

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

**Fe-B ESASLI SERT DOLGU ELEKTROT ALAŞIMININ  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE W, Nb VE Cr İLAVESİNİN ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Orhan AKYILDIZ**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**EYLÜL 2023**



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

**Fe-B ESASLI SERT DOLGU ELEKTROT ALAŞIMININ  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE W, Nb VE Cr İLAVESİNİN ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Orhan AKYILDIZ**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Uğur ŞEN**

**EYLÜL 2023**



Orhan AKYILDIZ tarafından hazırlanan “Fe-B Esaslı Sert Dolgu Elektrot Alaşımının Özellikleri Üzerine W, Nb ve Cr İlavesinin Etkisinin Araştırılması ” adlı tez çalışması 18.09.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### **Tez Jürisi**

**Jüri Başkanı :**           **Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ**           .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :**               **Prof. Dr. Uğur ŞEN** (Danışman)           .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :**               **Dr. Öğr. Üyesi Bülent KILINÇ**           .....  
Sakarya Uygulamalı Bilimler 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 “Fe-B ESASLI SERT DOLGU ELEKTROT ALAŞIMININ ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE W, Nb VE Cr İLAVESİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” 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, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(16/10/2023)

Orhan Akyıldız





*Kıymetli Aileme*



## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, çalışmalarımın tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Uğur ŞEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca değerli vakitlerini ayıran Prof. Dr. Şaduman ŞEN, Dr. Öğr. Üyesi Bülent KILINÇ, Dr. Öğr. Üyesi Engin KOCAMAN, Arş. Gör. Mustafa DURMAZ ve Metalurji Ve Malzeme Yüksek Mühendisi Recep HOCAOĞLU'na teşekkür ederim.

Laboratuvar imkanları konusunda yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Sakarya Üniversitesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, Fuat KAYIŞ, Erkut TAŞ ve Murat KAZANCI'ya teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca desteklerini her daim hissettiğim, bana sabır gösteren kıymetli aileme, eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Orhan Akyıldız



## 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>SİMGELER</b> .....	<b>xv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xix</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xxv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. SERT YÜZEY KAPLAMA (ALAŞIMLAMA)</b> .....	<b>3</b>
2.1. Sert Yüzey Kaplamalar .....	3
2.2. Sert Yüzey Alaşım Çeşitleri .....	4
2.2.1. Demir esaslı sert yüzey alaşımlar .....	5
2.2.2. Nikel esaslı sert yüzey alaşımlar .....	6
2.2.3. Kobalt esaslı sert yüzey alaşımlar .....	6
2.2.4. Bakır esaslı sert yüzey alaşımlar .....	7
2.2.5. Tungsten karbür esaslı sert yüzey alaşımlar .....	7
2.2.6. Krom karbür esaslı sert yüzey alaşımlar .....	8
2.2.7. Yüksek silisyumlu sert yüzey alaşımlar .....	8
2.2.8. Kompozit esaslı sert yüzey alaşımlar .....	8
2.3. Sert Yüzey Kaplama Yöntemleri .....	9
2.3.1. Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı yöntemi .....	10
2.3.2. TIG kaynak yöntemi .....	11
2.3.3. MIG-MAG kaynak yöntemi .....	11
2.3.4. Toz altı ark kaynak yöntemi .....	11
2.3.5. Plazma ark kaynak yöntemi .....	12
2.3.6. Özlü tel ark kaynak yöntemi .....	12
2.3.7. Lazer kaynak yöntemi .....	13
2.3.8. Oksi asetilen kaynak yöntemi .....	13
2.4. Sert Yüzey Kaplama Alaşım Seçimi .....	14
2.5. Sert Yüzey Kaplama Yöntem Seçimi .....	15
<b>3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>19</b>
3.1. Borürler .....	19
3.1.1. Tungsten borürler .....	19
3.1.2. Niyobyum borürler .....	19
3.1.3. Krom borürler .....	20
3.1.4. Demir borürler .....	21
3.2. Üçlü Sistemler .....	22
3.2.1. Fe-Cr-B üçlü sistemi .....	22
3.2.2. Fe-Nb-B üçlü sistemi .....	22

3.2.3. Fe-W-B üçlü sistemi .....	22
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>25</b>
4.1. Giriş .....	25
4.2. Elektrot Tasarımı ve Üretimi.....	26
4.2.1. Kullanılan hammaddeler ve altlık .....	26
4.2.2. Elektrot bileşim tasarımı ve gruplandırılması .....	27
4.2.3. Kalıp tasarımı ve üretimi.....	29
4.3. Elektrot Üretimi.....	29
4.4. Kaynak İşlemi.....	30
4.5. Karakterizasyon İşlemi.....	30
4.5.1. Mikroyapı analizleri .....	31
4.5.2. Faz analizleri .....	31
4.5.3. Sertlik testleri .....	31
4.5.4. Aşınma testleri.....	32
<b>5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI .....</b>	<b>33</b>
5.1. Arayüzey İncelemesi .....	33
5.2. Mikroyapı ve Faz Analizleri.....	34
5.2.1. 1. grup.....	34
5.2.2. 2. grup.....	38
5.2.3. 3. grup.....	41
5.2.4. 4. grup.....	44
5.2.5. 5. grup.....	50
5.2.6. 6. grup.....	55
5.2.7. 7. grup.....	60
5.3. Sertlik Testleri .....	65
5.3.1. 1. grup.....	65
5.3.2. 2. grup.....	66
5.3.3. 3. grup.....	67
5.3.4. 4. grup.....	68
5.3.5. 5. grup.....	69
5.3.6. 6. grup.....	70
5.3.7. 7. grup.....	71
5.4. Aşınma Testleri .....	72
5.4.1. 1. grup.....	72
5.4.2. 2. grup.....	78
5.4.3. 3. grup.....	85
5.4.4. 4. grup.....	91
5.4.5. 5. grup.....	99
5.4.6. 6. grup.....	107
5.4.7. 7. grup.....	116
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>125</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>133</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>139</b>

## KISALTMALAR

<b>Ağ.</b>	: Ağırlıkça
<b>Bkz.</b>	: Bakınız
<b>EDS</b>	: Enerji dağılımı spektrometresi
<b>HRC</b>	: Rockwell sertlik değeri
<b>HV</b>	: Vickers sertlik değeri
<b>Kal.</b>	: Kalan
<b>M</b>	: Metal
<b>MAG</b>	: Metal aktif gaz
<b>MIG</b>	: Metal inert gaz
<b>MMK</b>	: Metal matrisli kompozit
<b>N</b>	: Newton
<b>SEM</b>	: Taramalı elektron mikroskobu
<b>TIG</b>	: Tungsten inert gaz
<b>XRD</b>	: X-ışını difraksiyonu
<b><math>\alpha</math>-Fe</b>	: Ferrit (alpha)
<b><math>\mu</math>m</b>	: Mikrometre





## SİMGELER

$\delta$	: Delta
$\gamma$	: Gama
$\mu$	: Sürtünme katsayısı
$\lambda$	: Lamda
$\alpha$	: Alfa



## TABLO LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Tablo 4.1.</b> Kullanılan tozların kimyasal bileşimleri (% ağırlıkça).....	26
<b>Tablo 4.2.</b> Örtü bileşimindeki flaks ve bağlayıcıların oranları.....	26
<b>Tablo 4.3.</b> Filmaşın tel kimyasal bileşimi (ağ.).....	27
<b>Tablo 4.4.</b> H08A altlık malzeme kimyasal bileşimi.....	27
<b>Tablo 4.5.</b> Elektrot bileşimleri.....	28



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Nb-B faz diyagramı [53].....	20
Şekil 3.2. Cr-B faz diyagramı [55].....	21
Şekil 4.1. Elektrot üretiminde kullanılan kalıp görseli .....	29
Şekil 4.2. Kaynak kesit görseli şematik gösterim .....	30
Şekil 4.3. Sert yüzey alaşımlama satıh taşlanmış numune görseli şematik gösterimi	31
Şekil 5.1. Sert yüzey kaplama yapılan numunelerin kesitlerinin SEM görüntüleri...	33
Şekil 5.2. 1. grup XRD paternleri .....	34
Şekil 5.3. Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi .....	36
Şekil 5.4. Fe <sub>16</sub> WB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi .....	37
Şekil 5.5. Fe <sub>15</sub> W <sub>2</sub> B <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi .....	38
Şekil 5.6. 2. grup XRD paternleri .....	39
Şekil 5.7. Fe <sub>16</sub> NbB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi .....	40
Şekil 5.8. Fe <sub>15</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi.....	41
Şekil 5.9. 3. grup XRD paternleri .....	42
Şekil 5.10. Fe <sub>16</sub> B <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi.....	43
Şekil 5.11. Fe <sub>15</sub> B <sub>3</sub> Cr <sub>2</sub> esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi.....	44
Şekil 5.12. 4. grup XRD paternleri .....	45
Şekil 5.13. Fe <sub>16</sub> WB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi .....	47
Şekil 5.14. Fe <sub>15</sub> WB <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi .....	48
Şekil 5.15. Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi	49
Şekil 5.16. 5. grup XRD paternleri .....	50
Şekil 5.17. Fe <sub>16</sub> WB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi .....	52
Şekil 5.18. Fe <sub>15</sub> WNbB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi ....	53
Şekil 5.19. Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi	54
Şekil 5.20. 6. grup XRD paternleri .....	55
Şekil 5.21. Fe <sub>16</sub> NbB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi .....	57
Şekil 5.22. Fe <sub>15</sub> WNbB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi ....	58
Şekil 5.23. Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi	59
Şekil 5.24. 7. grup XRD paternleri .....	60
Şekil 5.25. Fe <sub>16</sub> B <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi.....	62
Şekil 5.26. Fe <sub>15</sub> NbB <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi ....	63
Şekil 5.27. Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi	64
Şekil 5.28. 1. grup sert yüzey alaşımların mikro sertlik değerleri .....	65
Şekil 5.29. 1. grup sert yüzey alaşımların makro sertlik değerleri .....	66
Şekil 5.30. 2. grup sert yüzey alaşımların mikro sertlik değerleri .....	66
Şekil 5.31. 2. grup sert yüzey alaşımların makro sertlik değerleri .....	67
Şekil 5.32. 3. grup sert yüzey alaşımların mikro sertlik değerleri .....	67
Şekil 5.33. 3. grup sert yüzey alaşımların makro sertlik değerleri .....	68
Şekil 5.34. 4. grup sert yüzey alaşımların mikro sertlik ölçümleri .....	68
Şekil 5.35. 4. grup sert yüzey alaşımların makro sertlik değerleri .....	69
Şekil 5.36. 5. grup sert yüzey alaşımların mikro sertlik değerleri .....	69

<b>Şekil 5.37.</b> 5. grup sert yüzey alaşımlarının makro sertlik değerleri.....	70
<b>Şekil 5.38.</b> 6. grup sert yüzey alaşımlarının mikro sertlik değerleri .....	70
<b>Şekil 5.39.</b> 6. grup sert yüzey alaşımlarının makro sertlik değerleri.....	71
<b>Şekil 5.40.</b> 7. grup sert yüzey alaşımlarının mikro sertlik değerleri .....	71
<b>Şekil 5.41.</b> 7. grup sert yüzey alaşımlarının makro sertlik değerleri.....	72
<b>Şekil 5.42.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	74
<b>Şekil 5.43.</b> Fe <sub>16</sub> WB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	75
<b>Şekil 5.44.</b> Fe <sub>15</sub> W <sub>2</sub> B <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	76
<b>Şekil 5.45.</b> 1. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri .....	77
<b>Şekil 5.46.</b> 1. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları .....	77
<b>Şekil.5.47</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> (a), Fe <sub>16</sub> WB <sub>3</sub> (b) ve Fe <sub>15</sub> W <sub>2</sub> B <sub>3</sub> (c) bileşimlerine ait sürtünme mesafisine bağlı sürtünme katsayı değerleri .....	78
<b>Şekil 5.48.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	80
<b>Şekil 5.49.</b> Fe <sub>16</sub> NbB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	81
<b>Şekil 5.50.</b> Fe <sub>15</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	83
<b>Şekil 5.51.</b> 2. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri .....	84
<b>Şekil 5.52.</b> 2. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları .....	84
<b>Şekil.5.53.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> (a), Fe <sub>16</sub> NbB <sub>3</sub> (b) ve Fe <sub>15</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>3</sub> (c) bileşimlerine ait sürtünme mesafisine bağlı sürtünme katsayı değerleri .....	85
<b>Şekil 5.54.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	87
<b>Şekil 5.55.</b> Fe <sub>16</sub> B <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	88
<b>Şekil 5.56.</b> Fe <sub>15</sub> B <sub>3</sub> Cr <sub>2</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	89
<b>Şekil 5.57.</b> 3. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri .....	90
<b>Şekil 5.58.</b> 3. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları .....	90
<b>Şekil.5.59.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> (a), Fe <sub>16</sub> B <sub>3</sub> Cr (b) ve Fe <sub>15</sub> B <sub>3</sub> Cr <sub>2</sub> (c) bileşimlerine ait sürtünme mesafisine bağlı sürtünme katsayı değerleri .....	91
<b>Şekil 5.60.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	93
<b>Şekil 5.61.</b> Fe <sub>16</sub> WB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	94
<b>Şekil 5.62.</b> Fe <sub>15</sub> WB <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	95
<b>Şekil 5.63.</b> Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri.....	97

<b>Şekil 5.64.</b> 4. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri .....	98
<b>Şekil 5.65.</b> 4. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları .....	98
<b>Şekil.5.66.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> (a), Fe <sub>16</sub> WB <sub>3</sub> (b), Fe <sub>15</sub> WB <sub>3</sub> Cr (c) , Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr (d) bileşimlerine ait sürtünme mesafisine bağlı sürtünme katsayı değerleri .....	99
<b>Şekil 5.67.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri .....	101
<b>Şekil 5.68.</b> Fe <sub>16</sub> WB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri .....	102
<b>Şekil 5.69.</b> Fe <sub>15</sub> WNbB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri ....	103
<b>Şekil 5.70.</b> Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri ....	105
<b>Şekil 5.71.</b> 5. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri .....	106
<b>Şekil 5.72.</b> 5. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları .....	106
<b>Şekil.5.73.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> (a), Fe <sub>16</sub> WB <sub>3</sub> (b), Fe <sub>15</sub> WNbB <sub>3</sub> (c), Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr (d) bileşimlerine ait sürtünme mesafisine bağlı sürtünme katsayı değerleri .....	107
<b>Şekil 5.74.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri .....	109
<b>Şekil 5.75.</b> Fe <sub>16</sub> NbB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri .....	110
<b>Şekil 5.76.</b> Fe <sub>15</sub> WNbB <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri ....	112
<b>Şekil 5.77.</b> Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri ....	114
<b>Şekil 5.78.</b> 6. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri .....	115
<b>Şekil 5.79.</b> 6. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları .....	115
<b>Şekil.5.80.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> (a), Fe <sub>16</sub> NbB <sub>3</sub> (b), Fe <sub>15</sub> WNbB <sub>3</sub> (c), Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr (d) bileşimlerine ait sürtünme mesafisine bağlı sürtünme katsayı değerleri .....	116
<b>Şekil 5.81.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri .....	118
<b>Şekil 5.82.</b> Fe <sub>16</sub> B <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri .....	119
<b>Şekil 5.83.</b> Fe <sub>15</sub> NbB <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri ....	120
<b>Şekil 5.84.</b> Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri ....	121
<b>Şekil 5.85.</b> 7. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri .....	122
<b>Şekil 5.86.</b> 7. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları .....	122
<b>Şekil.5.87.</b> Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub> (a), Fe <sub>16</sub> B <sub>3</sub> Cr (b), Fe <sub>15</sub> NbB <sub>3</sub> Cr (c), Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr (d) bileşimlerine ait sürtünme mesafisine bağlı sürtünme katsayı değerleri .....	123





## **Fe-B ESASLI SERT DOLGU ELEKTROT ALAŞIMININ ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE W, Nb VE Cr İLAVESİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

