmez. Erozif aşınma Şekil 4.4.'te ifade edilmiştir [21].

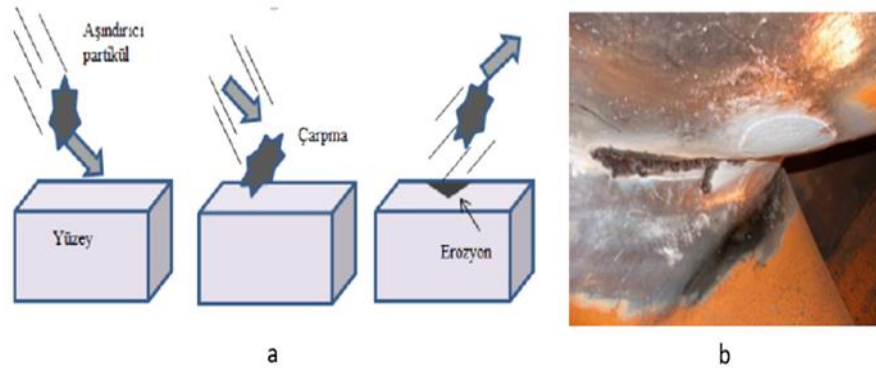


Şekil 4.4. Erozif Aşınma mekanizmalarının şematik ifadesi.

Erozif aşınma ufak partiküllerin mekanik bileşenlere çarparak oluşan ve sayısı bilinmeyen aşınma mekanizmasını kapsamaktadır. Düşük çarpma hızı ile meydana gelen olaylarda plastik deformasyon oluşmamaktadır, bu durumda malzeme de yüzey yorulması meydana gelmektedir. Aşındırıcı malzemelerin şekli yuvarlaksa plastik deformasyon olayı meydana çıkar. Çarpma hızının fazla olduğu olaylarda yüzeyde erime ortaya çıkar. Gevrek malzemelerde ise çatlak ilerlemesi meydana gelir.

Erozyon aşınmasının meydana gelme çeşitleri aşağıdaki gibidir.

1. Parçacıkların, kuvvetle ve yüksek hızda malzemenin yüzeyine çarpması sonucu(Şekil 4.5)
2. Yüksek kuvvet ve hızla malzeme yüzeyine çarpan hareketli sıvı taneler şok etkisi yaratır ve tahribat meydana gelir.
3. Hareketli ve yüksek hızdaki katı malzemenin, daha yavaş damlacıklara çarpması
4. Gaz kabarcıklarının kuvvetli basınç altında malzeme yüzeyine vurması.

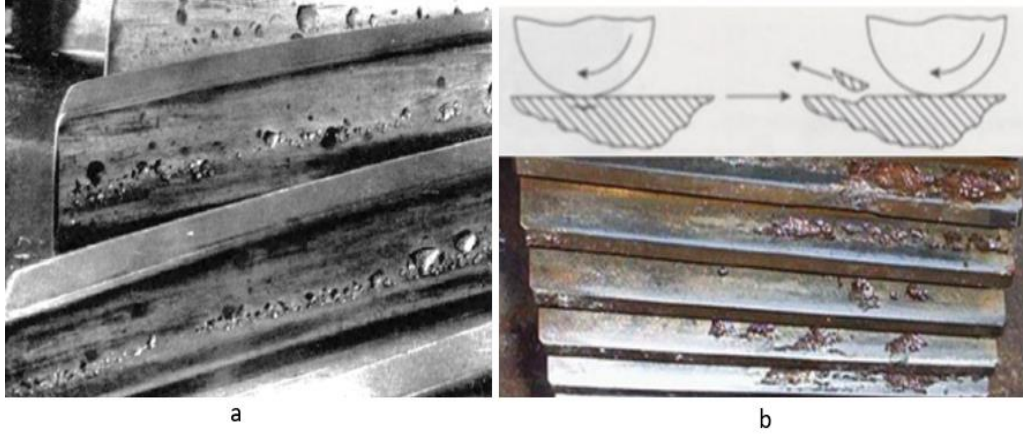


**Şekil 4.5.** Eroziyon mekanizmasının şematize edilmesi (a) ve aşınma örneği (b) [20].

#### Yorulma aşınması

Genellikle dinamik olarak zorlanmanın neticesinde temas ettiği yüzeyin altında ya da yakınında içyapı morfolojisinin yorulması ile yüzeyden küçük parçacıkların kopması ile oluşan aşınma türüdür. Bir diğer adı pitting aşınmasıdır. Makine ekipmanlarına uygulanan yük tekrarlı ise bu ekipmanlarda yorulma meydana gelmektedir. Ekipman yüzeyine uygulanan kuvvet, devamlı ve stabil değil ise yüzeyin alt kısmında mikro çatlakların oluşması neticesinde çatlakların yüzeyde ilerleyerek yüzeyden belirli parçaların kopmasına neden olmaktadır. Bu tür aşınmalara yorulma aşınması denir.

Temas halinde yüzeyde sürtünme meydana geleceği için verimlilik azalır ve aşınma meydana gelir. Kayma gerilmesinin en fazla olduğu yerde plastik deformasyon gerçekleşir ve deformasyon neticesinde yüzey altındaki çatlaklar derinleşerek malzeme kaybına sebep olur [20]. Görsel 4.6. (a) ve (b)'de, su verilmiş ve temperlenmiş bir dişli çarktaki karıncalanma aşınması gösterilmiştir.



**Şekil 4.6.** Yorulma aşınma sistemine ait aşınma örnekleri (a,b) [20].



## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu deneysel çalışmada altlık olarak AISI 304 L paslanmaz çelik kullanılmıştır ve seçilen çelik numunelerin üzerine HVOF kaplama metodu uygulanmıştır. Kaplama neticesinde yüzey özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Bu çalışmada iki farklı toz kullanılmıştır. Birinci toz olarak Diamalloy 2002 tozu diğer kullanılan toz ise Sulzer Metco 7202 tozudur. Bu tozlar farklı yüzdelerde alınmış olup yüzey özelliklerine nasıl etkiler bıraktıkları gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmalarda kullanılan numuneler iki gruptur. M ve G grubu olarak adlandırılan numunelere uygulanan tozlardan ilk numuneye (M) %50 Diamalloy 2002 tozu ve %50 Sulzer Metco 7202 tozu karıştırılarak, diğer numuneye (G) ise %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak paslanmaz çelik üzerine HVOF yöntemi ile kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneysel adımların etkisini inceleyebilmek için farklı paso sayıları kullanılmıştır. M numunesine ve G numunesine 1,5 bar basınç uygulanmıştır. Azotlu uygulanan basınç 10 saniye süreyle işlenmiştir. Yüzeyler optik mikroskopla, stereo mikroskopla incelenmiştir. SEM görüntülemeleri alınmış, elementel analiz için EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Altlık olarak kullanılan AISI 316 paslanmaz çeliğine mekanik özellikler Tablo 5.1.'de, kimyasal içerik ise Tablo 5.2'de verilmektedir.

AISI 316 paslanmaz çeliğine ait mekanik değerleri tablosu Tablo 5.1.'de gösterilmiştir [22].

**Tablo 5.1.** AISI 316 mekanik özellikleri [22].

Mekanik Özellikler	Değerler
Çekme Kuvveti	600 – 800 Mpa
Akma Mukavemeti	$\geq 205$ Mpa
Sertlik Brinell (HB)	$\leq 215$
Kopma Mukavemeti	515 Mpa
Rockwell Sertlik	95
% Uzama	40

Ayrıca AISI 316 paslanmaz çeliklerin standart kimyasal bileşim ile kimyasal analiz sonuçları Tablo 5.2.'de verilmiştir [23].

**Tablo 5.2.** AISI 316 paslanmaz çeliklerin standart kimyasal bileşim ile kimyasal analiz sonuçları

Çelik Türü		% Ağırlık (wt%)									
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo		
AISI 316	Standart	0,08	2,0	0,045	0,03	0,75	18	-	11	-	2,0
Paslanmaz	Bileşim	max	max	max	max	max	max	max	max	max	
Çelik	Analiz Sonuçları	0,039	1,811	0,032	0,005	0,670	16,539	10,25	1,887		

### 5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Tozlar

Deneyde kullanılan kaplama tozlarından Diamalloy 2002 (Tungsten karbür-Nikel Krom tozu) aşınma direncine sahip bit tozdur. Bunun sebebi çok sert yüzeyler oluşturmasıdır. Tungsten karbür ve Nikel kromdan oluşan Diamalloy 2002 tozunun özellikleri Tablo 5.3.'te verilmiştir.

**Tablo 5.3.** Diamalloy 2002 tozunun kimyasal bileşimi ve özellikleri

Malzeme Bilgisi	
Sınıflandırma	Tungsten Karbür, krom bazlı
Kimyasal Yapısı	(WC 12Co) 33Ni9Cr3.5Fe2Si2B 0.5C
Üretim	Aglomerasyon
Morfoloji	Küresel
Amaç	Aşınma direnci, korozyon direnci
Partikül Boyutu	+45, +11
Servis Sıcaklığı	≤ 540°C
Proses	HVOF

Kaplamalarda kullanılan diğer tozumuz Sulzer Metco 7202 (Krom karbür - %25 Nikel Krom tozu) tozudur. Bu toz yüksek oksidasyon ve korozyon direnci sağlamaktadır. Özellikle asidik ve alkali ortamlarda yüksek aşınma davranışı göstermektedir. Sulzer Metco 7202 malzemesi yüksek sertlikte ve aşınma direnci yüksek bir faz olan %75 krom-karbür içeren kaplama malzemesi termal sprej prosesi için aglomera ve sinterlenmiş tozlardır. Karbür fazlarını bağlayan Krom ve Nikel matrisleridir. Aşındırıcı ortamlardan uzak durulması gerekir. HCL ortamlar risklidir. HVOF kaplamalar atmosferik plazma sprejlerinden daha yüksek bağlama mukavemetine

sahiptir. HVOF kaplamalar homojendir. Sulzer Metco 7202 (Krom karbür - %25 Nikel Krom tozu) tozuna ait özellikler Tablo 5.4.'te gösterilmektedir.

**Tablo 5.4.** Oerlikon (Sulzer Metco) Diamalloy 7202 tozunun kimyasal bileşimi ve özellikleri.

Malzeme Bilgisi	
Sınıflandırma	Karbür, Krom Bazlı
Kimyasal Yapısı	25NiCr-Cr3Cu2
Üretim	Aglomera, Sinterleme
Morfoloji	Küresel
Partikül Boyutu	-106, +45
Görünür Yoğunluk	2.1-3 g/cm <sup>3</sup>
Servis Sıcaklığı	≤ 870°C
Amaç	Korozyon ve aşınma direnci

## 5.2. HVOF Uygulama Süreci

Bu uygulamada altlık olarak 100 x 100 x 4 mm boyutlarında 316L paslanmaz çelik kullanılmıştır. AISI 316 paslanmaz çeliğine kumlama işlemi yapılmıştır. Bunun sebebi çelik malzemenin üstüne yapılacak kaplamanın verimi arttırmaktır. Kaplama tozu olarak Sulter Metco 7202 ve Diamalloy 2002 tozları kullanılmıştır. Bu tozlar %99 saflıktadır [24]. Tane boyutları -45 +11 µm değerleri arasındadır. Sulter Metco 7202 ve Diamalloy 2002 tozları 90°C bir fırında kurutulmuştur. Bu işlemin ardından kaplamaya tabi olacak tozların yüzde oranları Tablo 5.6.'da verilmiştir. Deney uygulamasında yakıtımız H<sub>2</sub> gazıdır. 316 paslanmaz çelik malzemesine 300 mm/s hızla robot yardımı ile püskürtme yapılmıştır. Püskürtme tabanca mesafesi, taşıyıcı gaz, disk, hız gibi parametreler Tablo 5.5.'te gösterilmiştir. Püskürtme işlemlerinin süresi 3 dakikadır [25]. Değişik paso sayıları uygulanmıştır.

**Tablo 5.5.** HVOF kaplama işlem parametreleri

Deney Parametreleri	
Shrouded	400 mm
O <sub>2</sub>	150
H <sub>2</sub>	300
Taşıyıcı Gaz	10 (H <sub>2</sub> )
Disk	%15
Hız (mm/sn)	300 mm/s
Püskürtme Tabanca Mesafesi	20 mm
Paso	5

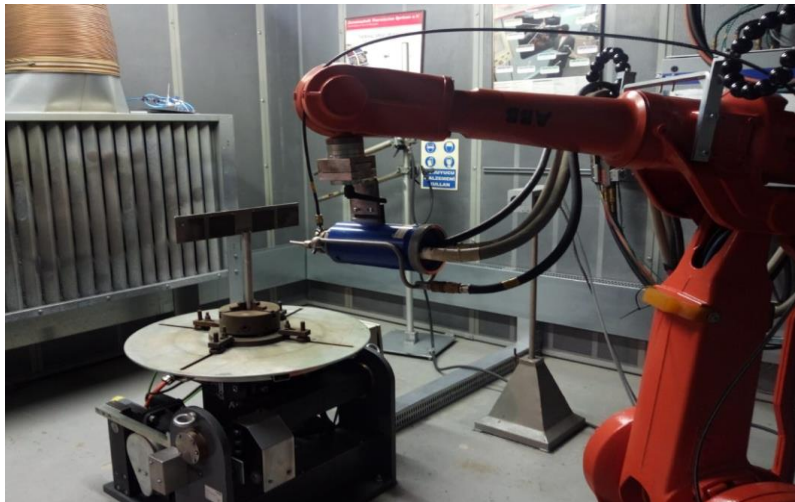
**Tablo 5.6.** HVOF kaplamada kullanılan tozların yüzde oranları

Tozlar	TOZ KARIŞIMI-1 (M)	TOZ KARIŞIMI -2 (G)
Kimyasal Kompozisyon	% 50 Sulzer Metco Diamalloy 2002 Tozu ((WC12Co)33Ni9Cr3.5Fe2Si2B0.5C) + %50 Sulzer Metco 7202(25NiCr-Cr3Cu2)	% 100 Sulzer Metco 7202 Tozu (25NiCr-Cr3Cu2)
Tane boyut	-45 +11 $\mu$ m -106 +45 $\mu$ m	-106 +45 $\mu$ m

Kaplama sonrası numuneler (M) ve (G) grupları olacak şekilde numaralandırılmıştır. Toz karışımlarına ait sınıflandırma Tablo 5.6.'da gösterilmiştir.

M grubu %50 Diamalloy 2002 ve %50 Sulzer Metco tozları karışımları ile elde edilen numunelerin parametreleri 1,5 bar Azotlu basınç 6cm uzunluk ve 10sn süredir. Bu numunelere uygulanan paso sayıları farklılık göstermektedir. 15 paso uygulanan numuneye M1, 10 paso uygulanan numuneye M2, 6 paso uygulanan numuneye M3 numunesi olarak işaretlenmiştir.

G grubu %100 Sulzer Metco tozu ile elde edilen numunelerin parametreleri 1,5 bar azotlu basınç 2cm uzunluk ve 10sn süredir. Bu numunelerde uygulanan paso sayıları farklılık göstermektedir. 15 paso uygulanan numuneye G1, 10 paso uygulanan numuneye G2, 6 paso uygulanan numuneye G3 numunesi olarak sınıflandırılmıştır.



**Şekil 5.1.** HVOF deney düzeneği görseli

Şekil 5.1.'de verilen HVOF püskürtme deney sisteminde Diamond Jest 2600 püskürtme tabancası, kaplanan parça ve genişleme nozulu görülmektedir.

### **5.3. Metalografik Çalışmalar**

HVOF yöntemiyle hazırlanan numuneler Struers Labotom isimli kesme cihazı ile kesilmiştir. Optik, SEM, EDS gibi önemli analizlerin yapılabilmesi için ve kalan metalografik işlemlerin rahatça uygulanabilmesi amacıyla Struers Labopress-1 isimli cihaz ile sıcak bakalite alma işlemi yapılmıştır. Kaplanan malzemelerin metalografik işlemlere devam edebilmesi ve kesit görüntülerinin alınabilmesi için bakalite alınan numuneler 120, 240, 320, 400, 600, 800 ve 1000 mesh'lik Metaserv 2000 isimli SiC zımparalar ile zımparalanmıştır. Daha sonra bu numuneler alümina ile parlatılmıştır.

### **5.4. Optik Çalışmalar**

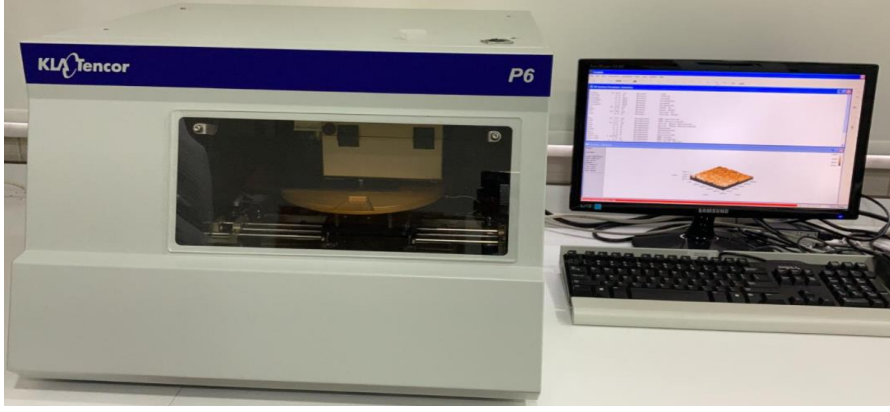
Çeşitli metalografik işlemler yapılan bu numunelere dağlamada yapılmış ve dağlama yapıldıktan sonra ZEISS AX10 marka optik mikroskop ile numunelerden kesit görüntüleri alınmıştır. Optik görüntü alındıktan sonra aşınma iz derinliklerine de bakılmıştır.

### **5.5. Stereo Görüntüleri**

Numunelerin HVOF kaplama sürecinden sonra kaplama yüzeyleri ZEISS Discovery. V12 marka cihaz stereo mikroskop ile görüntülenmiştir.

### **5.6. Yüzey Pürüzlülük**

HVOF ile kaplanmış numunelerin aşınma testleri sonrası aşınma izlerinin 3D pürüzlülük sonuçları KLA Tencor P6 marka cihaz ile alınmıştır. Cihaza ait görsel Şekil 5.2.'de verilmiştir.



**Şekil 5.2.** Pürüzlülük ölçüm cihazı

### **5.7. Sertlik Ölçümleri**

HVOF ile üretilmiş olan kaplama tabakalarının yüzey sertlikleri LEICA VHMT MOT marka cihaz ile hesaplanmıştır. Sertlik ölçümlerindeki uygulama parametreleri 50 g yük ve 15 sn süre ile alınmıştır. Numunelerin yüzeylerinden 3 bölge işaretlenmiş ve bu bölgelere atışlar yapılarak sertlik değerleri hesaplanmıştır. Sertliklerin ölçüldüğü cihaz Şekil 5.3.'de verilmiştir.



**Şekil 5.3.** Mikrosertlik cihazı (LEICA VHMT MOT)

### **5.8. X-Işınları Analizleri**

HVOF kaplama sürecinden geçen ve kesilen malzemelere X-ışını analizi yapılmıştır. XRD yönteminde, dalga boyu  $\lambda=1.54056$  değerine sahip olan  $\text{CuK}_{\alpha}$  ışınlar kullanılarak  $2\theta$  0-90° tarama açısı ve 2 °/dk tarama hızına sahip RIGAKU XRD D/MAX/2200/PC model X-ışınları difraktometresi kullanılmıştır. Faz analizleri MDI JADE 7.0 bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir.

## 5.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

HVOF kaplanmış malzemelerin kesitlerine ve aşınma yüzeylerinde SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Bu çalışmaların yapıldığı SEM cihazı JEOL JSM-6060 LV 'dir. SEM analizleri aşınma deneylerinden sonrada yapılmış olup aşınma yüzeyleri incelenmiştir.

## 5.10. Aşınma Deneyi

ASTM G133 standartları temel alınarak aşınma deneyleri yapılmıştır. Aşınma deneyleri CSM marka cihaz ile yapılmıştır. Aşınma cihazı görüntüsü Şekil 5.4.'de verilmiştir. Aşınma deneyleri yapılırken ortamdaki sıcaklık 25°C ve nem ise %30 olarak ölçülmüştür. Aşınma deneylerinde alümina bilye kullanılmıştır. Aşınma deney parametreleri hız olarak 0,2 m/s ve 0,4 m/s dir. Uygulanan yük ise 3N ve 4N'dur. Deney süresince alınan yol 200 m ve 300 m olarak kaydedilmiştir. Kaplama yapılmış yüzeylere lineer aşınma (reciprocating) deneyi uygulanmıştır. Bu deney neticesinde elde edilen sonuçlar standartlara uygun bir şekilde cihaza ait programa girilerek hesaplanmıştır. Hesaplamalar neticesinde sürtünme katsayısı ve yol grafikleri oluşturulmuştur. İz genişlikleri ise optik mikroskop yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 5.4. CSM aşınma test cihazı





## 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

%50 Diamalloy 2002 tozu ve %50 Sulzer Metco 7202 tozu ile %100 Sulzer Metco 7202 tozlarının karşımı ile 1,5 bar Azotlu 6cm-10sn M ve G numuneleri hazırlanmış, bu numunelere değişik paso sayıları ile (15paso-10paso-6paso) kaplama uygulamaları gerçekleştirilmiştir. HVOF ile kaplama sonrası deneysel çalışmalar yapılmış ve bulguları değerlendirilmiştir.

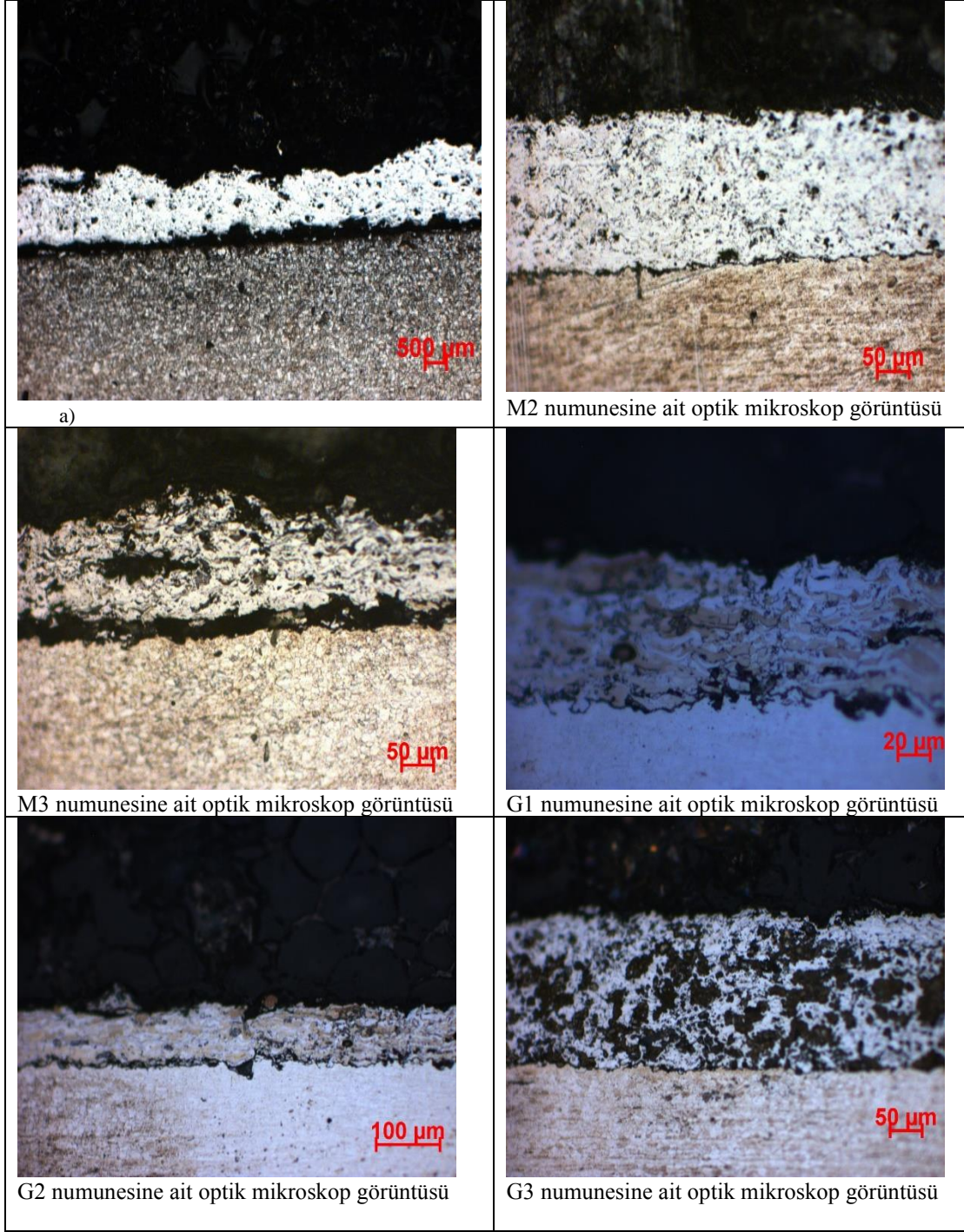
### 6.1. Optik Mikroskop Sonuçları

“M” grubu numunelerine %50 Diamalloy 2002 ((WC12Co) 33Ni9Cr3.5Fe2Si2B0.5C)) ve %50 Sulzer Metco 7202(25NiCr-Cr3Cu2) tozları karıştırılarak, G grubu numunelerine ise %100 Sulzer Metco 7202(25NiCr-Cr3Cu2) tozu kullanılarak 316 paslanmaz çelik altlık malzemeye HVOF uygulanmış ve metalografik uygulamalar gerçekleştirilen numunelerin optik mikroskop ile kaplama görüntüleri incelenmiştir ve kaplama kalınlıklarına bakılmıştır. Kaplama görüntülerinden görüldüğü gibi yer yer porozite oluşumları mevcuttur. Az miktarda ergime işleminin verimli olamadığı toz parçaları çok nadir de olsa görülmektedir. Kumlanmış paslanmaz çelik yüzeyine kaplama başarılı bir şekilde bağlanmış denilebilir.

15 paso uygulanan numuneye M1, 10 paso uygulanan numuneye M2, 6 paso uygulanan numuneye M3 numunesi denmiştir. Bu numunelere uygulanan paso sayıları farklılık göstermektedir.

G grubu %100 Sulzer Metco tozu ile elde edilen numunelerin parametreleri 1,5 bar azotlu basınç 2cm uzunluk ve 10sn süredir. Bu numunelerede uygulanan paso sayıları farklılık göstermektedir. 15 paso uygulanan numuneye G1, 10 paso uygulanan numuneye G2, 6 paso uygulanan numuneye G3 numunesi denmiştir.

Kaplama kalınlıkları Tablo 6.1.'de verilmiştir. Tabloda kaplama kalınlıklıkarı görülmektedir. Nozul mesafesi azaldıkça kaplama tabaka kalınlığının arttığı gözlemlenmektedir. Mesafe arttıkça kaplama kalınlığı azalır.



**Şekil 6.1** M1 numunesine ait optik mikroskop görüntüsü, b)M2 numunesine ait optik mikroskop görüntüsü, c)M3-G1-G2-G3 numunelerine ait optik mikroskop görüntüleri

Şekil 6.1. M1 numunesine ait optik mikroskop görüntüsü, b)M2 numunesine ait optik mikroskop görüntüsü, c)M3-G1-G2-G3 numunelerine ait optik mikroskop görüntüleri

**Tablo 6.1.** Kaplama kalınlıkları

Kaplama Kalınlıkları	
Numune Adı	Kaplama kalınlığı( $\mu\text{m}$ )
G1	83,49
G2	111,28
G3	232,18
M1	199,23
M2	213,52
M3	189,95

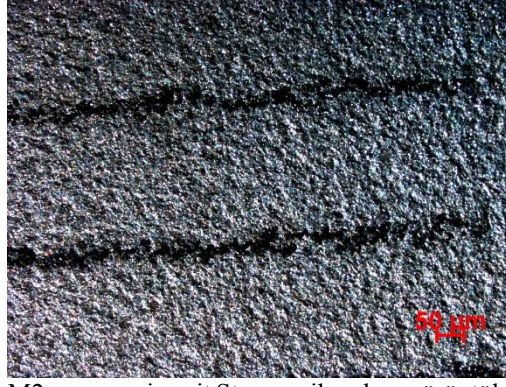
## **6.2. Stereo Mikroskop Görüntüleri**

%100 Stereo mikroskop ile alınan görüntüler incelendiğinde kaplama yüzeylerinde camsı fazların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yüzeyle bakıldığında oldukça fazla miktarda yüzey pürüzlülüğü görülmektedir. Yüzeyle üflenmiş tozlar, ergime ve çarpma hızına göre farklılıklar gösterebilir. Bu durum kaplama yüzeyinde homojensizlikler yaşatabilmektedir.

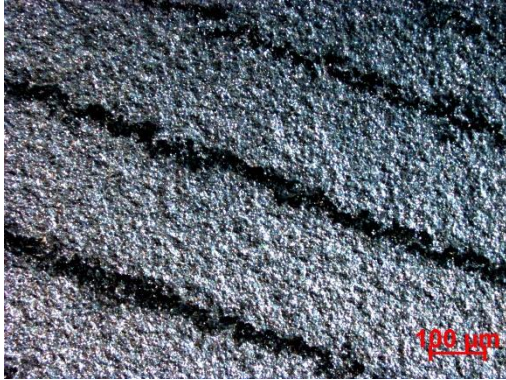




M1 numunesine ait Stereo mikroskop görüntüleri



M2 numunesine ait Stereo mikroskop görüntüleri



M3 numunesine ait Stereo mikroskop görüntüleri



G1 numunesine ait Stereo mikroskop görüntüleri



G2 numunesine ait Stereo mikroskop görüntüleri



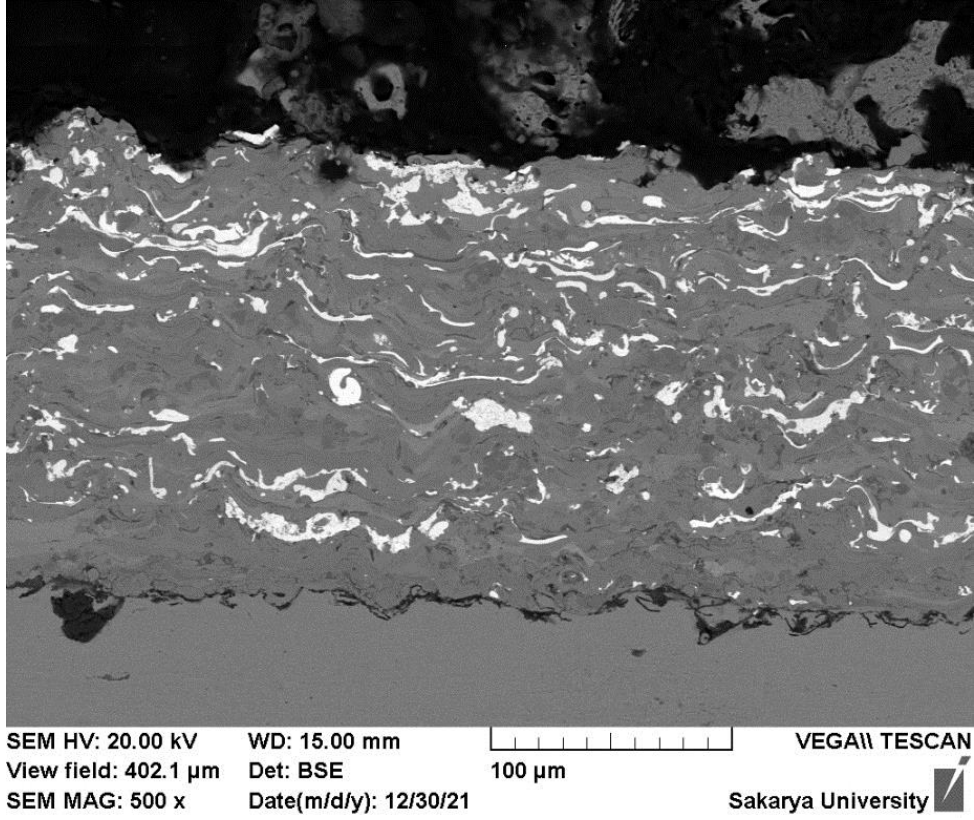
G3 numunesine ait Stereo mikroskop görüntüleri

**Şekil 6.2.** M1, b)-M2, c)M3, d) G1, e) G2, f)G 3 numunelerine ait stereo mikroskop görüntüleri

### 6.3. Kaplama Kesit SEM Görüntüleri ve EDS Analizleri

M ve G numunelerinin kaplama kesit SEM görüntüleri Şekil 6.3-6.8'de verilmektedir. Kaplama görüntüleri analiz edildiğinde zaman zaman az miktarda porozitelerin varlığı görülmektedir. Abu-Warda ve arkadaşlarının incelediği çalışmalarda porozite miktarının %2' seviyelerinden az olması durumunda tolere edilebileceği söylenmiş ve genellikle inceledikleri çalışmalarda porozite oluşumunun normal olduğu görülmüştür

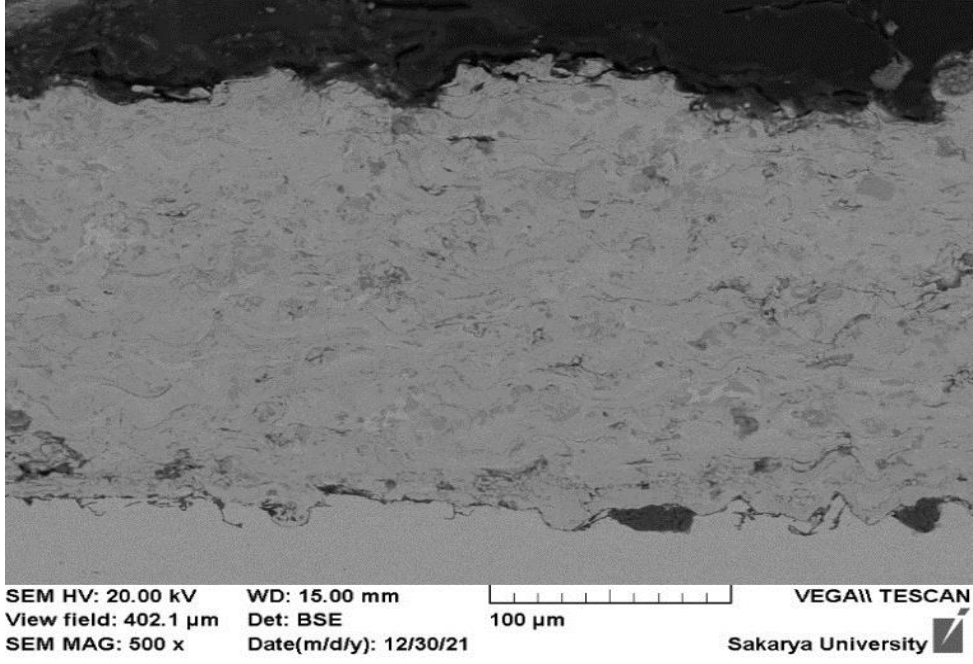
[26]. HVOF kaplamalarda içerdiği yapı nedeniyle poroziteler gözlenebilmektedir. Düşük miktarda da olsa çok düşük ergimemiş tanecikler varolabilmektedir [27].



**Şekil 6.3.** G1 numunesine ait SEM görüntüsü

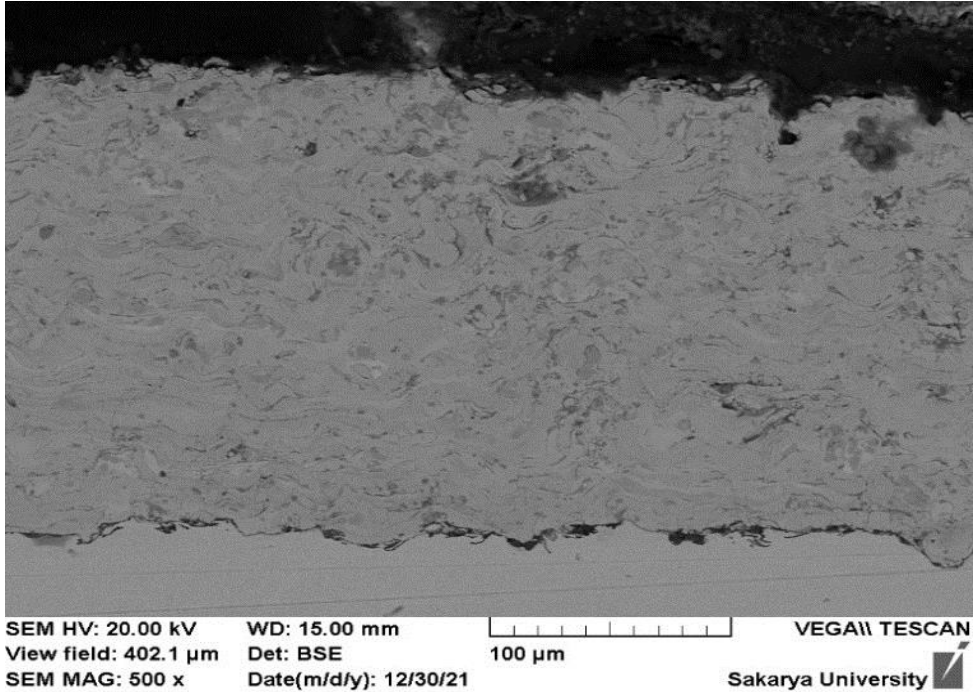
Şekil 6.3.'de G1 numunesine ait SEM görüntüsü verilmiştir. Bu görüntüye göre kaplama yüzey ve arayüzeyi arasında iyi bir yapışma olmadığı görülmektedir. Numune yüzeyinde kaplama öncesi hazırlıklardan dolayı poroz yapılar oluşmuş olabilir. İyi bir kaplama iyi bir arayüzey demek olduğundan kaplama öncesi yüzey hazırlama işlemleri iyi hazırlanmadığında bu tür sonuçlar elde edilebilir.





**Şekil 6.4.** G2 numunesine ait SEM görüntüleri

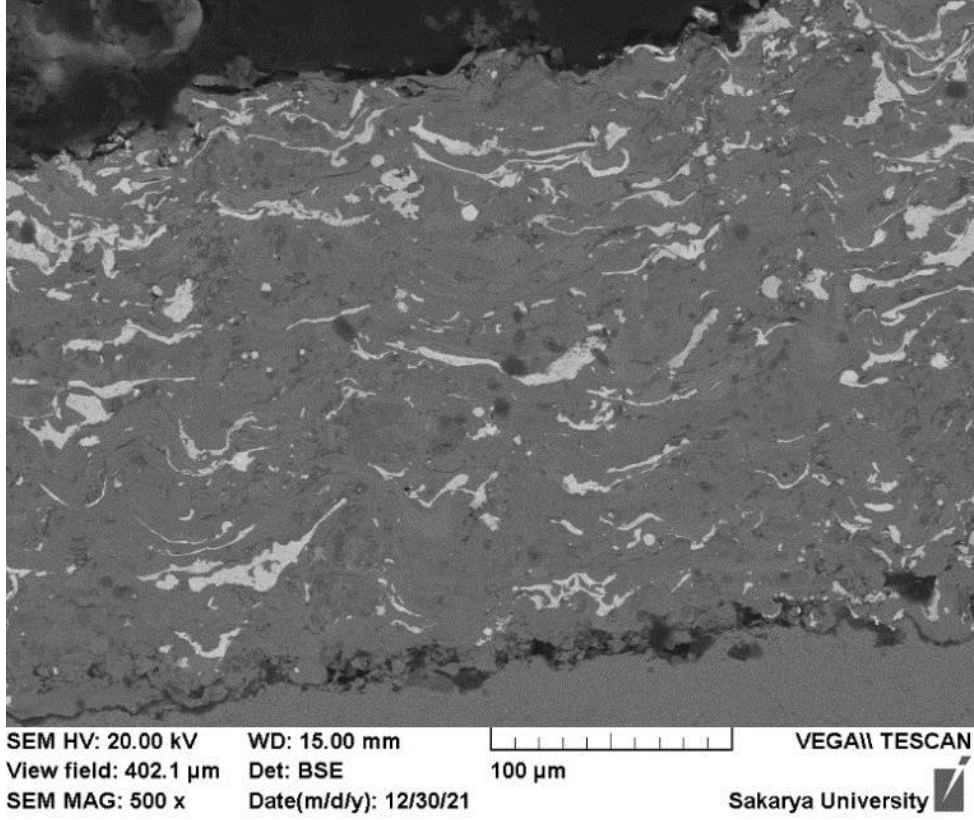
Şekil 6.4.'de G2 numunesine ait SEM görüntüsü verilmektedir. G2 numunesine ait görüntüyü incelediğimizde G1 numunesine göre porozitelerde gözle görülür bir azalma vardır. Kaplamanın yüzeye yapışma durumu daha iyi olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.5.** G3 numunesine ait SEM görüntüleri

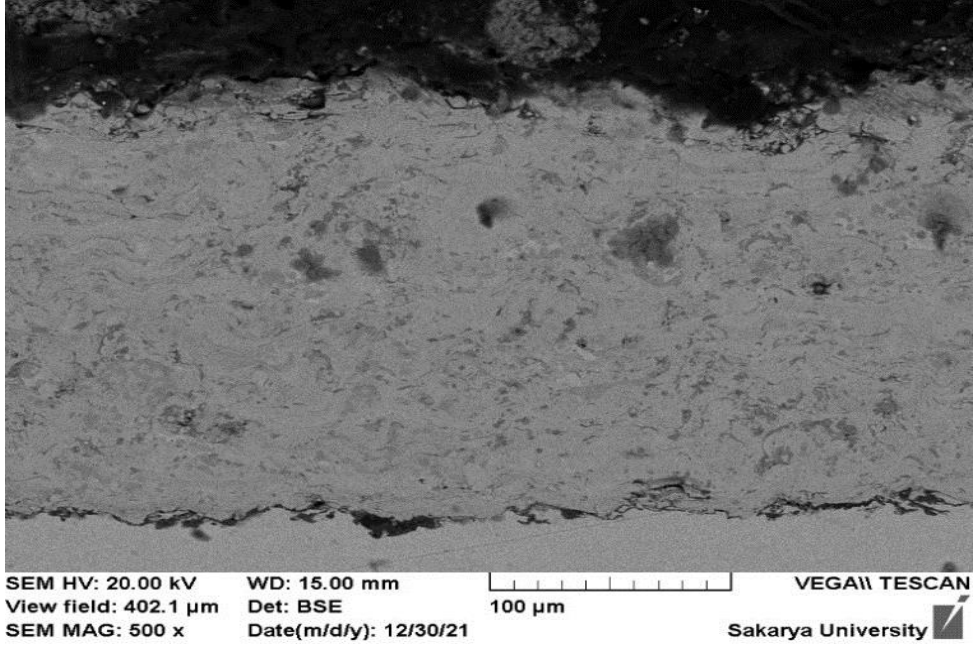
Şekil 6.5.'de G3 numunesine ait SEM görüntüsü verilmektedir. Kaplamanın yüzeye daha iyi bir şekilde yapıştığı görülmektedir. Yoğun bir hacme sahip kaplama

yüzeyinde poroziteler görülmemektedir. Yüzeyde yüzey hazırlama safhasından oluşmuş su izlerine rastlanılmıştır.



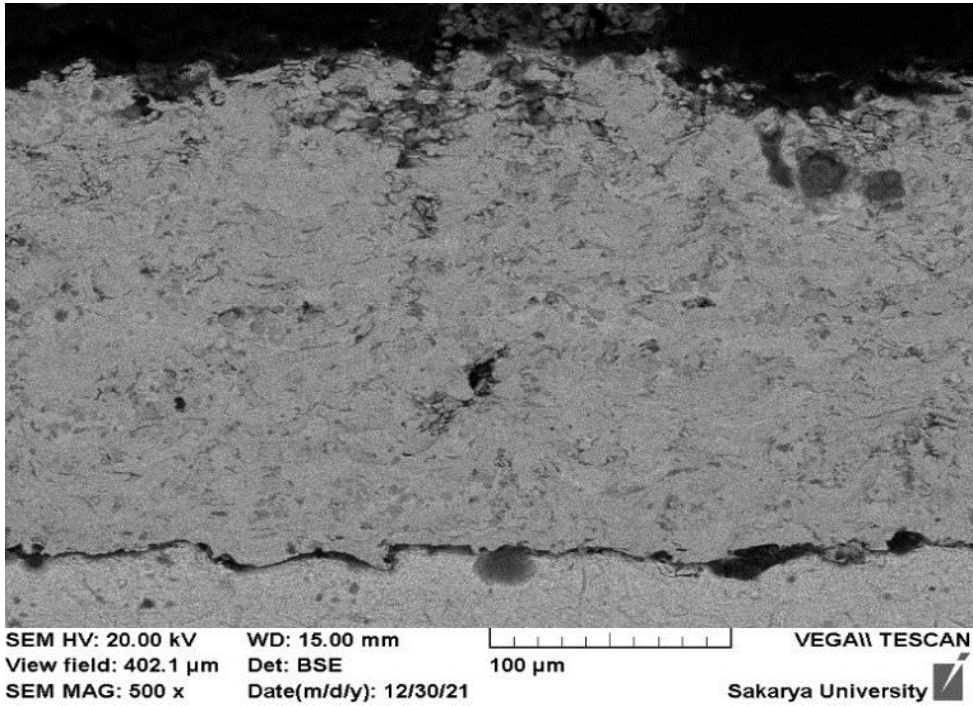
**Şekil 6.6.** M1 numunesine ait SEM görüntüleri

Şekil 6.6.'da M1 numunesine ait SEM görüntüleri verilmektedir. M1 numunesine bakıldığında kaplama yüzeyinde kısmi poroziteler görülmektedir. Kaplama arayüzeyinde yapışmanın kısmen iyi olduğu görülmektedir. Kaplama kalınlığının homojen bir şekilde dağıldığı söylenemez.



**Şekil 6.7.** M2 numunesine ait SEM görüntüleri

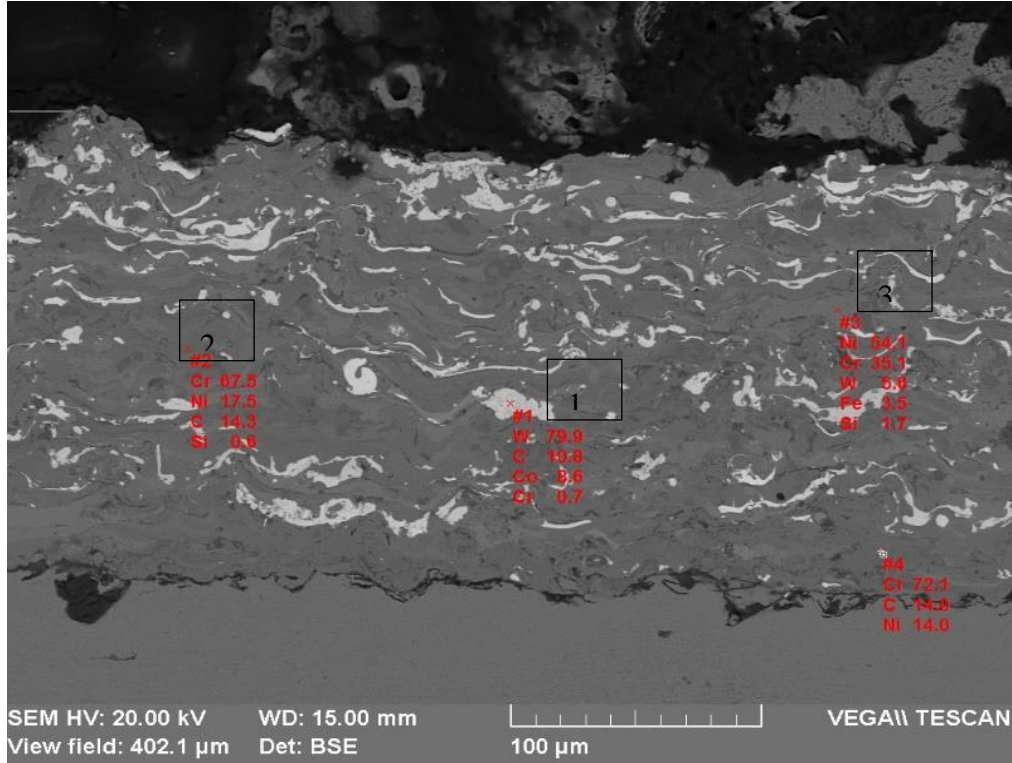
Şekil 6.7.'de M2 numunesine ait SEM görüntüleri verilmektedir. M2 numunesine ait kaplama yapısı incelediğimizde kaplamada az miktarda da olsa porozite varlığından söz edilebilir. Kaplamanın yüzeye yapışma durumunun iyi olduğu söylenebilir.



**Şekil 6.8.** M3 numunesine ait SEM görüntüsü

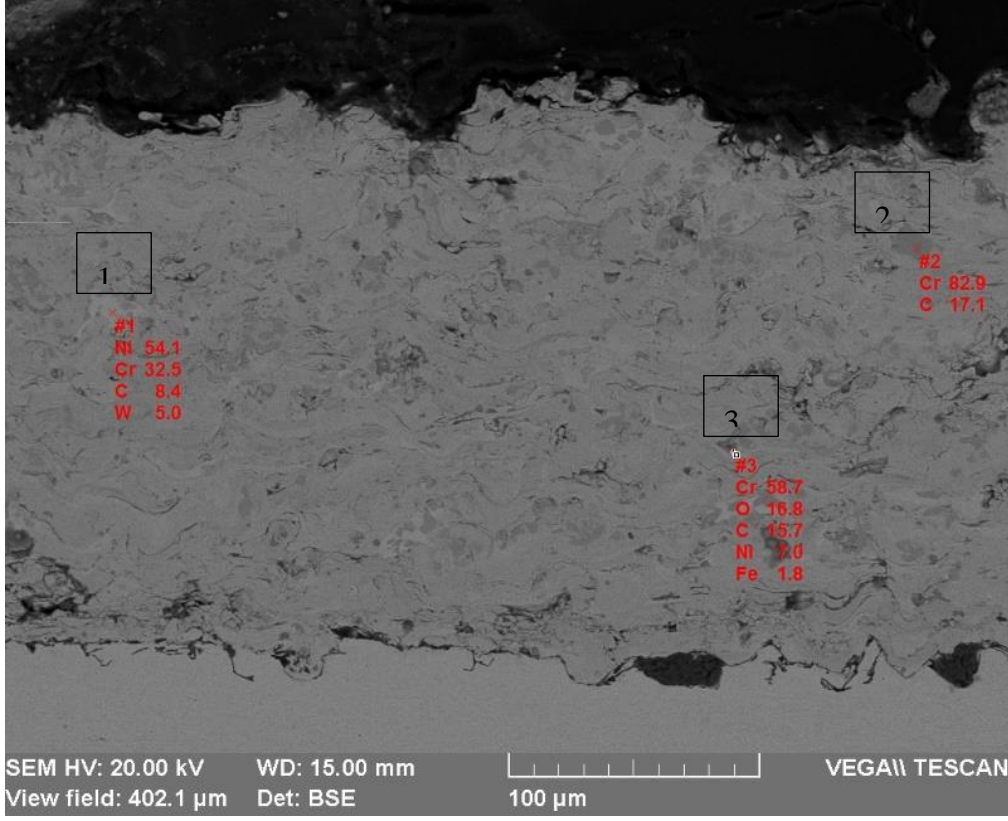


Şekil 6.8.'de M3 numunesine ait SEM görüntüsü verilmektedir. M3 numunesini incelediğimizde kaplama tabakasının porozite içerdiği net bir şekilde görülmektedir. Yapışma durumu iyi değildir.



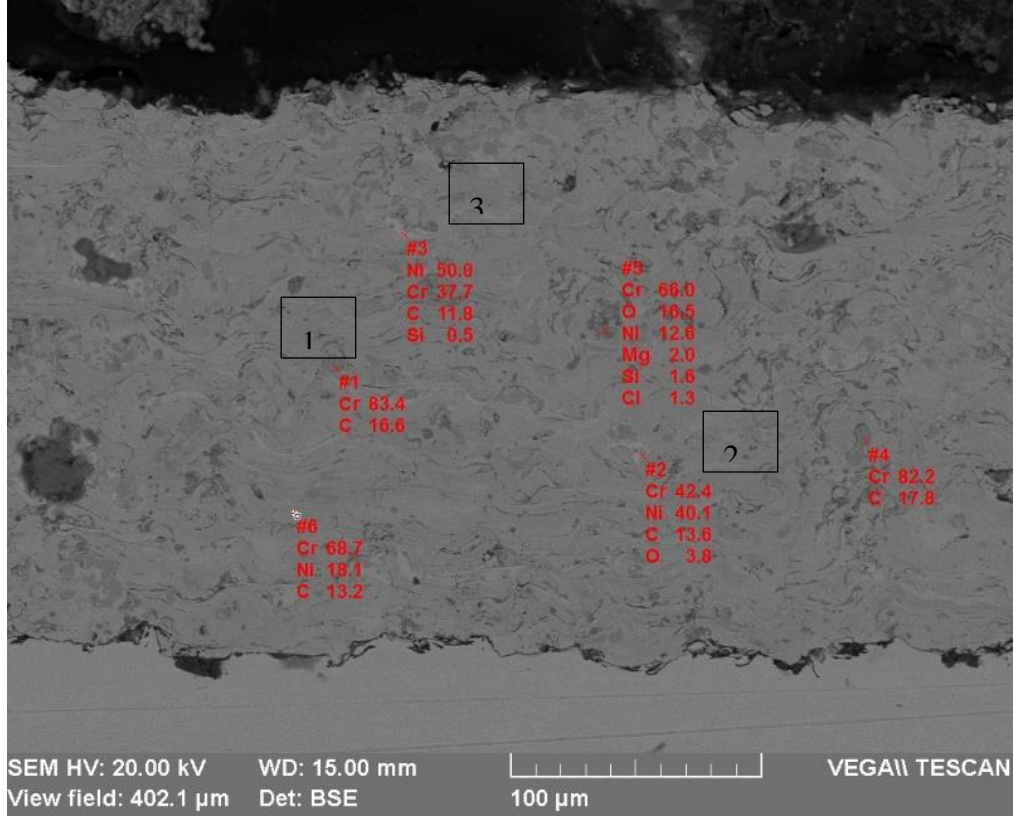
Şekil 6.9. G1 numunesine ait EDS analizi

Şekil 6.9.'da G1 numunesine ait numuneye EDS analizi verilmektedir. Bu görüntü incelendiğinde porozitenin az olduğu görülmektedir. Aynı zamanda görüntüye bakıldığında Tungsten elementinin dağılımı homojen bir şekilde olduğu anlaşılmıştır. 1 Numara ile işaretlenen bölgede ağırlıkça (%79.9) Tungsten elementi gözlemlenmiştir. Ağırlıkça en yüksek diğer element Karbon elementidir. Bu işaretlenen ve görüntüsü alınan bölge beyaz yapıya sahiptir. 2 numara ile işaretlenen bölgede ağırlıkça en fazla element Krom elementidir. Kromlar bu bölgede yapıya yoğun bir şekilde nüfuz etmiştir (%67.5). Nikel ve karbon elementleri yoğunluk olarak kromu takip etmektedir. Bölge koyu renklidir. 3 Numara ile işaretlenen bölgeyi incelediğimizde en fazla elemente sahip bölge olduğu gözlemlenmiştir. Ağırlıkça en fazla element % 64.1 oranı ile Nikel elementidir.



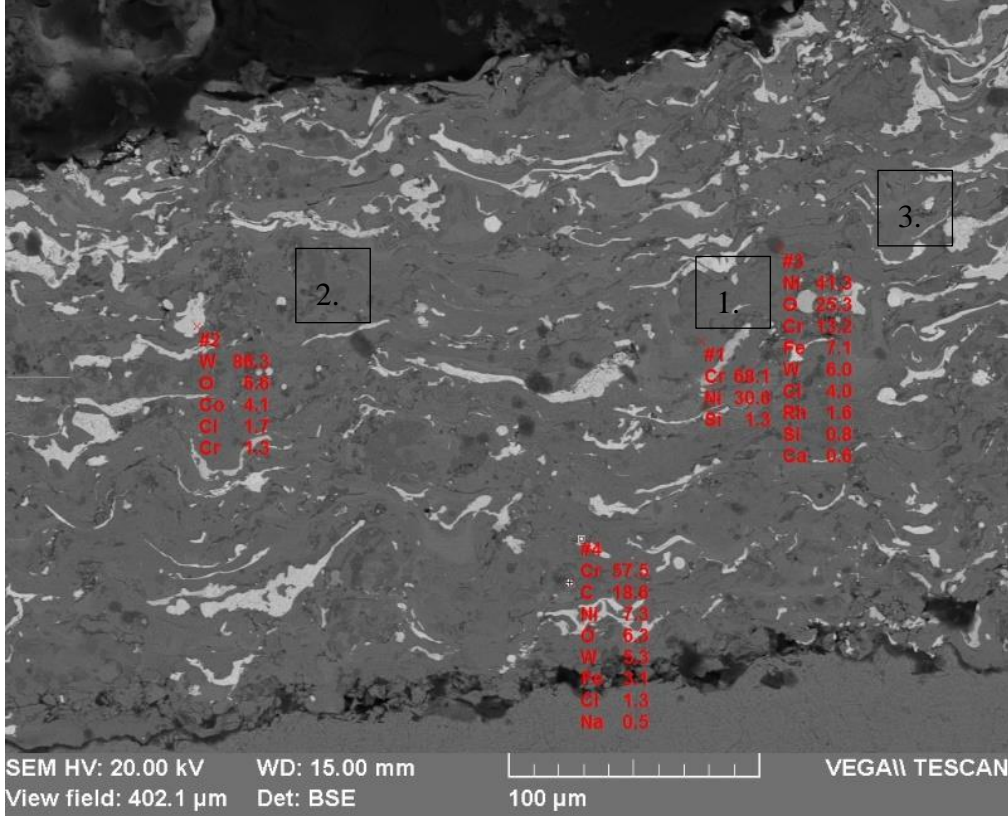
**Şekil 6.10.** G2 numunesine ait EDS analizi

Şekil 6.10.'da G2 numunesine ait numuneye EDS analizi verilmektedir. Yapıyı incelediğimizde görüntüde bölgesel poroziteler gözlemlenmektedir. Altlık ve kaplanan malzeme arasında azda olsa boşluklar gözlemlenmektedir. Numune ve kaplama ara yüzeyinde kısmi poroziteler mevcuttur. 1 Numara ile işaretlenen bölgede ağırlıkça (%54.1) Nikel elementi gözlemlenmiştir. Ağırlıkça en yüksek diğer element Krom elementidir. 2 numara ile işaretlenen bölgede oldukça fazla krom elementinin nüfuz ettiği gözlemlenmektedir. (%82.9). 3 numara ile işaretlenen bölge en fazla elementin olduğu bölgedir. Bu bölgede de Krom elementinin fazlalığı dikkat çekmektedir.



**Şekil 6.11.** G3 numunesine ait EDS analizi

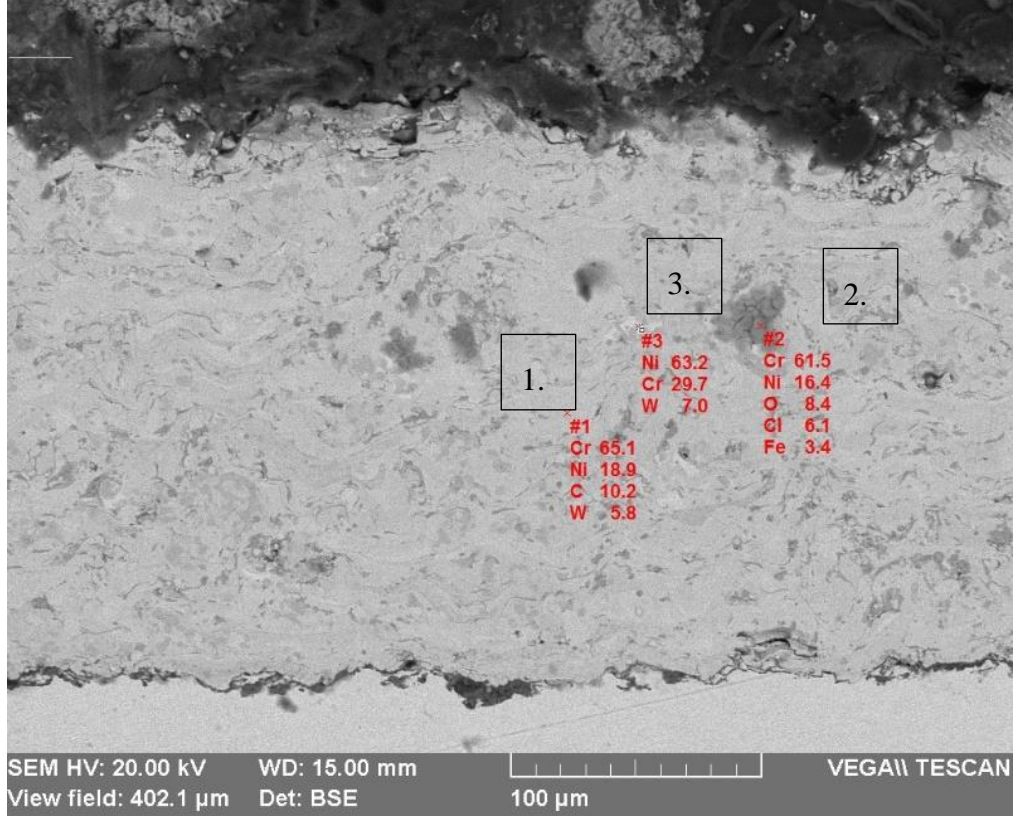
Şekil 6.11.'de G3 numunesine ait numuneye EDS analizi görülmektedir. Bu görüntü incelendiğinde bölgesel porozitelerin mevcut olduğu görülmüştür. Krom elementi yüzeye homojen bir şekilde dağılmıştır. 1 numara ile işaretlenen bölgede ağırlıkça en çok krom elementi görülmüştür. (%83.4). 2 numara ile işaretlenen bölgede ise ağırlıkça en fazla görülen elementler Krom (%42.4) ve Nikeldir (%40.1).3 numara ile işaretlenen bölgede ağırlıkça en fazla Nikel elementi görülmüştür (%50.6).



**Şekil 6.12.** M1 numunesine ait EDS analizi

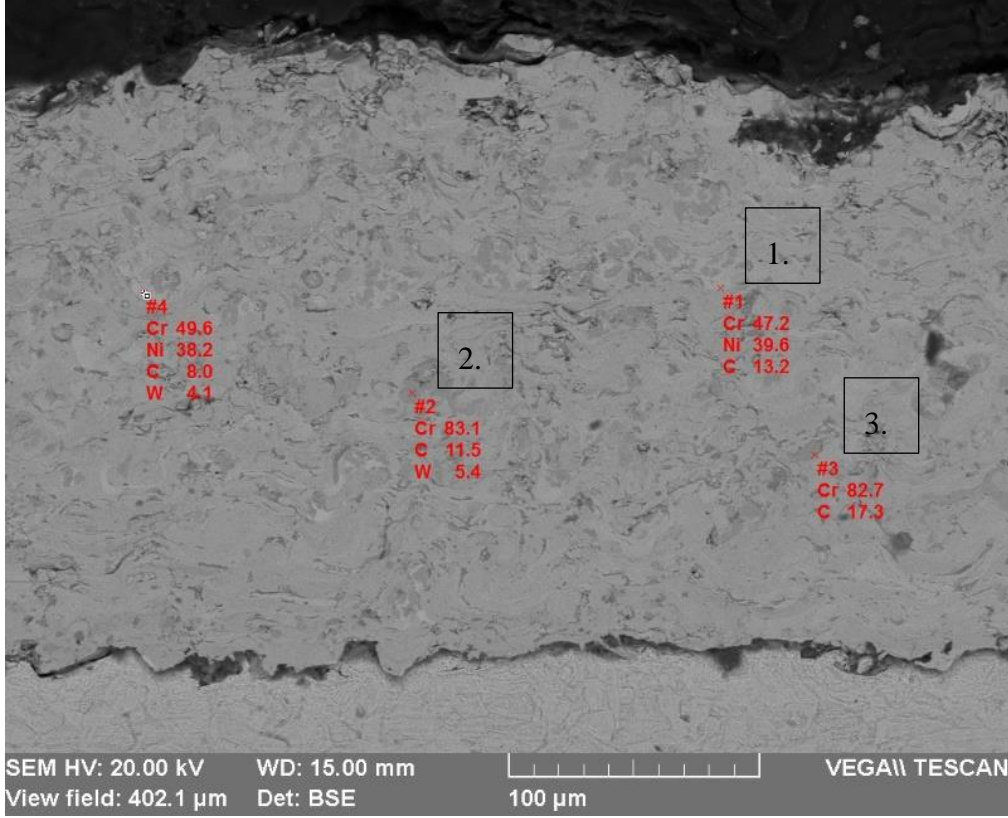
Şekil 6.12.'de M1 numunesine ait EDS analizi görülmektedir. Kaplama içerisinde ise herhangi bir poroziteye rastlanmamıştır. Ergimemiş tanelerin varlığı çok az görülmektedir. Kaplama altlığı tam olarak yapışmamıştır. Yoğun bir kaplamanın mevcudiyetinden söz edilebilir. 1 numara ile işaretlenen bölgede ağırlıkça %68.1 Karbon görülmektedir. 2 numara ile işaretlenen bölgede %86.3 oranıyla en fazla tungsten görülmüştür. Bu bölge parlak renkle görülmektedir ve tungstenler yüzeye homojen nüfus etmiştir. 3 numara ile işaretlenen bölge en çok elementin görüldüğü bölgedir. Bu bölgede Nikel elementi, oksijen elementi ve krom elementi gözlemlenmektedir.