### **ÖZET**

Sert yüzey alaşımlama, ağır, agresif ve aşındırıcı ortamlarda çalışan iş parçalarının yüzey performanslarını geliştirmek amacıyla uygulanan bir yüzey işlemidir. Bu yöntemde alaşım, altlığın sünekliği ve tokluğunda önemli bir kayıp olmaksızın sertliği ve aşınma direncini artırmak amacıyla kaynak yoluyla yumuşak bir malzemenin (genellikle düşük veya orta karbonlu çelikler) yüzeyine homojen olarak kaplanır. Bu yöntem sayesinde malzemelerin aşınma ve korozyon gibi malzeme kayıplarına neden olan zararlardan etkilenmesi azaltılarak malzeme ömrü önemli ölçüde artırılabilen, ekonomik kayıplar azaltılmakta, bakım onarım masrafları düşürülmekte, işçilik giderleri azaltılmakta ve aşınan parçaların değişimi sırasında üretime ara verme, makinelerin durdurulması gibi zaman kayıpları minimize edilmektedir. Bu yöntem, bütün bu sayılan kayıplar düşünüldüğünde çok büyük bir ekonomik kazanç sağlamaktadır. Bu amaçla, bu çalışma kapsamında üretilen ve çalışılan Fe-B esaslı sert yüzey alaşımları özellikleri bakımından önemli ve umut vaat edici sonuçlar sunmuştur. Yine bu çalışmada, Fe-B esaslı sert yüzey alaşımlara, W, Nb ve Cr ilavesinin özellikler üzerine ne gibi etkiler yapacağı araştırılmıştır. Ayrıca, önceden bileşimi belirlenen Fe-B alaşım tozu, ferro-alaşımlar kullanılarak ve içerisine değişik oranlarda W, Nb ve Cr elementleri yine ferro-tungsten, ferro-niyobyum ve ferro-krom tozlar kullanılarak ilave edilmiştir. Elde edilen karışım önce halkalı değirmende öğütülerek alaşım tozu haline getirilmiştir. Daha sonra, bu alaşım tozlarının içerisine fuluşpat, kuvars, alginatlar, camsuyu gibi ilaveler yapılarak toz karışımı kalıpta şekil almasını kolaylaştıracak plastik bir hale getirilmiştir. Önceden hazırlanmış kalıplara tel çubuk elektrotlar yerleştirildikten sonra hazırlanan plastik karışım presle kalıp içerisine enjekte edilerek çubuğun etrafı kaplanmıştır. Kurutma ve pişirme işlemleri ile üretilmiş olan elektrotlar, klasik örtülü elektrot kaynak yöntemiyle AISI 1020 çelik altlık plaka üzerine alaşımlama yapılmıştır. Üretilen plakalar içerdikleri W, Nb ve Cr miktarına bağlı olarak, metalografik olarak hazırlanarak, optik ve taramalı electron mikroskoplarında incelenmiştir. Yine X-ışınları difraksiyon analizi ile oluşan intermetalik bileşikler tespit edilmiştir. Mikro ve makro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca ball on disk tekniği ile sert aşındırıcı bilyeye karşı aşınma deneyleri yapılmıştır. Böylelikle üretilen yüzey alaşımının performansları ölçülerek muadilleri ile karşılaştırılmıştır.



## **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ADDED W, Nb AND Cr ON THE PROPERTIES OF Fe-B BASED HARD FILLER ELECTRODE ALLOY**

### **SUMMARY**

Hard surface treatments are surface treatments applied to increase the surface performance of heavy, aggressive and abrasive workpieces. In this method, the alloy is homogeneously coated with a soft material (usually low- or medium-carbon steels) by welding in order to increase durability and wear resistance without significant loss in the ductility and toughness of the substrate. Thanks to this method, the lifespan can be increased significantly by reducing the losses that cause material losses such as wear and tear, economic losses are reduced, maintenance and repair interruptions are reduced, labor costs are reduced, and the time such as interrupting production and stopping machines during wear and tear is minimized. This method provides a huge economic gain when all these losses are considered. For this purpose, the Fe-B based hard surface alloys produced and studied within the scope of this study have provided important and promising results in terms of their properties. However, the effects of W, Nb and Cr addition on the properties of these effective Fe-B based hard surface alloys were investigated. Additionally, distribution was recorded through Fe-B alloy powder, ferro-alloys and into which W, Nb and Cr elements were added in divided proportions to ferro-tungsten, ferro-niobium and ferro-chromium powders. The resulting mixtures are first ground in a ring mill and turned into alloy powder. Then, the powder mixture containing additions such as phlushpar, quartz, alginates and glass water into these alloy powders was made plastic in the mold to facilitate shape. After the wire rod electrodes were glued to the created molds, the molds were combined with the prepared plastic press and their frames were covered. Electrodes equipped with drying and baking processes are alloyed on AISI 1020 steel base plate by classical coated electrode welding method. The produced plates are prepared metallographically and listed in optical and scanning electron microscopes, depending on the amount of W, Nb and Cr they contain. However, intermetallic images formed by X-ray diffraction analysis were detected. Micro and macro measurements were made. Additionally, wear experiments were carried out against hard abrasive balls using ball disc technology. In this way, the performances of the produced surface alloy were measured and compared with their counterparts

Surface alloying is a surface treatment applied to improve the surface performance of When the layers of the produced hard surface alloy coatings are examined, there is usually a homogeneous phase distribution in their microstructures. A compatible transition between the coating layer and the steel substrate was determined by the interface investigations.

The microstructures of the produced hard surface coatings were investigated and the following results were observed.

As a result of the microstructure investigations of the Fe-B surface alloy,  $\alpha$ -Fe and Fe<sub>2</sub>B phases were detected in the coating layer. On the other hand, in Fe-W-B based coatings, it was determined that FeWB phase is present in addition to  $\alpha$ -Fe and Fe<sub>2</sub>B

phases. Two different regions were detected in the microstructure of the  $\text{Fe}_{17}\text{B}_3$ -based coating, which does not contain W in its structure and has an atomic B content of 15%. This composition has a sub-eutectic microstructure. MAP analysis and XRD analyzes show that this eutectic structure consists of  $\alpha\text{-Fe}+\text{Fe}_2\text{B}$  phases.

When the microstructure of the  $\text{Fe}_{16}\text{WB}_3$  based coating is examined, a microstructure consisting of dark gray, eutectic and white regions is observed. When the white area was examined, it was determined that there was intense W together with Fe and B.  $\text{FeWB}$  phase was detected in the coatings containing W, and it is understood that the white region consists of this phase. When the dark gray region was examined, Fe and W were detected. Here, it is seen that the intensity of the Fe element is intense. Therefore, this region is thought to be composed of the  $\alpha\text{-Fe}$  phase. When the eutectic region was examined, Fe, B and partially W elements were detected. Considering the  $\text{Fe}_2\text{B}$  phase determined in XRD, it was understood that this eutectic structure consisted of  $\alpha\text{-Fe}+\text{Fe}_2\text{B}$ .

When the  $\text{Fe}_{15}\text{W}_2\text{B}_3$  coating is examined, it is seen that the microstructure consists of two regions. When the white colored eutectic structure was examined, W, Fe, B and C elements were determined and it was determined that this structure consisted of  $\alpha\text{-Fe}+\text{FeW(B,C)}$  phase. When the dark region is examined, Fe element is intensely found. Therefore, it has been determined that this region consists of  $\alpha\text{-Fe}$ .

In the Fe-Nb-B coating layers,  $\alpha\text{-Fe}$ ,  $\text{Fe}_2\text{B}$  and  $\text{NbFeB}$  phases were detected as a result of XRD investigations. It has been observed that the microstructure of this alloy consists of three regions as light gray, dark gray and white. The light gray areas are composed of primary  $\alpha\text{-Fe}$  phase.  $\text{NbFeB}$  phases were formed as white block structures at their grain boundaries. In dark gray areas,  $\alpha\text{-Fe}+\text{Fe}_2\text{B}$  eutectic occurred. It was observed that the ratio of  $\text{NbFeB}$  phase in the microstructure increased with the increase of Nb content in the Fe-Nb-B based coating layer.

When the X-rays of Fe-Cr-B based hard surface alloys were examined,  $\alpha\text{-Fe}$ ,  $\text{Cr}_2\text{B}$  and  $\text{BFe}_2$  phases were detected. It has been determined that the microstructure of this coating group consists of a sub-eutectic alloy. This system is composed of primary  $\alpha\text{-Fe}$  phase and  $\alpha\text{-Fe}+\text{M}_2\text{B}$  ( $\text{M}=\text{Fe, Cr}$ ) eutectic.

$\alpha\text{-Fe}$ ,  $\text{W}_2\text{FeB}_2$ ,  $\text{NbFeB}$ ,  $\text{Fe}_2\text{B}$ ,  $\text{NbB}_2$ ,  $\text{Fe}_{23}\text{B}_6$ ,  $\text{W}_2\text{B}_5$ ,  $\text{Cr}_2\text{B}$ , and  $\text{NbC}$  phases were determined by XRD analysis of Fe-W-Nb-Cr based hard surface alloys. The structure of the coating consists of light gray, dark gray and white regions. Light gray areas are primary  $\alpha\text{-Fe}$  and dark gray areas are composed of  $\alpha\text{-Fe}+\text{M}_2\text{B}$  eutectic structure. Again, complex carboboride phases were detected in the eutectic region. The white regions were found to be rich in tungsten and it was determined that these regions were composed of  $\text{W}_2\text{FeB}_2$  phases.

When the micro and macro hardness tests of the produced hard surface alloys were examined, the following results were obtained.

The effect of 5% and 10% W additions to the Fe-B base composition on the hardness was investigated. It was determined that the microhardness values of the Fe-W-B based hard surface coating layer were between 470-756 HV values. Considering the Fe-B base composition, as a result of the row hardness tests, the microhardness values of the coating layers increased significantly with the increase of 5% and 10% W addition in this system. In this system, the highest hardness was observed in the composition with 10% W addition. When the hard surface alloying macrohardness

values are examined, it varies between 32-43 HRC, and in this test, the highest HRC hardness value was obtained from the coating with 10% W ratio.

The effect of 5% and 10% Nb addition to Fe-B base composition on hardness was investigated. It was determined that the microhardness values of the Fe-Nb-B based hard surface coating layer were between 330-427 HV values. As a result of the row hardness tests, 5% and 10% Nb added to the Fe-B base composition gave approximately the same microhardness values in this system. When the hard surface alloying macrohardness values are examined, it varies between 30-32 HRC, where the highest hardness value of 32 HRC was obtained from the hard surface alloy with 10% Nb added.

The effect of 5% and 10% Cr addition to Fe-B base composition on hardness was investigated. It was determined that the microhardness values of the Fe-Cr-B based hard surface coating layer were 426-653 HV values. As a result of row hardness tests, it was observed that the addition of 5% and 10% Cr to the Fe-B base system increased the hardness, respectively. Here, the highest hardness value was observed in the composition with 10% Cr addition. When the hard surface alloying macrohardness values are examined, it varies between 41-50 HRC, where the highest hardness value of 50 HRC was obtained from the hard alloy with 10% Cr added.



## 1. GİRİŞ

Çağımızda, kar amaçlı seri üretim çok yaygın olduğu için, seri üretim yapan sistem ve ekipmanlar endüstride gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu türden ekipmanların yedek parça tedarikinin zor olması ve ekonomik olarak pahalı olması, ayrıca aşınmadan dolayı parçaların kullanım ölçülerini kaybetmesi, yada parçaların kırılarak iş görmez hale gelmesi gibi birçok nedenden dolayı, sistemi durdurarak üretimi aksatmaktadır. Ağır sanayide kullanılan ekipmanlarının aşırı derecede aşınarak tahrip olması ekonomilere yüksek maliyetler yüklemektedir. Bu tür ekipman ve ekonomik kayıpları telafi etmek için malzeme yüzeyleri sert yüzey alaşımıyla kaplanarak sorunun ekonomik bir şekilde çözülmesine katkı sağlanmaktadır [1].

Sert yüzey alaşımlama, metallerin yüzeylerinin aşınmaya karşı direncini arttırmak yada parçaların boyutlarını ilk ölçüsüne getirmek için metal parçaların yüzeylerinde özel alaşımlı yüzeyler elde etmek için değişik kaynak yöntemleri kullanılan bir uygulamadır. Metalik malzemeler birçok nedenle aşınırlar. Sert dolgu, metal parçaların çalışma ömürlerini uzatmak için aşınma direnci yüksek yüzey oluşturmakta ekonomik bir metoddur. Yararlarının yanında daha az parça değişim ihtiyacı, bakım süresinin azalması, ana parçanın ucuz malzemelerden yapılabilmesi, sökme takma süresinin azalması, stok bulundurma miktarlarının azalması ve genel maliyetlerin azalması yer alır. Sert dolgu işlerinin çoğu tamir veya bakım operasyonunun bir parçasıdır, fakat en etkili sonuca ulaşmak, istenen sertlikteki kaynak metalini yığmaktan daha fazlasını gerektirir. Sert dolgu alaşımları, tüm metal malzemelerin ihtiyaç duyduğu aşınma dayanımını karşılayacak geniş bir yelpazeye sahiptir. Bazı sert dolgu alaşımları çok serttir, bazıları ise yumuşak bir matrise ve bu matris içinde abrazyon dayanımı sağlayacak parçacıklara sahiptir. Bazı alaşımlar sert dolgu tabakası sağlamak, bazıları ise parçaları orijinal boyutlarına getirmek için geliştirilmiştir [2].

Günümüzde sert dolgu alaşım uygulamalarının başlıcaları termal püskürtme yöntemleri ve ark kaynak yöntemleridir. Bunlar arasında Gaz Tungsten Ark Kaynağı (GTAW), Gaz Metal Ark Kaynağı (GMAW), Toz Altı Ark Kaynağı (SAW), Özlü Tel Ark Kaynağı (FMAW) [3] ve Elektrik Ark Kaynağı (SMAW) [4] başlıcalarıdır.

Bu yöntemler arasında elektrik ark kağınağı ile kaplama işleminde kaynak havuzuna alaşım ilavesi, elektrot örtüsündeki ferro-alaşım lar vasıtasıyla yapıldığından nispeten kolaydır. Kaplama tabakası ile altlık malzeme arasında düşük seyrelme ferro-alaşım ların kullanılmasının tercih etme sebebidir [5].

Çeliklerin yüzey alaşım lanması, arzu edilen bir bileşime sahip alaşım ın eklenmesiyle, alaşım tozunun ve alt tabaka malzemesinin ince bir yüzey tabakasının aynı anda eritildiğı ve alt tabakaya metalurjik olarak bağlanmış yoğun bir kaplama oluşturmak için hızla katılaştığı bir işlemdir. Krom, titanyum ve tungsten gibi çeşitli alaşım elementleri, farklı çelik temel malzemelerinin alaşım lanmasından önce veya alaşım lama sırasında eklenebilmektedir. Kompozit tabakaların oluşumu ayrıca TiC, WC, VC ve SiC gibi sert seramik parçacıkların yüzeyde erimiş tabakalara doğrudan eklenmesiyle veya yüzey eritme sırasında kaplama tabakalarının yerinde oluşumuyla da gerçekleştirilebilir [6].

Aşınma dayanımını arttırmada borürler alternatif ve çok geniş bir uygulama seçeneğı oluşturmaktadır. Özellikle geçiş metalleriyle oluşan borürler, yüksek sertlik, mükemmel aşınma ve korozyon direbci nedeniyle yüksek potansiyele sahiptir [7]. Özellikle malzeme yüzeylerinin tribolojik performansını servis ömrünü arttırmak amacıyla borürler tercih edilir [8].

Bu çalışmada Fe-B esaslı sert yüzey alaşım lama elektrotları üretilmiş ve bu sert yüzey alaşım elektrotlarına W, Nb ve Cr ilavesinin etkisi incelenmiştir. Üretilen elektrotlar elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak altlık malzeme üzerine sert yüzey alaşım lama yapılmıştır. Oluşturulan sert yüzey alaşım kaynak kaplamalarının gerekli yerlerinden numune alınarak mikroyapı ve faz analizleri, sertlik ve aşınma testleri yapılmıştır. Mikroyapılar SEM, EDS ve XRD yöntemleriyle analiz edilmiştir. Oluşturulan sert dolgu alaşım larının sertliğı vickers sertlik ölçme cihazı kullanılarak mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. Ayrıca rockwell sertlik ölme cihazıyla makro sertlik değerleri ölçülmüştür. Son olarak sert dolgu alaşım larının aşınma dayanımı ball on disk yöntemiyle ölçülmüştür.