**Şekil 6.13.** M2 numunesine ait EDS analizi

Şekil 6.13.'de M2 numunesine ait EDS analizi görülmektedir. Kaplama içinde Nikel varlığı olması sebebiyle herhangi bir bölgesel aglomera poroziteye rastlanmamıştır. Ara yüzeyde kısmi poroziteler mevcuttur. 1 numara ile işaretlenen bölgede ağırlıkça %65.1 oranında Krom görülmüştür. Diğer bölgelerde de krom elementinin varlığı izlenmiştir. 2 numara ile işaretlenen bölgede Krom ağırlıkça fazla olarak Nikel elementi, Oksijen elementi, Klor elementi ve Demir elementi görülmüştür. 3 numara ile işaretlenen bölgede Nikel ağırlıkça fazladır (%63.2).

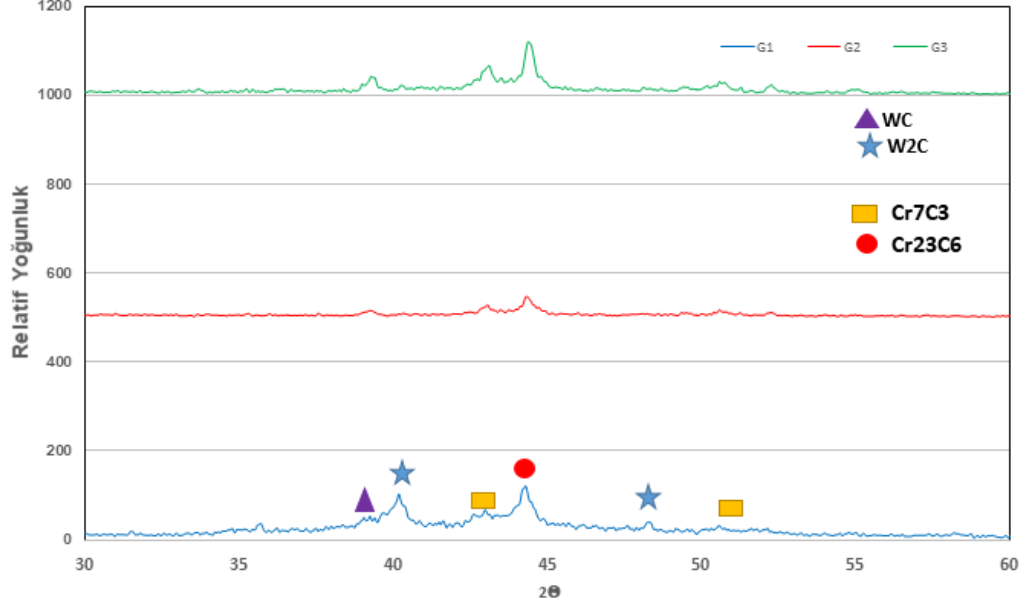


**Şekil 6.14.** M3 numunesine ait EDS analizi

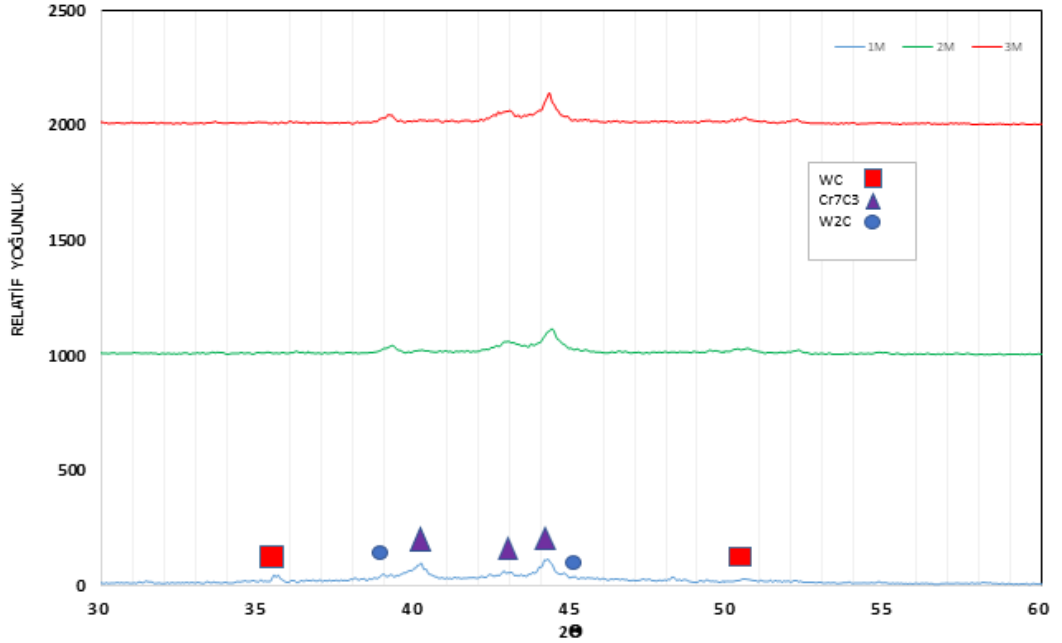
Şekil 6.14.'de M3 numunesine ait görüntüler verilmektedir. Bu görüntülere bakıldığında Krom elementinin farklı bölgelerde farklı ağırlıklarla var olduğu gözlemlenmiştir. Numunenin görüntüsünde porozite oldukça azdır ve yoğun bir kaplama tabakası görülmektedir. 1 numara ile işaretlenen kısımda Krom elementi ağırlıkça fazladır (%47.2). Nikel elementi de bu bölgede ağırlıkça %39.6 oranında görülmüştür. 2 ve 3 numaralı bölgeleri incelediğimizde %83.1 ve %82.7 oranında oldukça fazla Krom elementi bu bölgelerde gözlemlenmektedir.

#### **6.4. XRD Analiz Sonuçları**

%50 Diamalloy 2002 tozu ve %50 Sulzer Metco 7202 tozu ile %100 Diamalloy 2002 tozlarının karışımı ile HVOF kaplamaları yapılmış, kaplamaları yapılan bu numunelerin X-ışını analizleri gerçekleştirilmiştir. %50 Diamalloy 2002 tozu ve %50 Sulzer Metco 7202 tozu karışımı M numunesine, %100 Diamalloy 2002 tozu G numunesine aittir. Bu kaplı yüzeylerden alınan M numunelerine ait XRD analiz sonuçları Şekil 6.3.'te verilmiştir. G numunelerine ait XRD analiz sonuçlarında Şekil 6.4.'te verilmiştir.



Şekil 6.15. M1-M2-M3 numunelerine ait XRD analizi sonuçları



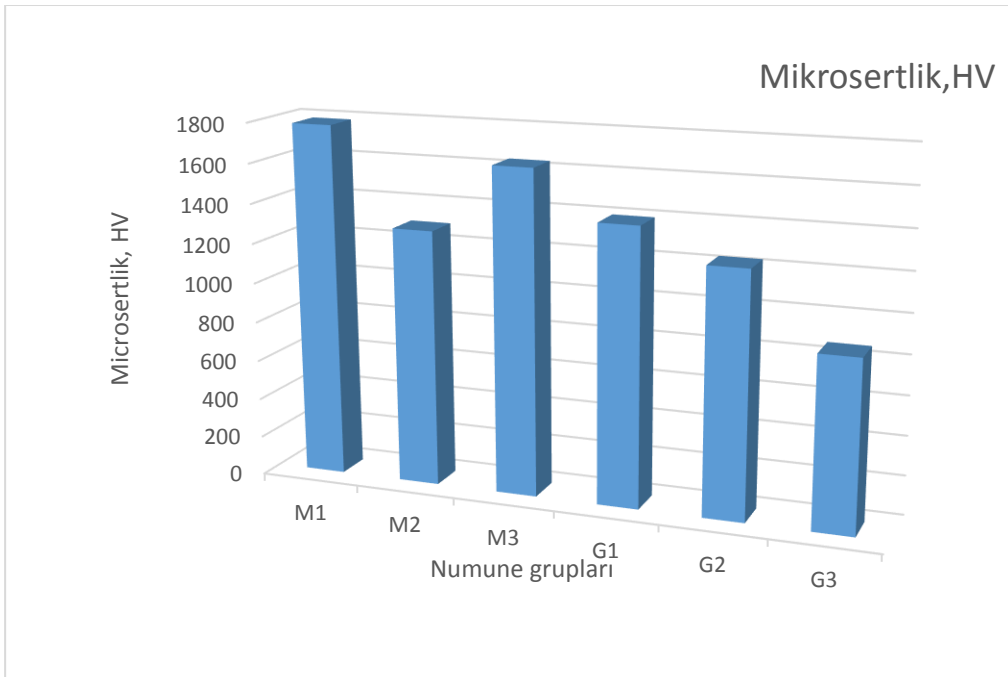
Şekil 6.16. G1-G2-G3 numunelerine ait XRD analizi sonuçları

Şekil 6.15. ve 6.16.'daki XRD analizleri incelendiğinde M ve G numunelerinde WC, W2C, Cr7C3, Cr23C6 fazlarına rastlanılmıştır. M numunesinde ayrıyeten Cr23C6 fazı görülmektedir. M numunesi incelendiğinde 45° 2θ açısında Cr23C6 fazının yoğun olduğu gözlemlenmiştir. 40° ve 48° 2θ açısında W2C fazlarının varlığı görülmektedir. Zheng ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada termal sprey prosesi esnasında depolanan tozlar yüksek sıcaklıkta oksijenle buluşup kimyasal değişikliğe sebep olurlar [28]. 43° ve 55° 2θ açılarında bakıldığında Cr7C3 fazı görülmüştür. WC fazı ise 38° 2θ açısında

mevcuttur. G numuneleri incelendiğinde  $40^\circ$   $43^\circ$  ve  $45^\circ$   $2\theta$  açısında Cr7C3 fazları mevcuttur.  $35^\circ$  ve  $50^\circ$   $2\theta$  açısında WC pik şiddetinin yoğun olduğu görülmektedir. Sert faz içeriklerinin oluşumu her iki numunede de mevcuttur. Bu pik oranlarındaki değişimler ile mekanik özelliklerdeki etken olabilecek önemli değişimlerdir.

### 6.5. Mikro Sertlik Sonuçları

HVOF metodu ile kaplanan ve toz karışımları ile yapılan numunelere ait sertlik değerleri Tablo 6.3.'de verilmiştir. Termal sprej yöntemi ile kullanılarak kaplanan yüzeylere mikro sertlik cihazı ile üç farklı yerden sertlik değerleri alınmış ve bu değerlerin ortalamaları hesaplanarak sertlik değerleri kaydedilmiştir. Numunelere bakıldığında yeni oluşan fazlardan kaynaklı sertlik artışları görülmektedir. Kaplama işlemi yapıldıktan sonra alınan sertlik değerleri ile kaplama öncesi alınan sertlik değerleri kıyaslandığında 5 kat kaplama işleminin sertliği arttırdığı tespit edilmiştir. Yüzeyde oluşan yoğun ve sert fazlar sertlik değerlerini ciddi miktarda arttırmıştır. Kaplama işleminde altlık olarak kullanılan paslanmaz çeliğin sertliği 200 HV gelmektedir. Şekil. 6.17.'de numunelerin sertlik sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.17. Numunelere ait sertlik değerleri



## 6.6. Aşınma Deney Sonuçları

Aşınma uygulamalarında mesafe olarak 200 m ve 300m yol 0,2cm/s ve 0,4 cm/sn hızlarda, yük ise 3N, 4N ve 5N alınarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde uygulanan parametreler Tablo 6.2.'de gösterilmiştir. Aşınma deneylerinden sonra aşınma iz genişliklerine optik mikroskop ile bakılmıştır. 5x büyütme kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar ile aşınma hız dayanımları hesaplanmıştır. Aşınma yapıldıktan sonra sürtünme katsayıları verileri aşınma cihazındaki yazılımdan alınmıştır. M numuneleri %50 Diamalloy 2002+%50 Sulzer Metco 7202 tozlarının karışımı kullanılarak hazırlanmıştır. M grubu deney parametrelerinin detaylı açıklaması Tablo 6.3.'te gösterilmiştir. G grubu deney parametrelerinin detaylı açıklaması Tablo 6.4.'de gösterilmiştir.

**Tablo 6.2.** Aşınma sürecinde kullanılan parametreler

Kullanılan Tozlar	Yük (N)	Hız (m/s)	Yol (m)
M numunesi	3 N-4N-5N	0,2-0,4	200-300
G numunesi	3N-4N-5N	0,2-0,4	200-300

Toz karışımı M ve Toz karışımı G'den edinilen deneyler neticesindeki kaplama yüzeylerinde oluşan iz genişliklerinin analiz edilmesi amaçlı her iki gruba ait numunelere 72 farklı aşınma deneyi yapılmıştır.

HVOF ile kaplama yapılmış malzemelerin hız, yük ve yol değişimlerinin aşınma davranışları incelenmesi için deneysel sistem düzenlenmiştir.

**Tablo 6.3.** M grubu deney parametreleri

Numune İsmi	(Yük-Hız-Yol)	İz Genişliği ( $\mu\text{m}$ )	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı ( $\text{mm}^3/\text{m}$ )	Paso Sayısı
1M-1	3-0,2-200	248	0,56	1,77E-05	6
1M-2	4-0,4-200	555	0,6	4,66E-06	6
1M-3	3-0,4-200	481	0,59	2,95E-05	6
1M-4	5-0,2-200	545	0,58	4,52E-05	6
1M-5	4-0,2-200	525	0,57	2,94E-05	6
1M-6	5-0,4-200	575	0,62	7,75E-05	6
1M-7	3-0,2-300	449	0,6	2,20E-05	6
1M-8	4-0,4-300	505	0,64	5,93E-05	6
1M-9	3-0,4-300	492	0,61	4,84E-05	6
1M-10	5-0,2-300	545	0,71	6,80E-05	6
1M-11	4-0,2-300	585	0,62	4,89E-05	6
1M-12	5-0,4-300	567	0,72	9,24E-05	6
2M-1	3-0,2-200	432	0,39	1,25E-05	10
2M-2	4-0,4-200	539	0,38	4,22E-05	10
2M-3	3-0,4-200	528	0,25	2,80E-05	10
2M-4	5-0,2-200	485	0,36	4,10E-05	10
2M-5	4-0,2-200	448	0,34	2,44E-05	10
2M-6	5-0,4-200	497	0,39	7,42E-05	10
2M-7	3-0,2-300	403	0,57	1,88E-05	10
2M-8	4-0,4-300	486	0,61	5,66E-05	10
2M-9	3-0,4-300	432	0,58	4,39E-05	10
2M-10	5-0,2-300	510	0,61	5,99E-05	10
2M-11	4-0,2-300	426	0,59	4,20E-05	10
2M-12	5-0,4-300	526	0,63	9,01E-05	10
3M-1	3-0,2-200	220	0,3	1,03E-05	15
3M-2	4-0,4-200	445	0,35	3,98E-05	15
3M-3	3-0,4-200	423	0,32	2,12E-05	15
3M-4	5-0,2-200	423	0,34	3,85E-05	15
3M-5	4-0,2-200	420	0,33	2,07E-05	15
3M-6	5-0,4-200	459	0,37	7,11E-05	15
3M-7	3-0,2-300	455	0,41	1,30E-05	15
3M-8	4-0,4-300	489	0,44	5,46E-05	15
3M-9	3-0,4-300	465	0,43	3,92E-05	15
3M-10	5-0,2-300	499	0,42	5,24E-05	15
3M-11	4-0,2-300	473	0,39	3,92E-05	15
3M-12	5-0,4-300	550	0,39	8,83E-05	15

**Tablo 6.4.** G grubu deney parametreleri

Numune İsmi	(Yük-Hız-Yol)	İz Genişliği (µm)	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı (mm <sup>3</sup> /m)	Paso Sayısı
1G-1	3-0,2-200	800	0,63	1,55E-05	6
1G-2	4-0,4-200	845	0,68	4,20E-05	6
1G-3	3-0,4-200	821	0,67	2,44E-05	6
1G-4	5-0,2-200	863	0,64	4,20E-05	6
1G-5	4-0,2-200	823	0,64	2,90E-05	6
1G-6	5-0,4-200	867	0,69	6,99E-05	6
1G-7	3-0,2-300	1184	0,66	1,99E-05	6
1G-8	4-0,4-300	1141	0,71	4,89E-05	6
1G-9	3-0,4-300	1190	0,68	4,04E-05	6
1G-10	5-0,2-300	1186	0,66	4,92E-05	6
1G-11	4-0,2-300	1140	0,67	4,40E-05	6
1G-12	5-0,4-300	1189	0,72	8,80E-05	6
2G-1	3-0,2-200	769	0,6	9,80E-05	10
2G-2	4-0,4-200	821	0,64	3,80E-05	10
2G-3	3-0,4-200	772	0,63	2,09E-05	10
2G-4	5-0,2-200	832	0,64	3,90E-05	10
2G-5	4-0,2-200	781	0,62	2,45E-05	10
2G-6	5-0,4-200	844	0,67	6,70E-05	10
2G-7	3-0,2-300	760	0,6	1,47E-05	10
2G-8	4-0,4-300	787	0,68	4,79E-05	10
2G-9	3-0,4-300	782	0,617	3,69E-05	10
2G-10	5-0,2-300	790	0,69	4,79E-05	10
2G-11	4-0,2-300	786	0,66	4,02E-05	10
2G-12	5-0,4-300	790	0,7	8,40E-05	10
3G-1	3-0,2-200	512	0,33	9,00E-05	15
3G-2	4-0,4-200	570	0,42	3,30E-05	15
3G-3	3-0,4-200	522	0,39	1,89E-05	15
3G-4	5-0,2-200	591	0,45	3,41E-05	15
3G-5	4-0,2-200	564	0,41	2,32E-05	15
3G-6	5-0,4-200	623	0,55	6,20E-05	15
3G-7	3-0,2-300	700	0,58	1,21E-05	15
3G-8	4-0,4-300	716	0,62	4,52E-05	15
3G-9	3-0,4-300	710	0,61	3,22E-05	15
3G-10	5-0,2-300	717	0,38	4,69E-05	15
3G-11	4-0,2-300	713	0,59	3,22E-05	15
3G-12	5-0,4-300	722	0,47	8,00E-05	15

Aşınma dayanımlarının incelendiği deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 6.3. ve Tablo 6.4.'te verilmiştir.

En yüksek iz genişliği G numune grubuna ait 1G-9 numunesidir. (1190  $\mu\text{m}$ ) 3N yük altında 0,4 cm/sn hızda 300 metrede tespit edilmiştir. M numune grubuna ait en yüksek iz genişliği ise 1M-11 numunesine aittir (585  $\mu\text{m}$ ) 4N yük altında 0,2 cm/sn hızda 300 metrede tespit edilmiştir. M grubu numunelerine ait iz genişliklerinin ortalaması 475  $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer G grubu numunelerinin ortalaması alındığında 811  $\mu\text{m}$  olarak kaydedilmiştir. %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 tozlarının karışımı ile elde edilen numunelerin aşınma sonuçları irdelendiğinde en yüksek aşınma oranı 1M-6 numunesine aittir. 200 metre mesafede 5N yük altında ve 0,4cm/sn hızda gözlemlenmiştir. Paso sayısı 6'dır. En düşük aşınma oranı ise 1M-1 numunesine aittir. 200 metre mesafede 3N yük altında, 0,2 cm/sn hızda gözlemlenmiştir. Paso sayısı 6'dır. Aynı mesafede aynı hızda paso sayısı azaltıldığında sürtünme katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. 200 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N, 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları Tablo 6.5.'de detaylı olarak gösterilmiştir.

Sreenivas ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya benzer olarak kaplama sonrası yüzeylerin aşınma dayanımları kaplamasız yapıya göre kıyasla aşınma dayanımında artış olduğu görülmüştür [29].

**Tablo 6.5.** 200 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N, 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları

Numune (Yük-Hız-Yol)	İz Genişliği ( $\mu\text{m}$ )	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı ( $\text{mm}^3/\text{m}$ )	Paso Sayısı
3-0,2-200	248	0,56	1,77E-05	6
4-0,4-200	555	0,60	4,66E-05	6
3-0,4-200	481	0,59	2,98E-05	6
5-0,2-200	545	0,58	4,52E-05	6
4-0,2-200	525	0,57	2,94E-05	6
5-0,4-200	575	0,62	7,75E-05	6
3-0,2-200	432	0,39	1,25E-05	10
4-0,4-200	539	0,38	4,22E-05	10
3-0,4-200	528	0,25	2,80E-05	10
5-0,2-200	485	0,36	4,10E-05	10
4-0,2-200	448	0,34	2,44E-05	10
5-0,4-200	497	0,39	7,42E-05	10
3-0,2-200	220	0,3	1,03E-05	15
4-0,4-200	445	0,35	3,98E-05	15
3-0,4-200	423	0,32	2,12E-05	15
5-0,2-200	423	0,34	3,85E-05	15
4-0,2-200	420	0,33	2,07E-05	15
5-0,4-200	459	0,37	7,11E-05	15

300 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N, 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları Tablo 6.6.'da detaylı olarak gösterilmiştir.

**Tablo 6.6.** 300 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 cm/sn hızlarda 3N, 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları

Numune (Yük-Hız-Yol)	İz Genişliği ( $\mu\text{m}$ )	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı ( $\text{mm}^3/\text{m}$ )	Paso Sayısı
3-0,2-300	449	0,60	2,20E-05	6
4-0,4-300	505	0,64	5,93E-05	6
3-0,4-300	492	0,61	4,84E-05	6
5-0,2-300	545	0,71	6,80E-05	6
4-0,2-300	585	0,62	4,89E-05	6
5-0,2-300	567	0,72	9,24E-05	6
3-0,2-300	403	0,57	1,88E-05	10
4-0,4-300	486	0,61	5,66E-05	10
3-0,4-300	432	0,58	4,39E-05	10
5-0,2-300	510	0,61	5,99E-05	10
4-0,2-300	426	0,59	4,20E-05	10
5-0,2-300	526	0,63	9,01E-05	10
3-0,2-300	455	0,41	1,30E-05	15
4-0,4-300	489	0,44	5,46E-05	15
3-0,4-300	465	0,43	3,92E-05	15
5-0,4-300	499	0,42	5,24E-05	15
4-0,2-300	473	0,39	3,92E-05	15
5-0,2-300	550	0,39	8,83E-05	15

Tablo 6.6.'da sonuçlar incelendiğinde en düşük aşınma oranı 3N yük altında, 0,2 cm/sn hızında ve 15 paso sayısı değerinde  $1,30\text{E}-05$  değerine ulaşılmıştır. Paso sayısı azaldıkça sürtünme katsayısının arttığı bu tabloda da gözlemlenmiştir. En yüksek seviye sürtünme katsayısına 5N yük altında, 0,2 cm/sn hızında ve 6 pasoda yani en düşük paso sayısında ulaşılmıştır. En yüksek aşınma oranı ise 5N yük altında 0,4 cm/sn hızda 15 paso'da görülmüştür.

200 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N, 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları Tablo 6.7.'de detaylı olarak gösterilmiştir.

**Tablo 6.7.** 200 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 cm/sn hızlarda 3N, 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları

Numune (Yük-Hız-Yol)	İz Genişliği ( $\mu\text{m}$ )	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı ( $\text{mm}^3/\text{m}$ )	Paso Sayısı
3-0,2-200	800	0,63	1,55E-05	6
4-0,4-200	845	0,68	4,20E-05	6
3-0,4-200	821	0,67	2,44E-05	6
5-0,2-200	863	0,64	4,20E-05	6
4-0,2-200	823	0,64	2,90E-05	6
5-0,4-200	867	0,69	6,99E-05	6
3-0,2-200	769	0,6	9,80E-06	10
4-0,4-200	821	0,64	3,80E-05	10
3-0,4-200	772	0,63	2,09E-05	10
5-0,2-200	832	0,64	3,90E-05	10
4-0,2-200	781	0,62	2,45E-05	10
5-0,4-200	844	0,67	6,70E-05	10
3-0,2-200	512	0,33	9,00E-06	15
4-0,4-200	570	0,42	3,30E-05	15
3-0,4-200	522	0,39	1,89E-05	15
5-0,2-200	591	0,45	3,41E-05	15
4-0,2-200	564	0,41	2,32E-05	15
5-0,4-200	623	0,55	6,20E-05	15

Tablo 6.7.'de sonuçlar incelendiğinde en düşük aşınma oranı 3N yük altında, 0,2 cm/sn hızında ve 15 paso sayısı değerinde 1,55E-05 olarak görülmüştür. Paso sayısı azaldıkça sürtünme katsayısının arttığı bu tabloda da gözlemlenmiştir. En yüksek seviye sürtünme katsayısına bakıldığında 5N yük altında, 0,4 cm/sn hızında ve 6 pasoda yani en düşük paso sayısında ulaşılmıştır. Bu tablodaki iz genişliklerine bakıldığında, iz genişliğinin paso sayısı 6 değerindeki numunelerde fazla olduğu, paso sayısı 15 olan numunelerde ise az olduğu görülmüştür. Sürtünme katsayısının artması ile iz genişliğinin arttığı da gözlemlenmektedir. En yüksek aşınma oranına 5N yük altında 0,4cm/sn hızında ulaşılmıştır. 6,99E-05 en yüksek aşınma oranıdır.

M grubu numunelerine ait olan %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozlarının karışımı ile bu tabloda yer alan G grubu yani %100 Sulzer Metco 7202 tozlarının 200 metre mesafedeki aşınma oranlarını kıyasladığımızda ortalama olarak karışım tozlarından oluşan M grubu numunelerinin aşınma oranı değerleri daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. 200 metre mesafedeki M grubu tozları %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışımından elde edilen ortalama aşınma değeri  $1,74E-05$ 'dir. G grubu tozu %100 Sulzer Metco 7202'den elde edilen ortalama aşınma değeri ise  $5,54E-05$ 'dir.

300 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N, 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları Tablo 6.8.'de detaylı olarak gösterilmiştir.

**Tablo 6.8.** 300 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 cm/sn hızlarda 3N, 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları

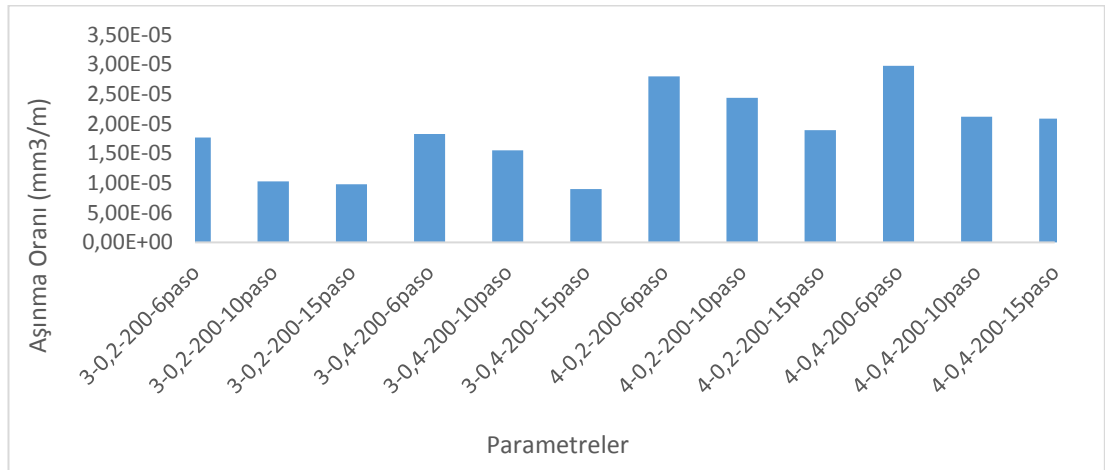
Numune (Yük-Hız-Yol)	İz Genişliği ( $\mu\text{m}$ )	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı ( $\text{mm}^3/\text{m}$ )	Paso Sayısı
3-0,2-300	1184	0,66	$1,99E-05$	6
4-0,4-300	1141	0,71	$4,89E-05$	6
3-0,4-300	1190	0,68	$4,04E-05$	6
5-0,2-300	1186	0,66	$4,92E-05$	6
4-0,2-300	1140	0,67	$4,40E-05$	6
5-0,4-300	1189	0,72	$8,80E-05$	6
3-0,2-300	760	0,6	$1,47E-05$	10
4-0,4-300	787	0,68	$4,79E-05$	10
3-0,4-300	782	0,617	$3,69E-05$	10
5-0,2-300	790	0,69	$4,79E-05$	10
4-0,2-300	786	0,66	$4,02E-05$	10
5-0,4-300	790	0,7	$8,40E-05$	10
3-0,2-300	700	0,58	$1,21E-05$	15
4-0,4-300	716	0,62	$4,52E-05$	15
3-0,4-300	710	0,61	$3,22E-05$	15
5-0,2-300	717	0,38	$4,69E-05$	15
4-0,2-300	713	0,59	$3,22E-05$	15
5-0,4-300	722	0,47	$8,00E-05$	15



Bu mesafede en yüksek iz genişliğine 3N basınç altında 0,4 cm/sn hızında 6 paso'da ulaşılmıştır. Aynı zamanda 6 pasodaki bütün deneylerin iz genişlikleri diğer deneylere göre oldukça fazladır. En yüksek aşınma oranı 5N yük altında 0,4 cm/sn hızda ulaşılmış ve 8,80E-05 değeri elde edilmiştir. En düşük aşınma oranı 3N yük altında 0,2 cm/sn hızda tespit edilmiş ve 1,21E-05 değerine ulaşılmıştır.

M grubu numunelerine ait olan %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozlarının karışımı ile bu tabloda yer alan G grubu yani %100 Sulzer Metco 7202 tozlarının 300 metre mesafedeki aşınma oranlarında kıyasladığımızda ortalama olarak karışım tozlarından oluşan M grubu numunelerinin aşınma oranı değerleri daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. 300 metre mesafedeki M grubu tozları %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışımından elde edilen ortalama aşınma değeri 3,05E-05'dir. G grubu tozu %100 Sulzer Metco 7202'den elde edilen ortalama aşınma değeri ise 4,50E-05'dir. 200 metre ve 300 metre mesafelerde M grubu numunelerinin (%50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202) ve G grubu numunelerinin (%100 Sulzer Metco 7202) aşınma oranları kıyaslandığında M grubu yani karışım tozlarının daha düşük aşınma oranı verdiği sonucu ortaya çıkmıştır.

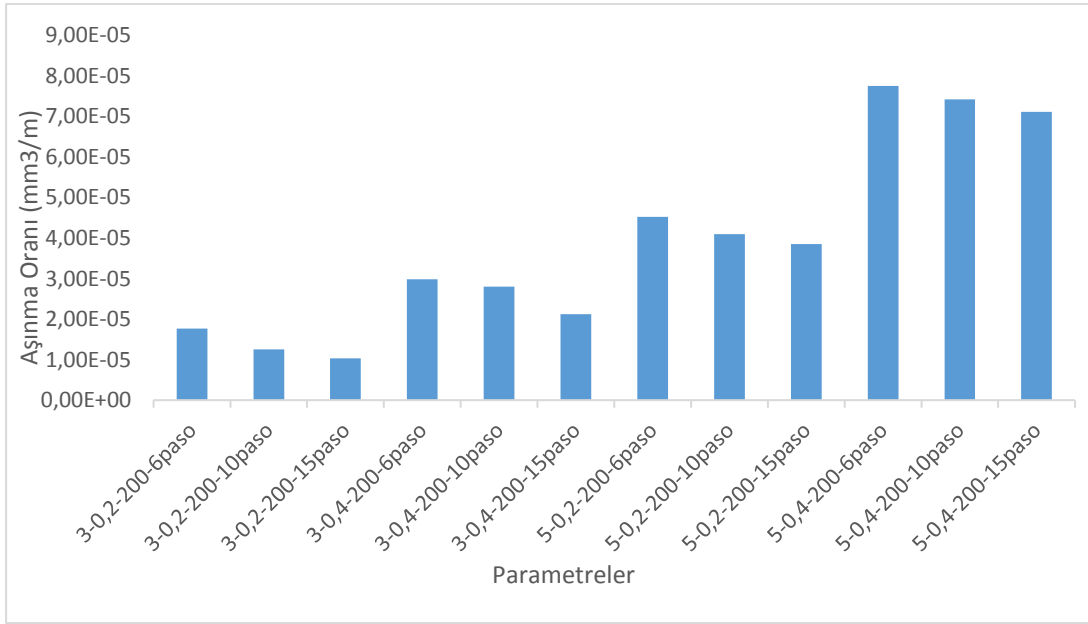
200 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 4N yükler altında aşınma deney sonuç grafikleri Şekil 6.18.'de verilmiştir.



**Şekil 6.18.** %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 200 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 4N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 6.18.'da aynı parametrelerde paso sayıları arttıkça aşınma oranlarının düştüğü görülmektedir. Aynı paso değerlerinde 3N yük altında hızın artması ile aşınma oranının arttığı gözlemlenmektedir. 4N yük altında aynı paso değerlerine sahip numunelerin hız parametrelerine bakıldığında 0,2 m/sn hızdan 0,4 m/sn hıza çıkması ile numunelerdeki aşınma oranında artış tespit edilmiştir.

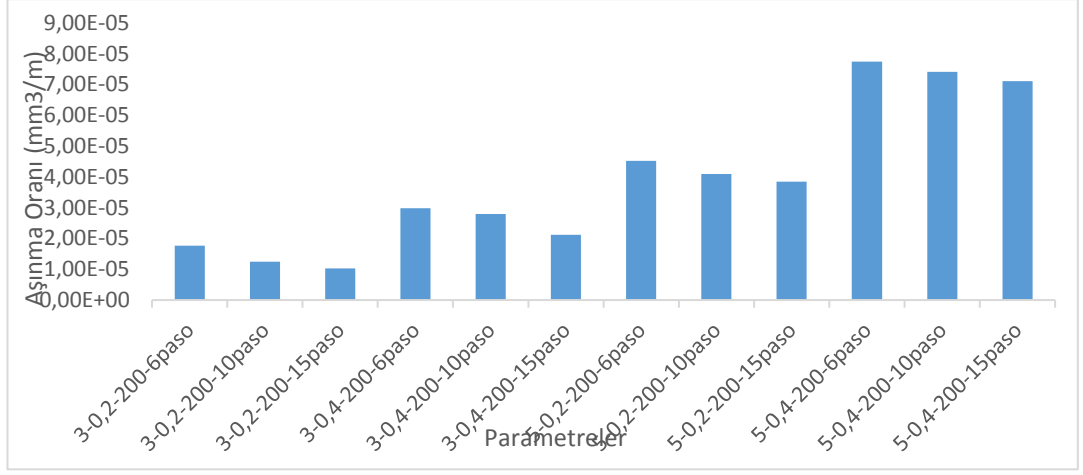
200 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuç grafikleri Şekil 6.19'da verilmektedir.



**Şekil 6.19.** %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 200 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 6.19 incelendiğinde paso sayılarının artması ile aşınma oranlarındaki düşüş görülmektedir. Aynı paso sayılarında 3N yük uygulanan numunelere bakıldığında genel olarak hız 0,2 m/sn'den 0,4 m/sn değerine çıktığında aşınma oranı artmaktadır. Genel olarak bakıldığında aynı yol, mesafe ve paso sayılarındaki numunelerde yük arttığında aşınma oranında artış meydana gelmiştir.

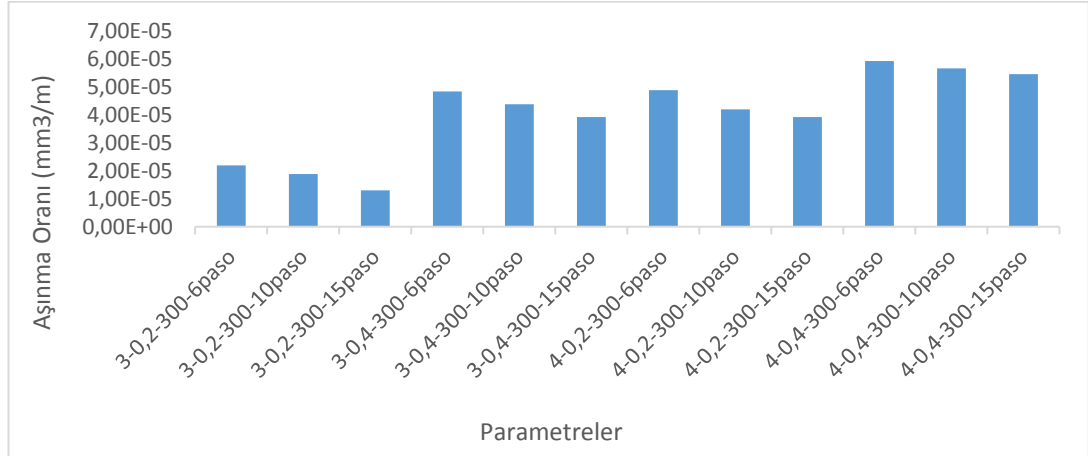
200 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları şekil 6.20'de gösterilmiştir.



**Şekil 6.20.** %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 200 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 4N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 6.20.'de ki aşınma grafiği incelendiğinde paso sayıları arttıkça aşınma oranları düşmüştür. Genel olarak aynı paso sayılarında ve aynı yüklerde hız arttığında aşınma oranında artış görülmektedir. En yüksek aşınma değerine 5N yük altında 0,4 m/sn hızda 200 mesafede ve 6 pasoda ulaşılmıştır.

300 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 4N yükler altında aşınma deney sonuçları aşağıda Şekil 6.21.'de belirtilmiştir.

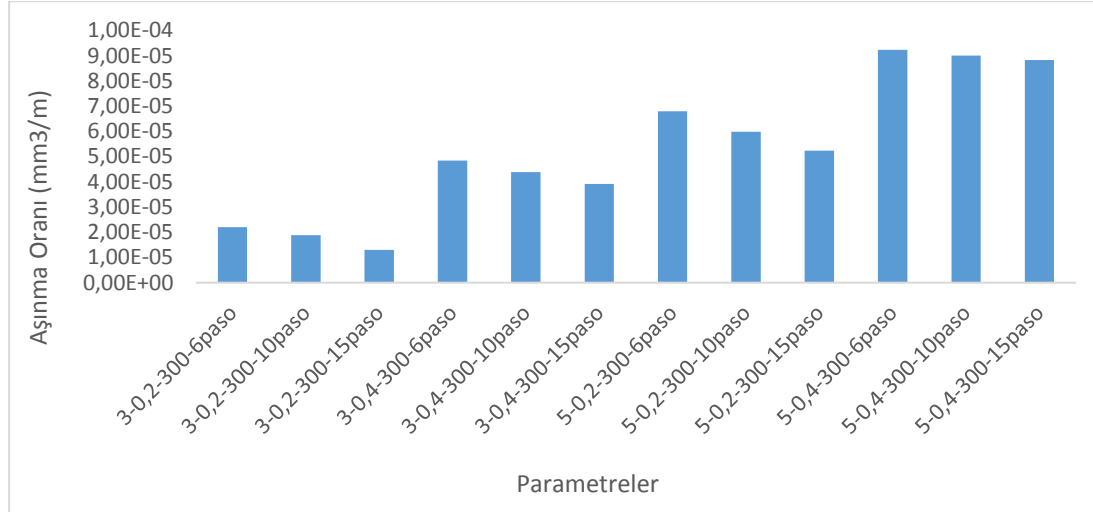


**Şekil 6.21.** %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 300 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 4N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 6.21.'de ki aşınma grafikleri incelendiğinde numunelerde paso sayısı arttığında aşınma oranlarında düşüş gözükmemektedir. 3N yük ve 0,2 m/sn hız uygulanan numunelerin yükü 4N değerine çıkarıldığında aşınma oranlarındaki artış göze

çarpmaktadır. Bu numuneler için her pasoda aynı şeyi söylemek mümkündür. En yüksek aşınma oranı 4N yük altında 0,4 m/sn hızında 6 pasoda gerçekleşmiştir.

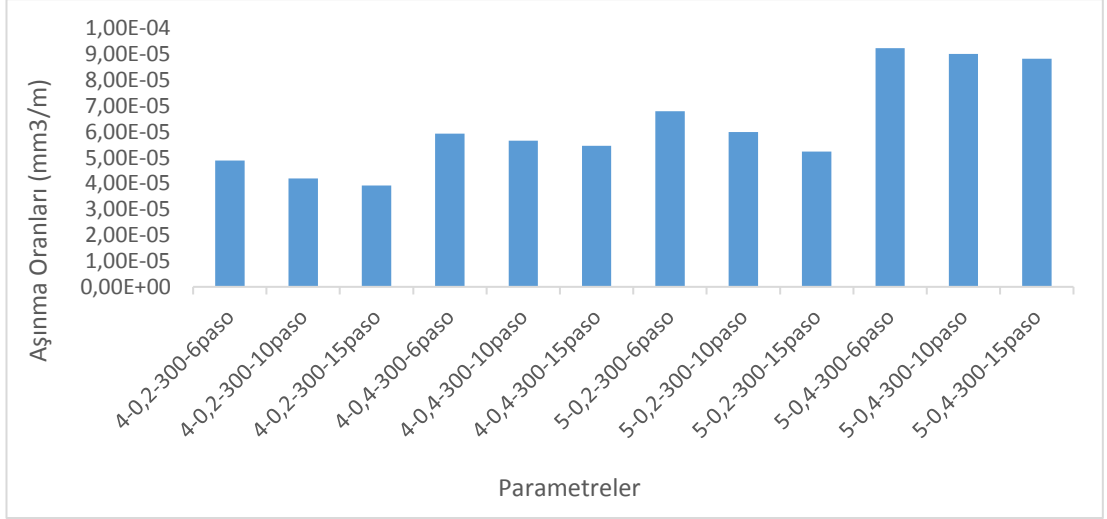
300 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları şekil 6.22.'de verilmiştir.



**Şekil 6.22.** %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 300 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 6.22.'de verilen aşınma grafiği incelendiğinde numunelerde paso sayısı arttıkça aşınma oranının düştüğü gözlemlenmektedir. 3N yük uygulanan numunelerin yükleri aynı paso oranında ve aynı hızda 5N yük seviyesine çıkarıldığında aşınma oranlarında artış gözlemlenmektedir. 5N yük ve 15 paso uygulanan numunemizin hızını 0,2 m/sn değerinden 0,4m/sn değerine çıkarttığımızda aşınma oranındaki artış grafikten okunmaktadır. En yüksek aşınma oranına 6 pasoda 5N yük altında ve 0,4 m/sn hızda ulaşılmıştır.

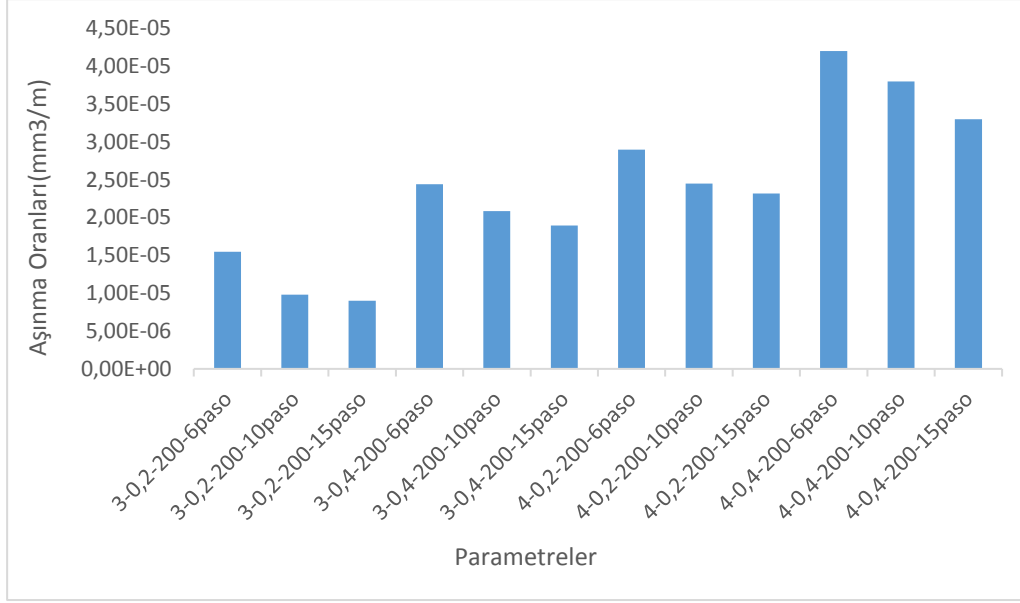
300 metre mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları Şekil 6.23.'te gösterilmiştir.



**Şekil 6.23.** %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 300 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 4N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 6.23.'te verilen aşınma grafiklerini incelediğimizde en düşük aşınma oranı 4N yük altında 0,2 m/sn hızda ve 15 paso uygulandığında elde edildiği görülmektedir. Sabit hızda ve sabit paso sayısında ki numunelere yük arttırımı yapıldığında az miktarda aşınma oranlarında artış görülmü yakalanmıştır.

200 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 4N yükler altında aşınma deney sonuçları Şekil 6.24.'de gösterilmiştir.



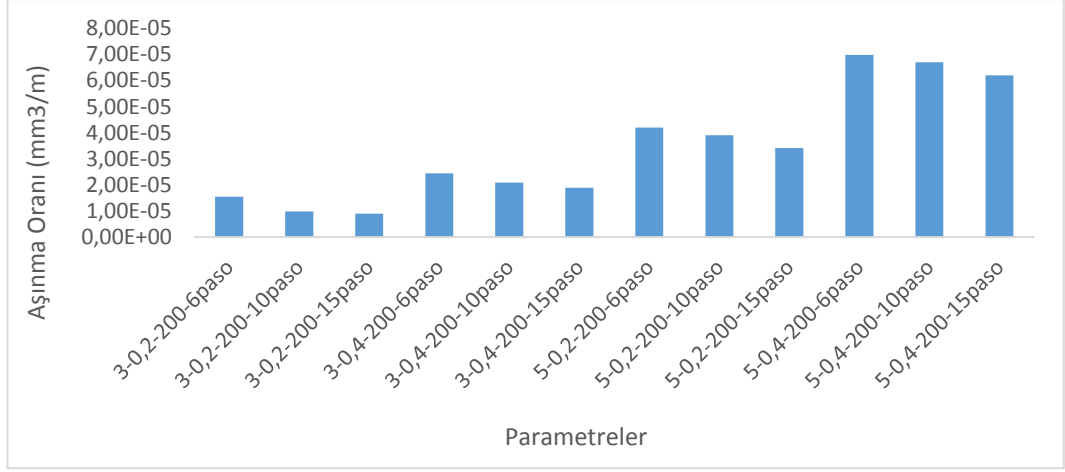
**Şekil 6.24.** %100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 200 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 4N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 6.24.'de verilen aşınma grafiği incelendiğinde 3N yük uygulanmış numunelerde aynı paso sayısında hız arttırımı yapıldığında aşınma oranlarında artış gözlenmektedir.

Aynı şekilde 3N yük ve 0,2 m/sn hız uygulanan numuneye 10 paso sayısında yükünü 3N seviyesinden 4N seviyesine çıkarttığımızda ciddi bir aşınma oranı artışı yakalanmıştır. 4N yük ve 0,2m/sn hız uygulanan numuneye aynı paso sayısında hızını 0,2m/sn seviyesinden 0,4 m/sn seviyesine çıkarttığımızda aşınma oranında artış tespit edilmiştir.

%100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin %50 Diamalloy 2002+%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı ile hazırlanan numunelerden ortalama aşınma değerlerinin daha düşük olduğu grafiklerden anlaşılmaktadır.

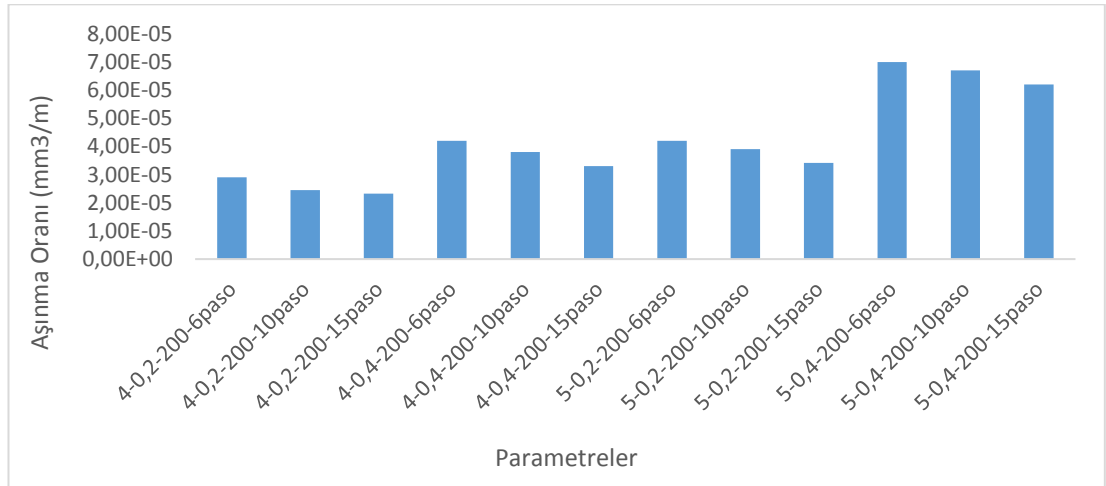
200 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları Şekil 6.25.'de gösterilmiştir.



**Şekil 6.25.** %100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 200 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 6.25.'de verilen aşınma grafikleri incelendiğinde 3N yük altında 0,2 m/sn hızda ve 200 metre mesafedeki numunelerde paso sayısı azaldıkça aşınma oranı artmaktadır. Yine 3N sabit yük altında 0,4 m/sn hızda gerçekleştirilen numunelerdede aynı durum söz konusudur. Kuvvet ve hız arttığında aşınma oranlarındaki artış grafikten görülebilmektedir.

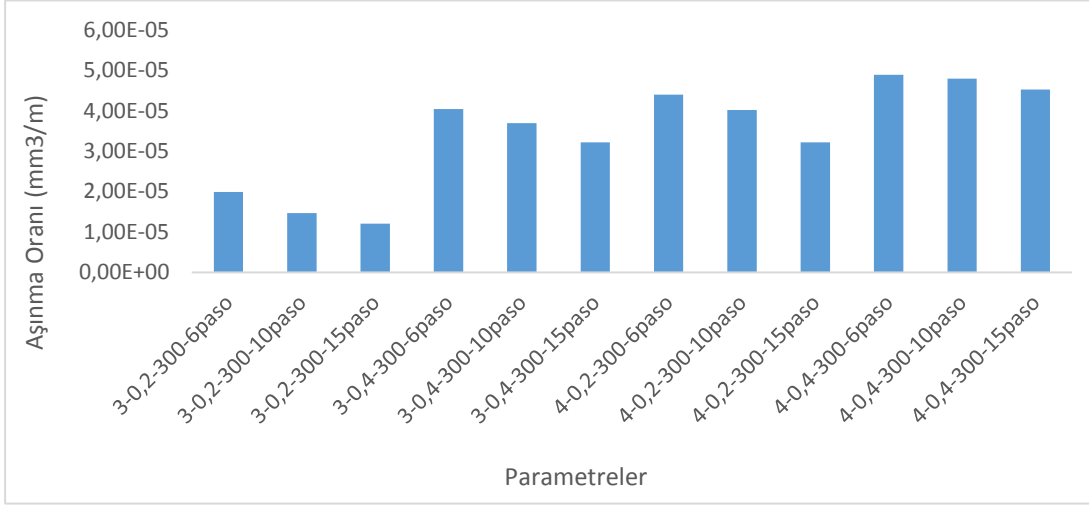
200 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları Şekil 6.26.'da verilmektedir.



**Şekil 6.26.** %100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 200 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 4N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 6.26.'da verilen aşınma grafikleri incelendiğinde en düşük aşınma oranına 4N yük altında 0,2 m/sn sabit hızda ve 15 pasoda gözlemlenmektedir. En yüksek aşınma değeri ise 5N yük altında 0,4 m/sn hızda 6 pasoda görülmektedir.

300 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 4N yükler altında aşınma deney sonuçları Şekil 6.27.'de verilmiştir.

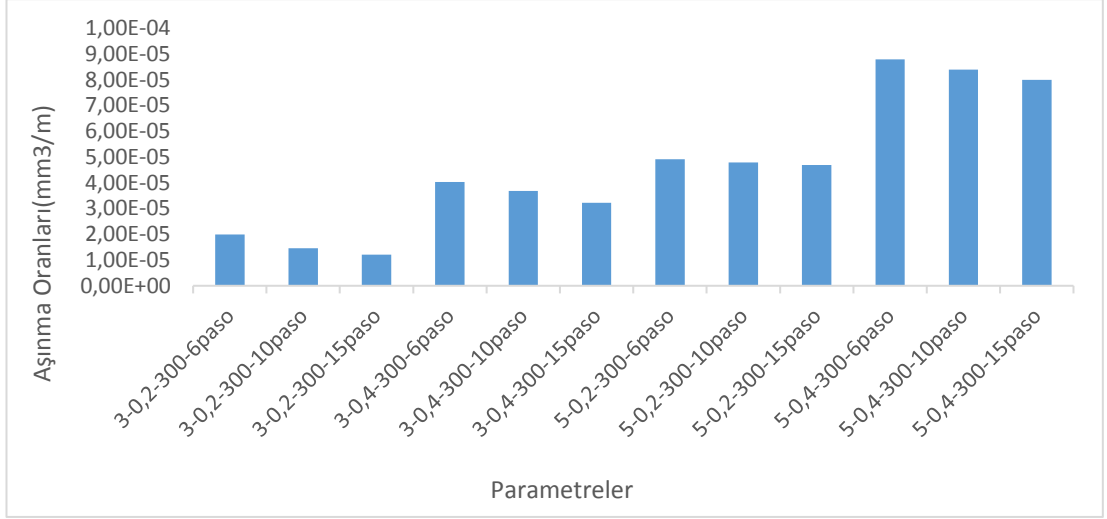


**Şekil 6.27.** %100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 300 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 4N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 6.27.'de grafiğe bakıldığında paso sayıları arttıkça aşınma oranlarının düştüğü gözlemlenmektedir. Aynı paso sayılarında yük arttırımı yapıldığında aşınma oranlarındaki artış göze çarpmaktadır. Aynı yük altında hız arttırıldığında aşınma oranları artmaktadır.

200 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları Şekil 6.28.'de verilmiştir.

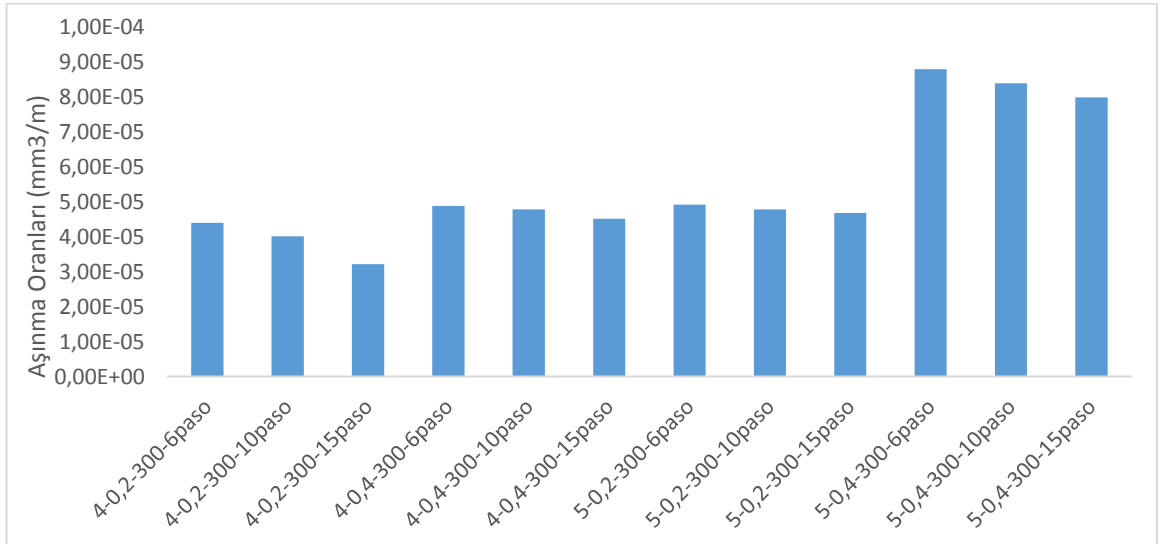




**Şekil 6.28.** %100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 300 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 3N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği

Şekil 6.28.'de bakıldığında mesafe sayısı artışından 200 metre mesafedeki değerlere göre aşınmalarda artış görülmektedir.

300 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 4N ve 5N yükler altında aşınma deney sonuçları Şekil 6.29.'da grafik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 6.29.** %100 Sulzer Metco 7202 tozu ile hazırlanan numunelerin 300 m mesafede 0,2 ve 0,4 m/sn hızlarda 4N ve 5N yük altında aşınma oranı grafiği

300 metre mesafede %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak hazırlanan numunelerin en yüksek aşınma oranları grafikte görülmektedir. 300 metre mesafe 5N

yük altında, 0,4 m/sn hızda ve 6 pasoda bu tozdaki en yüksek aşınma değerine ulaşılmıştır.

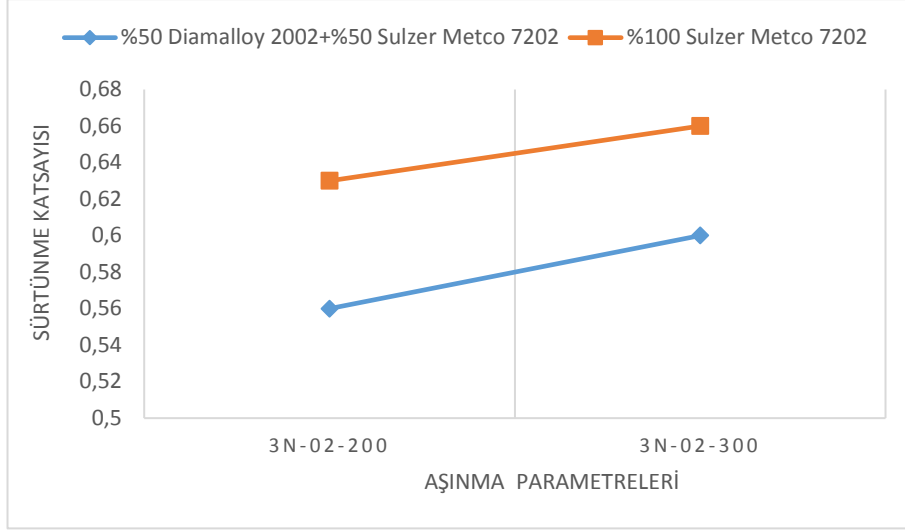
### **6.7. Sürtünme Katsayıları**

CSM aşınma test cihazı aşınma değerleri ile birlikte sürtünme katsayılarını da ölçmektedir. Yüzeylerin sürtünme katsayı değerleri grafikleri parametrelere bağlı olarak çizilmiştir.

Sürtünme katsayısı birçok parametreye bağlıdır. Bu parametreler ortamın şartları, kaplama deneylerinde kullandığımız altlık malzemenin cinsi, sertliği, modülü, yüzey pürüzlüğü ve morfolojisi, kaplama tabakası, deney hızları, basınç, zaman, yük gibi parametrelere bağlı olarak değişim göstermektedir. Chakraborty ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada sürtünme katsayısının işlem parametreleri ile değiştiği sonucuna ulaşmıştır [30].

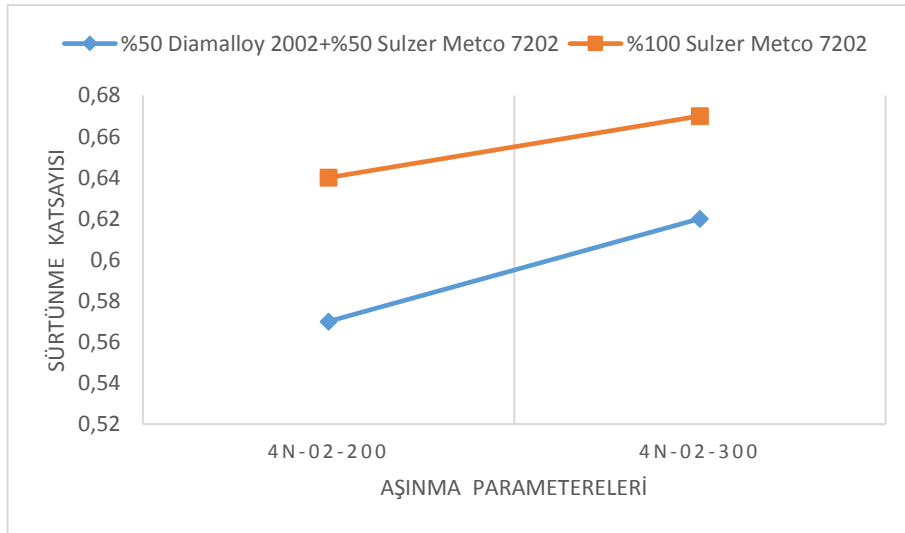
Malzemeye yapılan basınç aşınma oranını yükseltmektedir. Karbür fazlar sürtünme katsayısına doğrudan etki yapmaktadır. Malzemenin oksitlenmesi, korozyona uğraması, hava ile teması neticesinde sürtünme katsayısı düşmektedir. Lakin uygulanan yük oksit tabakayı delegecek şekilde olursa sürtünme oranı artacaktır. Cho ve ekip arkadaşları yaptıkları çalışmalarda kaplama işleminin doğrudan sürtünme katsayısına bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Kaplamadaki sertlik ve gözenekler prosesi doğrudan etkilemektedir [31].

XRD analizlerinde incelendiği gibi karışım tozlarının yapısında daha sert fazlar mevcuttur. Bu sert fazlar sürtünme katsayı değerinde azalmaya neden olabilir.



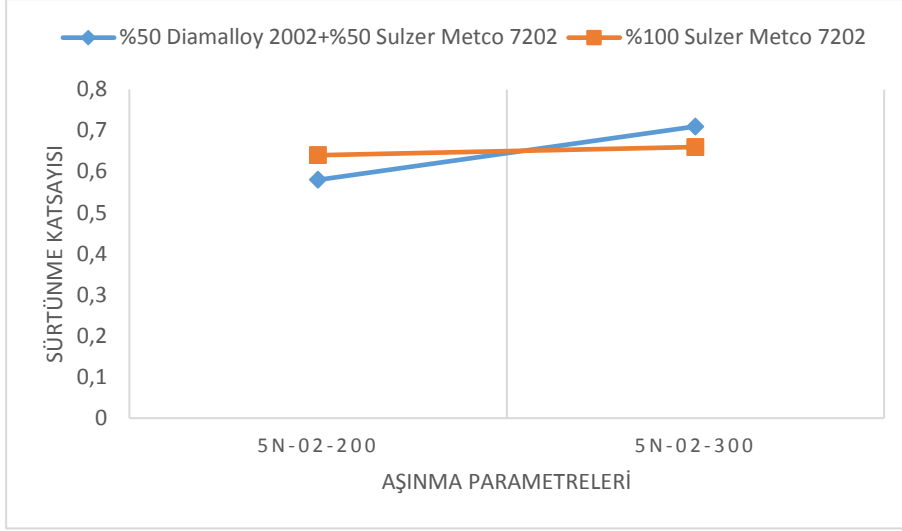
**Şekil 6.30.** 6 pasoda 3N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

Şekil 6.30.'da 3N yük altında 200 ve 300 metre mesafede 0,2 m/sn hızda M ve G numunelerine ait sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. Karışım tozlarından oluşan numunelerin sürtünme katsayılarının 3N yükte ve 0,2 m/sn hızlarda sürtünme katsayılarının daha az olduğu görülmektedir. %100 Sulzer Metco tozlarından oluşmuş G numunelerinin sürtünme katsayısı daha fazladır.



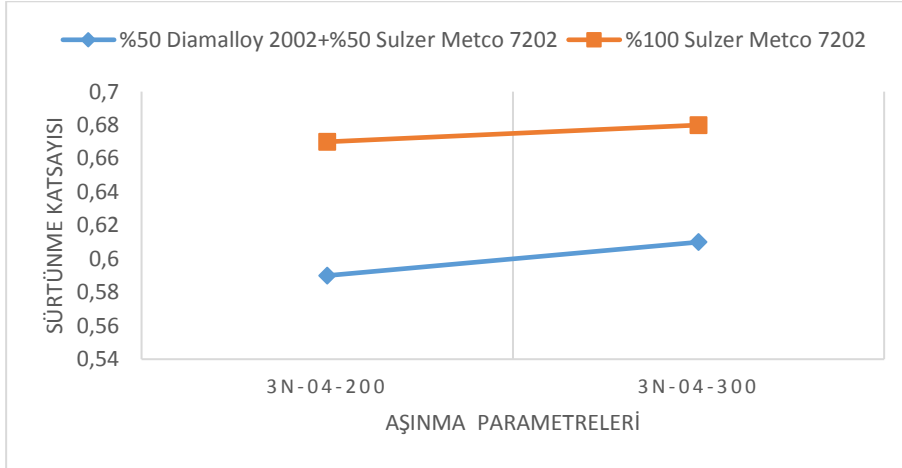
**Şekil 6.31.** 6 pasoda 4N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

Şekil 6.31.'de olduğu gibi karışım tozlarından oluşan numunelerin sürtünme katsayılarının 4N yükte ve 0,2 m/sn hızlarda da sürtünme katsayılarının daha az olduğu görülmektedir.