## 2. SERT YÜZEY KAPLAMA (ALAŞIMLAMA)

### 2.1. Sert Yüzey Kaplamalar

Sert yüzey kaplama, yeni bir yüzey elde etmek amacıyla kaynak yöntemleri kullanılarak ana metalden farklı özellikte ve kimyasal bileşimi önceden bilinen bir metal alaşımın ana metal yüzeyine kaplama işlemidir [9]. Bir ana metal üzerinde daha yüksek aşınma ve korozyon direncine sahip malzemeleri kaplamak için yaygın olarak kullanılır. Sürecin birçok faydası vardır ve üretim aşamasında veya onarım aşamasında maliyet tasarrufu veya performans iyileştirme için kullanılabilir. Proses, çelik, petrol, gaz, çimento, enerji, madencilik ve gıda gibi sektörlerde yaygın olarak uygulanabilir. Günümüzde, malzemeler üzerine sert kaplamalar uygulamak için termal püskürtme işlemleri, lazer kaplama ve ark kaynağı teknikleri gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Ark kaynağı, birçok farklı alaşım türünü uygulamak için kolay erişilebilirliğe sahip ve düşük maliyetli bir yöntemdir [10]. Sert yüzey kaplama, ağır aşınma koşullarına maruz kalan bileşenlerin performansını iyileştirmenin en kullanışlı ve ekonomik yollarından biridir. Bir alaşım, altlığın sünekliği ve tokluğunda önemli bir kayıp olmaksızın sertliği ve aşınma direncini artırmak amacıyla kaynak yoluyla yumuşak bir malzemenin (genellikle düşük veya orta karbonlu çelikler) yüzeyine homojen olarak kaplanır. Bir sert dolgu alaşımının aşınma direnci, sert fazların tipi, şekli ve dağılımı ile matrisin tokluğu ve gerinimle sertleşme davranışı gibi diğer birçok faktöre bağlıdır [11].

Sert dolgu, aşındırıcılara karşı koruma sağlamak veya özel uygulamalarda malzemelerle birleştirmek için ana malzemeye (genellikle düşük veya orta karbonlu çelikler veya düşük alaşımlı çelikler) kaynaklanır. Kaplama kalınlığı, kaplama malzemesinin çatlak duyarlılığına bağlıdır. Bu kaynak, iş parçasının ömrünü uzatmak için yalnızca sert dolgu tabakasının özel özelliklerinden (örneğin, yüksek sıcaklıkta deformasyona, aşınmaya ve korozyona karşı direnç) faydalanmakla kalmaz, aynı zamanda malzeme maliyetlerinde (özellikle büyük iş parçalarında belirgindir) önemli tasarruflar sağlar. Sert yüzey kaynak teknolojisi, orijinal tasarımdan daha uzun bir kullanım ömrü vererek aşınmış iş parçasını geri kazanabilir [12]. Bu teknik,

kaplama/alt tabaka kaynağının, parçalanmaya duyarlı olmayan ve gözeneksiz ve diğer kusurlar olmadan kolayca uygulanabilen metalurjik bir bağ sağlaması bakımından diğer işlemlere göre benzersiz avantajlar sunar. Sert dolgu işlemi sahada dahi kolaylıkla yapılabilir. Proses ayrıca, bozulmaya karşı koruma için çok çeşitli materyaller biriktirilebildiğinden son derece çok yönlüdür [13].

## 2.2. Sert Yüzey Alaşım Çeşitleri

Sert dolgu kaplama, çok farklı aşım türleri ile uygulanabilir. Alaşımın seçimi kolay bir olmasına rağmen bunun için her aşımın aşınma direncine katkısını belirleyen özellikleri dikkate alınmalıdır. Kimyasal bileşim ve termo-mekanik geçmiş tarafından belirlenen aşımın mikroyapısı ve sertliği, aşınmaya karşı mücadelede en önemli ve belirgin katkıyı sağlayan özelliktir [1]. Kaplamada kullanılan çoğu malzeme 200 HV'den daha fazla sertliğe sahiptir ve bundan dolayı genellikle sert kaplama veya sert yüzey kaplama aşımaları olarak isimlendirilirler. Kaynak kaplamaları olarak da adlandırılan geleneksel sert yüzey aşımama malzemeleri genel olarak çelikler veya düşük aşımlı ferro malzemeler, yüksek aşımlı ferro malzemeler, karbürler, nikel esaslı aşımalar veya kobalt esaslı aşımalar olarak sınıflandırılabilirler. Bakır esaslı aşımaların bir kaçı bazen sert kaplama uygulamalarında kullanılmakla beraber çoğu zaman sert yüzey kaplama aşımaları demir, nikel ya da kobalt esaslıdır [14].

Günümüzde birçok aşım grubuna ait sert dolgu bileşimi olmakla birlikte bunların kesin bir sınıflandırması bulunmamaktadır. Endüstriyel olarak en çok kabul gören standart TS EN 14700 (13.14.2014) sert yüzey için kaynak sarf malzemelerini içeren standarttır. Sert dolgu aşım grubu içerisinde çok sayıda bileşim bulunduğu için kimyasal kompozisyondan ziyade, aşınma türü ve mikroyapılarına göre sınıflandırılırlar. Aşınma türüne göre sert dolgu aşımaları;

- Dolgu kaplama aşımaları
- Metal-metal aşınma aşımaları
- Metal-toprak abrazyon aşımaları
- Tungusten karbürler
- Demir dışı aşımalar

Bununla birlikte mikroyapıya göre gerçekleştirilen sınıflandırma daha çok kabul görmekte ve tercih edilmektedir. Mikroyapısına göre sert dolgu alaşımlarının sınıflandırılması şu şekilde yapılabilir [15]:

- Demir esaslı sert yüzey alaşımlar
- Nikel esaslı sert yüzey alaşımlar
- Kobalt esaslı sert yüzey alaşımlar
- Bakır esaslı sert yüzey alaşımlar
- Tungsten karbür esaslı sert yüzey alaşımlar
- Krom karbür esaslı sert yüzey alaşımlar
- Yüksek silisyumlu esaslı sert yüzey alaşımlar
- Kompozit esaslı sert yüzey alaşımlar

### **2.2.1. Demir esaslı sert yüzey alaşımlar**

Demir esaslı sert dolgu alaşımları diğer sert dolgu alaşımlarına göre daha yaygın olarak kullanılır ve sert dolgu alaşımları içinde en büyük hacimli kullanıma sahiptir. Demir esaslı sert dolgu alaşımları, düşük maliyetli ve istenilen özellikleri yeterince sunar. Kırma ve öğütme gibi aşınmaya maruz kalan ekipmanlar genellikle çok büyük ve sağlamdır. Bu parçalar için genellikle onarım süresi gereklidir. Bu nedenle, bunları en düşük maliyetle ve en kolay bulunabilen malzemelerle sertleştirmek daha verimli olacaktır. Bu sebeplerden dolayı demir esaslı sert dolgu alaşımları çok yaygın kullanılmaktadır. Demir esaslı sert dolgu alaşımları içinde mikro yapılarına göre yaygın olarak kullanılanlar; perlitik çelikler, östenitik çelikler, martensitik çelikler, yüksek alaşımlı çelikler, östenitik paslanmaz çeliklerdir. Perlitik çelikler, esasen düşük alaşımlı çeliklerdir. Bu alaşımlar, düşük karbon (<math><0.2\%</math> C) ve düşük miktarlarda diğer alaşım elementleri içerir, bu da perlitik bir yapı sağlar. Perlitik çelikler, karbon çeliği veya düşük alaşımlı çelik parçaların boyutlarını geri kazanmak için birikme kaplaması olarak kullanılır. Bu alaşım grubu, yüksek darbe direnci ve düşük sertliğe (25-37 HRC aralığında), ayrıca mükemmel kaynaklanabilirliğe sahiptir. Östenitik çelikler, genel olarak düşük kromlu ve yüksek kromlu alaşımlara ayrılabilir. Düşük kromlu alaşımlar genellikle %4'e kadar Cr ve %12-15 Mn ve bir miktar nikel veya molibden içerir. Düşük kromlu östenitik manganlı çelikler genellikle yüksek darbeye maruz kalan

manganlı çelik makine parçalarının yapımında kullanılır. Yüksek kromlu östenitik çelikler, yaklaşık %15 Mn ve %12-17 Cr içeren alaşımlardır. Östenitik manganlı çeliklerin, karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin birleştirilmesi için kullanılır. Yüksek kromlu çeliklerin kaplama sertliği, düşük kromlu çeliklerden (~18-24 HRC) daha yüksektir. Martensitik çelikler, sertlikleri 45-60 HRC aralığında olan takım çeliklerine benzerler. Martensitik çeliklerin karbon içeriği %0,7'ye kadar değişir. Molibden, tungsten, nikel ve krom (%12'ye kadar) gibi diğer elementler, sertleştirme ve mukavemeti artırmak ve martensit oluşumu için eklenir. Manganez ve silisyum genellikle kaynaklanabilirliğe yardım etmek için eklenir. Martensitik çeliklerin darbe direnci, perlitik veya östenitik çeliklere göre düşüktür, ancak sertlikte ve aşınmaya karşı dirençte bir üstünlüğü vardır. Yağlanmamış parçalarda, kayar parçalarda, haddelemede, hafif aşındırıcı ve sıcak ortamlarda kullanılır [16].

### **2.2.2. Nikel esaslı sert yüzey alaşımlar**

Nikel esaslı sert dolgu alaşımları, yüksek sıcaklık şartlarında çalışan bileşenlerin aşınma direncini artırmak için kullanılır. Ni-Cr-Mo-W-C alaşımları, daha pahalı kobalt esaslı alaşımlar için alternatif bir seçenek olmuştur. Mo ve W ilaveleri, sıcak sertliği ve yüksek sıcaklık dayanımını iyileştirir. Ni esaslı alaşımlar Laves fazları içerir ve metal-metal aşınmasına karşı kullanılır, ancak sert intermetalik çökeltilerin fazla olmasından dolayı zayıf darbe dirençleri uygulanabilirliğini azaltır. Ayrıca B, çok sert krom borürler içerdiği ve mükemmel aşınma direnci sağladığı için Ni bazlı alaşımlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [17].

### **2.2.3. Kobalt esaslı sert yüzey alaşımlar**

Kobalt-krom alaşımları ailesine Stellite adı verilir. Kimyasal bileşiminde bir miktar tungsten, molibden ve karbon bulunur [18]. Bu alaşımlar yüksek korozyon direncine, yüksek sıcaklıklarda yüksek sertliğe ve yüksek basınç koşullarında yüksek aşınma direncine sahiptir. Mevcut farklı stellite alaşımları arasında, stellite 6 endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ağırlıkça yaklaşık  $Co_{28}Cr_{4.5}W_{1.1}C$  bileşimine sahiptir. Bu alaşımda Cr,  $M_7C_3$  ve  $M_{23}C_6$  karbürlerin oluşumuyla mukavemetin, oksidasyon ve korozyon direnci sağlar [19]. Stellite 100, genellikle kesici takımların imalatında kullanılır. Stellite alaşımları sert ve işlenmesi zordur. Bu yüzden daha çok döküm yoluyla üretilir. T-800 Tribaloy alaşımı, yumuşak kobalt matrisinde bu sert fazların

yaklaşık %50'sini içerir. Bu alaşım, yağlamanın zor olduğu sert yüzeylerde kullanışlıdır. Ayrıca, alaşım kırılmandır ve çatlak başlangıcına ve ilerlemesine karşı düşük dirence sahiptir. Bunu gidermek için daha düşük sertlik ve aşınma direncine sahip olan ve T-800'den daha sünek olan T-900 alaşımı Ni ilavesi ile kullanılır [18].

#### **2.2.4. Bakır esaslı sert yüzey alaşımlar**

Bu alaşımlar, uzun süre yatak malzemesi olarak kullanılmıştır. Tribolojik malzeme olarak bilinmesine rağmen, belirli durumlarda yararlı sonuçlar verirler. Korozyon, erozyon, kavitasyon, metal-metal aşınmaları gibi koşullarda kullanılmakla beraber, aşınan parçaların tekrar ilk boyutlarına getirmek için kullanılır. Bu olumlu özelliklerinin yanında düşük abrazyon aşınma dayanımı olumsuz özelliği olarak söylenebilir [20].

#### **2.2.5. Tungsten karbür esaslı sert yüzey alaşımlar**

Uygun özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılan sert dolgu malzemesidir. Çok sayıda çalışma, yüksek sertliği, iyi ıslanabilirliği ve yüksek termal iletkenliği nedeniyle WC sert dolgu kaynağına uygunluğunu açıklamıştır. Zorlu ortamlarda çalışan mühendislik parçalarının ömrünü uzatmak için WC kaplamaların yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Yüksek sertlik ve düşük termal genleşme katsayısı nedeniyle WC'nin SiC ve TiC'ye göre daha uygun bir sert dolgu malzemesi olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, WC iyi aşınma direnci özellikleri gösterdiği için mühendislik bileşenlerinin sert dolgusu için takviye partikülleri olarak yaygın olarak seçilmiştir. Ayrıca WC-Ni bazlı metal matrisli kompozitte homojen olarak dağılmış WC içeriğinin yüksek olması, aşınmaya karşı daha iyi direnç gösterdiği gözlenmiştir [21]. Tungsten karbürlere alternatif TiC, Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub>, ve VC daha yüksek termal kararlılık, iyi korozyon direnci ve daha düşük maliyet gibi avantajları olsada başarılı ticari uygulamalar henüz rapor edilmemiştir [22].

Tungsten karbür (WC) bazlı sert dolgu alaşımları, orta düzeyde darbe seviyelerinde aşınmaya karşı mevcut en yüksek dirence sahip yüzey katmanları oluşturmuştur. Bu kompozitler, Ni veya Co alaşımının daha yumuşak bir metalik matrisinde WC veya WC-W<sub>2</sub>C ötektik sert, çözünmemiş granüllerinin dispersiyonlarını içermiştir. WC fazının (2500 HV) yüksek sertliği, çoğu türde aşındırıcı partikül tarafından yüzeyin

çizilmesine karşı aşılmaz bir bariyer sağlamıştır. Buna göre, WC bazlı kompozitlerin abrasiv aşınma direncinin, sert fazın hacim oranı ile arttığı görülmüştür [23].

### **2.2.6. Krom karbür esaslı sert yüzey alaşımlar**

Krom karbür, üç polimorfunun ( $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$  ve  $Cr_3C_2$ ) mükemmel oksidasyon direncinden dolayı sermetlerde kullanım için uygun bir seramik faz olmuştur. Krom karbür esaslı kompozitler, aşınmaya ve korozyon-oksidasyona karşı yüksek direnç gerektiren yüksek sıcaklık uygulamalarında yaygın olarak kullanılan tribolojik malzemelerdir. Metal matris ile birleştirilmiş krom karbürler, genellikle aşınmaya dayanıklı kaplamalar olarak kullanılır. Termal püskürtme uygulamalarında krom karbür genellikle bir nikel krom matrisi ile birleştirilir. Termal olarak püskürtülen CrC-NiCr kaplamalar, yüksek sıcaklıkta aşınmaya karşı bir bariyer görevi görebilir ve bu nedenle havacılık sektöründe giderek artan bir uygulama olmaktadır. CrC-NiCr kaplamaların uygulanmasına artan talebin bir başka nedeni, krom karbürün termal genişleme katsayısının, çeliğinkiyle neredeyse eşit olmasıdır; çelik alt tabakalar üzerine kaplandığında tabaka sınırında mekanik stres oluşumunda bir azalma olur [24].