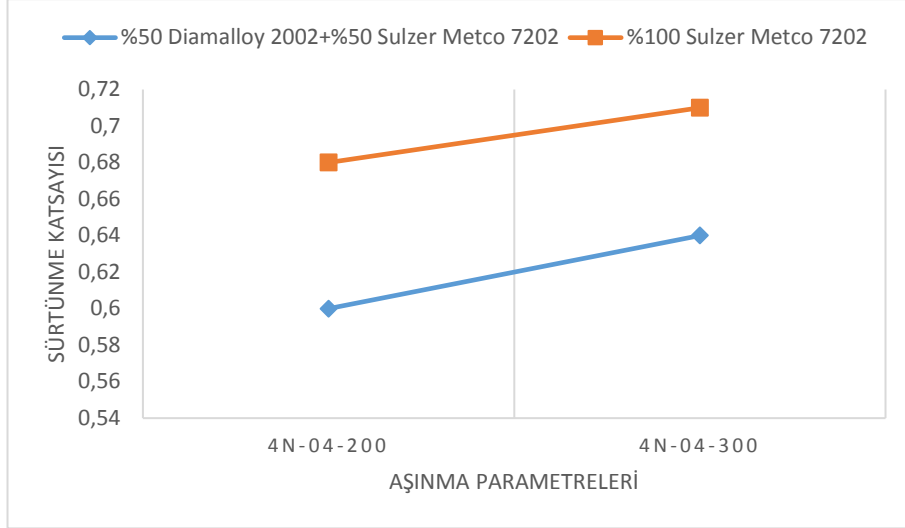
**Şekil 6.32.** 6 pasoda 5N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

Şekil 6.32.'de 5N yük altında 200 ve 300 metre mesafede 0,2/sn hızda M ve G numunelerine ait sürtünme katsayısı grafikleri görülmektedir. Aynı hız ve yük altında mesafe arttırıldığında M numunesinin sürtünme katsayısının arttığı, G numunesinde ise artış olmadığı gözlemlenmiştir.



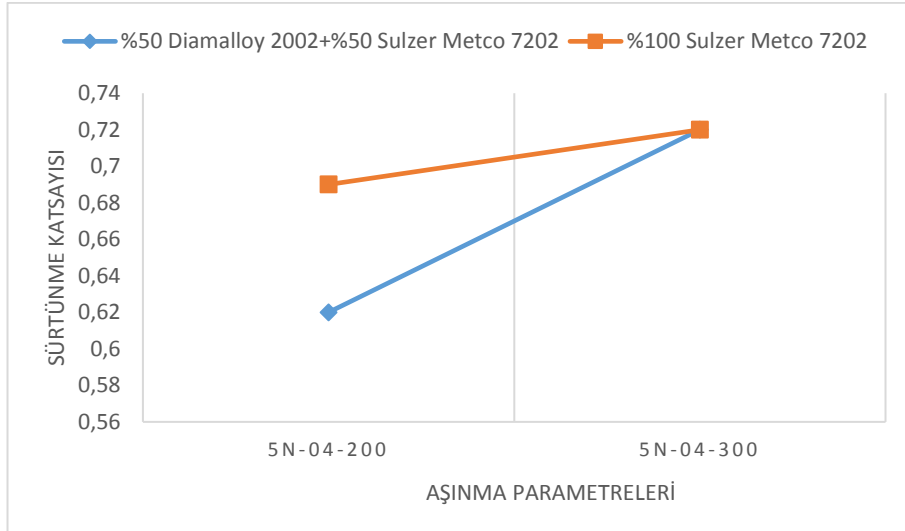
**Şekil 6.33.** 6 pasoda 3N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

Şekil 6.33.'de N yük azaldığında ve kayma hızı iki kat arttırıldığında sürtünme katsayısında değişim olmadığı gözlemlenmiştir.



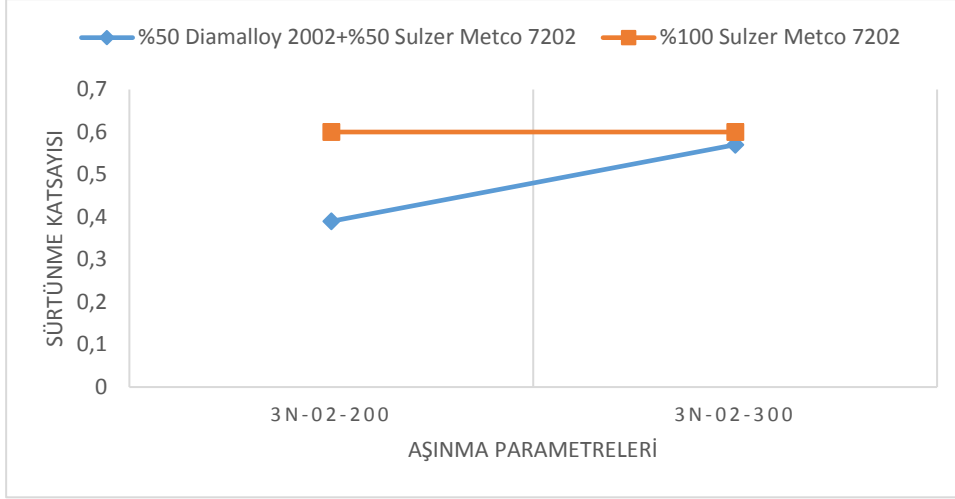
**Şekil 6.34.** 6 pasoda 4N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

Aynı yük altında Şekil 6.22. ile kıyaslandığında hız iki katına çıkarttırıldığında sürtünme katsayısında düşük oranda artış gözlemlenmiştir.



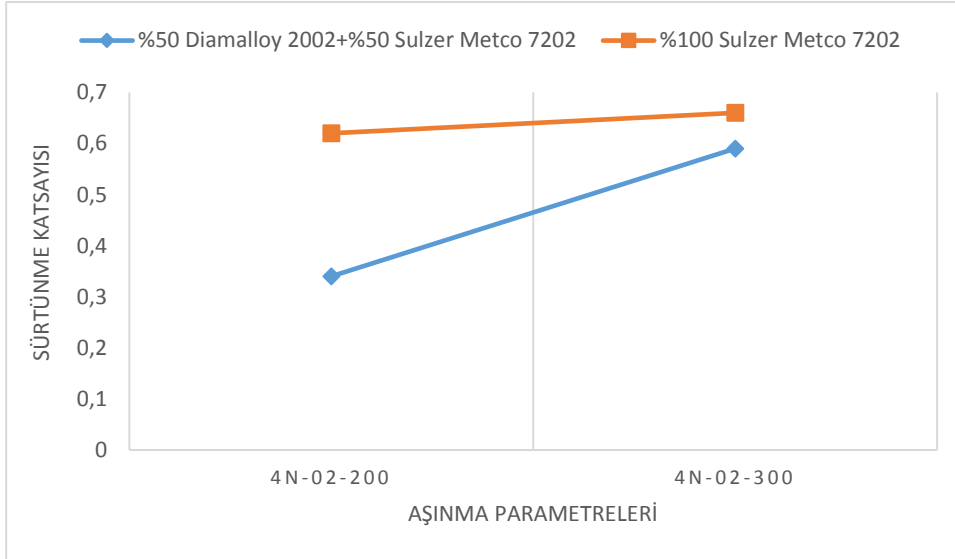
**Şekil 6.35.** 6 pasoda 5N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

Yük arttırıldığında %100 sulzer Metco 7202 tozuna göre %50 diamalloy 2002+%50 sulzer Metco 7202 karışım tozuna göre sürtünme katsayısında daha fazla artış gözlemlenmiştir.



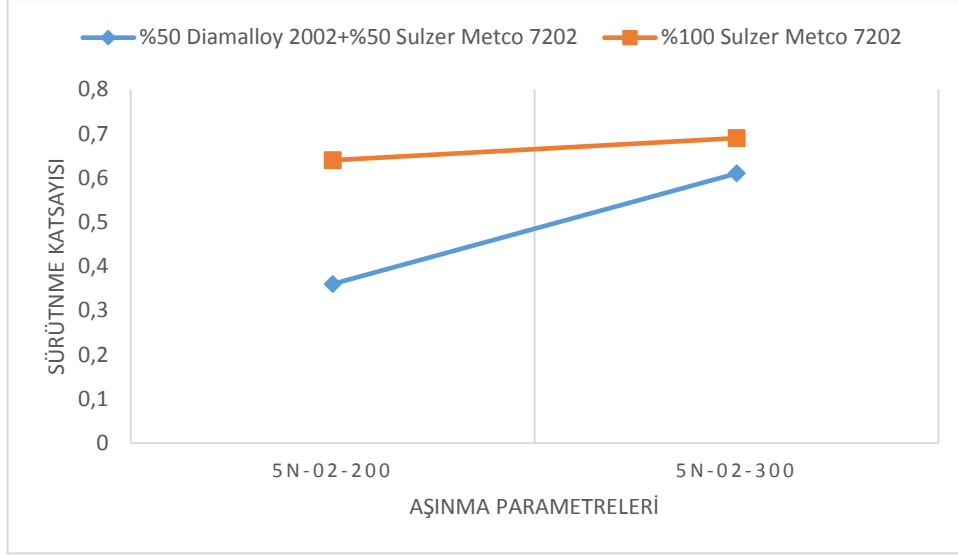
**Şekil 6.36.** 10 pasoda 3N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

3N yük altında 0,2 m/sn hızda %100 sulzer Metco 7202 tozunun sürtünme katsayısı sabit kalmıştır. %50 Diamalloy 2002+%50 sulzer Metco 7202 tozunda ise artış gözlemlenmiştir.



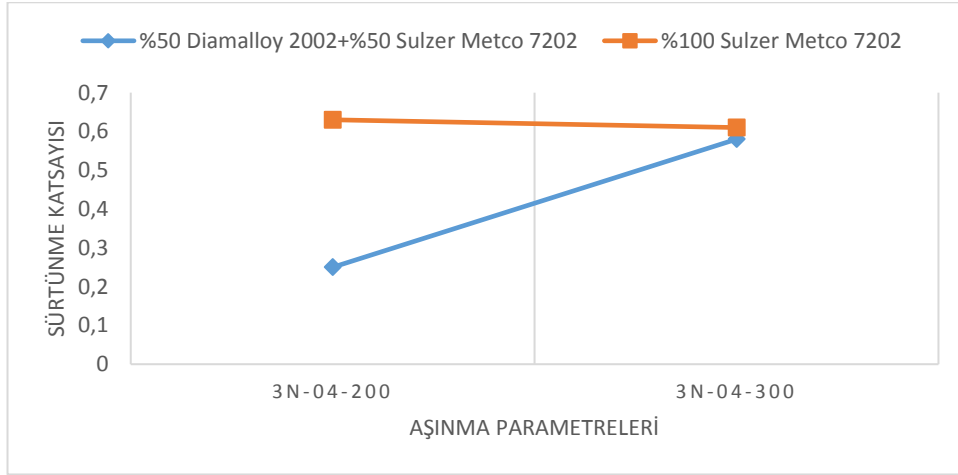
**Şekil 6.37.** 10 pasoda 4N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

4N yük altında 0,2 m/sn hızda %50 diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımında mesafe arttıkça sürtünme katsayısında artış gözlemlenmiştir. %100 Sulzer Metco 7202 tozunda ise değişim olmamıştır.



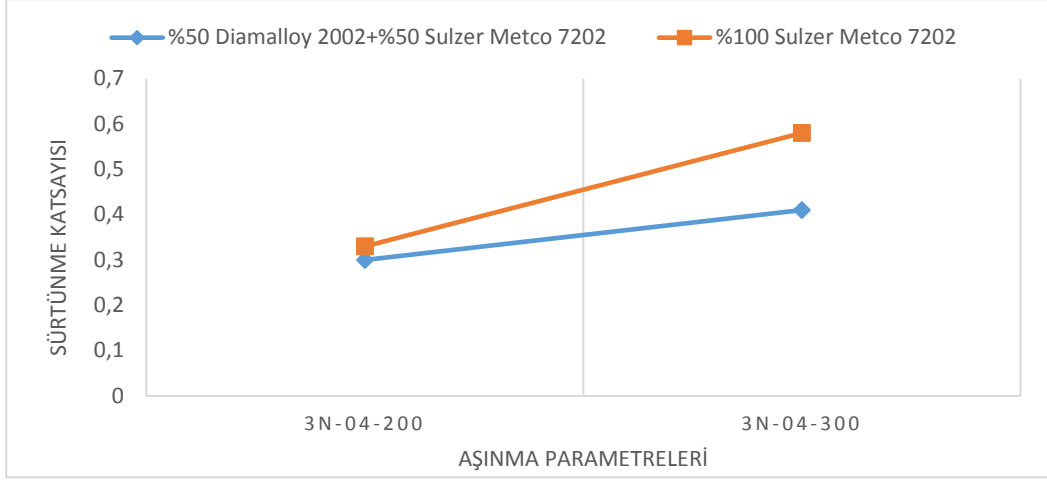
**Şekil 6.38.** 10 pasoda 5N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

5N yük altında 0,2 m/sn hızlarda sürtünme katsayıları incelendiğinde %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 toz karışımında sürtünme katsayılarında artış gözlemlenmiştir. %100 Sulzer Metco 7202 tozunda artış gözlemlenmemiştir.



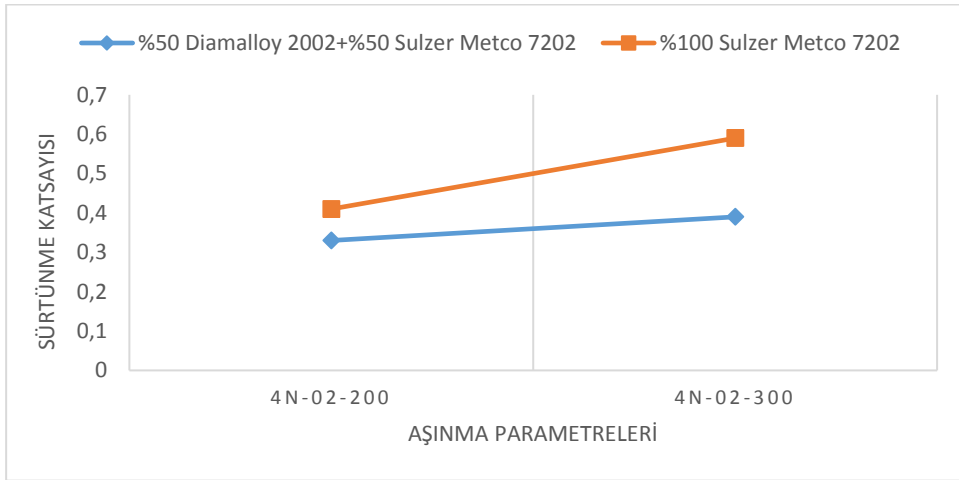
**Şekil 6.39.** 10 pasoda 3N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

Şekil 6.30.'da 3N yük altında 0,4 m/sn hızda mesafe arttırımı ile %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 tozunda ciddi bir oranda sürtünme katsayısı artmıştır.



**Şekil 6.40.** 15 pasoda 3N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

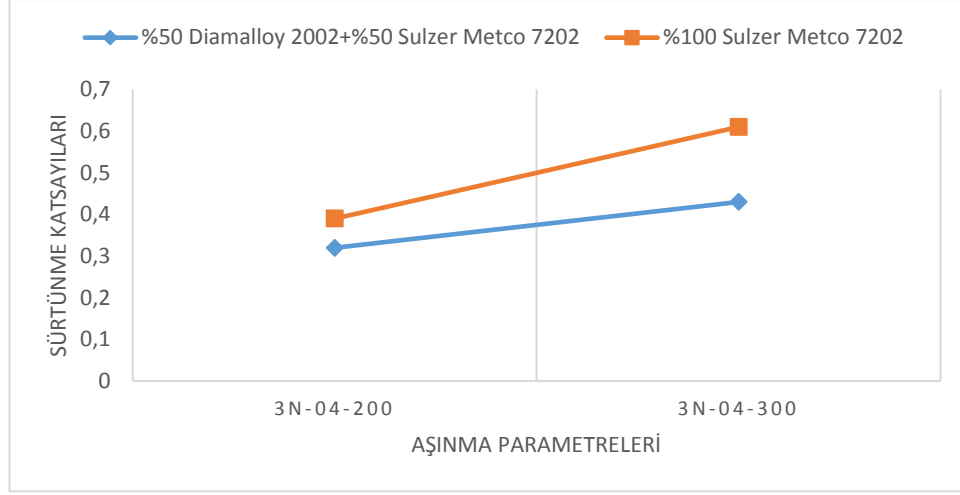
Şekil 6.40.'da 3N yük altında ve 0,4 m/sn hızlarda mesafeler arttırıldığında %50 Diamalloy 2002 +%50 sulzer Metco 7202 ve %100 Sulzer Metco 7202 tozlarının sürtünme katsayılarında artış gözlemlenmiştir. %100 sulzer Metco toz karışımının sürtünme katsayısı %50 diamalloy 2002 + %50 sulzer Metco 7202 toz karışımına göre daha fazla oranda artmıştır.



**Şekil 6.41.** 15 pasoda 4N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

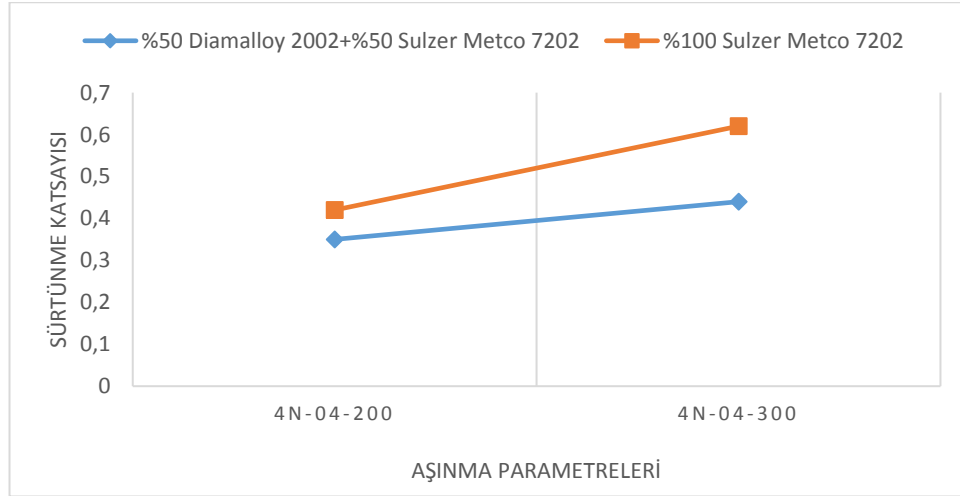
Şekil 6.41.'de 4N yük altında 0,2 m/sn hızda sürtünme katsayıları incelendiğinde %100 Sulzer Metco 7202 tozunda artış gözlemlenirken %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımında artış görülmemektedir.





**Şekil 6.42.** 15 pasoda 3N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

Şekil 6.42.'de 3N yük altında 0,4 m/sn hızda sürtünme katsayıları incelendiğinde %100 Sulzer Metco 7202 tozunda artış gözlemlenmektedir. %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımında diğer toza göre nispeten artış görülmemektedir.

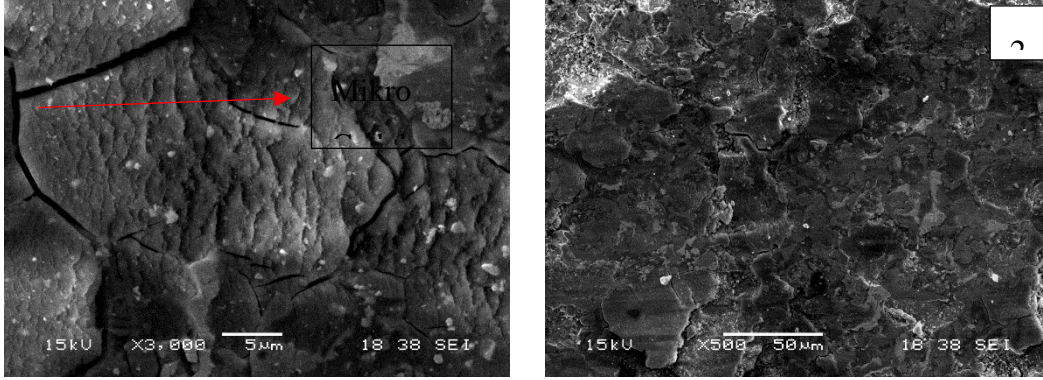


**Şekil 6.43.** 15 pasoda 4N yük altında, 200 ve 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda aşınma sonucu numunelere ait sürtünme katsayı-yol grafiği

Şekil 6.43.'de 4N yük altında 0,4 m/sn hızda sürtünme katsayıları incelendiğinde %100 Sulzer Metco 7202 tozunda ve %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco toz karışımında artış görülmektedir.

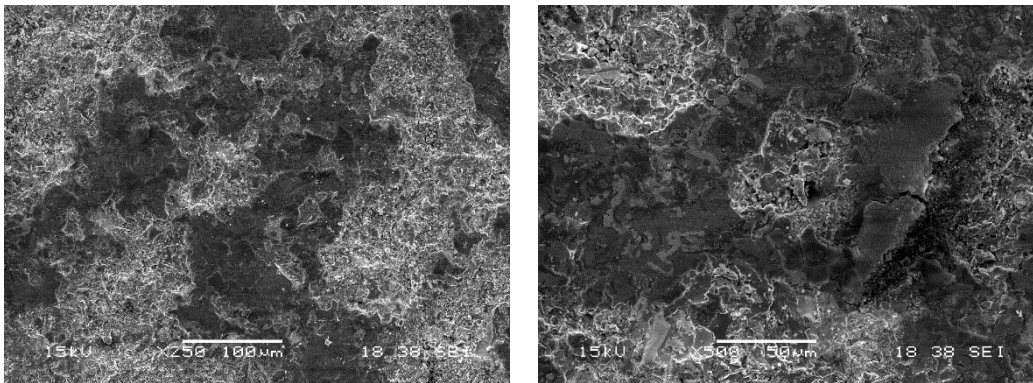
## 6.8. SEM Görüntüleri ve EDS Analizi

Aşınma testleri yapıldıktan sonra % 50 Diamalloy 2002 tozu +%50 Sulzer Metco7202 karışımı tozları (M grubu numunesi) ve %100 Sulzer Metco 7202 tozlarının (G numunesi) kaplama sonrası aşınma yüzeylerinin incelenmesi amacıyla SEM görüntüleri alınmış ve EDS analizleri yapılmıştır.



**Şekil 6.44.** 6pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri.

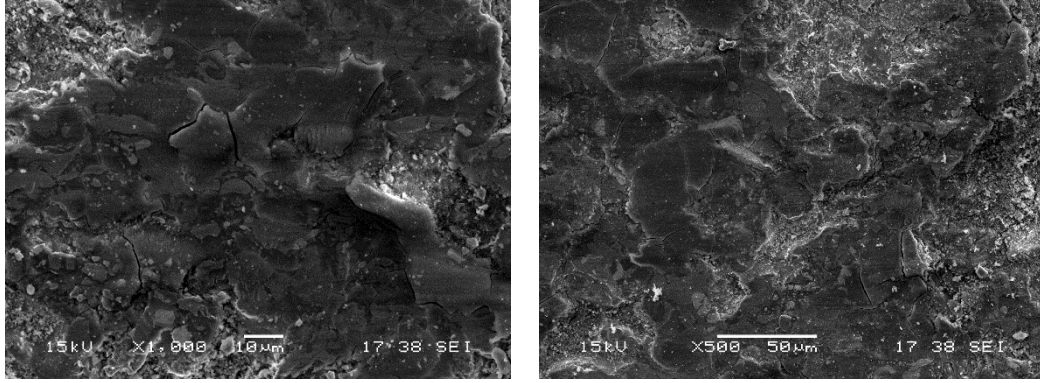
Şekil 6.44.'de 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde Mikro çatlakların varlığı tespit edilmiştir. 2 numaralı görüntüye bakıldığında delemantasyon bölgelerinin varlığından söz edilebilir.



**Şekil 6.45.** 6pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

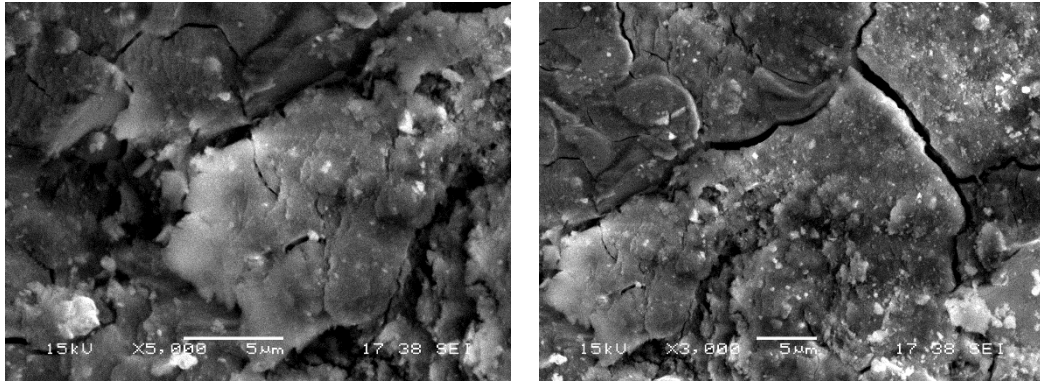
Şekil 6.36.'da 4N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri

verilmiştir. Yapıya bakıldığında bilye ve kaplama arayüzey arasında adheziv aşınma meydana geldiği söylenebilir.



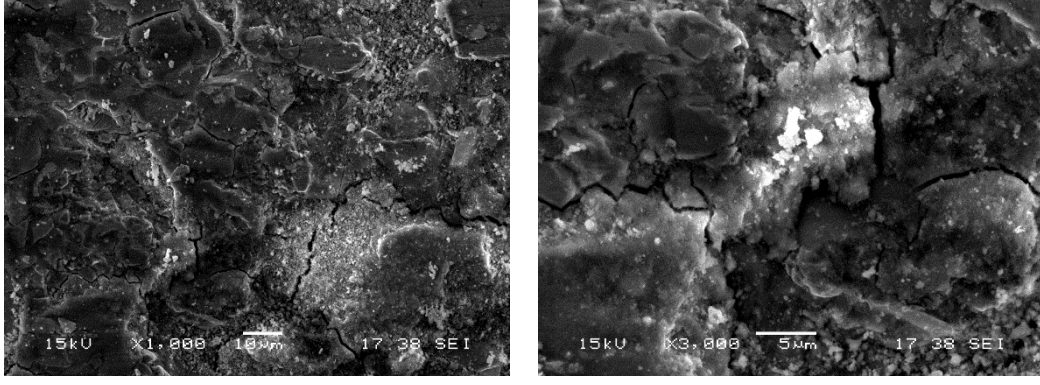
**Şekil 6.46.** 6pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.37.'de 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri verilmektedir. Kaplama tabakası incelendiğinde aşınma ürünleri gözlemlenmiştir. Az da olsa plastik deformasyon bölgeleri gözlemlenmiştir.



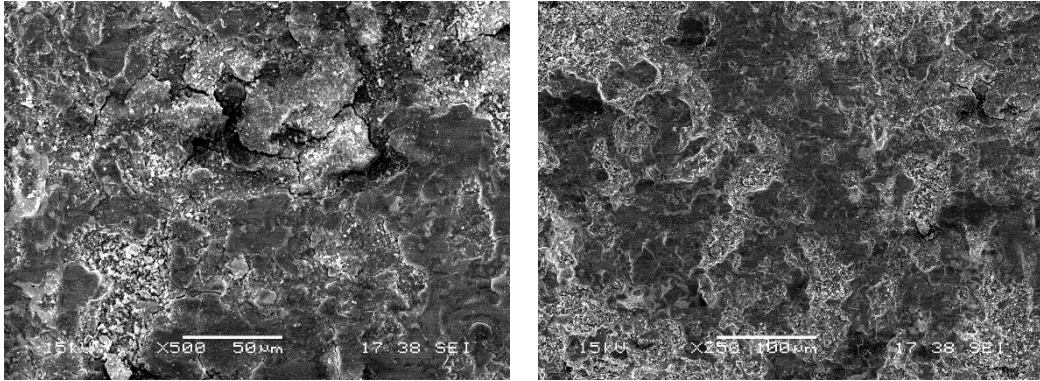
**Şekil 6.47.** 6pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.47.'de 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyde büyük çatlaklar vardır. Yükün artması ile yüzeyde meydana gelen aşınma şiddetlenmiştir ve çatlak genişlikleri artmıştır. Aşınma ürünleri yine yüzeye sıvanmış şekilde görünmektedir.



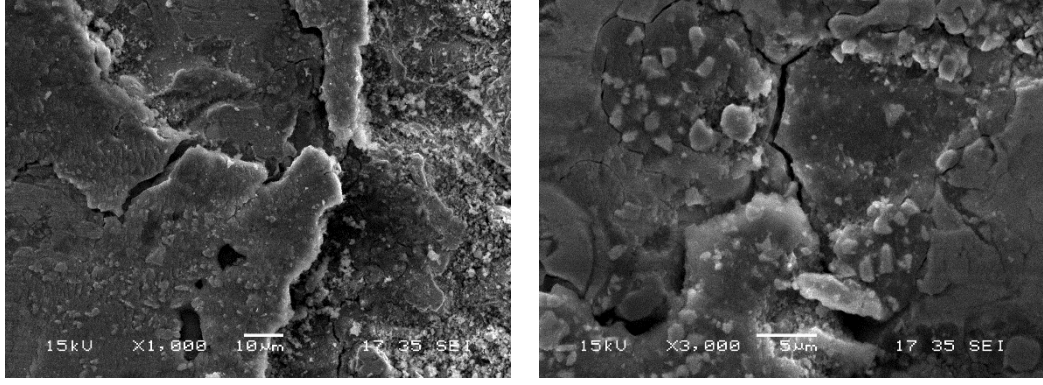
**Şekil 6.48.** 6pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.48.'de 4N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde Mikro çatlak ve aşınma ürünleri net biçimde kaplama tabakasında gözlemlenmiştir. Kısmi plastik deformasyon ve Adhezif aşınma gözlemlenmiştir.



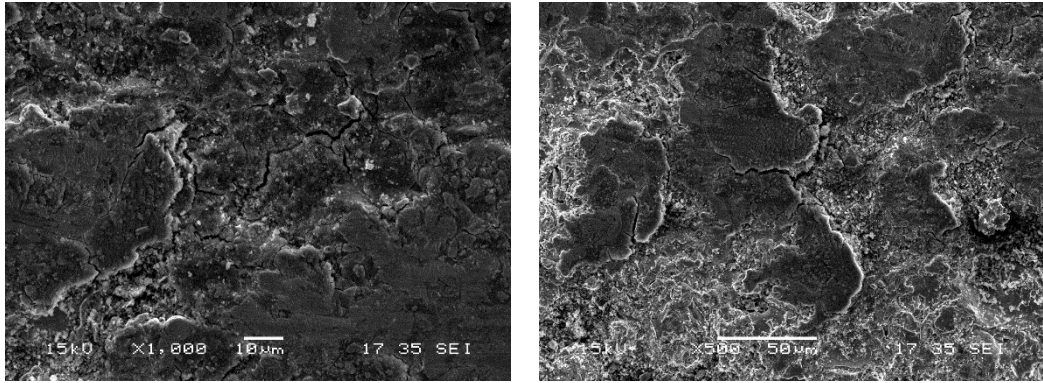
**Şekil 6.49.** 6pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.49.'da 4N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde sertlik değerinin az olduğu bu numunede mikroçatlakların azaldığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 6.50.** 10pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

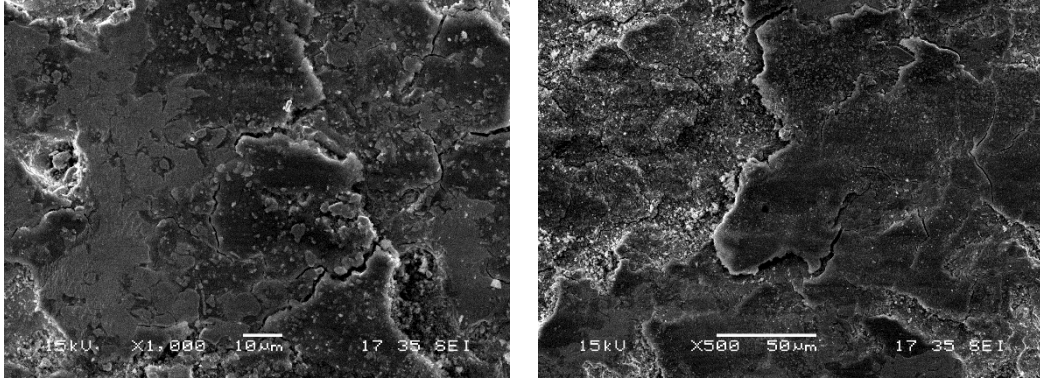
Şekil 6.50.'de 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde bu numunede delemantasyonların varlığından söz edilebilir.