### **2.2.7. Yüksek silisyumlu sert yüzey alaşımlar**

Yüksek silisyumlu paslanmaz çelikler, son zamanlarda kobalt esaslı alaşımlara alternatif olarak piyasaya sürüldü. Bunlar benzer şekilde aşınma önleyici ve kavitasyon erozyonuna karşı eşit dirence sahiptir. Bunlardan bazıları genel kullanım için, bazıları ise özel uygulamalar için geliştirilmiştir (örneğin, hidroelektrik türbinler ve nükleer valfler). Bazıları tip 200 (mangan ve azot içeren) östenitik paslanmaz çeliğe dayanmaktadır; diğerleri tip 300 paslanmaz çeliğe dayanmaktadır. Bu yüksek silisyum sert dolgu alaşımları, korozyon dirençleri (bazı sulu ortamlarda diğerlerine göre daha iyi), mekanik özellikleri (özellikle yüksek sıcaklıklarda) ve termal kararlılıkları bakımından geleneksel karbürü kobalt bazlı alaşımlardan farklıdır [25].

### **2.2.8. Kompozit esaslı sert yüzey alaşımlar**

Sert dolgu ile uygulanan en yaygın kaplamalar, Ni, Co veya Fe bazlı matristen oluşan ve tungsten karbürler gibi sert seramik parçacıklarla güçlendirilmiş metal matrisli kompozitlerdir. Tungsten karbür bazlı sert metaller, yüksek aşınma ve birleşik darbe/aşınma aşınma direnci nedeniyle tribolojik koşullarda yaygın olarak

kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek sıcaklıklardaki zayıf oksidasyon dirençleri nedeniyle, WC bazlı kompozitler, 550 °C'yi aşan sıcaklıklara maruz kalan takım parçaları için ideal bir seçim değildir. Titanyum karbür (TiC), yüksek sertliği, oldukça düşük yoğunluğu, iyi oksidasyon direnci ve erozyon ve aşınma ortamlarında yüksek aşınma direnci nedeniyle MMK'ler için çekici bir takviye olarak kabul edilebilir [26].

Ni, Co ve Fe bağlayıcı elementler olarak işlev görürken, alaşımdaki diğer katkı maddesi temel malzemenin gerekli özelliklerini geliştirir. WC (tungsten karbür), sertliği 1500 ile 2000 HV arasında değiştiği için yüzey sertliğini arttırmak için kullanılan katkı maddesidir. Kırılgan ve erimesi zor olmasına rağmen, Cr ve Mo gibi diğer katkı maddeleri ile birlikte kullanılmaktadır. Co bazlı alaşımlar çok yönlüdür ancak maliyetlidir. Metalden metale aşınmaya uygun hale getiren düşük sürtünme katsayısına sahiptirler. Co bazlı matrisin en büyük avantajı, yüzey oksidasyonuna ve korozyona karşı dirençli olmalarıdır. Bu Co bazlı matrisler genellikle 550 C'nin üzerindeki uygulamalar için kullanılır. Fe bazlı matrisler, yüksek aşınma ve aşınma direncinin gerekli olmadığı düşük maliyetli uygulamalar için uygundur [27].

### **2.3. Sert Yüzey Kaplama Yöntemleri**

Kaynak yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen kaplama işlemi, altlık yada ana metal üzerine kaplama yapılır, bu işlemler birlikte malzemelerin aşınma ve korozyon özelliklerinin geliştirilmesi sağlanır. Bu işlem, sünek bir malzeme yüzeyine kaplanması şeklinde oldursa sert yüzey kaplama olur. Bazı durumlarda ise hasar gören malzeme yüzeylerini eski haline getirmek için yapılır. Bir altlık üzerine bir veya birden fazla tabaka vasıtasıyla sert yüzey kaplama yapılabilmesi için kimyasal ve metalurjik gereksinimler gereklidir. Bu gereksinimler kaynak metalinin mekanik özellikleri baz alınarak hesaplanır .

Sert yüzey kaplama yapılan bazı kaynak yöntemleri şu şekildedir [28]:

- Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynak yöntemi (SMAW)
- TIG kaynak yöntemi (GTAW)
- MIG-MAG kaynak yöntemi (GMAW)
- Toz altı kaynak yöntemi (SAW)
- Plazma ark yöntemi (PAW)
- Özlü tel ark kaynak yöntemi (FCAW)
- Lazer kaynak yöntemi (LBW)

- Oksi asetilen kaynak yöntemi (OAW)

### 2.3.1. Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı yöntemi

Kaynak için gereken ısının elektrotlar arasında oluşan ve ark ile sağlanan eritme kaynak işlemine elektrik ark kaynağı denir [29]. Örtülü elektrot ile yapılan elektrik ark kaynağında, iş parçası ile elektrot arasında oluşan ark ile elektrot erir ve elektrot kaynak metaline dönüşür. Elektrotla birlikte örtü de erir. Kaynak esnasında oluşan cüruf kaynak metalini örterek korur [30]. Elektrot metale temas ederek devre kapanarak akım başlar ve bu akım sıcaklığı yükseltir. Bu sıcaklık yükselmesi direncin en yüksek olduğu, elektrotun metale temas ettiği yerde en yüksek değere ulaşır. Bu durumda elektrik akımı yüksek olduğundan temas noktasında kızarma başlar ve burada oluşan iyonizasyon ve metal buharları nedeniyle hava iletken hale gelir. Bu sırada elektrot birkaç milimetre geri çekilir ve akım iletken hale gelen hava içinde akar [31].

Elektrot örtüsünde bulunan alaşım tozları sayesinde kaynak metaline istenilen alaşımlandırma yapılabilir. Elektrot örtü bileşimi üretici tarafından tasarlandığı gibi örtü üretiminde kullanılan başlıca mazlemeler şunlardır [30]:

- Cüruf yapıcılar
- Karbonatlar
- Silikatlar
- Oksitler
- Florürler
- Arkı stabilize eden maddeler
- Gaz yapıcılar
- Ekstrüzyon işlemini kolaylaştırıcılar
- Bağlayıcılar
- Örtü dayanımı sağlayıcı maddeler
- Alaşımlama tozları

Elektrik ark kaynağında elektrot örtüsünün görevi erimiş metali atmosferden korumak, ark kararlılığı sağlamak ve kaynak havuzunu iyileştirmektir. Bunların yanında düzgün bir kaynak formu oluşturmak, iyi bir cüruf oluşturarak kaynak metali ile arasında temiz bir yüzey oluşturmaya yardımcı olmak örtünün işlevi olarak söylenebilir. Örtünün içeriğinde bulunan flaksların bileşimleri asidik, bazik yada nötr olabilir. Bunlar erime



sıcaklığı, termal genleşme, yoğunluk, elektriksel iletkenlik ve viskozite gibi özelliklere göre belirlenir. Silikatlar asidik özelliği ile cüruf veya ağ yapıcılarıdır. Bazik oksitler (CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O) silikatları parçaladığı için viskoziteyi düşürürler. Florürler ve klorürler kaynak bağlantısındaki güçlü oksitleri çıkarmaya yardımcı olurlar [32].

### **2.3.2. TIG kaynak yöntemi**

Gaz tungsten ark kaynağı (GTAW), yüksek kaliteli kaynakları yanında nispeten daha düşük ekipman yatırımı nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir yöntemidir. Bu işlemde, bir tungsten elektrot, argon (genelde kullanılan), helyum, nitrojen, hidrojen veya karışımlar gibi bir atıl ve/veya indirgeyici gaz akışıyla korunmaktadır. Kaynak işleminde, tüketilmeyen bir tungsten elektrot ile iş parçası arasında bir elektrik arkı oluşur. Ark, iş parçalarını ve gerekirse dolguyu eritmek için termal enerji sağlar. Bu proseste inert gaz koruması nedeniyle kaynak metali yüksek saflığa sahip olması, kaynak sırasında ısınmanın yoğunlaşması nedeniyle kaynak deformasyonunun küçük olması ve elektrik arkının kararlı olması gibi birçok avantajı vardır. Küçük bir akımda (<10 A) bile kararlı bir şekilde yanabilir. Ayrıca bu yöntem, mekanizasyon ve otomasyonu gerçekleştirmek için kolaydır [33].

### **2.3.3. MIG-MAG kaynak yöntemi**

Bu proseste tel, inert gaz korumasında ana malzemeye iletilir. Telin erimesi ve sıvı metalin taşınması, herhangi bir ek elektrot veya plazma kaynağı gerektirmeden, ana malzeme ile dolgu teli arasında parlayan elektrik arkının ürettiği ısı ve elektromanyetik kuvvetler tarafından sağlanır. Tel, inert gaz memesi içinden geçerek besleme sistemi tarafından sağlanır. İntert gaz, elektrik ark bölgesini atmosferik gazlardan korumak için kullanılır [34].

### **2.3.4. Toz altı ark kaynak yöntemi**

Tozaltı ark kaynağı (SAW), daha güvenilir olduğu, derin penetrasyon sağladığı ve iş parçası üzerinde pürüzsüz bir yüzey oluşturduğu ve yüksek verimlilik sağladığı için imalat endüstrilerinde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Sert malzeme daha yumuşak bir alt tabaka üzerinde biriktirilebilir. İmalat atölyelerinde tozaltı ark kaynağı uygulaması yararlıdır. Kaynak akımı, voltaj, hız vb. tozaltı kaynak işleminin kaynak

kalitesini ve ürünün mukavemetini etkileyen bazı parametrelerdir. Kaynak akımı penetrasyon için en büyük öneme sahiptir. Akım çok düşükse, sonuçta ortaya çıkan kök kusurları ile yetersiz penetrasyon olacaktır. Genellikle kaplanmamış olan sürekli bir tel elektrot, bir ark oluşturmak üzere bağlantıya kadar uzanan bir dolgu malzemesi olarak kullanılır. Tel elektrotun uzatılmış kısmına flaks için bir huni kullanılır, böylece geliştirilen ark tanecikli flaks yığınınına daldırılır. Elektrot malzemesi, yüksek akımda uygun kaynaklamayı kolaylaştırmak için düşük elektrik direncine sahip olmalıdır. Metal arkın yandığı ve ana metalin erimesi ve akışkanlaşmasının gerçekleştiği bir boşluk vardır. Bu boşluğun ön tarafı eritilmemiş ana metal, arka tarafı ise katılaştırılmış kaynak metalidir. Erimiş haldeki flaks, safsızlıklarla reaksiyona girer ve cürufu oluşturur. Bu cüruf hafiftir ve boşluğun üstündeki erimiş metal üzerinde yüzer. Katılma sırasında bu cüruf ufalanır. Örtme amaçlı kullanılan tanecikli flaks normalde kısmen kullanılır ve kullanılmayan kısmı daha sonraki çalışmalarda kullanılmak üzere çıkarılır [35].

### **2.3.5. Plazma ark kaynak yöntemi**

Plazma ark kaynağı, çok yüksek sıcaklıkta iyonize olmuş ve elektrik iletkenliği kazanmış plazma gazı sayesinde, elektrik arkının tungsten elektrot ucundan malzemeye aktarıldığı ve bunun sonucunda arkın oluşturulduğu bir kaynak yöntemidir. Arkın meydana getirdiği ısı enerjisi malzemeyi eritmektedir. Plazma ark kaynağı, düşük ısı girdisinin yanında yüksek soğuma oranına sahiptir. Ayrıca yüksek yoğunlaşma enerjisi, yüksek kaynak hızı, dar kaynak bölgesi, derin nüfuziyet, otomasyona uygunluk, yüksek mekanik dayanım, düşük distorsiyon ve ilave tel kullanmadan kaynak yapabilme olanağı sunmaktadır [36].

### **2.3.6. Özlü tel ark kaynak yöntemi**

Özlü tel ark kaynağı (FCAW), arkın ısıyla yakıldığında, harici koruyucu gaz gerektirmeyen, sağlam kaynak oluşturmak için koruyucu gazlar ve eritici maddeler üretebilen malzemeleri çekirdeğinde bulunduran bir tel kullanılır. Koruyucudur, güçlü rüzgara dayanabilir. Kaynak bittiğinde, kaldırılması gereken cüruf ile kaplanır. Kaynak işlemi sırasında elektrot flaksı erir ve koruyucu gaz ve sıvı flaks üretir. Ark alanı koruyucu gazla örtülür. Kaynak havuzu gaz ve cüruf ile atmosferden korunur.

Kaynak havuzu ayrıca koruyucu gazlarla korunabilir. genellikle karbondioksit kullanılır [37].

### **2.3.7. Lazer kaynak yöntemi**

Lazer kaynak yönteminin diğer yöntemlerden en önemli farkı, kolaylıkla parça yüzeyinde istenilen herhangi bir noktaya uygulanabilmesidir. Böylelikle kaynak yapılacak alana arzu edilen miktarda enerji uygulanabilmektedir. Lazer üreticiden çıkan yoğun enerjinin değişik optik malzemeler kullanılarak iş parçalarının birleşme noktasına odaklanarak bu noktanın aşırı ısınma sonrasında eriyip iki parçanın birleştirilmesi lazer kaynağı olarak adlandırılır. Lazer kaynağı, ergitme kaynak yöntemleri içerisinde yer almakla birlikte geleneksel ergitme kaynak yöntemlerine göre önemli farklılıklar göstermektedir. Lazer kaynağı geleneksel kaynak yöntemlerine göre, kalın parçalarının çok düşük ısı girdisi ile birleştirilmesini sağlaması ile ön plana çıkmaktadır. Lazer ışınının temiz bir enerji kaynağı olması, kaynak işleminin dolgu malzemesi olmadan uygulanabilmesi, kaynak hızının yüksek olması, lazer kaynağının otomasyona elverişli olması, benzer veya farklı malzemelerin birleştirilebilmesi lazer kaynağının diğer yöntemlere göre önemli avantajları arasında sayılabilir. En önemli dezavantajı ise yüksek kurulum maliyetine sahip olmasıdır [38].

### **2.3.8. Oksi asetilen kaynak yöntemi**

Oksi asetilen kaynağı, temel ve dolgu metallerinin, erimiş metal havuzunda eriyene ve soğuyunca kaynaklana kadar bir kaynak torcu ile ısıtıldığı bir ergitme kaynağı yöntemidir. Bu yöntem gazların sağladığı yüksek ısı nedeniyle kullanılan asetilen ve saf oksijen ile yapılan bir gaz kaynağı şeklindedir. Oksi asetilen ekipmanı şantiyelerde yaygındır ve tipik olarak metallerin kesilmesi ve çeliğin ön ısıtılması için kullanılır. Oksiasetilen kaynağı için kullanılan ekipman, fabrikasyon atölyelerinde ve şantiyelerde yaygın olarak gerçekleştirilen oksiasetilen kesimiyle aynıdır ve bir kaynak torç ucunun kullanılmasıyla yapılır. Kaynak işleminin harici güç gereksinimi olmaksızın çok temel ve hazır ekipmanlara (çeşitli üreticilerin sertifikalı kaynak çubukları dahil) sahip olması avantaj sağlar. İşlem, kesme, bükme, sert lehimleme, lehimleme ve kaynak için aynı genel kurulumu kullanma yeteneği ile son derece çok yönlüdür, yalnızca torç uçlarının değiştirilmesini ve bir işlemten diğerine geçmek için

gaz basınçlarının ayarlanmasını gerektirir. Kaynağın genellikle daha yaygın olarak kullanılan yöntemlerden daha yavaş olması dezavantajıdır [39].

#### **2.4. Sert Yüzey Kaplama Alaşım Seçimi**

Kaynak teknolojisine uygulandığı şekliyle sert yüzey kaplama, arzu edilen bazı özellikleri kazandırmak için bir dolgu metalinin bir ana metal (altlık) üzerinde biriktirilmesi anlamına gelir. Sert dolgu, yığma, kaynak kaplama ve onarma gibi çeşitli yüzey kaplama türleri mevcuttur. Sert dolgu, aşınmayı, darbeyi, erozyonu, sürtünmeyi veya kaviteasyonu azaltmak amacıyla uygulanan bir yüzey kaplama şeklidir. Sert dolgu alaşımları, oksijen gaz kaynağı, çeşitli ark kaynağı yöntemleri, lazer kaynağı ve termal püskürtme gibi çeşitli yöntemlerle uygulanabilir. Sert dolgu malzemeleri çok çeşitli alaşımları ve bu alaşımların kombinasyonlarını içerir. Geleneksel sert dolgu malzemeleri genellikle çelikler, demir esaslı malzemeler, kromlu esaslı malzemeler, karbürler, nikel bazlı alaşımlar veya kobalt bazlı alaşımlar olarak sınıflandırılabilir.