**Şekil 6.51.** 10 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

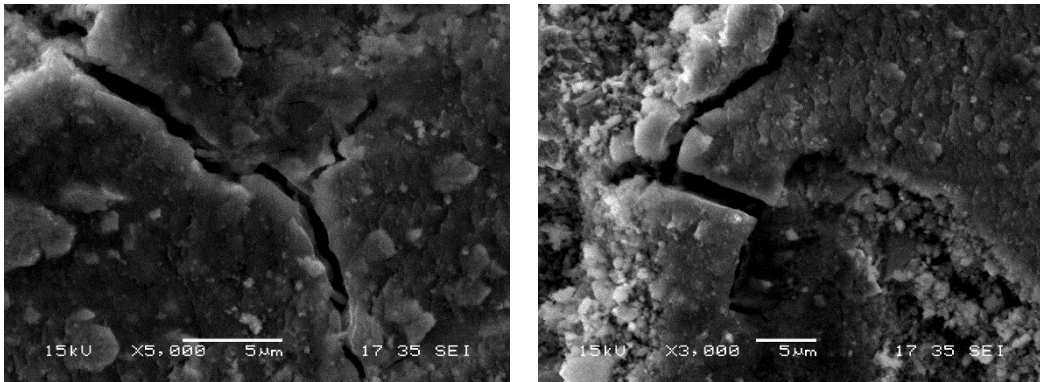
Şekil 6.51.'de 4N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyde plastik deformasyonlar yer yer oluşmuştur.





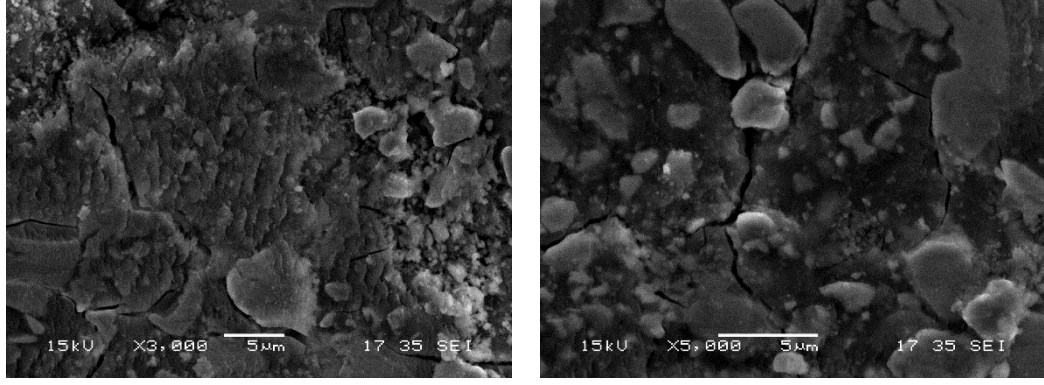
**Şekil 6.52.** 10 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.52.'de 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yer yer katmanlı çatlaklar görülmektedir.



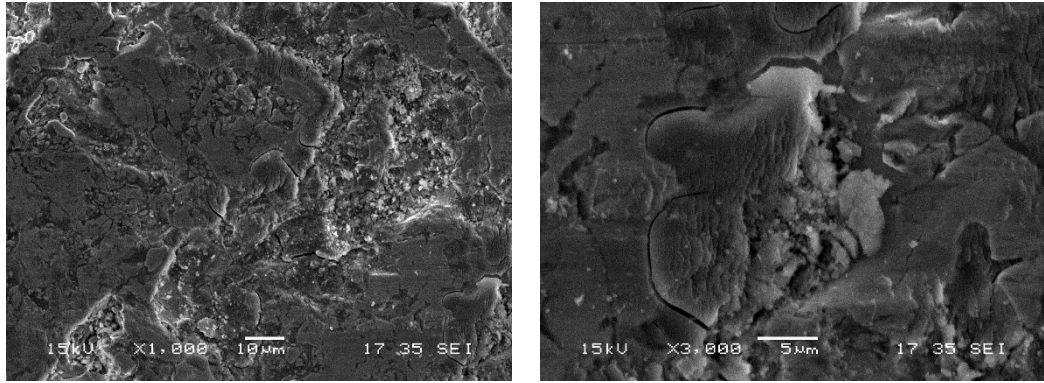
**Şekil 6.53.** 10 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.53.'de 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 300 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde hız ve yük artışı yüzeydeki deformasyonu biraz daha arttırmıştır. Çatlaklar biraz daha sıklaşmıştır. Bilyadan ve kaplama tabakasından ayrılan aşınma ürünleri görülmektedir.



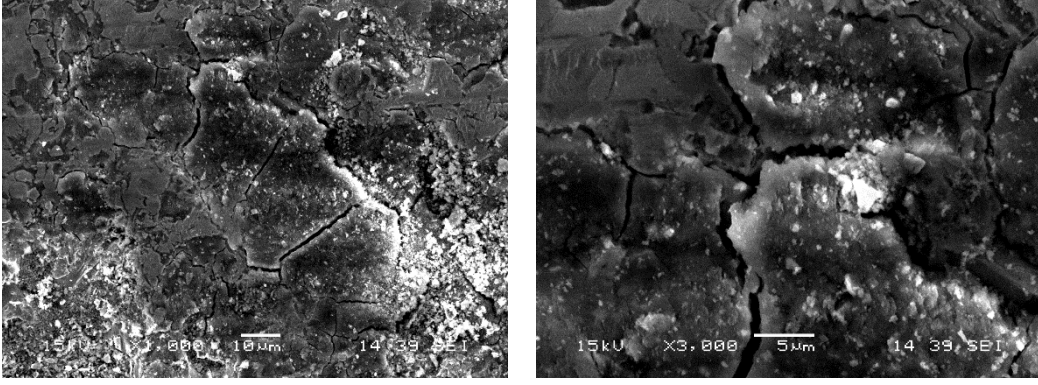
**Şekil 6.54.** 10 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.54.'de 4N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde parça kopmaları görülmektedir. Yüze uygulanan yük neticesinde çatlaklar meydana gelmiş ve büyüyerek kırılmalara yol açmıştır.



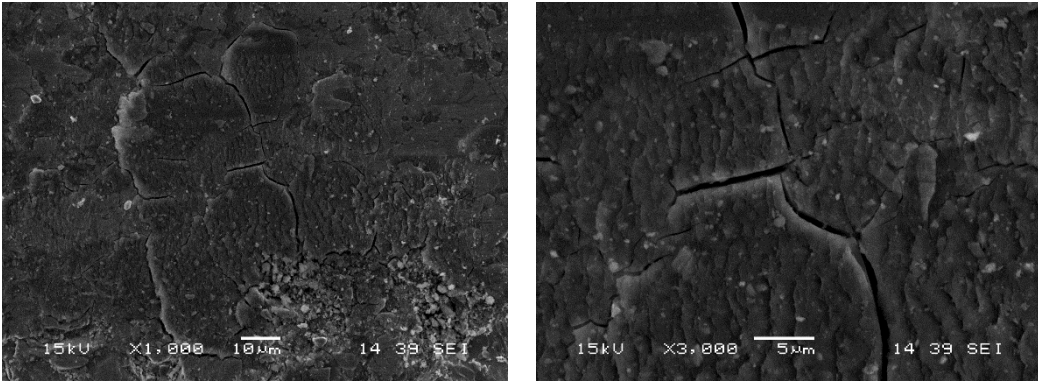
**Şekil 6.55.** 10 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.55.'de 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde 5N altında hız arttığında yer yer mikro çatlaklar görülmüştür.



**Şekil 6.56.** 15 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

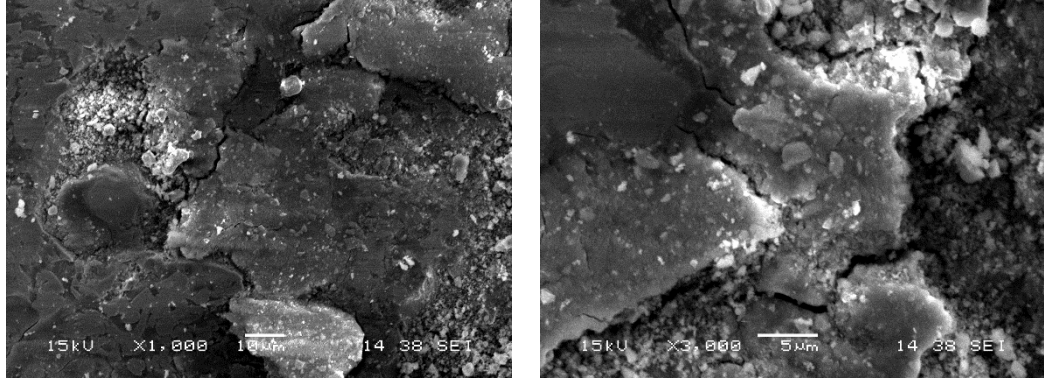
Şekil 6.56.'da 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde karışım tozlarının iç stresi arttırdığı bunun neticesinde çatlakların meydana geldiği gözlemlenmiştir.



**Şekil 6.57.** 15 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

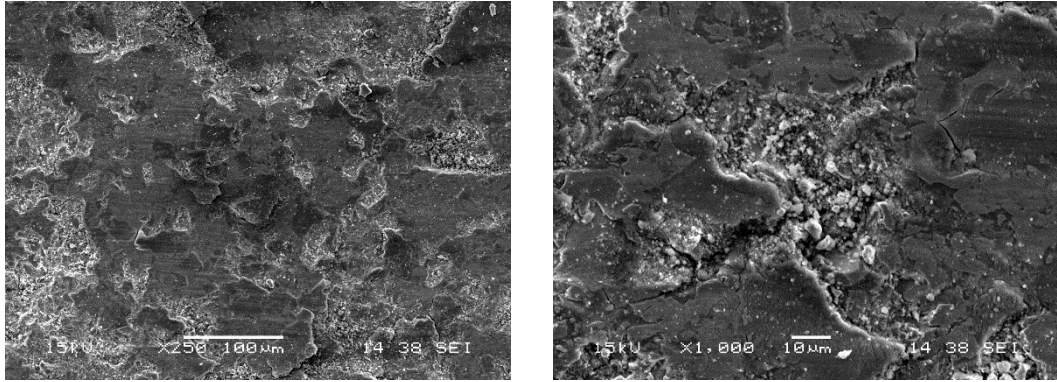
Şekil 6.57.'de 4N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde çatlaklar nispeten daha azdır.





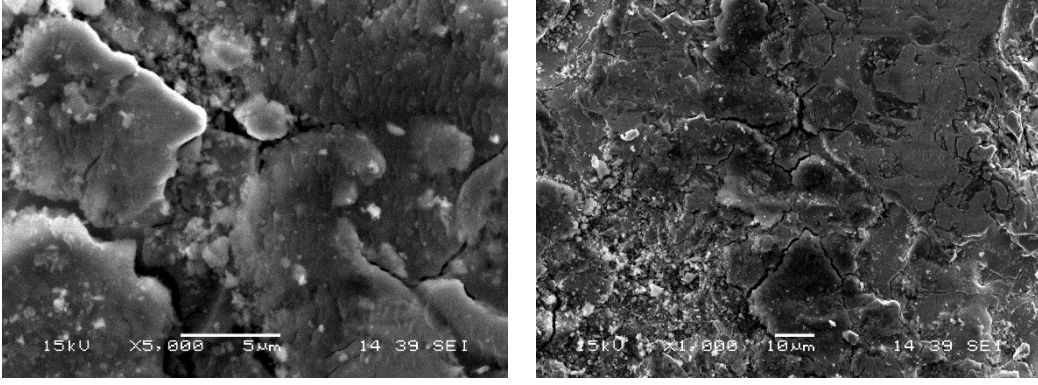
**Şekil 6.58.** 15 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.58.'de 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde çatlaklar ve aşınma ürünleri göze çarpmaktadır. Aşınma oranı bu numunenin oldukça fazladır. Bu koyu gri bölgede Hong ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadaki gibi oksitlenmenin varlığından söz edebiliriz. Yüzeyde parça kopmaları ve oyuk bir halin varlığı söz edilebilir [32,33].



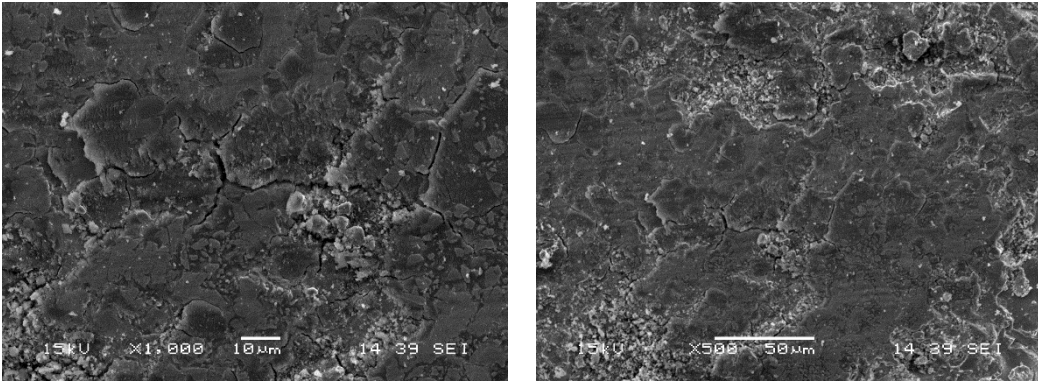
**Şekil 6.59.** 10 pasoda 5N yük altında, 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.59.'da 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 300 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yüksek yük neticesinde plastik deformasyonlar gözlemlenmektedir. Bu numune aşınma oranı en fazla değere sahip olan numunedir. Aynı kuvvette paso sayıları kıyaslandığında paso sayısı azaldığında çatlakların fazlaştığı gözlemlenmiştir.



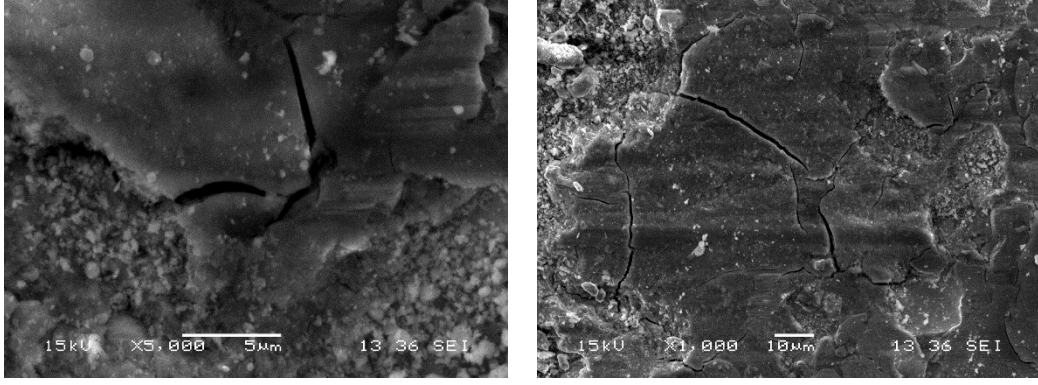
**Şekil 6.60.** 10 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.60.'da 4N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde plastik deformasyon neticesi ortaya çıkan aşınma ürünleri görülmektedir.



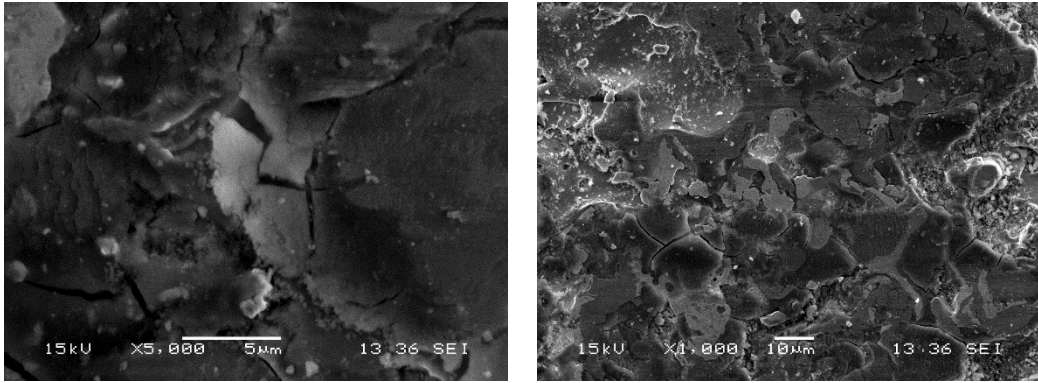
**Şekil 6.61.** 15 pasoda 5N yük altında, 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.61.'de 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 300 metre mesafede aşınan %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde karışım tozlarından elde edilen bu numune neticesinde kılcal çatlak gözlemlenmemiştir. Paso sayısı 15 olan bu numunede aşınma oranı düşüktür.



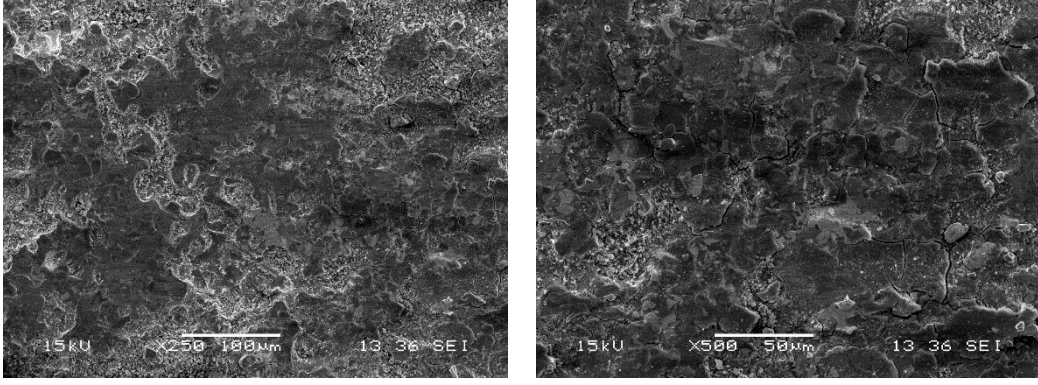
**Şekil 6.62.** 10 pasoda 5N yük altında, 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.62.'de 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde %100 Sulzer Metco 7202 tozunun farklı bir toz ilavesi olmadığı yapıyı daha yumuşak olduğu ve daha fazla çatlakların görüldüğü tespit edilmiştir.



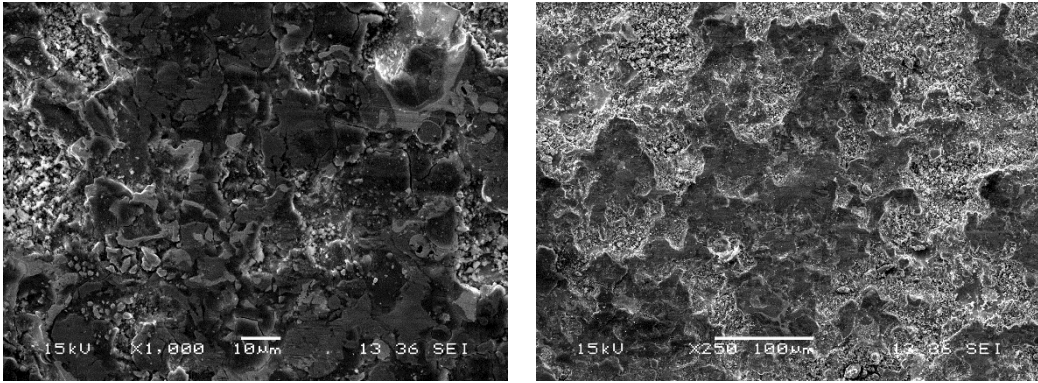
**Şekil 6.63.** 10 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.63.'de 4N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde çatlaklar görülmektedir. Yer yer abrazif yer yer adhezif aşınma meydana gelmiştir



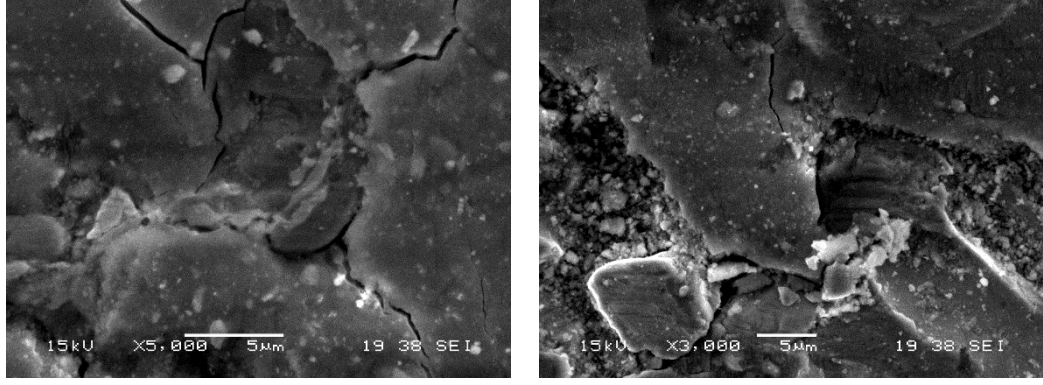
**Şekil 6.64.** 15 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.64.'te 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde çatlakların az olduğu görülmektedir. Bunun sebebi yük faktörünün az olmasından kaynaklanmaktadır. Paso sayısının fazla olduğu bu numunede aşınma oranı düşüktür.



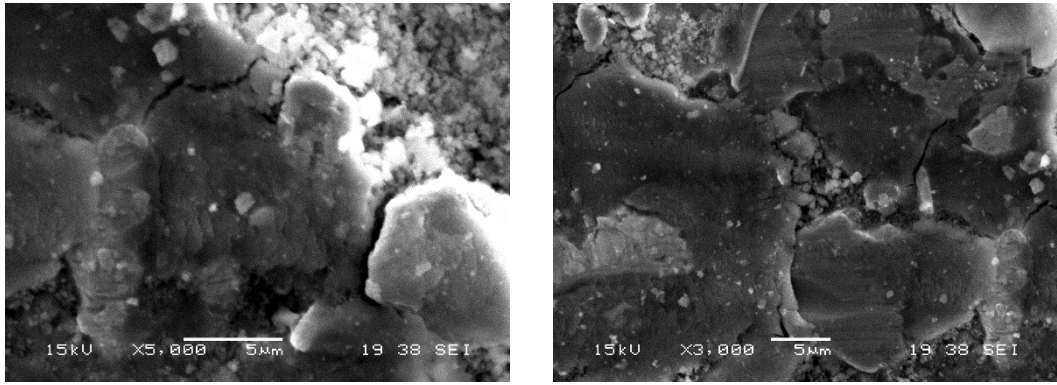
**Şekil 6.65.** 6 pasoda 5N yük altında, 300 m mesafede 0,2 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6. 65.'de 5N yük altında 0,2 m/sn hızla 300 metre mesafede aşınan aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyde parça kopmaları gözlemlenmiştir. Bu numunenin sürtünme katsayısı oldukça yüksek değerlere karşılık gelmektedir.



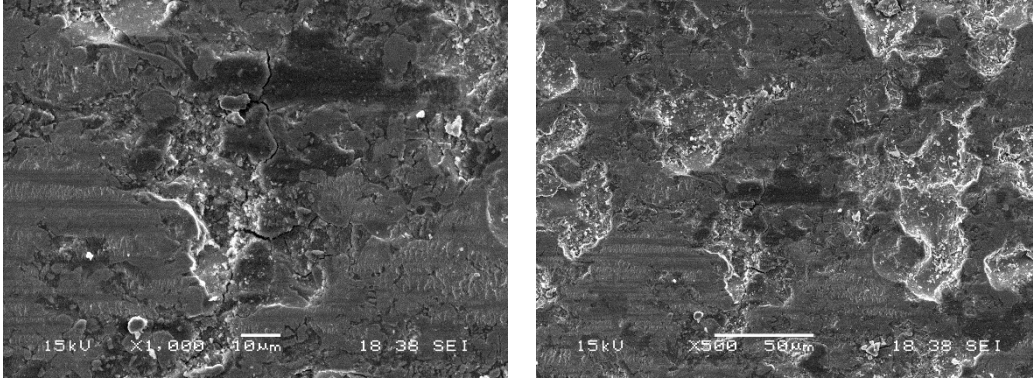
**Şekil 6.66.** 6 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.66.'da 3N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yük artışına bağlı yer yer çatlaklar görülmektedir.



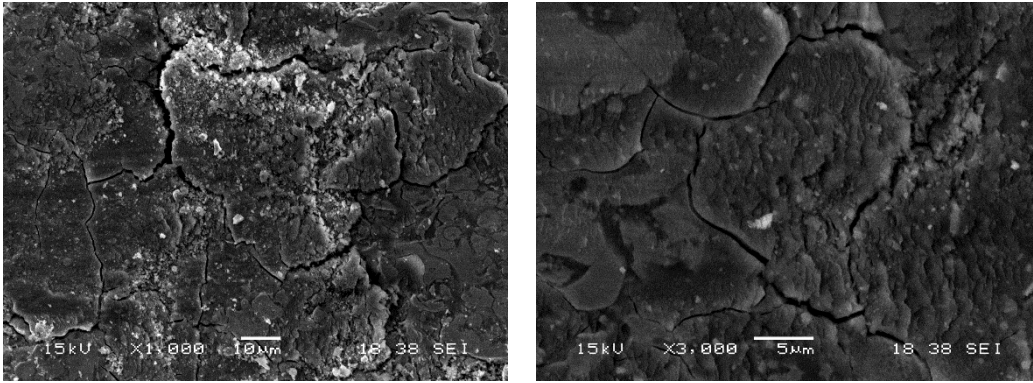
**Şekil 6.67.** 6 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.67.'de 5N yük altında 0,4 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde 5N yük arttırımına gidildiğinde çatlaklar artmıştır. Sürtünme katsayısı ve aşınma oranı bu numunede oldukça fazladır.



**Şekil 6.68.** 10 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

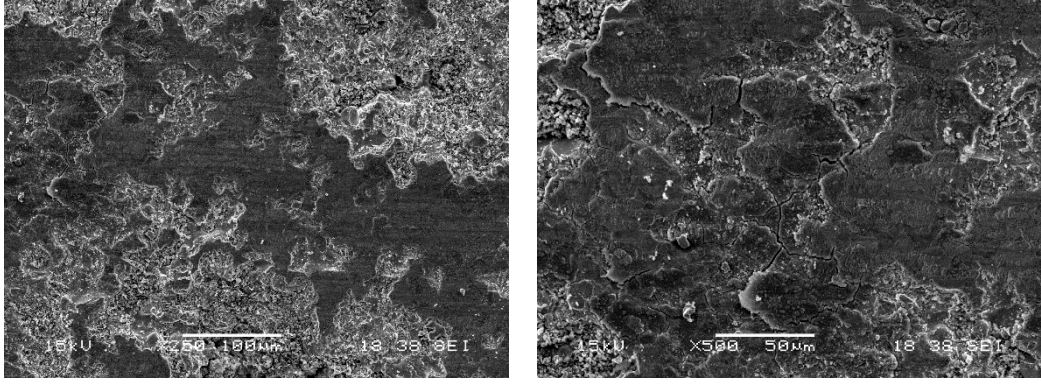
Şekil 6.68.'de 3N yük altında 0,2 m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde bu yapıda abrazif ve adheziv aşınmaların birlikte görüldüğü tespit edilmiştir. Yükün düşük olması etkisi bu aşınma tiplerinin oluşmasında etken rol oynamıştır.



**Şekil 6.69.** 6 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

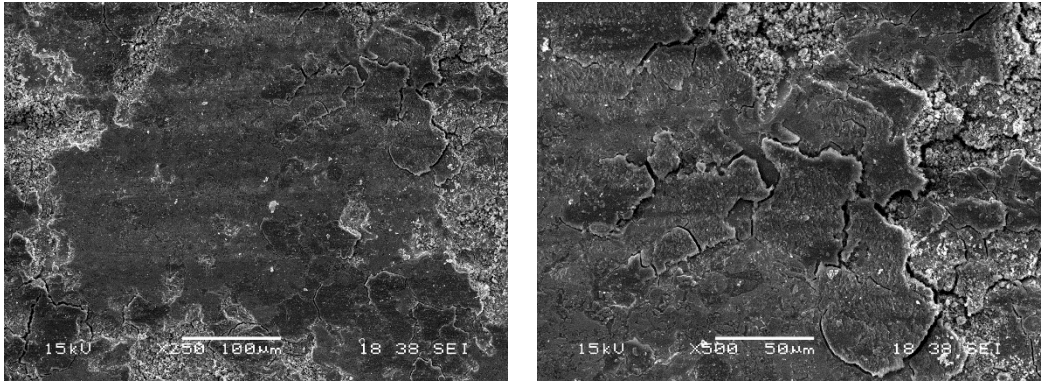
Şekil 6.69.'da 4 N yük altında 0,4m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde çatlaklar görülmektedir.





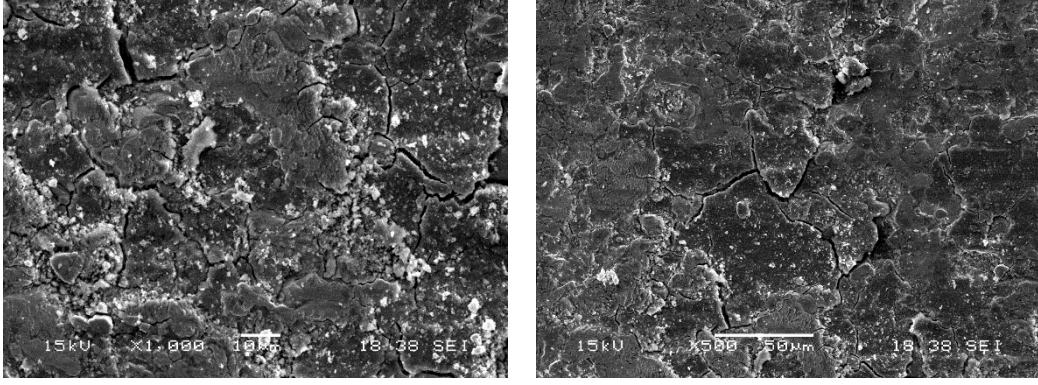
**Şekil 6.70.** 10 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.70.'de 3 N yük altında 0,4m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde hız artışı ile beraber aynı yük altında deformasyon oluşumu tespit edilmiştir. Bu numuneye ait aşınma oranı ve sürtünme katsayıları oldukça düşüktür.



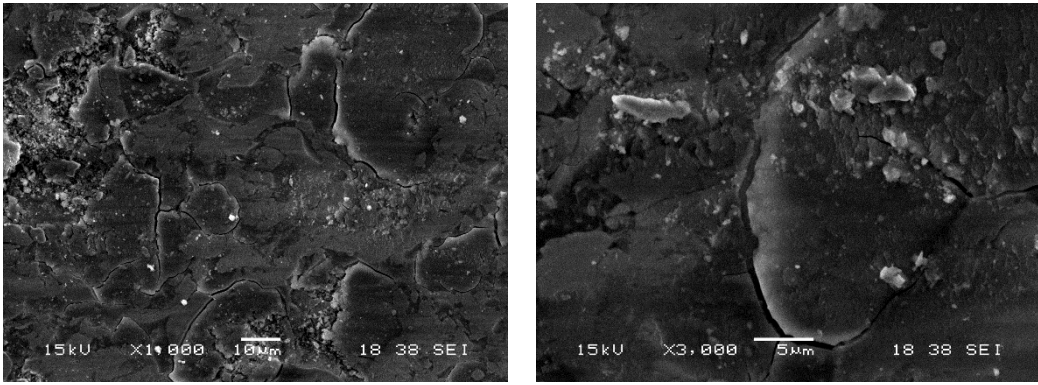
**Şekil 6.71.** 10 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.71.'de 5 N yük altında 0,2m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yük artışı ile beraber kaplama yüzeyinden parçalar koptuğu anlaşılmaktadır. Kopan parçalar plastik deformasyona sebebiyet vermiştir. Çatlaklar çok ciddi bir boyutta gözlemlenmiştir. yüzeyde abrazif aşınma (yüzeyden kopmalar) görünmüştür. Bu deneysel çalışmaya benzer olarak Wang ve arkadaşlarının çalışmasında yüksek sıcaklıkta sürtünme sırasında oluşan oksitler daha sonra çatlama ve kırıntılar halinde mekanizmaya dahil olduğunu tespit etmiştir [34].



**Şekil 6.72.** 10 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

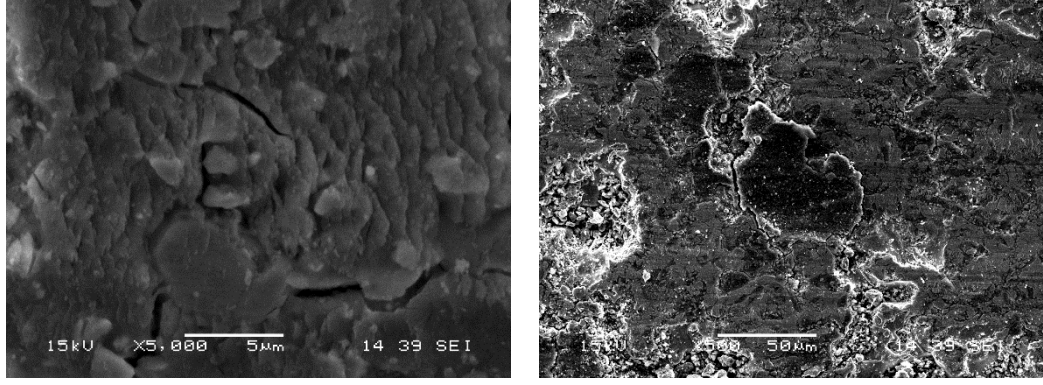
Şekil 6.72.'de 4 N yük altında 0,2m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde mikro çatlaklar görülmektedir.