Molibden (Mo), titanyum (Ti), niyobyum (Nb), bor (B) ve karbon (C) ile birlikte demir esaslı alaşımlar, farklı aşınmaya dayanıklı, sert fazların çökeltilmesiyle elde edilen yüksek sertlik ve aşınma direnci nedeniyle sert dolgu alaşımları olarak seçilmişlerdir. Yüksek kromlu demirler, krom karbürlerin oluşumuna atfedilen daha yüksek sertlikleri ve mükemmel aşınma dirençleri nedeniyle madencilik, çimento fabrikası, termik santraller ve demir-çelik endüstrilerinde sert yüzey kaplama için yaygın olarak kullanılmaktadır. Alaşım elementlerinin ve ince dağılmış sert fazlar içeren hızla katılaştıran ince kristalli mikro yapının eklenmesi, sert yüzeyli alaşımların mükemmel bir sertlik ve tokluk kombinasyonu sergileyebilir. Yüksek aşınma direnci elde etmek için kaba sert fazlar ve yüksek sertlik önemlidir. Sert fazların sertliği ve/veya matrisin sertliği, aşındırıcının sertliğinden daha yüksek olmalıdır. Boridler, mühendislik bileşenlerinin yüzey sertliğini ve aşınma, oksidasyon ve korozyon direncini artırmak için gelecek vaat eden alaşımlardan biridir. Boridler, sert dolgu alaşımlarında yaygın olarak kullanılan sert fazlardır. Geçiş metalleri ile oluşan boridlerin yüksek sertliğe ve mükemmel aşınma, sürtünme ve korozyon direncine sahip olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Literatürde bazı çalışmalar, borun, borür gibi birincil sert fazların gelişimini desteklediğini ve bu aşınmaya dirençli sert fazların hacim fraksiyonunu arttırdığını ortaya koymuştur. Boridce zengin özlü teller, bazı endüstriyel

uygulamaların püskürtme veya kaynak yöntemleriyle kaplanması veya sert yüzeylenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [40].

Şu anda kullanılmakta olan malzemeler, mekanik, tribolojik ve aşındırıcı özellikleri etkileyen Si, Cr, B, Mn, V, Ti, Mo, Nb ve çeşitli kimyasalların eklenmesiyle Fe, Ni, Co, Ti esaslı olarak üretilmektedir. Ekonomik olmasından dolayı demir esaslı malzemeler tercih edilir. Demir esaslı sert yüzey kaplama alaşımlarının bazıları şunlardır: Fe-C-Cr, Fe-C-Cr-B, Fe-C-Cr-Ti, Fe-C-Cr-Ti-B, Fe-C-Cr-Mn-Ti, Fe-C-Cr-W-V, Fe-C-Cr-Ni, Fe-Mn-C-B, Fe-Cr-C-Nb [41].

Makine ve cihazların çalışma yüzeylerini korumak için istenilen fonksiyonel özelliklere sahip kaplamaların üretilmesi amaçlanır. Fe-C, Fe-B, Fe-Mn-C, Fe-Cr-C, Fe-Ni-C, Fe-Mn-C-B, Fe-Mn-C-B-Si gibi ötektik kaplamalar ve Ni-Cr-B-C, büyük ilgi ve geniş uygulama alanına sahiptir. Aşınmaya dayanıklı ötektik Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr kaplamaların kullanılması avantajlıdır. Fe, Mn, C ve B elementleri ötektik bölgelerin oluşumunu teşvik eder. Ötektik yapı, muhafaza edilen yüksek plastisite ile geniş aralıklarda kaplamaların sertliğini değiştirmeye izin verir. Bu, ötektik alaşımlara Ni, Cr, Ti, W, V vb. ilave edilerek elde edilir. Tribolojik özellikler, Fe<sub>0.4</sub>Mn<sub>3.6</sub>C, Fe<sub>3</sub>C, Fe<sub>2</sub>B, FeB, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>B vb. gibi faz bileşenleri sayesinde iyileşir. Alaşımlarda ince (güçlendirici) fazların kullanılması, yüksek sertlikleri, korozyon ve aşınma direnci ve termal kararlılıklarından kaynaklanmaktadır [42].

## 2.5. Sert Yüzey Kaplama Yöntem Seçimi

Makine ekipmanlarının ömrünü verimli bir şekilde uzatmak için genellikle aşınmaya ve/veya darbeye karşı aşınma direnci gerekir. Kaynak, bu gereklilikleri yerine getirmek ve sert dolgu alaşımları uygulamak için kilit bir teknolojidir. En yaygın işlemler oksiasetlenen kaynağı (OAW), gaz metal ark kaynağı (GMAW), örtülü elektrot ark kaynağı (SMAW) ve tozaltı ark kaynağıdır (SAW) [43].

Dolgu metalleri veya tozları içeren kaplamalar çoğunlukla kaynak, termal püskürtme veya yardımcı kaynak işlemleriyle yapılır. Son yıllarda, çelik yüzeyin özelliklerini değiştirmek için gaz tungsten ark kaynağı (GTAW) işlemi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Kaplama ve alaşımlama yoluyla bu yüzey modifikasyonu, arzu edilen bir bileşime sahip bir alaşım tozunun ve alt tabaka malzemesinin ince bir yüzey tabakasının aynı anda eritildiği ve daha sonra alt tabakaya metalurjik olarak bağlanan yoğun bir kaplama oluşturmak üzere hızla katılaştırıldığı bir işlemdir. Yapılan bazı

çalışmalar, GTAW kaplamalarının, yığın özelliklerini bozmadan korozyon direnci, aşınma direnci ve termal iletkenlikte dikkate değer geliştirmeler sağladığını göstermiştir [44].

Şiddetli aşınma şartlarında çalışan bileşenlerin aşınma sorununu azaltmak için yıllar içinde yüzey birikintileri, kaplamalar ve sert kaplama gibi önemli sayıda yüzey modifikasyon teknikleri geliştirilmiştir. Kaynak, sert dolgu malzemesi üretmek için kolay ve ekonomik bir yöntem olarak kabul edilir. Kaynak teli elektrotları, farklı kaynak işlemlerinde aşınmaya karşı yüksek dirençli bir kaplama oluşturmak için kullanılır. Gaz metal ark kaynağı (GMAW), tozaltı ark kaynağı (SAW), tungsten inert gaz kaynağı (TIG), özlü ark kaynağı (FCAW) gibi bazı kaynak yöntemleri arasında SAW'nın birkaç avantajı vardır, birincisi, prosesin yüksek biriktirme hızlarını ve iyi penetrasyonu sağlayabilmesidir, ikincisi, birden fazla elektrot kullanma olasılığı ve kolay takviye tozu girişi ve sonuncusu, nispeten düşük bir kaynakçı becerisi gerekir, çünkü proses kolay ve otomatiktir. İnert gaz koruması altında çalışan TIG dolgunsuz kaynak işleminin, standart tribolojik uygulamalar için gerekli derinliğe kadar kontrollü ergitme ile nispeten düşük maliyetle metal alaşım numunelerinin yüzey özelliklerinin değiştirilmesi için oldukça etkili olduğu bulunmuştur. Plazma transfer ark kaynağı (PTAW), termal püskürtme, lazer kaplama veya diğer benzer teknolojilere kıyasla düşük üretim maliyeti ve yüksek üretkenlik ile kalın sert dolgu kaplamaları üretmek için en kolay otomatikleştirilmiş ve uyarlanabilir prosesler arasındadır. Toz besleme sistemi genellikle donatıyı ark alanına aktarmak için kullanılır. PTAW için tipik olan birkaç farklı toz malzeme sistemi vardır: Krom karbür, WC–Ni ve WC–Co, vb. Bu sistemler SAW ve TIG için de uygundur [45].

Lazer kaynağı (LBW), yüksek enerji yoğunluğu, dar ısıdan etkilenen bölge ve küçük deformasyon avantajlarına sahiptir, ancak boşluğa karşı hassastır ve penetrasyon kaynağı sırasında yüzey çöküntüsü oluşturması kolaydır [46].

Bunların yanında kolay kontrol edilebilir ve temiz bir imalat yöntemi olmasıyla bilinmektedir. Ayrıca, ısı kaynağını çok küçük bir bölgede yoğunlaştırma yeteneği, neredeyse tüm metalik malzemelerin kolayca ısınmasına, erimesine ve buharlaşmasına olanak tanır. Lazer kaynağının diğer avantajları arasında, ısı kaynağı boyutunun küçültülmesi nedeniyle ortaya çıkan termal olarak etkilenen bölgelerin daha az termal bozulma ve genişlemesi yer alır.

Bu birleştirme yöntemleri aynı zamanda yüksek üretkenlik, esneklik ve güvenilirlik sergilemekle birlikte çok çeşitli ilgili mühendislik alaşımlarında kullanılabilirler [47].





### 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 3.1. Borürler

Börürler yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek mukavemete ve korozyon direncine sahip olması nedeniyle aşınma dayanımı gereken kaplamalarda büyük bir potansiyele sahiptir. Bu avantajları güçlü kovalent bağ yapısına dayanmaktadır [48].

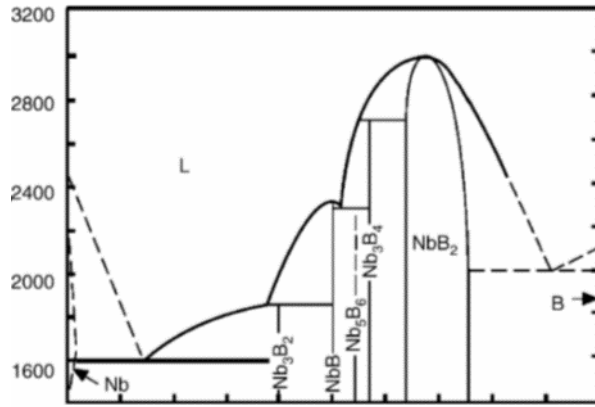
##### 3.1.1. Tungsten borürler

Tungsten borürler yüksek sertlik, kimyasal kararlılık, termal şok direnci ve yüksek sıcaklık direnci ile ön plana çıkmaktadır [49]. Borürler genellikle kovalent, iyonik ve metalik bağlara sahip olduğundan çeşitli tungsten borürler son derece yüksek erime noktasına, yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı kesici takımlar, elektronik malzemeler, süper sert malzemeler, yüksek sıcaklık elektrotları gibi çeşitli uygulamalarda tercih edilmektedir [50].

##### 3.1.2. Niyobyum borürler

Geçiş metali borürler, yüksek erime noktalarına, yüksek sertliğe ve yüksek elektrik iletkenliğine sahip benzersiz malzemelerdir ve çeşitli seramik ve metaller, kaplama malzemeleri, elektron yayıcılar ve katalizörler için faydalı olması beklenmektedir. NbB<sub>2</sub> ve ikame edilmiş bileşikler, süperiletkenliğin benzersiz özellikleri nedeniyle ilgi çekmiştir [51]. Bu özelliklerinden dolayı çeşitli mühendislik uygulamaları için birçok araştırmacının odak noktası olan malzeme sınıfıdır. Bu tür bir geçiş metali borürler, diğer borür muadilleri (MB<sub>2</sub>; M: Ti, Zr, Hf ve Ta) arasında araştırmaların daha az ilgisini çeken niyobyum diborittir (NbB<sub>2</sub>). Bugüne kadar, diğer borid sistemleri gibi iyi mekanik, kimyasal ve termal özelliklere sahip olmasına rağmen, NbB<sub>2</sub> üzerine yapılan birincil araştırma, yalnızca süperiletken davranışına odaklanmıştır. NbB<sub>2</sub>'yi yüksek sıcaklık uygulaması için kullanmamakla ilgili temel endişe, düşük erime noktalı metal oksitlerinden (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ~1512 °C ve NbO<sub>2</sub> ~1915 °C) kaynaklanmaktadır [52].

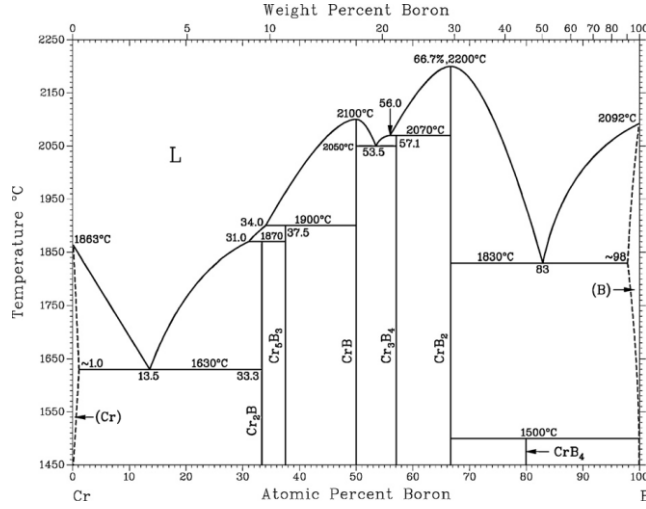
Niobyum borürler; yüksek ergime sıcaklıkları, yüksek mukavemet, yüksek termal ve elektrik iletkenliklerine sahip olduğundan, yüksek sıcaklıklardaki uygulamalarda potansiyel bir aday olarak göze çarpar. Nb-B faz diyagramına göre 5 farklı bileşim oluşturduğu tespit edilmiştir ( $Nb_3B_2$ , NbB,  $Nb_5B_6$ ,  $Nb_3B_4$  ve  $NbB_2$ ). Tüm bu bileşimler içerisinde  $NbB_2$  ayrı bir yere ve öneme sahiptir. 1900°C sıcaklığın üzerinde bulunan bor bileşimi içerisinde, yaklaşık  $NbB_2$  fazı %64- %72 arasında homojen olarak değişen bir dağılıma sahiptir [53].



Şekil 3.1. Nb-B faz diyagramı [53].

### 3.1.3. Krom borürler

Geçiş metallerinin borürleri benzersiz özellikleri nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Bunlar arasında krom borürler yüksek erime noktası, kimyasal kararlılık, yüksek sertlik ve mukavemetinden dolayı teknolojik öneme sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı yapı malzemeleri alanında uygulama alanına sahiptir [54]. Cr-B ikili denge diyagramına göre  $Cr_2B$ ,  $Cr_5B_3$ , CrB,  $Cr_3B_4$ ,  $CrB_2$  ve  $CrB_4$  olmak üzere 6 adet borür bulunmaktadır. Bunlar arasında  $CrB_2$  2200 °C erime noktasına sahip en kararlı bileşiktir ve özellikle kesici takımların sert kaplamasında, mekanik parçaların aşınma ve korozyona karşı korunmasında koruyucu tabaka olarak önemli bir adaydır [55].



Şekil 3.2. Cr-B faz diyagramı [55]

### 3.1.4. Demir borürler

Ferro bor ağırlık bakımından %10-20 arasında bor ihtiva eden bir demir-bor alaşımıdır. Ferro bor ilk olarak 1893 yılında Henri Moissan tarafından karbon astarlı ve tek fazlı bir elektrik ark fırınında elde edildi. Günümüzde ticari boyutlu ferro bor üretimi karbotermik reaksiyon ve alüminotermik reaksiyon olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır. Karbotermik reaksiyonla ferro bor üretimi elektrik ark fırınlarında yapılır. Ark fırınına şarj edilen hammaddeler; borik asit, kömür ve demir tozudur. Alüminotermik reaksiyonla ferro bor üretimi ise potalarda yapılır. Alümino termik reaksiyon için potaya borik asit, demir cevheri, alüminyum tozu ve bazende magnezyum tozu yüklenir [56].

Aşınma ve korozyon önemli miktarda ekonomik kayba neden olduğundan kayıpları azaltmak ve zorlu çevresel gereklilikleri karşılamak için yüksek aşınma dirençli ve korozyona dayanıklı alaşımlar geliştirmek malzemeler için büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, Fe-B alaşımlarının yeniliği, Cr dökme demirler veya paslanmaz çeliklere kıyasla mükemmel aşınma direnci ve orta derecede darbe tokluğu, daha yüksek kimyasal ve mekanik stabilite ile iyi korozyon direnci nedeniyle bir çığır açıcı olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, iyi oksidasyon direncine sahip olduğu bildirmiştir. Bunların yanında, B elementinin paslanmaz çelik veya yüksek hız çeliğine dahil edilmesi aşınma direncini artırabilir. Bugüne kadar Fe-B alaşımları, örneğin cam kalıplar, bilyeli değirmen gömlekleri, kılavuz merdaneler, çekiç başı, öğütme bilyesi, yüksek borlu yüksek hızlı çelik merdane ve sıcak daldırılmalı galvanizleme gibi aşınmaya dayanıklı veya korozyona dayanıklı parçalara uygulanmıştır [57].