**Şekil 6.73.** 10 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

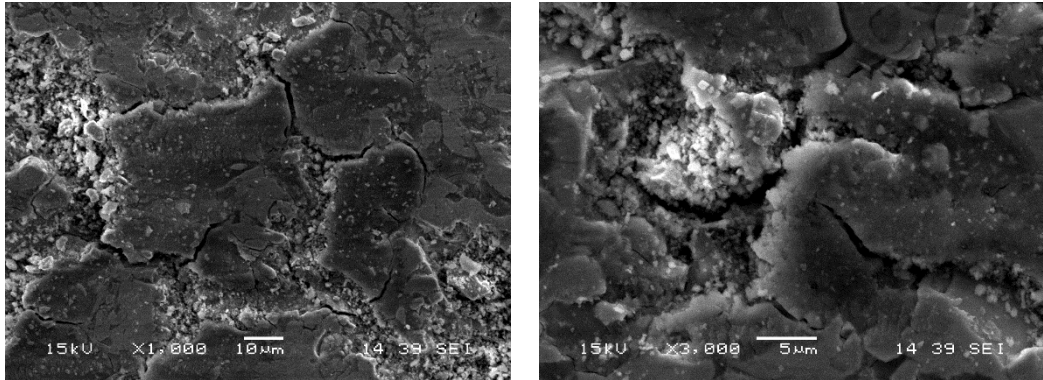
Şekil 6.73.'de 5 N yük altında 0,4m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yük ve hız artışına paralel yapıdaki çatlakların arttığı söylenebilir.





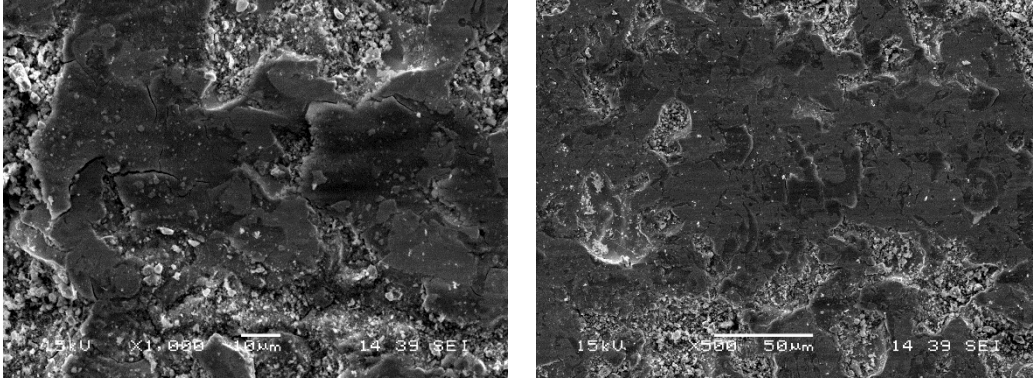
**Şekil 6.74.** 6 pasoda 3N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.74.'de 3 N yük altında 0,4m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yapıda plastik deformasyonların varlığından söz edebiliriz. Kaplama yapısında çatlaklar mevcuttur.



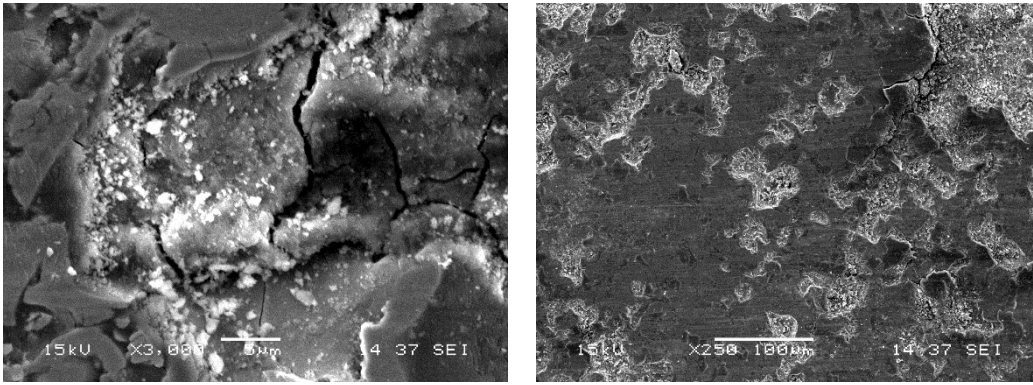
**Şekil 6.75.** 15 pasoda 5N yük altında, 200 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.75.'de 5 N yük altında 0,2m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yükün artması ile yapıdaki çatlakların oluşumu görüntülenmiştir.



**Şekil 6.76.** 15 pasoda 4N yük altında, 200 m mesafede 0,2 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.76.'da 4 N yük altında 0,2m/sn hızla 200 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde kaplama yüzeylerinden parçalar koptuğu ve plastik deformasyonun olduğu görülmektedir.



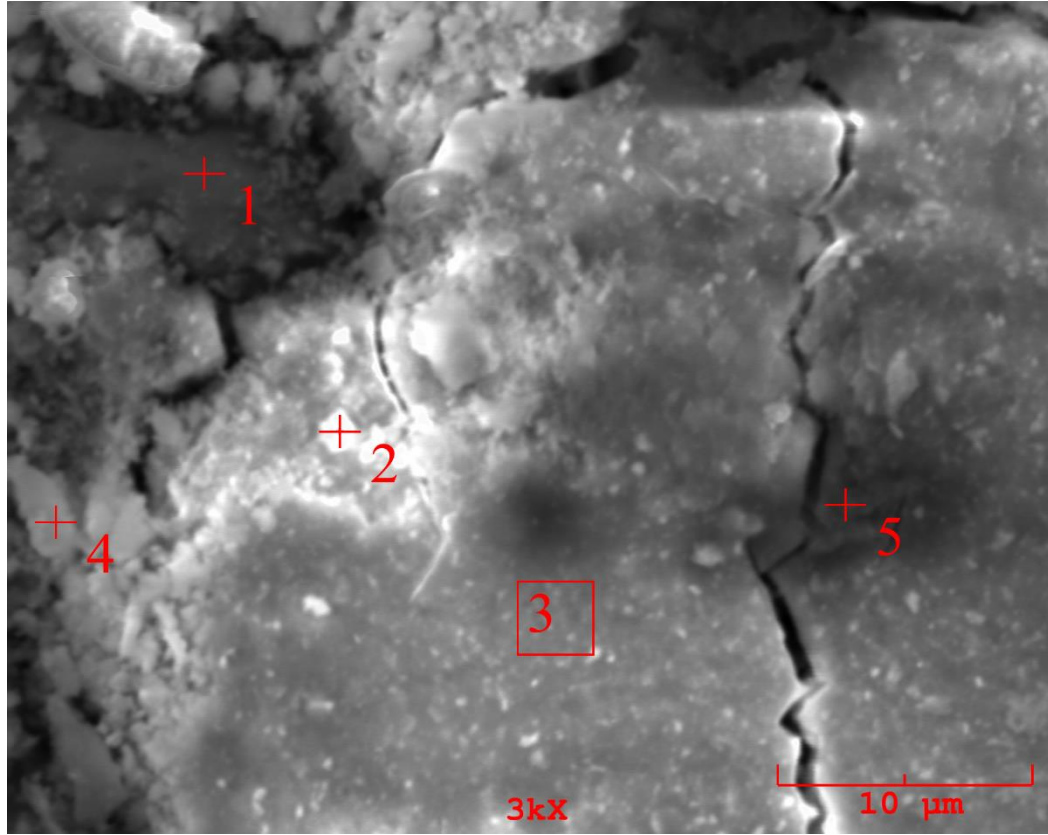
**Şekil 6.77.** 15 pasoda 5N yük altında, 300 m mesafede 0,4 m/sn hızda %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozundan oluşmuş numenelerin aşınma sonrası SEM görüntüleri

Şekil 6.77.'de 5 N yük altında 0,4m/sn hızla 300 metre mesafede aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun SEM görüntüleri incelendiğinde yük artışı ile beraber çatlak oluşumu gözlemlenmiştir.

EDS (Enerji saçınım spektrometresi) analizleri

%50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 (M numuneleri) ve %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımından (G numuneleri) elde edilen aşınma yüzeylerine EDS analizleri uygulanmıştır. Kaplama tozlarının içeriğinde bulunmamasına rağmen EDS analizlerinde Oksijen ve Alüminyum elementlerinin varlığına rastlanmıştır. Analiz neticesinde yapıda bulunan oksijen numunelerde oksitlenme olduğunu göstermektedir.

Abu-warda ve arkadaşlarının yaptığı uygulamalarda oksit varlığı yüksek seviye erime noktası ve düşük gözeneklilik içeriği sebebiyle kaplamanın koruyucu yapısının artmasına fayda sağladığını gözlemlenmiştir [27].



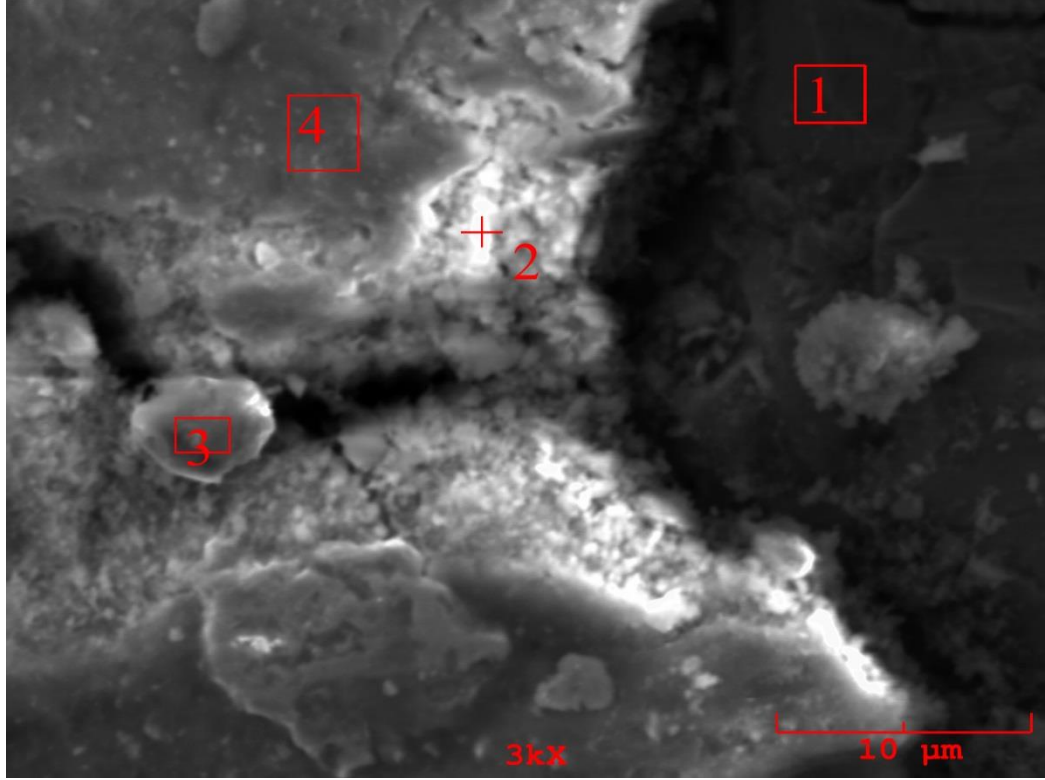
**Şekil 6.78.** 3N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü

**Tablo 6.9.** 3N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3, 4 ve 5 noktalarından alınmış EDS analizleri

Element, %wt	1	2	3	4	5
C	4.001	0.874	0.000	0.073	1.081
O	10.201	31.805	32.351	32.549	13.636
Al	0.000	3.188	2.053	3.639	0.876
Si	0.213	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	53.446	32.187	31.181	30.085	59.596
Co	0.787	1.655	0.189	1.643	0.784
Ni	30.077	19.224	21.617	21.501	20.980
W	1.277	11.066	12.609	10.510	3.046

Şekil 6.78.'de 3N yük altında 0,2 m/sn hızda 200m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımının EDS analizi verilmiştir. Görüntüyü incelediğimizde 5 numaralı bölgede çatlak gözlemlenmektedir. Bu çatlak

oluşumunda Krom elementinin yapıda yüksek çıkması etkili olmuştur. 2 numaralı bölgeye bakıldığında parlak bir görüntü gözükmektedir. Yapıdaki tungsten elementi bu bölgede yoğunlaşmıştır ve bölgede parlak bir yapı oluşumuna sebep olmuştur. Hong ve arkadaşları tarafından elde edilen bulgulardada olduğu gibi Şekil 6.78.'de görülen beyaz kütleler yapıdaki W elementini ifade etmektedir [35].

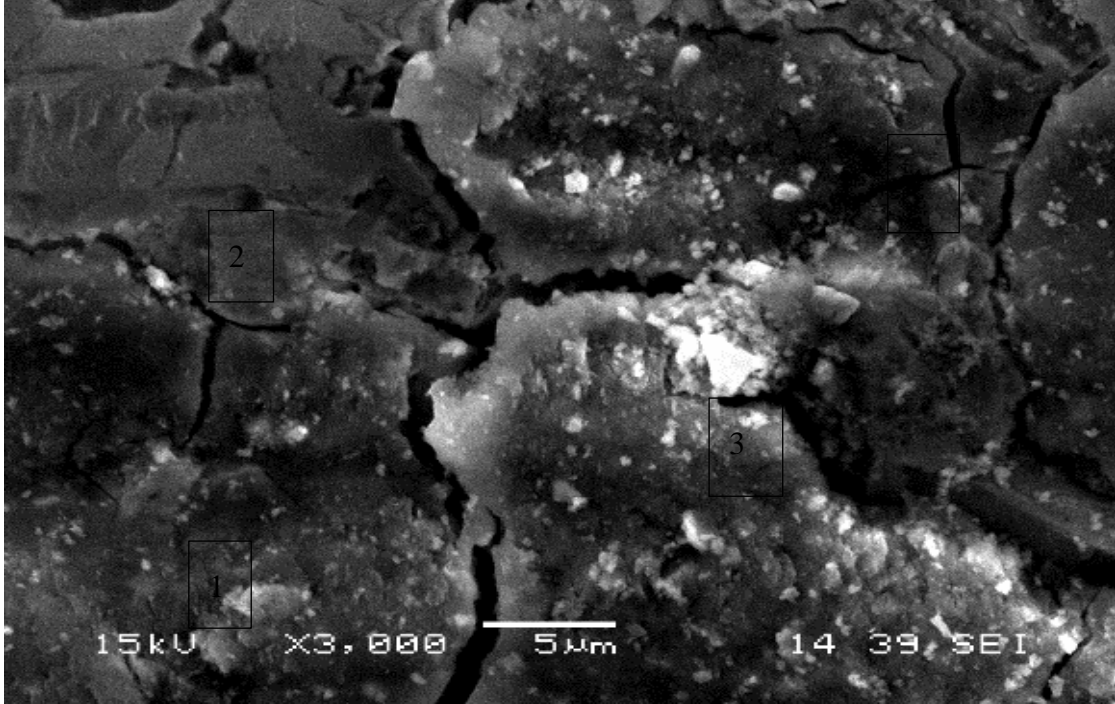


**Şekil 6.79.** 15 pasoda 4N yük altında 0,4 m/sn hızında 300 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü

**Tablo 6.10.** 4N yük altında 0,4 m/sn hızında 300 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3 ve 4 noktalarından alınmış EDS analizleri

Element, %wt	1	2	3	4
C	1.766	3.154	2.112	1.194
O	7.629	22.991	12.779	38.113
Al	0.134	2.083	0.481	2.095
Si	0.000	0.000	0.057	0.000
Cr	69.629	41.998	52.307	45.304
Co	0.291	0.279	0.719	0.344
Ni	19.257	10.107	29.170	10.848
W	1.294	20.389	2.375	2.101

Şekil 6.79.'de 4N yük altında 0,4 m/sn hızda 300m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımının EDS analizi verilmiştir. 3 numaralı bölgede krom elementi analizde en yüksek oranda çıkan elementtir. Görüntüye bakıldığında çatlak oluşumu görülen 3 numaralı bölgedeki krom elementinin fazla olması, kromun çatlak oluşumunda etkili rol oynadığını göstermektedir. 2 numaralı bölgede tungsten elementi diğer bölgelere göre daha yüksek çıkmıştır. Bu bölgenin parlak olması bu durum ile açıklanabilir.



**Şekil 6.80.** 6 pasoda 5N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü

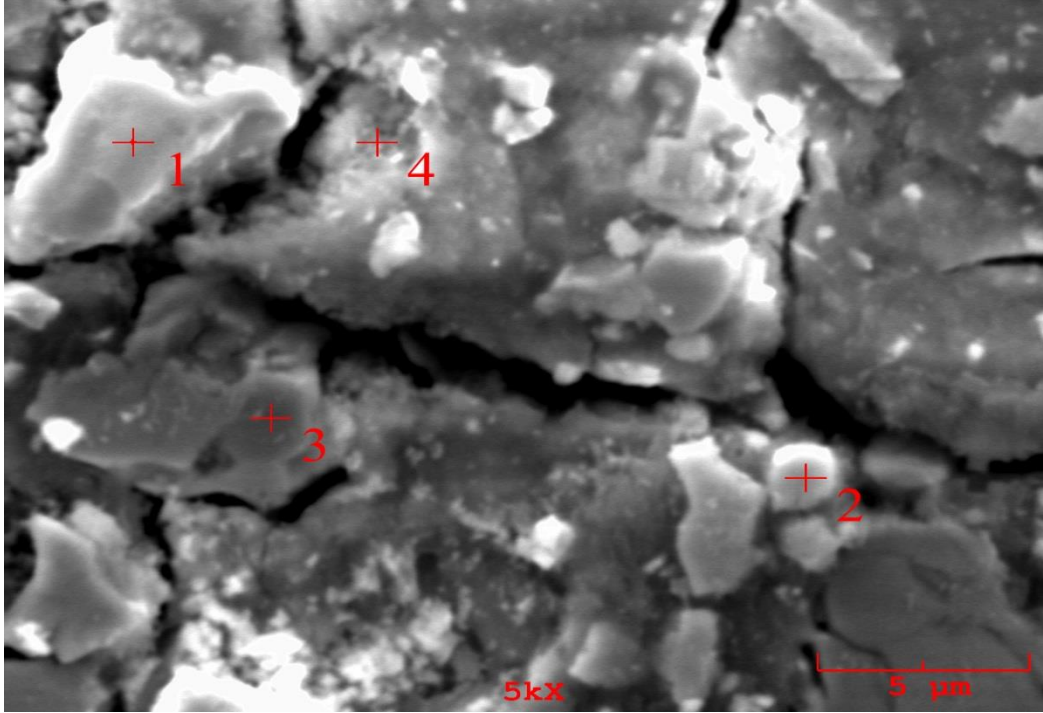
**Tablo 6.11.** 3N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3, 4 ve 5 noktalarından alınmış EDS analizleri

Element, %wt	1	2	3	4
C	2.343	2.641	0.000	3.801
O	33.673	43.440	2.840	26.429
Al	1.828	1.833	0.087	0.609
Si	0.000	0.000	0.070	0.000
Cr	44.439	37.383	76.643	56.585
Co	0.633	0.512	0.744	0.636
Ni	12.073	9.970	18.333	11.430
W	5.011	4.221	1.282	0.510

Şekil 6.80.'de 5N yük altında 0,2 m/sn hızda 200m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımının EDS analizi verilmiştir. Bu yapının 3 numaralı bölgesinde Tungsten



elementinin varlığından söz edilebilir. 4 numaralı bölgeye baktığımızda yapıdaki çatlak görülmektedir. Genel görüntüye bakıldığında dağılmış bir şekilde oksitli yapılar göze çarpmaktadır. Oksit oluşumunun sebebidir analizde oksijen miktarının fazla olduğu ile ispatlanmıştır. Oksijen alümina bilyadan da gelebilir veya açıkta kalan aşınma yüzeyleride atmosferden dolayı oksitlenmiş olabilir.



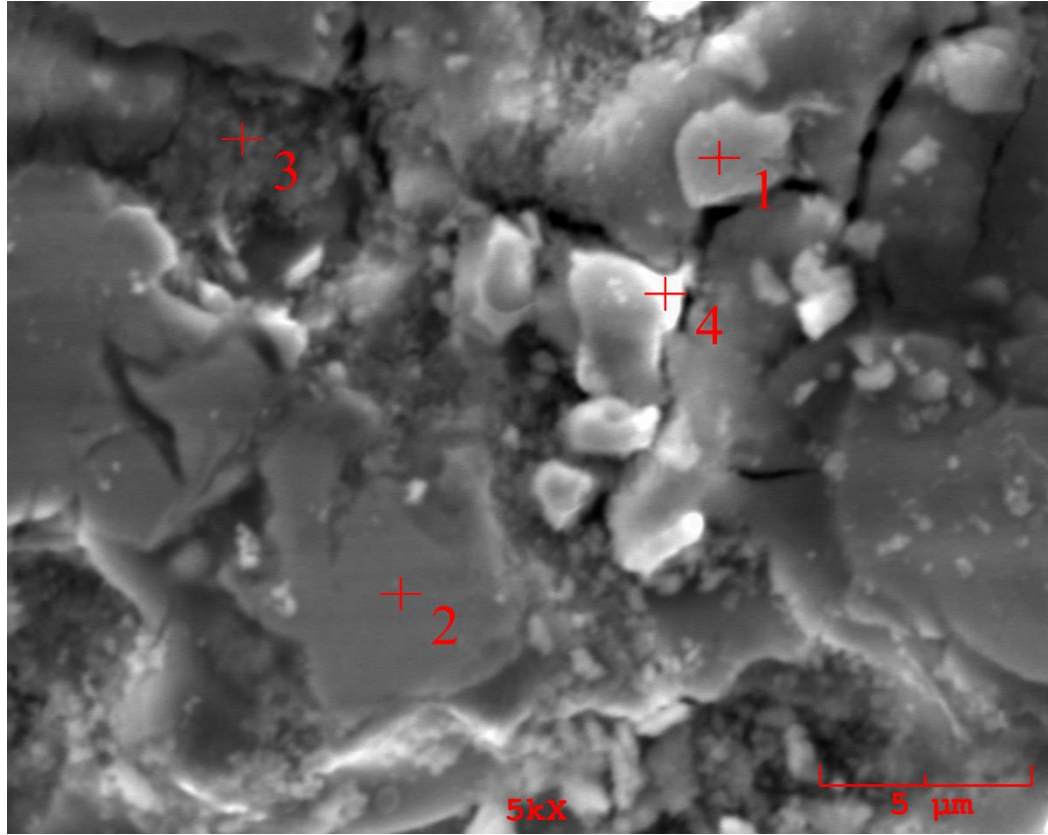
**Şekil 6.81.** 10 pasoda 4N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü

**Tablo 6.12.** 4N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3, 4 ve 5 noktalarından alınmış EDS analizleri

Element, %wt	1	2	3	4
C	3.175	3.542	5.821	0.243
O	6.490	11.034	6.759	34.311
Al	0.086	0.182	0.008	0.987
Cr	56.405	67.056	80.703	47.667
Co	0.315	0.534	0.163	0.331
Ni	29.855	16.620	0.601	12.140
W	3.673	1.032	5.946	4.321

Şekil 6.81.'de 4N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü verilmiştir. Görüntüde oldukça dağılmış bir yapı görülmektedir. Oksijen miktarının fazla olması

yapıdaki oksitli yapı miktarının artmasına sebebiyet vermiş, böylelikle aşınma görüntüsünde yüzeyde dağınık bir biçimde gözlemlenmiştir.



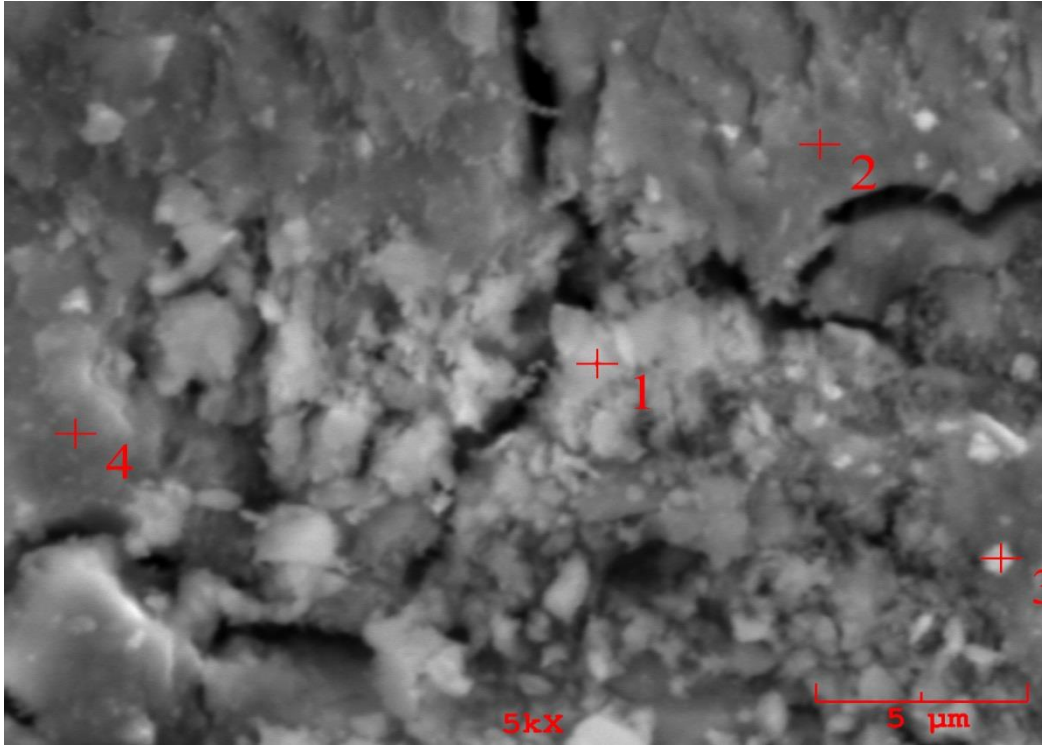
**Şekil 6.82.** 4N yük altında 0,2 m/sn hızında 300 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü

**Tablo 6.13.** 4N yük altında 0,2 m/sn hızında 300 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3, 4 ve 5 noktalarından alınmış EDS analizleri

Element, %wt	1	2	3	4
C	3.091	3.287	1.424	3.763
O	7.768	7.148	37.272	19.493
Al	0.117	0.132	0.516	0.217
Cr	66.239	74.388	45.283	53.371
Co	0.553	0.079	0.452	0.577
Ni	20.273	13.405	11.597	17.352
W	1.960	1.561	3.457	5.228

Şekil 6.82.'de 4N yük altında 0,2 m/sn hızında 300 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü

verilmiştir. Oksijen miktarında oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiş, aşınma sonrasında oksitli yapılar dağılarak şekildeki görüntüyü vermiştir.



**Şekil 6.83.** 5N yük altında 0,2 m/sn hızında 300 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü

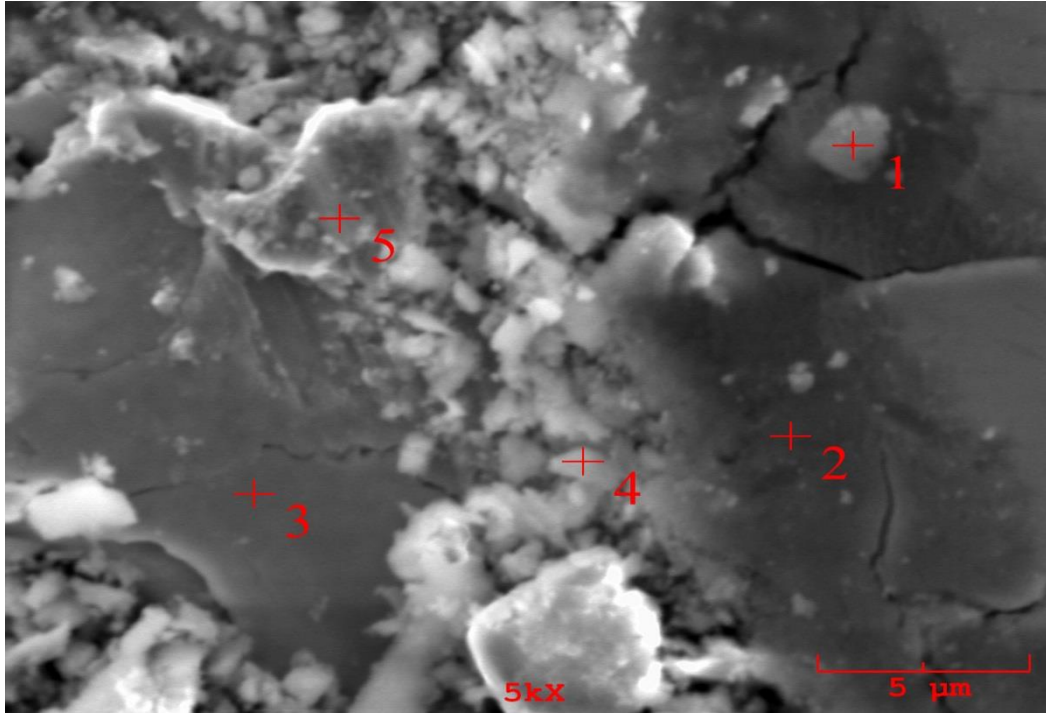
**Tablo 6.14.** 5N yük altında 0,2 m/sn hızında 300 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3, 4 ve 5 noktalarından alınmış EDS analizleri

Element, %wt	1	2	3	4
C	1.271	0.946	2.200	1.303
O	37.288	39.301	40.450	42.899
Al	2.210	1.976	2.503	2228
Cr	43.940	41.600	41.069	39036
Co	0.326	0.858	0.748	0.355
Ni	9.295	10.436	10.892	9005
W	5.669	4.884	2.138	5.174

5N yük altında 0,2 m/sn hızla 300 metre mesafede aşınan aşınan %100 Sulzer Metco 7202 karışım tozunun EDS görüntüleri incelendiğinde 1, 2 ve 4 numaralı yüzeyde parça kopmaları gözlemlenmiştir. Bu numunenin sürtünme katsayısı oldukça yüksek değerlere karşılık gelmektedir. 1 numaralı bölgede Krom elementinin fazla olduğu gözlemlenmiştir. Aynı bölgedeki çatlak oluşumu krom elementi ile doğrudan çatlağın



sebeplerinden birtanesi olduğu söylenebilir. Görüntüde matrise tungstenin homojen dağıldığı görülmektedir. Bu malzemenin sertlik değerinin fazla olması matristeki tungsten içeriğinin homojen dağılımından kaynaklanmaktadır.