## 3.2. Üçlü Sistemler

### 3.2.1. Fe-Cr-B üçlü sistemi

Pistonlar, miller, kaymalı yataklar, kesme aletleri, pompa parçaları ve havacılık parçaları gibi dinamik makine bileşenlerinin aşınmaya karşı korunması gerekir. Aşınmaya karşı koruma, metalik bir matris içine gömülmüş sert güçlendirici parçacıklardan oluşan çok fazlı malzemeler olan metal matrisli kompozitler (MMC'ler) tarafından sağlanabilir. Bu sistemlerden biri, Fe-bazlı bir katı çözelti matrisinde dağılmış  $(Cr,Fe)_2B$ ,  $(Cr,Fe)_x B$ ,  $Cr_2B$ ,  $Fe_{1.1}Cr_{0.9}B_{0.9}$  ve/veya  $Cr_{1.65}Fe_{0.35}B_{0.96}$  gibi sert borür parçacıkları içeren Fe-Cr-B-esaslı alaşımlardır. Bu sistemin kayma ve aşınmaya karşı mükemmel direnç gösterdiği gösterilmiştir. Fe-Cr-B-bazlı alaşımlar, termal püskürtme işlemleri kullanılarak yaygın bir şekilde kaplama olarak uygulanmıştır. Sert borit parçacıklarının hacim oranı, şekli, boyutu ve yöneliminin Fe-Cr-B alaşımının aşınma performansını etkilediği belirlenmiştir. Alaşımın karbon çeliği gibi bir altlık üzerine kaynaklanması; bileşimi, mikroyapıyı, mekanik özellikleri ve sonuç olarak aşınma performansını değiştiren seyrelmeye neden olur [58].

### 3.2.2. Fe-Nb-B üçlü sistemi

Fe-Nb-B alaşımları, bileşime ve soğuma hızına bağlı olarak nano yapılı kompozitler, amorf ve ultra ince ötektik alaşımlar içinde farklı bileşenlerin elde edilmesi nedeniyle son yıllarda ilgi görmektedir [59]. Fe-Nb-B alaşımının manyetik özelliklerinden dolayı indüktörler, transformatörler, alternatif akım makineleri motorlar, jeneratörler ve sensörler gibi manyetik özellik gerektiren cihazlarda uygulanabileceği anlaşılmıştır [60].

### 3.2.3. Fe-W-B üçlü sistemi

Borürler, özellikle geçiş metali borürler, yüksek sertlik, yüksek erime noktası ve sert malzemeler arasında nispeten yüksek elektrik iletkenliği gibi benzersiz kombinasyonları sayesinde aşınma dirençli uygulamalar için potansiyel olarak mükemmel adaylardır. Üçlü borürler için parlak beklenti ışığında, geçiş metal borürün üstün özelliklerine sahip olan bir tür geçiş metali borür FeWB yakın zamanda hazırlanmış ve incelenmiştir. Mükemmel termal kararlılığı ve yüksek teorik yoğunluğu ( $13,27 \text{ g/cm}^3$ ) etkileyicidir ve FeWB'nin çok çeşitli uygulamalarda

kullanılması beklenmektedir, örn. sert malzemeler, aşınmaya dayanıklı malzemeler ve ısıya dayanıklı malzemeler [61].

FeWB alaşı grubu, endüstriyel uygulamalar için stratejik metal olan Co kullanımını önler; FeWB alaşım yoğunluğu, hafifliği gerçekleştirebilen Co alaşımlarından daha düşüktür; Alaşım iyi bir kimyasal stabiliteye sahiptir ve alaşımların bağlayıcı fazı, sert faz ile mükemmel bir kombinasyona sahip olan Fe'dir. Mükemmel termal stabilitesi ve yüksek teorik yoğunluğu (10,5 g/cm<sup>3</sup>) etkileyicidir [62].



## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Giriş

Yüzey alaşımlama, ağır, agresiv ve aşındırıcı ortamlarda çalışan iş parçalarının yüzey performanslarını geliştirmek amacıyla uygulanan bir yüzey işlemidir. Bu sayede malzeme ömrü önemli ölçüde artırılabilen, ekonomik kayıplar azaltılmakta, bakım onarım masrafları düşürülmekte, işçilik giderleri azaltılmakta ve aşınan parçaların değişimi sırasında üretime ara verme, makinelerin durdurulması minimize edilmektedir. Bütün bu sayılan kayıplar düşünüldüğünde çok büyük bir ekonomik kazanç sağlanmaktadır. Bu amaçla çalışmada Fe-B esaslı yüzey alaşımları özellikleri bakımından önemli, umut vaat edici sonuçlar sunmuştur. Bu çalışmada, Fe-B esaslı yüzey alaşımlama, W, Nb ve Cr ilavesinin özellikler üzerine ne gibi etkiler yapacağı araştırılacaktır. Bu çalışmada önceden bileşimi belirlenen Fe-B alaşım tozu ferro-alaşımlar kullanılarak ve içerisine değişik oranlarda W, Nb ve Cr ferro-tungsten, ferro-niobyum ve ferro-krom kullanılarak ilave edilmiştir. Elde edilen karışım önce halkalı değirmende öğütülerek alaşım tozu üretilmiştir. Daha sonra, alaşım tozunun içerisine fuluşpat, kuvars, alginatlar, camsuyu gibi ilaveler yapılarak toz karışımı plastik bir hale getirilmiştir. Önceden hazırlanmış kalıplara tel çubuk elektrotlar yerleştirilerek, hazırlanan plastik karışım presle enjekte edilerek çubuğun etrafı kaplanmıştır. Kurutma ve pişirme işlemleri ile üretilmiş olan elektrotlar, klasik örtülü elektrot kaynak yöntemiyle AISI 1020 çelik plaka üzerine alaşımlama yapılmıştır. Üretilen plakalar içerdikleri W, Nb ve Cr miktarlarına bağlı olarak, metalografik olarak hazırlanarak, optik ve taramalı electron mikroskoplarında incelenmiştir. Yine X-ışınları difraksiyon analizi ile oluşan arayer bileşikler tespit edilmiştir. Mikro ve makro sertlik ölçümleri yapılarak ve sert aşındırıcı bilyeye karşı aşınma deneyleri yapılmıştır. Böylelikle üretilen yüzey alaşımının performansları ölçülerek muadilleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

## 4.2. Elektrot Tasarımı ve Üretimi

### 4.2.1. Kullanılan hammaddeler ve altlık

Tasarımı yapılan elektrotların örtüsünü oluşturan bileşimlerde çeşitli ferro alaşım tozları kullanılmıştır. Bu tozlar; ferro-tungsten, ferro-niyobyum, ferro-bor, ferro-krom ve demir tozudur. Bu tozların bileşim reçetesi Tablo 4.1’de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Kullanılan tozların kimyasal bileşimleri (% ağırlıkça).

Tozlar	%W	%Nb	%B	%Cr	%C	%Mn	%Si	%Al	%Fe
Ferro-wolfram	77,98				0,107	0,18	0,56		Kal.
Ferro-niyobyum		66,1			0,125		0,98	0,84	Kal.
Ferro-boron			18,58		0,312		0,39	0,084	Kal.
Ferro-krom				73,06	0,038		0,19		Kal.
Demir tozu									99,99

Herbir farklı elektrot tasarımı için farklı oranlarda ferro tozlar atomik oranları karşılayacak şekilde hesaplanmıştır. Ferro tozların yanında örtü bileşiminde flaks ve bağlayıcı malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelerin bileşimi Tablo 4.2’de verilmiştir.

**Tablo 4.2.** Örtü bileşimindeki flaks ve bağlayıcıların oranları.

Bileşim	Miktar(%Ağ.)
Rutil (TiO <sub>2</sub> )	5
Kuvars (SiO <sub>2</sub> )	
Alümina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	
Fluşpat (CaF <sub>2</sub> )	
Potasyum Aljinat (C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> KO <sub>6</sub> )	
Kalsiyum Karbonat (CaCO <sub>3</sub> )	
Potasyum Titanat (K <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub> )	
Sodyum-feldispat (NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	
Potasyum-silikat (K <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	17,5

Örtü merkezinde kullanılmak için soğuk çekme filmaşın tel kullanılmıştır. Tel 2,5 mm çapında, 350 mm uzunluğundadır ve bileşimi Tablo 4.3’de verilmiştir.



**Tablo 4.3.** Filmaşın tel kimyasal bileşimi (ağ.).

Çekirdek metal	C	Cr	Mn	Si	P	S	Fe
H08A	<0,1	0,064	0,37	0,1	<0,02	<0,02	Kal.

Üretilen elektrotların uyulanması için altlık malzeme olarak metalurjik uyum, kaynak kaabiliyeti, ekonomik olması, kolay bulunabilirliği gibi sebeplerden dolayı, H08A çeliği seçilmiş olup altlık malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 4.4’de verilmiştir.

**Tablo 4.4.** H08A altlık malzeme kimyasal bileşimi.

Element	C	Si	Cr	Mn	P	S	N	Fe
% (Ağırlık)	0,21	0,001	0,064	0,4	0,026	0,022	0,1	Kal.

Altlık malzeme deneysel numunelerin geometrik şartları bakımından 70x30x6 mm ölçüsünde hazırlanmıştır.

#### **4.2.2. Elektrot bileşim tasarımı ve gruplandırılması**

Elektrot bileşimini meydana getiren unsurlar, elektrot çekirdek metali ve elektrot örtüsüdür. Bu sebeple elektrot bileşimini tasarlarken bu iki unsur ile birlikte elektrot çapı önemli bir parametre olmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalar [63] ve ön çalışmalar neticesinde örtülü elektrotun optimum çapı 5.5 mm olarak belirlenerek, tez çalışması yürütülmüştür.

Tüm bu parametreler belirlendikten sonra, kaynak uygulamasında kullanılmak üzere 1 baz bileşime ek olarak 10 farklı bileşim ile birlikte toplam 11 bileşim reçetesi oluşturulmuş ve 7 farklı grup altında deneysel çalışmalar ve değerlendirilmeler yapılmıştır. Bu gruplar ve bileşimler Tablo.4.5’de verilmiştir.

**Tablo 4.5.** Elektrot bileşimleri

Bileşim	W	Nb	B	Cr	Fe	Grup
Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub>			15		Kal.	
Fe <sub>16</sub> WB <sub>3</sub>	5		15		Kal.	1
Fe <sub>15</sub> W <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	10		15		Kal.	
Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub>			15		Kal.	
Fe <sub>16</sub> NbB <sub>3</sub>		5	15		Kal.	2
Fe <sub>15</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>3</sub>		10	15		Kal.	
Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub>			15		Kal.	
Fe <sub>16</sub> B <sub>3</sub> Cr			15	5	Kal.	3
Fe <sub>15</sub> B <sub>3</sub> Cr <sub>2</sub>			15	10	Kal.	
Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub>			15		Kal.	
Fe <sub>16</sub> WB <sub>3</sub>	5		15		Kal.	4
Fe <sub>15</sub> WB <sub>3</sub> Cr	5		15	5	Kal.	
Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr	5	5	15	5	Kal.	
Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub>			15		Kal.	
Fe <sub>16</sub> WB <sub>3</sub>	5		15		Kal.	5
Fe <sub>15</sub> WNbB <sub>3</sub>	5	5	15		Kal.	
Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr	5	5	15	5	Kal.	
Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub>			15		Kal.	
Fe <sub>16</sub> NbB <sub>3</sub>		5	15		Kal.	6
Fe <sub>15</sub> WNbB <sub>3</sub>	5	5	15		Kal.	
Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr	5	5	15	5	Kal.	
Fe <sub>17</sub> B <sub>3</sub>			15		Kal.	
Fe <sub>16</sub> B <sub>3</sub> Cr			15	5	Kal.	7
Fe <sub>15</sub> NbB <sub>3</sub> Cr		5	15	5	Kal.	
Fe <sub>14</sub> WNbB <sub>3</sub> Cr	5	5	15	5	Kal.	

#### 4.2.3. Kalıp tasarımı ve üretimi

Endüstriyel elektrot üretimi seri üretim şeklinde yapılmaktadır. Dolayısıyla elektrot üretim makinelerine tek seferde kilolarca örtü tozu şarj edilmektedir. Bu çalışmada deneysel çalışmalar için gerektiğinde birkaç elektrot üretme durumu söz konusu olduğundan, az sayıda elektrot üretimi yapılabilmesi için pratik bir elektrot üretim kalıbına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kalıbı daha önce ölçülerini belirlenen 5,5 mm çapında 350 mm uzunluğunda elektrot üretimine uygun şekilde tasarladıktan sonra AA 7075 alüminyum alaşımından CNC freze tezgahında üretimi yapılmıştır. Kalıba ait görsel Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Kalıp tek seferde 4 adet elektrot üretimi yapılacak şekilde imal edilmiştir.



Şekil 4.1. Elektrot üretiminde kullanılan kalıp görseli

#### 4.3. Elektrot Üretimi

Elektrot üretimi için kullanılacak olan tozlar ve diğer karkı maddeleri önceden belirlenen reçeteye göre 1/1000 hassasiyete sahip terazi kullanılarak tartılmıştır. Takiben yaş karıştırma yapılarak çamur haline getirilmiştir. Çamur haline getirilen karışımın kalıba yerleşiminin kolay olması için, kalıp formuna benzer şekle getirilmektedir. Şekilleştirilen çamur kalıba yerleştirilerek kalıp kapakları kapatılıp kalıp sıkıştırılmaktadır. Son olarak elektrot teli örtü çamurunun merkezine gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Elektrotlar kalıp içinde şeklini aldıktan sonra kalıp sökülerek

elektrotlar çıkarılmaktadır. Kalıptan çıkarılan elektrotlar bir gün oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Kurutulan elektrotlar 350 °C sıcaklıkta 2,5 saat fırınlanmıştır.

#### 4.4. Kaynak İşlemi

Sert yüzey alaşımlama için üretilen elektrotlar Magmaweld RD 650 E elektrik ark kaynak makinesi ile altlık malzeme yüzeyine kaynaklanmıştır. Kaynak öncesi altlık malzeme yüzeyi temizlenerek kaynağa hazır hale getirilmiştir. Kaynak işleminin en verimli şekilde yapılması için gerekli parametreler belirlenmiştir. Bu parametrelere göre; 125-130 A akımda, 25 V gerilimde, doğru akım ters kutuplama şartlarında ve kaynak hızı 0,3 m/dk olacak şekilde uygulanmıştır. Kaynak sırasında oluşan ısı girdisi Eşitlik 4.1.'de verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$IG = \frac{60.E.I.f}{1000.F} \quad (4.1)$$

Eşitlikte E kaynak gerilimi (volt), I kaynak akımı (amper), f ısı iletimini ve V kaynak hızını (m/dk) göstermektedir. Ark kaynağı için f değeri 0,8 olarak alınmıştır. Değerler formülde yerlerine yazıldığında bütün altlık malzemeler için ısı girdisi 500 kJ/m bulunmuştur.

#### 4.5. Karakterizasyon İşlemi

Altlık malzeme üzerine kaynakla uyguladığımız sert yüzey alaşımlarının çeşitli test ve analizlerini yapmak için öncelikle numuneler uygun büyüklükte ve kesitte kesilmiştir. Kesme işlemi Metkon MICRO CUT 201 marka su soğutmalı hassas kesme aletiyle yapılmıştır. Kaynağın kesitinden kesilen numuneler mikroyapı incelemesi ve mikrosertlik ölçümlerinde kullanılmıştır. Kaynak kesiti Şekil.4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Kaynak kesit görseli şematik gösterim

Mikroyapı incelemesi ve mikrosertlik testleri yapılacak numuneler kesme işleminin ardından bakalite alınmıştır.

Kaynaklanan sert yüzey alaşımları altlık malzeme yüzeyine paralel olacak şekilde satıh taşlaması yapılarak kaynak üst yüzeyinden makrosertlik ve aşınma testleri yapılmıştır. Satıh taşlanmış numune görseli Şekil 4.3'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.3.** Sert yüzey alaşımlama satıh taşlanmış numune görseli şematik gösterimi

Tüm numuneler kesme işleminden sonra zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Mikroyapı ve mikrosertlik numuneleri bakalit alınarak, zımparalama SiC zımpara ile sırasıyla 120, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 grid zımparalar ile yapılmış ve 1 µm elmas pasta ile parlatılmıştır. Mikroyapı incelemesi yapılacak olan numuneler parlatma işlemi sonrası %3 Nital çözelti ile dağlanmıştır.

#### **4.5.1. Mikroyapı analizleri**

Metalografik numune hazırlama aşaması tamamlanan numuneler JEOL JSM-6060 LV taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile incelenmeye alınmıştır. İncelemesi yapılan numuneler SEM cihazına entegre olarak çalışan IXRF Systems Inc. EDS (Electron Dispersive Spectroscopy) cihazıyla noktasal ve bölgesel elementel analizleri gerçekleştirilmiştir.

#### **4.5.2. Faz analizleri**

Sert yüzey alaşımlaması yapılan numuneler RIGAKU D/MAX/2200/PC marka X-ışınları difraktometresi ( $\text{CuK}_\alpha$   $\lambda=1,5408 \text{ \AA}$ ) kullanılarak faz analizleri yapılmıştır. Analizlerden elde edilen veriler MDI Jade 6 ve X'pert Highscore bilgisayar yazılımları kullanılarak çözümlendikten sonra fazların tespiti yapılmıştır.

#### **4.5.3. Sertlik testleri**

Sert yüzey alaşımlanmış numuneler makro ve mikro sertlik testlerine tabi tutulmuştur. Makro sertlik ölçümleri için Bulut Makina BMS-DIGIROCK-RB sertlik ölçme cihazı kullanılarak Rockwell C sertlik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler kaynak bölgesinin altlık malzemeye paralel satıh taşlaması yapılan yüzeyinden alınmıştır. Ölçümler alınırken ölçüm noktaları arası 5 mm mesafe bırakılmıştır. Ölçülen sertlik değerlerinin ortalaması alınarak makro sertlik seçeri tesbit edilmiştir. Mikro sertlik ölçümü için ise LEİCA VMHTMOT marka Vickers sertlik ölçme cihazı ile yapılmıştır. Bu ölçümler

kaynak kesitinden kesilen numuneler ile yapılmıştır. Ölçümler 100 gr yük altında yapılmıştır. Ölçüm noktaları arasında 0,2 mm mesafe bırakılmıştır. Alınan değerler Excel programı kullanılarak grafik haline getirilmiştir.

#### 4.5.4. Aşınma testleri

Sert yüzey alaşımlama yapılan yüzeylerden satıh taşlamasıyla altlık malzemeye paralel olarak elde ettiğimiz numune yüzeylerine ASTM G133 standartına göre TRIBOtechnic-TRIBOtester aşınma cihazı ile aşınma testleri yapılmıştır. Testler salınım (karşılıklı - git gel) hareketli yapılmıştır.

Aşınma testleri oda sıcaklığında 25° (±2) sıcaklık ve %30 (±3) nem ortamında yapılmıştır. Aşınma testlerinde 10 mm çaplı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1850 HV<sub>0,1</sub>) bilye kullanılmıştır. Testler 100 m boyunca, 30 mm/sn hız, 5 mm git-gel mesafesinde ve 2N, 4N, 8N olan üç farklı yük şartlarında yapılmıştır. Testlerin ardından TaylorHobson marka 2D yüzey profilmetresi ile test izleri ölçülerek sonuçlar doğrulanmıştır. Testlerde oluşan izlerin hacmi Eşitlik 4.2’de verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$V = \frac{A \cdot l}{S} \quad (4.2)$$

Formülde V iz hacmini (mm<sup>3</sup>), A iz kesit alanını ( mm<sup>2</sup>) ve l iz uzunluğunu (mm) belirtmektedir. Sürtünme katsayısı ise Eşitlik 4.3’de verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$SK = \frac{F_s}{F_N} \quad (4.3)$$

Formülde F<sub>s</sub> yanal yükü (N), F<sub>N</sub> normal yükü göstermektedir. Aşınma oranı (AO) Eşitlik 4.4’de verilen formüle göre hesaplanmıştır.

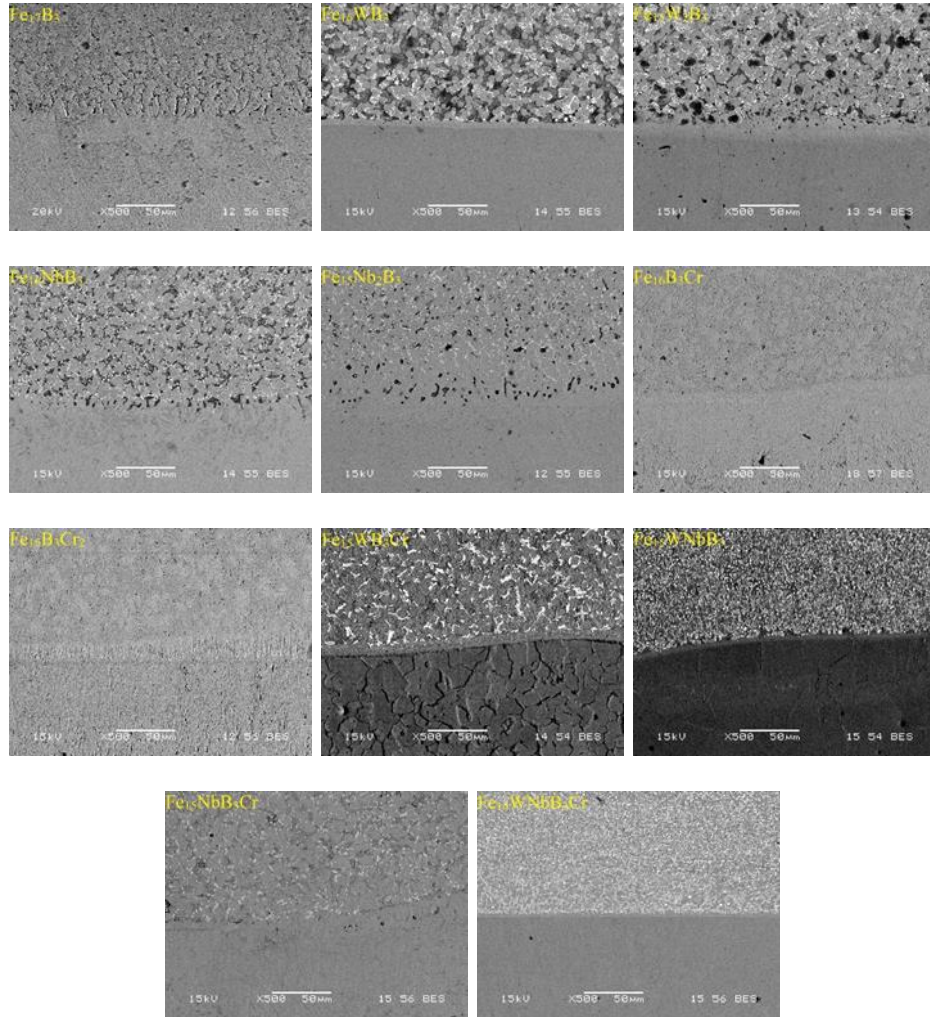
$$AO = \frac{V}{S} \quad (4.4)$$

Formülde V aşınma iz hacmini, S kayma mesafesini göstermektedir.

## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

### 5.1. Arayüzey İncelemesi

Şekil 5.1.'de SEM'de alınan AISI 1020 çelik altlık plaka üzerine kaynakla uygulanan sert yüzey kaplama tabakalarının kesit görüntüleri verilmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde, altlık ve kaynak metali açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca kaynak metali ve altlık arasında metalurjik uyumun sağlandığı görülmektedir.



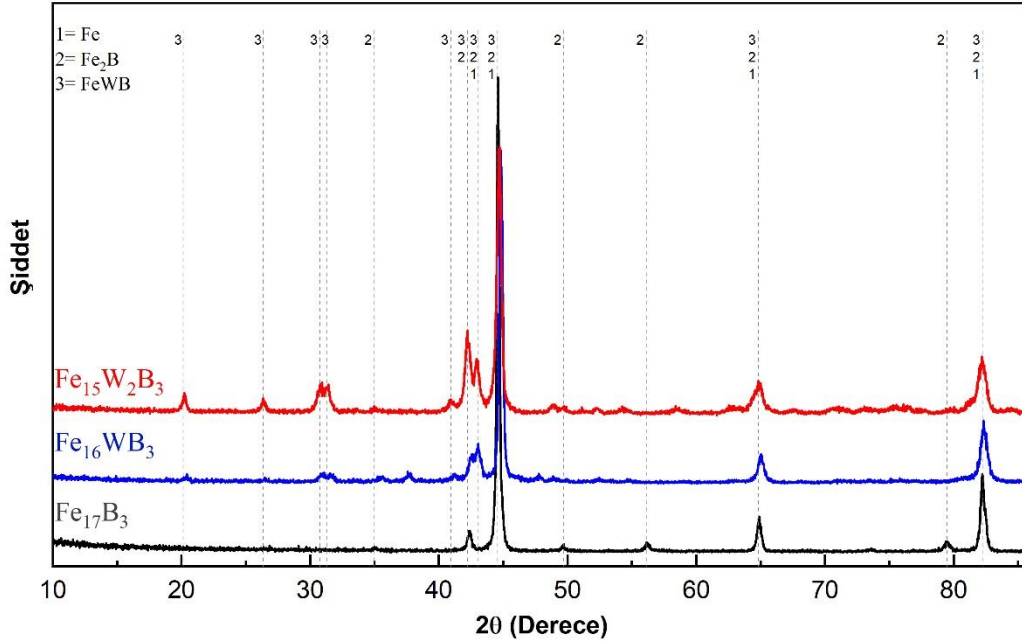
Şekil 5.1. Sert yüzey kaplama yapılan numunelerin kesitlerinin SEM görüntüleri

## 5.2. Mikroyapı ve Faz Analizleri

Deneysel çalışmalar için on bir farklı bileşime sahip elektrot üretilmiş ve elektrik ark kaynak yöntemiyle sert yüzey kaplamalar altlık üzerine oluşturulmuştur. Üretilen elektrotlardan oluşturulan sert yüzey kaplamalardan elde edilen analiz numuneleri yedi farklı grupta kıyaslama yapılarak analiz edilmiştir. Tüm gruplarda ortak olan  $Fe_{17}B_3$  bileşimi baz bileşim olarak seçilmiştir.  $Fe_{17}B_3$  bileşimine ait mikroyapı görselleri 1. grupta verildikten sonra diğer gruplarda verilmeyecektir.

### 5.2.1. 1. grup

Şekil 5.2’de 1. grup alaşımları olan  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}WB_3$ ,  $Fe_{15}W_2B_3$  sert yüzey alaşımlarına ait XRD paternleri görülmektedir. Demir bor esaslı kaplamada  $\alpha$ -Fe ve  $Fe_2B$  fazları tespit edilmiştir. FeWB esaslı kaplamalarda ise  $\alpha$ -Fe ve  $Fe_2B$  fazının yanında FeWB fazının da bulunduğu belirlenmiştir. Bu fazların Fe-W-B üçlü denge diyagramı ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir [64].



Şekil 5.2. 1. grup XRD paternleri

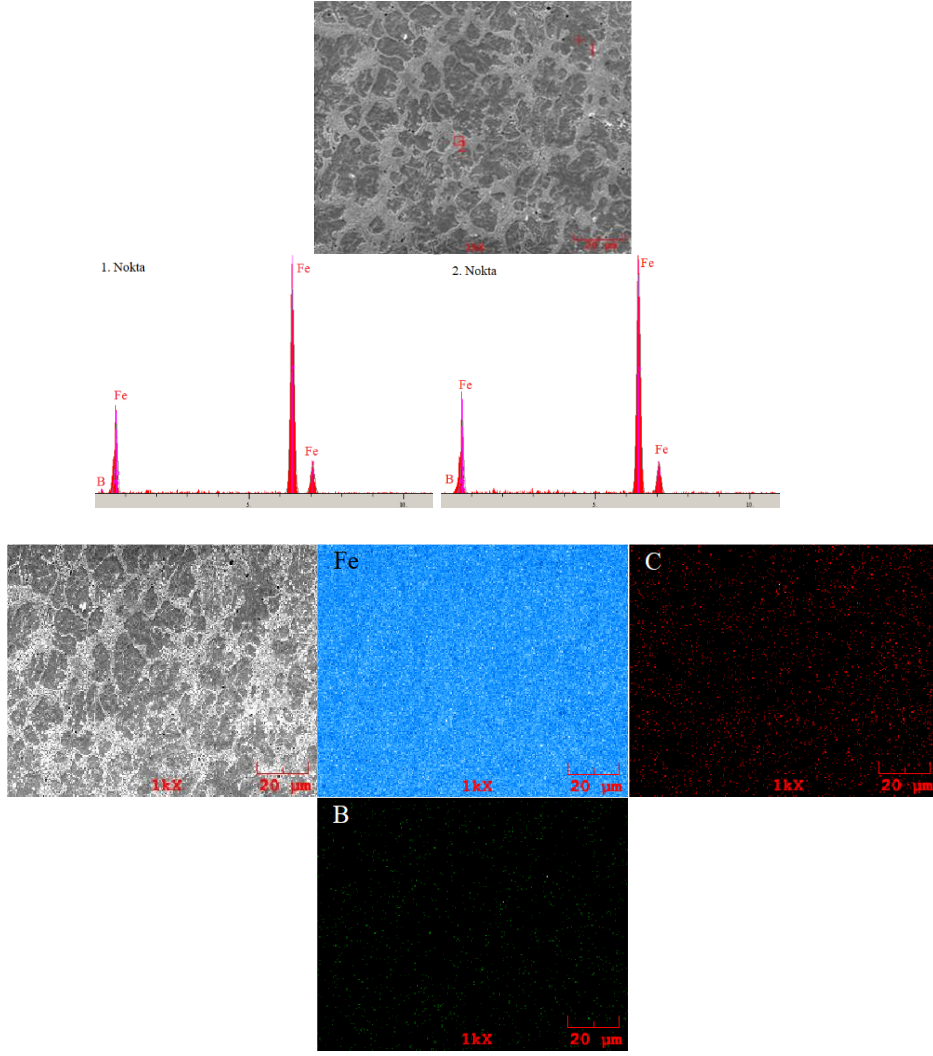
Şekil 5.3-5.5’te 1. grup olarak adlandırdığımız Fe-W-B esaslı sert yüzey alaşımların SEM görüntüleri, EDS ve X-ray MAP analizleri verilmiştir. Yapısında W içermeyen atomik olarak %15 B içeriğine sahip  $Fe_{17}B_3$  esaslı kaplamanın mikroyapısı incelendiğinde iki farklı bölge açık bir şekilde görülmektedir. Bu bileşimde ötektik altı