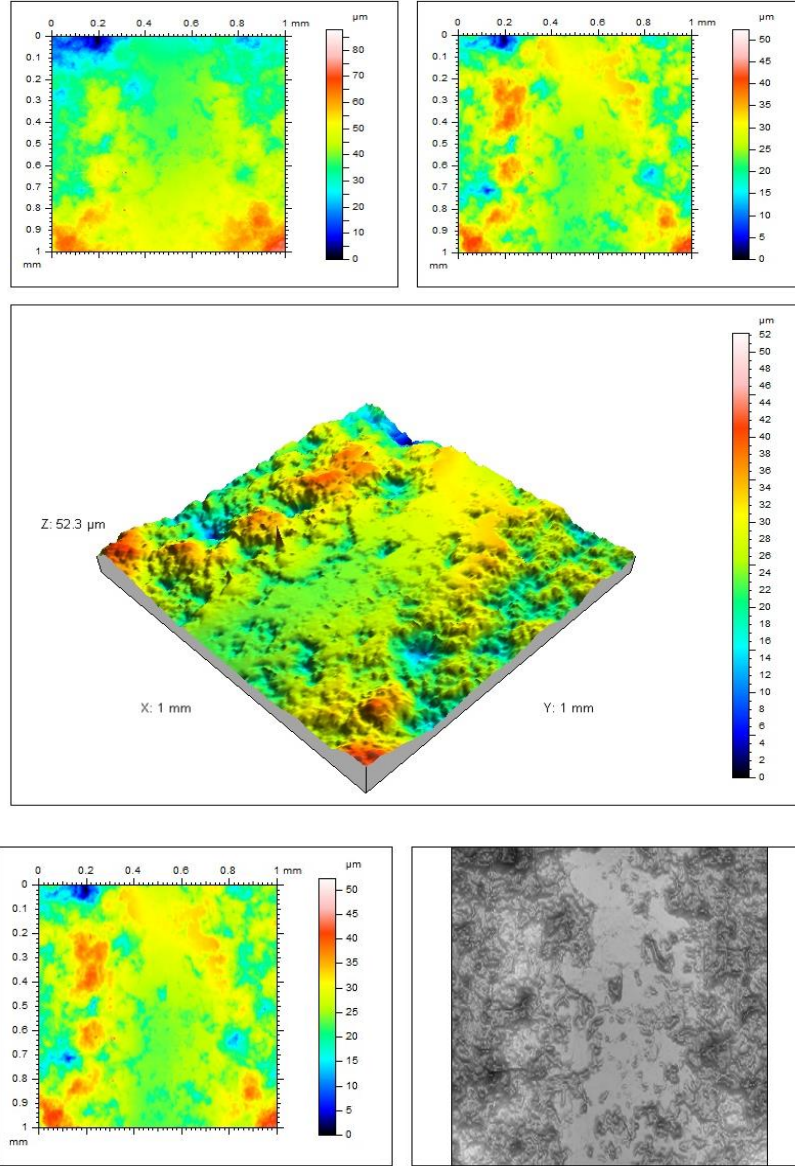


**Şekil 6.84.** 3N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü

**Tablo 6.15.** 3N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama numunesinin 1, 2, 3, 4 ve 5 noktalarından alınmış EDS analizleri

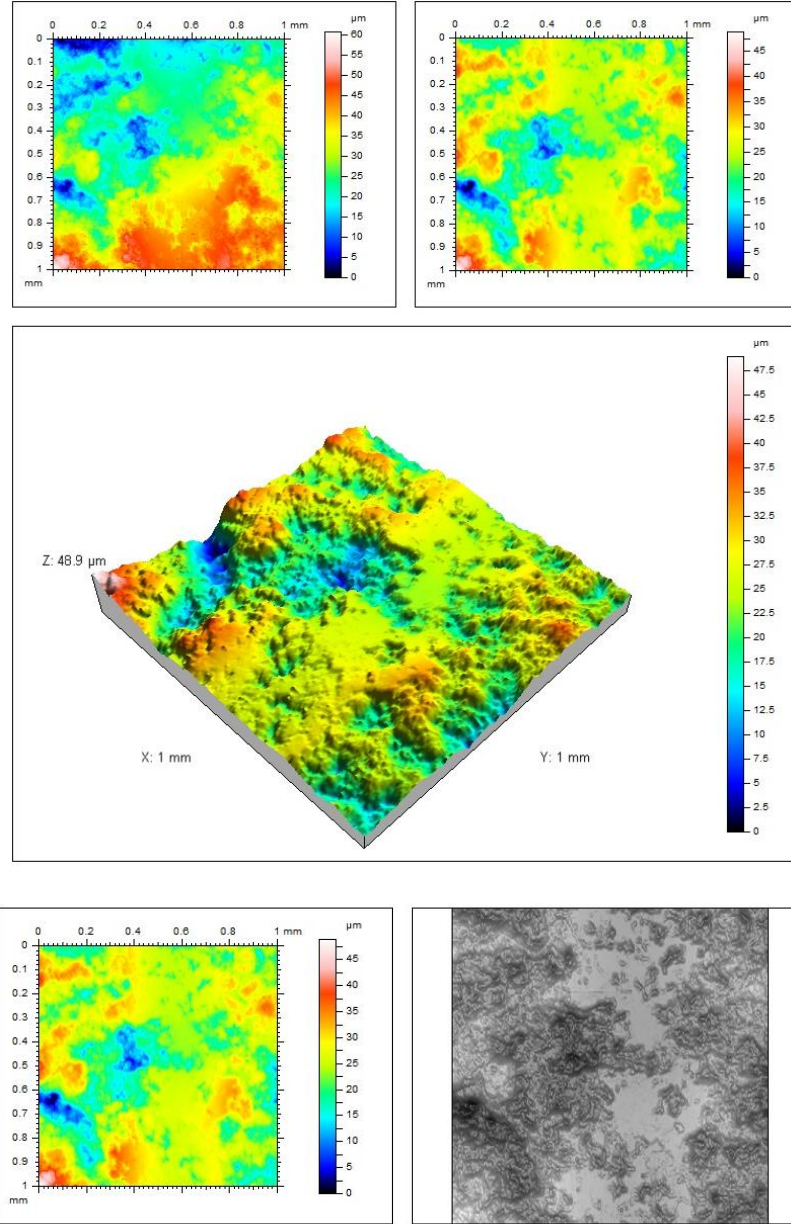
Element, %wt	1	2	3	4	5
C	1.161	1.190	2.642	0.489	3.060
O	17.748	26.056	7.711	25.147	12.717
Al	0.572	10.016	0.221	0.674	0.442
Cr	61.842	48.163	72.142	56516	67864
Co	0.511	0.628	0.470	0.472	0.405
Ni	16.281	9.501	15.755	13693	14074
W	1.884	4.446	1.059	3.010	1.439

Şekil 6.84.'de 3N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplama EDS görüntüsü verilmiştir. Yapıdaki Alümina miktarının fazla olması aşındırıcı bilyanın yapıya geçtiğini göstermektedir.



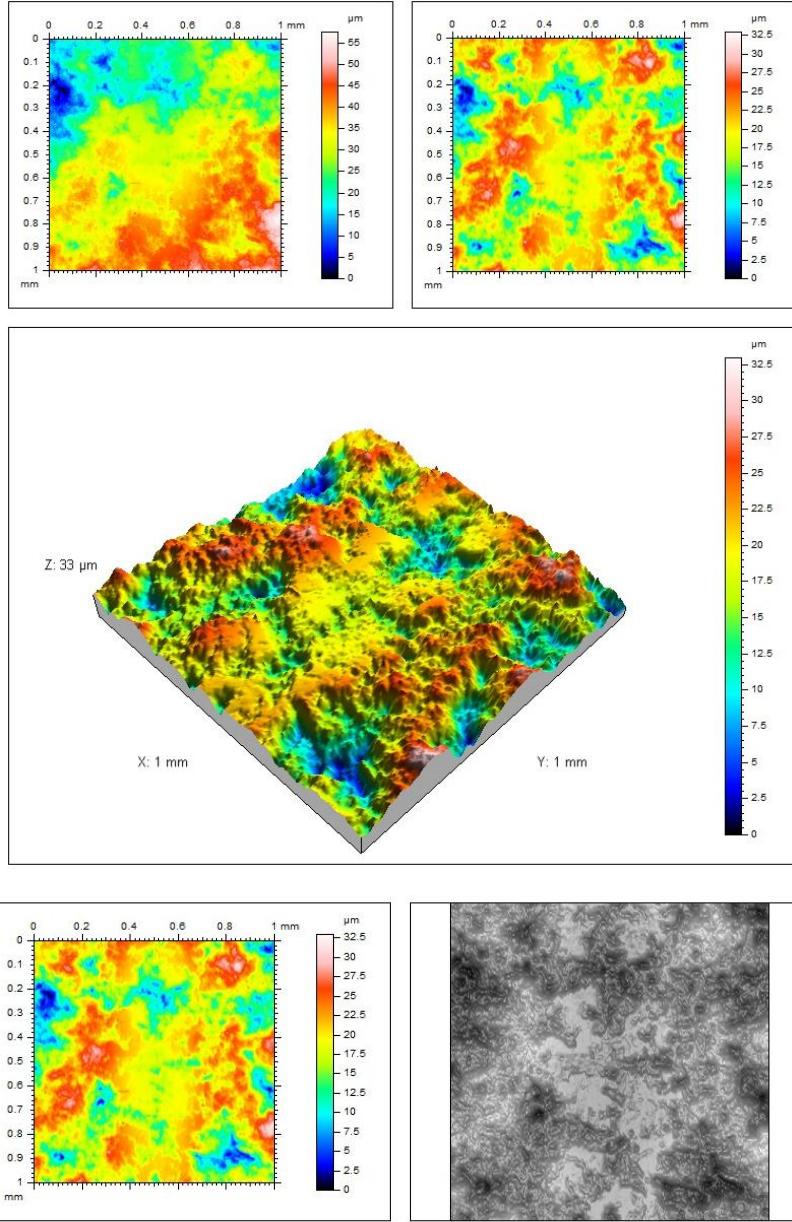
**Şekil 6.85.** 5N yük altında 0,4 m/sn hızında 300 m mesafede %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplamaların 3D profimetre görüntüleri

Şekil 6.85.'de 5N yük altında 0,4 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplamaların 3D profimetre görüntüleri incelendiğinde diğer görüntülere kıyasla aşınma değerini en yüksek görüntüyü elde ettiğimiz gözlemlenmektedir. Yük artışına bağlı aşınma oranında artma meydana gelmesi sonucu oluşan görüntüde aşınma deneyenin düzgün bir şekilde yapıldığı görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü olarak diğer numunelerle kıyaslandığında yüzey pürüzlülüğü en az olan görüntüdür.



**Şekil 6.86.** 4N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplamaların 3D profimetre görüntüleri

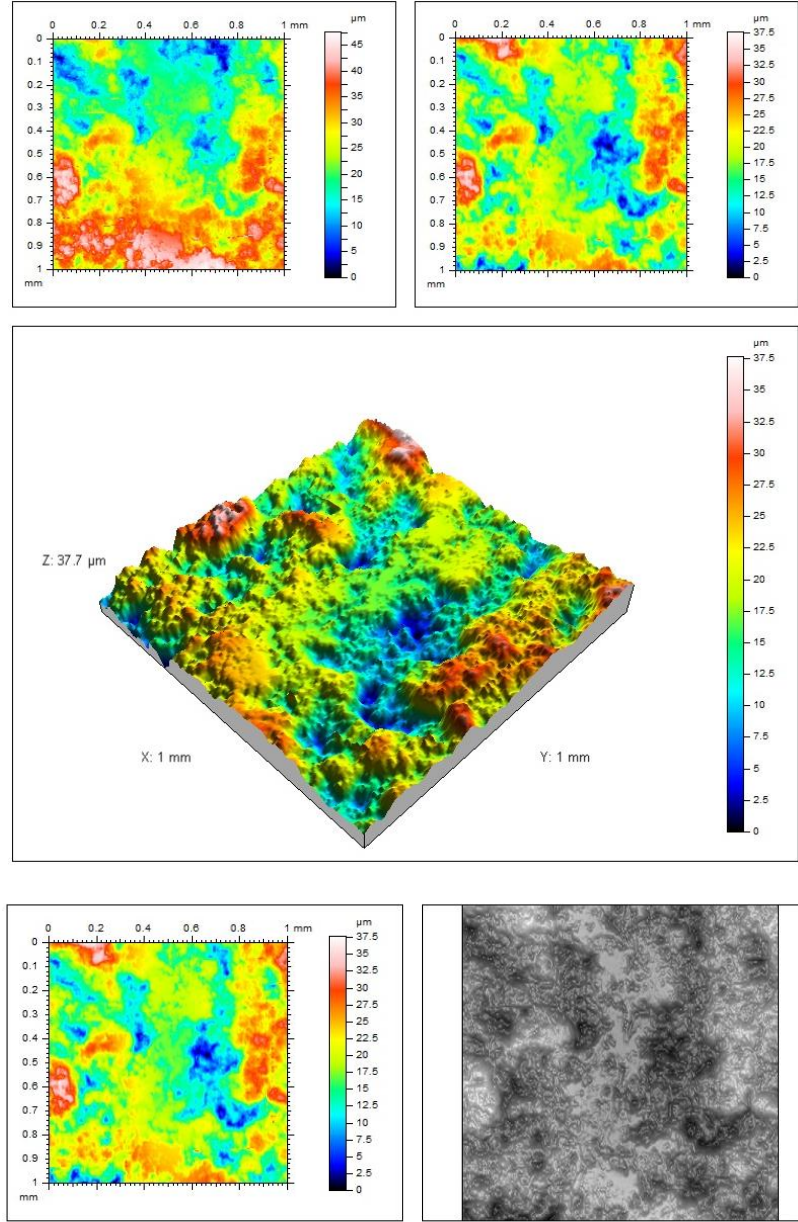
Şekil 6.86.'da 4N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplamaların 3D profimetre görüntüleri verilmiştir. Aşınma değeri en yüksek ikinci görüntü olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.87.** 3N yük altında 0,2 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 toz kullanılarak hazırlanan kaplamaların 3D profimetre görüntüleri

Şekil 6.87.'de 3N yük altında 0,4 m/sn hızında 200 m mesafede %50Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 toz karışımı kullanılarak hazırlanan kaplamaların 3D profimetre görüntüleri verilmiştir. Aşınma değeri azdır. Yüzey pürüzlülüğü en fazla numune grubu bu gruptur. Şekil 6.69 numunesine ait olan görüntüdür. Krom elementi fazladır. Aşınma iz genişliği düşüktür.





**Şekil 6.88.** 3N yük altında 0,4 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 toz kullanılarak hazırlanan kaplamaların 3D profimetre görüntüleri

Şekil 6.88.'de 3N yük altında 0,4 m/sn hızında 200 m mesafede %50 Diamalloy 2002 +%50 Sulzer Metco 7202 toz kullanılarak hazırlanan kaplamaların 3D profimetre görüntüleri verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde aşınma değerinin az olduğu anlaşılmaktadır.



## 7. SONUÇLAR VE İRDELEME

### 7.1. Giriş

Bu deneysel çalışmada, AISI 316 paslanmaz çelik üzerine HVOF termal püskürtme metodu ile farklı oranlarda hazırlanmış alaşım tozlar kaplanarak yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. İlk numunemizde %50 Diamalloy 2002 ve %50 Sulzer Metco 7202 toz karışımından hazırlanmış, ikinci numunemiz ise %100 Sulzer Metco 7202 tozu kullanılarak paslanmaz çelik yüzeye kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

316 paslanmaz çelik altlık malzemeye HVOF uygulanmış ve metalografik uygulamalar gerçekleştirilen numunelerin optik mikroskop ile kaplama görüntüleri incelenmiştir. Bu numunelerin yüzeylerine bakılması için stereo görüntüleri alınmıştır. Numunelere XRD analizleri yapılmış, SEM görüntüleri çekilmiş ve numunelere elementel analizler yapılarak yorumlanmıştır. Daha sonra aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri yük, yol, mesafe ve paso sayısı parametreleri olarak karşılaştırılmıştır. 3N, 4N ve 5N yük, 0,2 m/sn ve 0,4 m/sn hız, 200metre ve 300 metre yol mesafesi ve son olarak 6, 10, 15 paso sayısı kullanılmıştır. Aşınma deneyi sonrası SEM ve EDS görüntüleri alınıp yorumlanmıştır. 3D profimetre deneyleri gerçekleştirilmiştir.

### 7.2. Sonuçlar

Deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir;

1. Optik görüntülerden %50 Diamalloy 2002 ve %50 Sulzer Metco 7202 tozunun kaplama kalınlığı 213 µm olarak ölçülmüştür. %100 Sulzer Metco 7202 toz kaplama sonrası tabaka kalınlığı ise 232 µm olarak ölçülmüştür. Aynı parametrelerde kaplanan numunelerin farklı kaplama kalınlıklarına sahip olma durumu toz birleşim oranları ile bağdaştırılabilir.
2. Numunelerin kaplama kesit görüntüleri değerlendirildiğinde %50 Diamalloy 2002- %50 Sulzer Metco 7202 toz karışımında poroz yapılar meydana gelmiştir. Bu durum karışım tozlarındaki yapının ve boyutlarının farklılığından kaynaklanmış ve homojen ergimeme durumu yaşanmış olmasından

kaynaklanmaktadır. Bazı durumlarda deney aşamasında kullanılan cihaz kaynaklı da oluşabilmektedir.

3. Kaplama sonrası numunelerin X ışınları analizlerinde WC, W<sub>2</sub>C, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> fazlarına rastlanılmıştır. %100 Sulzer Metco 7202 toz karışımında ayrıca Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> fazı oluşmuştur. Her iki numunede de sert faz olan WC ve W<sub>2</sub>C fazları ortaya çıkmıştır. %50 Diamalloy 2002 ve %50 Sulzer Metco 7202 tozuna ait kaplamada daha yüksek oranda bahsi geçen fazlar mevcuttur. Bu sert fazlar kaplama yüzeyinin mekanik özelliklerini (aşınma ve sertlik) geliştirmiştir. Literatürde de bu konuda pek çok çalışma görülmüştür
4. Numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde sertlikler arasında oluşan farkın toz bileşen farkından olduğu görülmüştür. %50 Diamalloy 2002 + %50 Sulzer Metco 7202 numunesinde WC içeriğinden dolayı yapısına yumuşak fazların girmemesi nedeniyle sertlik değeri daha yüksek kalmıştır. Gözeneklilik arttıkça sertlik azalmaktadır.
5. Aşınma parametrelerinden biri olan paso sayıları incelendiğinde paso sayılarındaki artış aşınma oranlarında düşüş meydana getirmiştir. Aynı yük, hız ve mesafedeki numuneler incelendiğinde genellikle paso sayıları ile aşınma oranlarının ters orantı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır.
6. Aşınma deneyleri; 200 m ve 300 m yol, 0,2 m/s ve 0,4 m/s hız, yük ise 3N, 4N ve 5N’da alınarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan aşınma deneyi neticesinde %50 Diamalloy 2002 - %50 Sulzer Metco 7202 toz karışım numunesinde en yüksek iz genişliği (585 µm) 4N yük altında 0,2 m/s hızda ve 300 metrede elde edilmiştir. %100 Sulzer Metco 7202 numunesinde en yüksek iz genişliği (1190 µm) 3N yük altında 0,4 m/s hızda ve 300 metrede ulaşılmıştır. Aynı mesafede yük arttırıldığında ise iz genişliklerinin düştüğü görülmüştür.
7. Aşınma numunelerinde aşınma miktarı artışı sürtünme katsayı değerlerini lineer olarak arttırmaktadır.
8. Aşınma testlerinin ardından %50 Diamalloy 2002 tozu ve %50 Sulzer Metco7202 toz karışımlarının SEM görüntüleri incelendiğinde porozite varlığı, çatlak oluşumları, yüzeyden kopmalar görülmektedir. Bu toz karışımının biraz daha sert olması bu durumu olağan hale getirmiştir. Aşınma deneyleri yapılan bu numunelerde yük arttırıldığında çatlaklarda derinlikler, yol mesafesi arttırıldığında yer yer yorulma aşınma davranışları görülmektedir. Mesafe



arttırımına gidildiğinde yorulma davranışlarının görülmesi olağan bir durumdur.

9. Aşınma deneyinden sonra yapılan EDS analizlerinde aşındırıcı bilyanın aşınan yüzey yapısına geçtiği görülmektedir. Aşınma ürünleri içerisinde bilyadan parçalar bulunmaktadır.
10. Aşınma deneyleri açık ortamda gerçekleştiği için oksitlenmeler görülmektedir.
11. %50 Diamalloy 2002 tozu ve %50 Sulzer Metco 7202 karışım tozlarının aşınma yüzeylerinin topografik yapısı incelendiğinde; %100 Sulzer Metco 7202 tozu kaplamasında nispeten daha pürüzsüz yüzeyler elde edilmiştir. %100 saf tozdan kaplama yapıldığında homojenlik sağlanmış ve karışım toza kaplamalara göre daha pürüzsüz yüzeyler oluşmuştur.
12. Pürüzlülük değerlerine bakıldığında numunelerde yer yer kopmalar ve abrazif aşınmalar bulunmuştur.
13. Aşınan numune gruplarında pürüzlülük değerleri homojen değildir. Parametrelere bağlı aşınma derinlikleri ve yüzey topografyası aşınma miktarları ile paralellik göstermiştir.

Sonuç olarak; Deneysel çalışma sonunda HVOF püskürtme yöntemiyle yüzeyine kaplama yapılan AISI 316 paslanmaz çeliklerinin aşınma dayanımları artırılmış ve mekanik özellikleri geliştirilmiştir. Kısa bir sürede, ekonomik bir şekilde HVOF püskürtme yöntemi ile kaplanan çeliklerin yüzeyleri iyileştirilerek endüstriyel ve ekonomik açıdan avantajlı şekilde kullanılabilirler.

### 7.3. Öneriler

- Çalışmada kullanılan tozların konsantrasyonları değiştirilerek yeni deneysel çalışmalar yapılabilir.
- Farklı tozlar kullanılarak yapılan kaplamalardan oluşan deneyler, bu çalışma ile kıyaslanarak en iyi şartlara ulaşılabilir.
- 316 paslanmaz çeliğin yerine başka bir altlık malzeme kullanılarak incelemeler yapılabilir.
- HVOF ile kaplanan numunelere korozyon testleri yapılarak sonuçlar incelenebilir.
- Bu çalışmada uygulanan aşınma; yol, hız, zaman değerleri değiştirilerek yeni deneyler yapılabilir ve bu çalışma ile karşılaştırılabilir.
- HVOF parametreleri değiştirilerek karşılaştırma yapılabilir.
- Oksidasyon testleri yapılabilir.



## KAYNAKLAR

- [1]. G. Bolelli et al., "Properties of HVOF-sprayed TiC-FeCrAl coatings," *Wear*, vol. 418–419, pp. 36–51, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.WEAR.2018.11.002.
- [2]. H. Adarsha, C. S. Ramesh, N. Nair, K. M. Karisiddeshwaraswamy, and A. Chaturvedi, "Investigations on the Abrasive Wear Behaviour of Molybdenum Coating on SS304 and A36 using HVOF Technique," in *Materials Today: Proceedings*, 2018, vol. 5, no. 11, pp. 25667–25676, doi: 10.1016/j.matpr.2018.11.008.
- [3]. G. Y. Koga et al., "Corrosion and wear properties of FeCrMnCoSi HVOF coatings," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 357, pp. 993–1003, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.surfcoat.2018.10.101.
- [4]. W. J. Cheong, B. L. Luan, and D. W. Shoesmith, "Protective coating on Mg AZ91D alloy – The effect of electroless nickel (EN) bath stabilizers on corrosion behaviour of Ni–P deposit," *Corros. Sci.*, vol. 49, no. 4, pp. 1777–1798, Apr. 2007, doi: 10.1016/J.CORSCI.2006.08.025.
- [5]. D. Kalliopi K. Aligizaki, "Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance," *Anti-Corrosion Methods Mater.*, vol. 51, no. 1, p. 279, 2004, doi: 10.1108/acmm.2004.12851aae.001.
- [6]. W. H. Safranek, "Electroless Cobalt and Cobalt Alloys," in *English*, Reprint ed., G. Mallory and J. Hajdu, Eds. Orlando Fla.: American Electroplaters and Surface Finishers Society, 1969.
- [7]. L. Yu, W. Huang, and X. Zhao, "Preparation and characterization of Ni-P-nanoTiN electroless composite coatings," *J. Alloys Compd.*, vol. 509, no. 10, pp. 4154–4159, Mar. 2011, doi: 10.1016/J.JALLCOM.2011.01.025.
- [8]. E. SEVGİ and O. ÇULHA, "Isıl İşlem Şartlarının Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Özelliklerine Etkisi," *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Derg.*, vol. 23, no. 69, pp. 1033–1048, Sep. 2021, doi: 10.21205/DEUFMD.2021236929.
- [9]. A. Billard et al., "Emerging processes for metallurgical coatings and thin films," *Comptes Rendus Phys.*, vol. 19, no. 8, pp. 755–768, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.CRHY.2018.10.005.
- [10]. H. Omidvar, M. Sajjadnejad, G. Stremmsdoerfer, Y. Meas, and A. Mozafari, "Manufacturing Ternary Alloy NiBP-PTFE Composite Coatings by Dynamic Chemical Plating Process," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 31, no. 1, pp. 31–36, Jan. 2016, doi: 10.1080/10426914.2014.994753.
- [11]. "Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi » Makale » Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri." <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlisfen/issue/3702/49002> Erişim Tarihi: 09, 2022).

- [12]. “Ulusal Tez Merkezi | Anasayfa.” [https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=B5rSZieN-XmUHgGsdRJTdq&no=yeG5ibOHRtTnJLQ9l\\_SSPQ](https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=B5rSZieN-XmUHgGsdRJTdq&no=yeG5ibOHRtTnJLQ9l_SSPQ) Erişim Tarihi: 09, 2022.
- [13]. M. R. Ramesh, S. Prakash, S. K. Nath, P. K. Sapra, and N. Krishnamurthy, “Evaluation of thermocyclic oxidation behavior of HVOF-sprayed NiCrFeSiB coatings on boiler tube steels,” *J. Therm. Spray Technol.*, vol. 20, no. 5, pp. 992–1000, Dec. 2011, doi: 10.1007/S11666-010-9605-X/FIGURES/12. Erişim tarihi : 10,2022
- [14]. Ü. Zeybek, “Paslanmaz Çelikler Üzerine HVOF Yöntemi İle Wc Kaplamasının Özelliklerinin İncelenmesi,” Uşak Üniversitesi, Fen Bilim. Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [15]. Ö. Alparslan KAYA et al., “Plazma Püskürtme Yöntemiyle Çelik Levha Üzerine Farklı Alaşımların Kaplanması Coating of Different Alloys on Carbon Steel by Plasma Spray Method,” doi: 10.29137/umagd.372934.
- [16]. Z. E. Erkmen, “The Effect of Heat Treatment on the Morphology of D-Gun Sprayed Hydroxyapatite Coatings,” 1999, doi: 10.1002/(SICI)1097-4636(1999)48:6.
- [17]. “Plazma sprej termal bariyer kaplamaların ısıl ve mekanik özelliklerinin optimizasyonu.” <http://openaccess.ogu.edu.tr:8080/xmlui/handle/11684/1696?show=full> Erişim Tarihi:09, 2022.
- [18]. “Handbook of Thermal Spray Technology - Google Kitaplar.” [https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=S0PryYc9T70C&oi=fnd&pg=PA3&dq=Introduction+to+thermal+spray+coatings,+Handbook+of+Thermal+Spray+Technology.+2004.&ots=m81V2P01Er&sig=zwBPKjF1FTqTzIRD22aHprqOLL0&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Introduction+to+thermal+spray+coatings%2C+Handbook+of+Thermal+Spray+Technology.+2004.&f=false](https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=S0PryYc9T70C&oi=fnd&pg=PA3&dq=Introduction+to+thermal+spray+coatings,+Handbook+of+Thermal+Spray+Technology.+2004.&ots=m81V2P01Er&sig=zwBPKjF1FTqTzIRD22aHprqOLL0&redir_esc=y#v=onepage&q=Introduction+to+thermal+spray+coatings%2C+Handbook+of+Thermal+Spray+Technology.+2004.&f=false) Erişim Tarihi:. 09, 2022.
- [19]. S. Metco, “Sulzer Metco High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Solutions Sulzer Metco’s Unsurpassed Flexibility Delivers Optimized HVOF Surfacing Solutions with Proven Benefits and Value.”
- [20]. “Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.”
- [21]. J. S. Taylor, C. K. Syn, T. T. Saito, and R. R. Donaldson, “Surface Finish Measurements Of Diamond-Turned Electroless-Nickel-Plated Mirrors,” <https://doi.org/10.1117/12.7973947>, vol. 25, no. 9, pp. 1013–1020, Sep. 1986, doi: 10.1117/12.7973947.
- [22]. “İTÜ Akademik Açık Arşiv: A1sı 304 Ve 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına, Mekanik Özelliklerine Ve Korozyon Davranışlarına Soğuk Deformasyonun Etkileri.” <https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/9172> Erişim Tarihi: 09, 2022.

- [23]. “Döner Sürtünmeli Kaynak Makinaları | Sürtünmeli Kaynak Makinaları | Atalet Kaynakçıları.” [https://etatechnology.in/tr/sürtünme-kaynakçı/döner-sürtünmeli-kaynak-inişi/?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=r fw\\_turkey\\_tr&utm\\_term=sürtünme\\_kaynağı&utm\\_campaign=Friction+Welder&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=3517803137&hsa\\_cam=12447773175&hsa\\_grp=119269492478&hsa\\_ad=501820963817&hsa\\_src=g&hsa\\_tgt=kwd-1000466893830&hsa\\_kw=sürtünme\\_kaynağı&hsa\\_mt=p&hsa\\_net=adwords&hsa\\_ver=3&gclid=CjwKCAiAvaGRBhBLEiwAiY-yMLd5vRufSl-vUGCKeIzKro\\_qELRAq8qTTjv8mBaggUZSUgfla7VqhoCEf4QAvD\\_BwE](https://etatechnology.in/tr/sürtünme-kaynakçı/döner-sürtünmeli-kaynak-inişi/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=r fw_turkey_tr&utm_term=sürtünme_kaynağı&utm_campaign=Friction+Welder&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=3517803137&hsa_cam=12447773175&hsa_grp=119269492478&hsa_ad=501820963817&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-1000466893830&hsa_kw=sürtünme_kaynağı&hsa_mt=p&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=CjwKCAiAvaGRBhBLEiwAiY-yMLd5vRufSl-vUGCKeIzKro_qELRAq8qTTjv8mBaggUZSUgfla7VqhoCEf4QAvD_BwE) . Erişim Tarihi:09, 2022.
- [24]. J. Saaedi, T. W. Coyle, H. Arabi, S. Mirdamadi, and J. Mostaghimi, “Effects of HVOF process parameters on the properties of Ni-Cr coatings,” *J. Therm. Spray Technol.*, vol. 19, no. 3, pp. 521–530, Mar. 2010, doi: 10.1007/S11666-009-9464-5/FIGURES/9.
- [25]. M. Oksa, E. Turunen, T. Suhonen, T. Varis, and S. P. Hannula, “Optimization and Characterization of High Velocity Oxy-fuel Sprayed Coatings: Techniques, Materials, and Applications,” *Coatings 2011*, Vol. 1, Pages 17-52, vol. 1, no. 1, pp. 17–52, Sep. 2011, doi: 10.3390/COATINGS1010017.
- [26]. B. S. Necula, I. Apachitei, L. E. Fratila-Apachitei, C. Teodosiu, and J. Duszczuk, “Stability of nano-/micro-sized particles in deionized water and electroless nickel solutions,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 314, no. 2, pp. 514–522, Oct. 2007, doi: 10.1016/j.jcis.2007.05.073.
- [27]. N. Abu-warda, M. D. López, and M. V. Utrilla, “High temperature corrosion and wear behavior of HVOF-sprayed coating of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-NiAl on AISI 304 stainless steel,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 359, pp. 35–46, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.SURFCOAT.2018.12.047.
- [28]. C. Zheng et al., “Experimental study on the erosion behavior of WC-based high-velocity oxygen-fuel spray coating,” *Powder Technol.*, vol. 318, pp. 383–389, Aug. 2017, doi: 10.1016/J.POWTEC.2017.06.022.
- [29]. K. V. S. Rao, K. G. Girisha, K. Jamuna, and G. C. Tejaswini, “Erosion Behaviour of HVOF Sprayed SiC-WC-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> Multilayer Coating on 304 Stainless Steel,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 11, pp. 24685–24690, 2018, doi: 10.1016/J.MATPR.2018.10.266.
- [30]. Chakraborty, A., Singh, J. K., Sen, D., Pityana, S., Manna, I., Krishna, S., Majumdar, J. D., “Microstructures, wear and corrosion resistance of laser composite surfaced austenitic stainless steel (AISI 304 SS) with tungsten carbide,” *Opt. Laser Technol.*, no. 106585, p. 134, 2021.
- [31]. T. Y. Cho et al., “A study on HVOF coatings of micron and nano WC–Co powders,” *Surf. Coat. Technol.*, vol. 22–23, no. 202, pp. 5556–5559, Aug. 2008, doi: 10.1016/J.SURFCOAT.2008.06.106.

- [32]. S. Hong, Y. Wu, B. Wang, and J. Lin, "Improvement in Tribological Properties of Cr12MoV Cold Work Die Steel by HVOF Sprayed WC-CoCr Cermet Coatings," *Coatings* 2019, Vol. 9, Page 825, vol. 9, no. 12, p. 825, Dec. 2019, doi: 10.3390/COATINGS9120825.
- [33]. A. C. Karaoglanli, M. Oge, K. M. Doleker, and M. Hotamis, "Comparison of tribological properties of HVOF sprayed coatings with different composition," *Surf. Coatings Technol.*, vol. C, no. 318, pp. 299–308, May 2017, doi: 10.1016/J.SURFCOAT.2017.02.021.
- [34]. Z. B. Zheng, Y. G. Zheng, W. H. Sun, and J. Q. Wang, "Erosion–corrosion of HVOF-sprayed Fe-based amorphous metallic coating under impingement by a sand-containing NaCl solution," *Corros. Sci.*, vol. Complete, no. 76, pp. 337–347, Nov. 2013, doi: 10.1016/J.CORSCI.2013.07.006.
- [35]. S. Hong, Y. Wu, G. Li, B. Wang, W. Gao, and G. Ying, "Microstructural characteristics of high-velocity oxygen-fuel (HVOF) sprayed nickel-based alloy coating," *J. Alloys Compd.*, vol. 581, pp. 398–403, Dec. 2013, doi: 10.1016/J.JALLCOM.2013.07.109.

## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Batuhan ÖZER

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği PR. (YL)

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Y.Y.Ozbek , B.Ozer(2023, 28-31, Ocak). 2nd International Conference On Innovative Academic Studies. *International Conferance On Trends In Advanced Research*, Konya, Turkey.