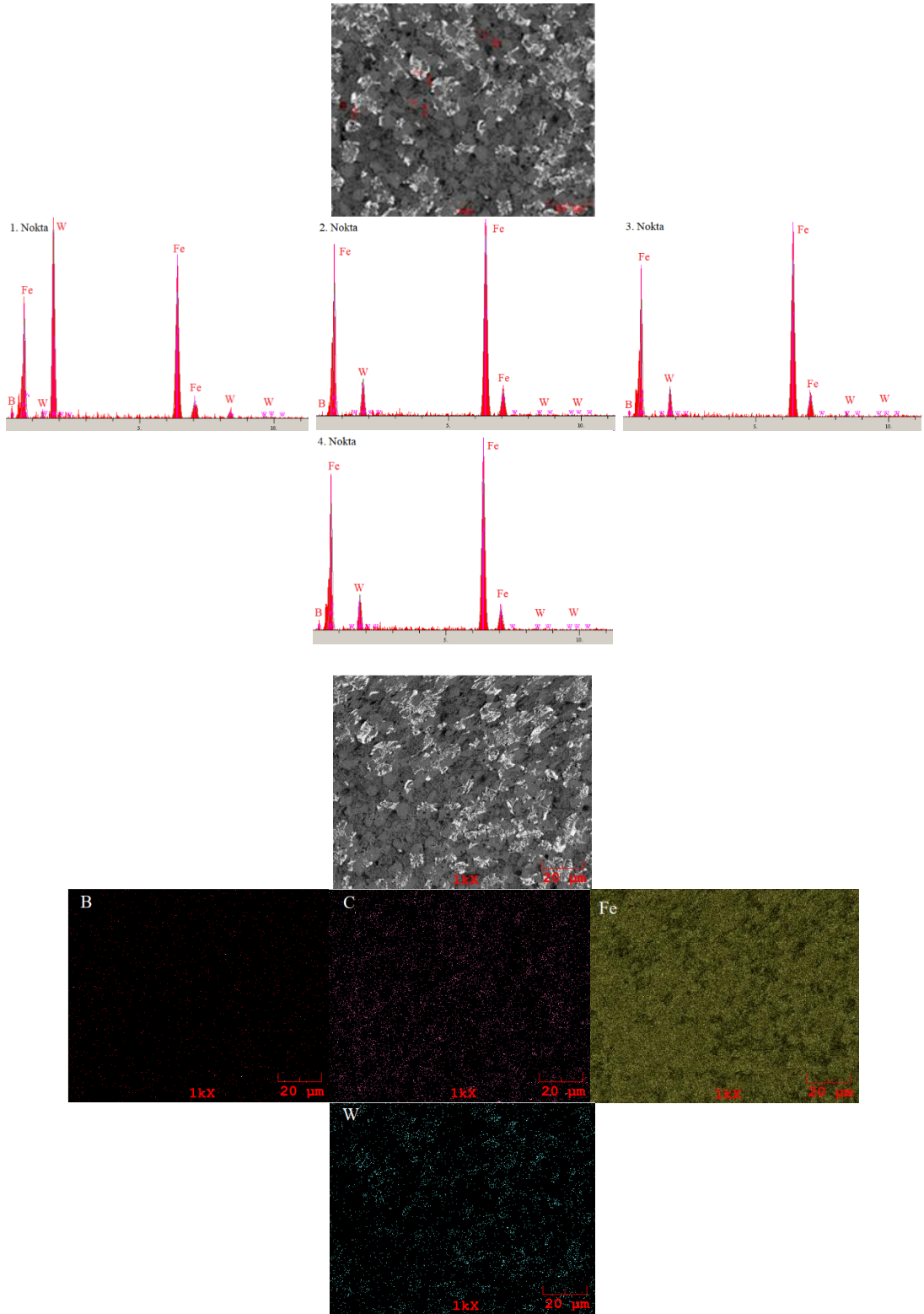
bir mikroyapı söz konusudur. Koyu gri bölgeler primer faz olup açık renkli bölgeler ise ötektik fazlardan oluşmaktadır. Şekil 5.3'te 1 numaralı EDS analizi ve MAP analizi incelendiğinde koyu gri bölgenin yoğun olarak Fe elementinden oluştuğu görülmektedir. Şekil 5.2'de verilen X ışınları analizi de göz önünde bulundurulduğunda, bu bölgenin  $\alpha$ -Fe olduğu tespit edilmiştir. Yine şekil 5.3'te ötektik bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizi incelendiğinde Fe elementi ile birlikte B elementinin kalitatif olarak varlığı söz konusudur. MAP analizi ve XRD analizleri bu ötektik yapının  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B fazlarından oluştuğunu göstermektedir.

Şekil 5.4'te ise Fe<sub>16</sub>WB<sub>3</sub> esaslı kaplamanın SEM, EDS ve MAP analizleri verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde koyu gri, ötektik ve beyaz bölgelerden oluşan bir mikroyapı görülmektedir. Beyaz bölgeden alınan 1 numaralı EDS ve MAP analizinde yoğun olarak W ile birlikte Fe ve B görülmektedir. XRD analizlerinde W içeren kaplamalarda FeWB fazı tespit edilmiş olup, beyaz bölgenin bu fazdan oluştuğu anlaşılmaktadır. Koyu gri bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizi incelendiğinde Fe ve W tespit edilmiştir. Burada Fe elementinin şiddetinin yoğun olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu bölgenin  $\alpha$ -Fe fazından meydana geldiği düşünülmektedir. Ötektik bölgeden alınan 3 ve 4 numaralı EDS analizleri incelendiğinde Fe, B ve kısmen W elementleri tespit edilmiştir. XRD'de belirlenen Fe<sub>2</sub>B fazı düşünüldüğünde bu ötektik yapının  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B'den oluştuğu anlaşılmıştır.

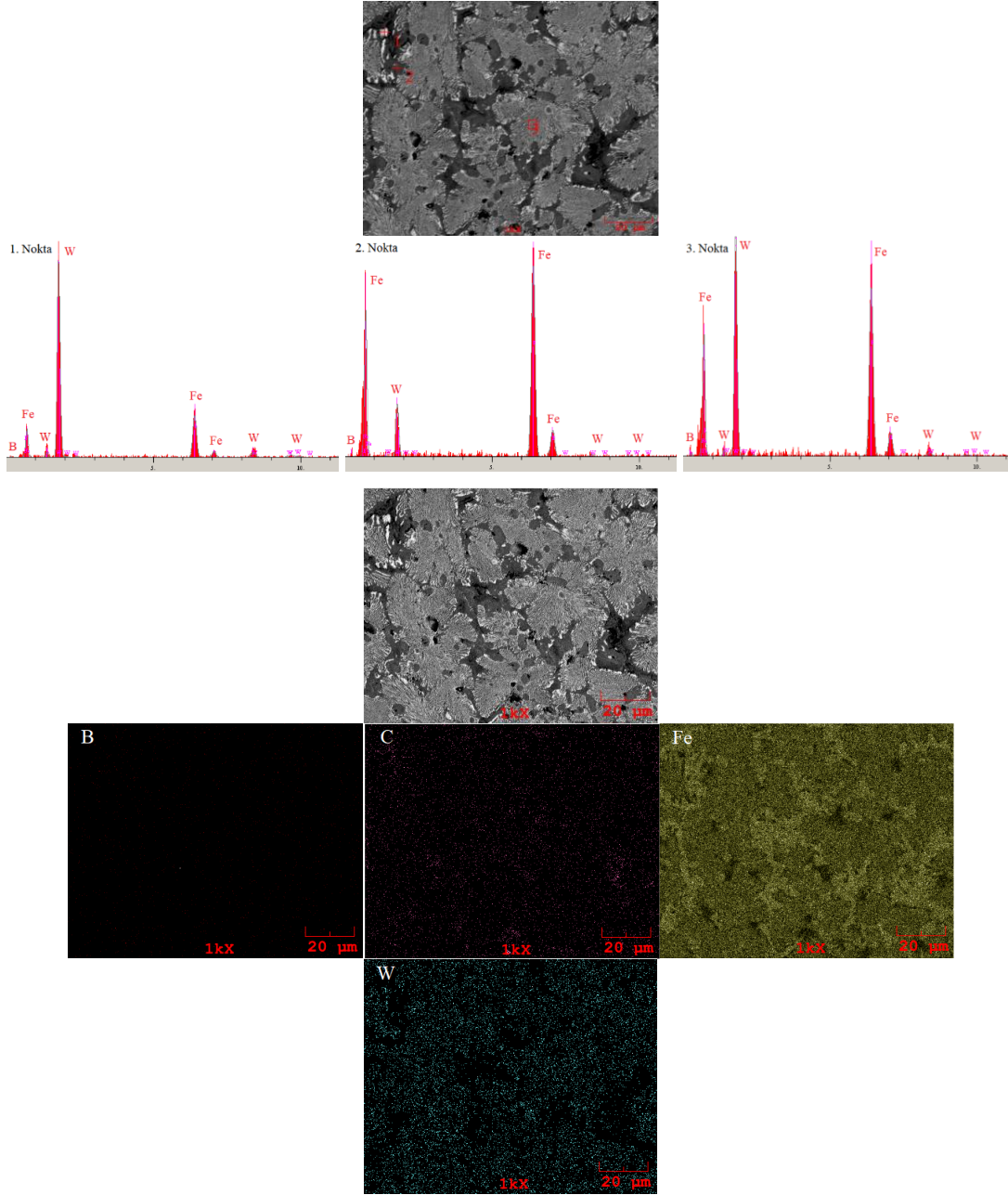
Şekil 5.5'te Fe<sub>15</sub>W<sub>2</sub>B<sub>3</sub> kaplamasına ait SEM görüntüleri incelendiğinde, mikroyapının iki bölgeden oluştuğu görülmektedir. Beyaz renkli ötektik yapı üzerinden alınan 1 ve 3 numaralı EDS analizinde W, Fe, B ve C elementleri tespit edilmiş olup, bu yapının  $\alpha$ -Fe+FeW(B,C) fazından oluştuğu belirlenmiştir. Koyu bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizinde ise Fe elementi yoğun olarak bulunmaktadır. Dolayısıyla bu bölgenin alfa demirden oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 5.3.  $Fe_{17}B_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi



Şekil 5.4.  $\text{Fe}_{16}\text{WB}_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi



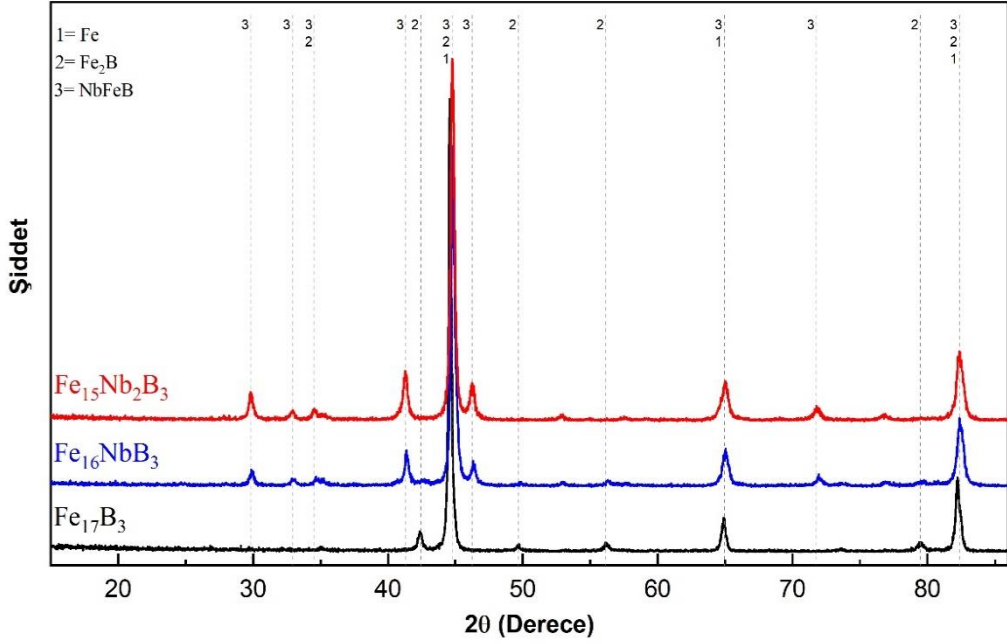
**Şekil 5.5.**  $Fe_{15}W_2B_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi

### 5.2.2. 2. grup

Şekil 5.6'de 2. grup alaşımları olan  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}NbB_3$ ,  $Fe_{15}Nb_2B_3$  sert yüzey alaşımlarına ait XRD paternleri görülmektedir. Fe-Nb-B kaplama tabakalarında  $\alpha$ -Fe,  $Fe_2B$  ve NbFeB fazları XRD incelemeleri sonucunda tespit edilmiştir.

$Fe_{17}B_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM görüntüleri, EDS ve MAP analizleri incelendiğinde mikroyapısında iki farklı bölge açık bir şekilde görülmektedir. Bu bileşimde ötektik altı bir mikroyapı söz konusudur. Koyu gri bölgeler primer faz olup açık renkli bölgeler ise ötektik fazlardan oluşmaktadır. Koyu gri bölgenin yoğun olarak

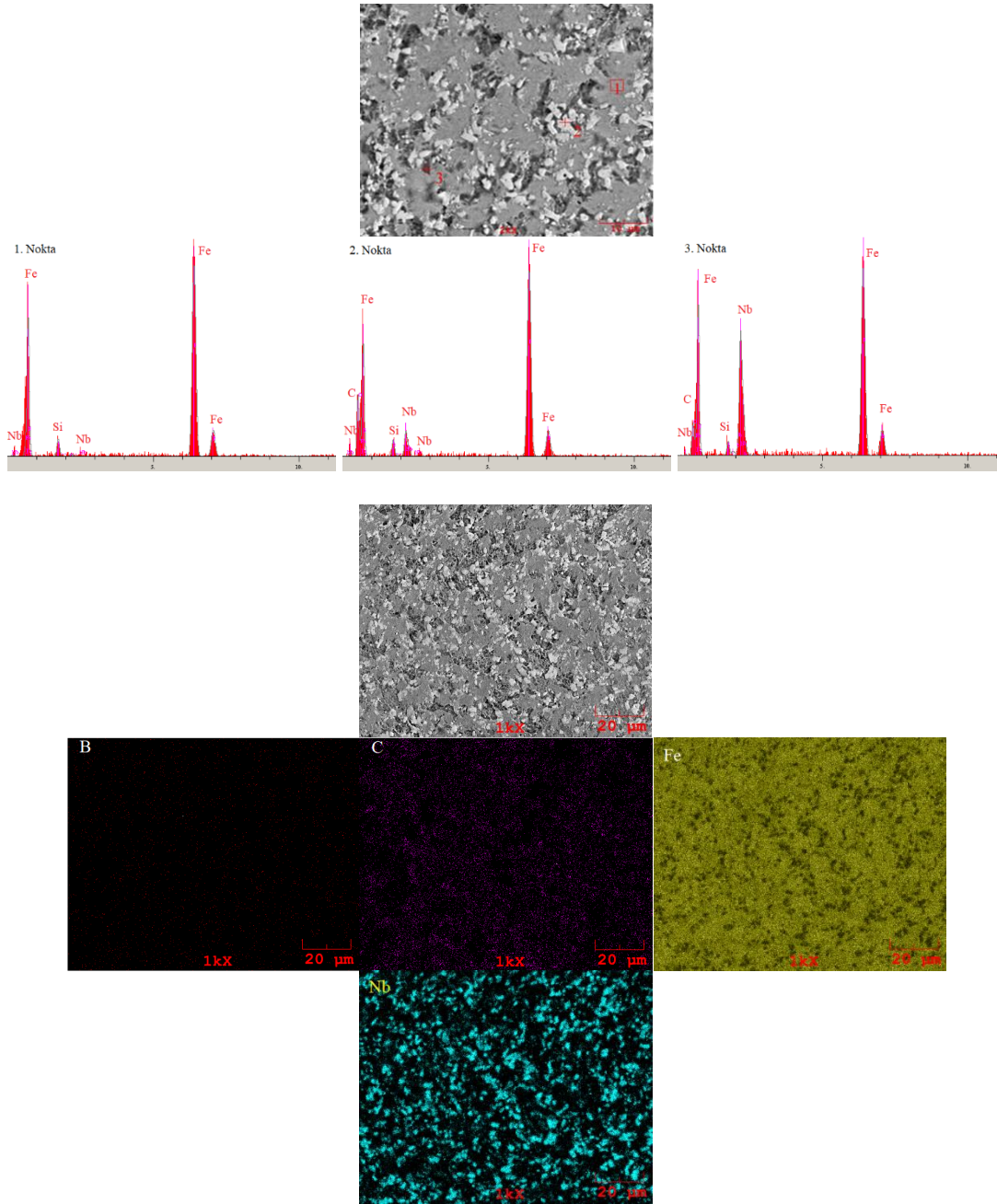
Fe elementinden oluştuğu görülmektedir. Ayrıca X ışını analizi de göz önünde bulundurulduğunda, bu bölgenin  $\alpha$ -Fe olduğu tespit edilmiştir. Yine ötektik bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizi incelendiğinde Fe elementi ile birlikte B elementinin kalitatif olarak varlığı söz konusudur. MAP analizi ve XRD analizleri bu ötektik yapının  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B fazlarından oluştuğunu göstermektedir.



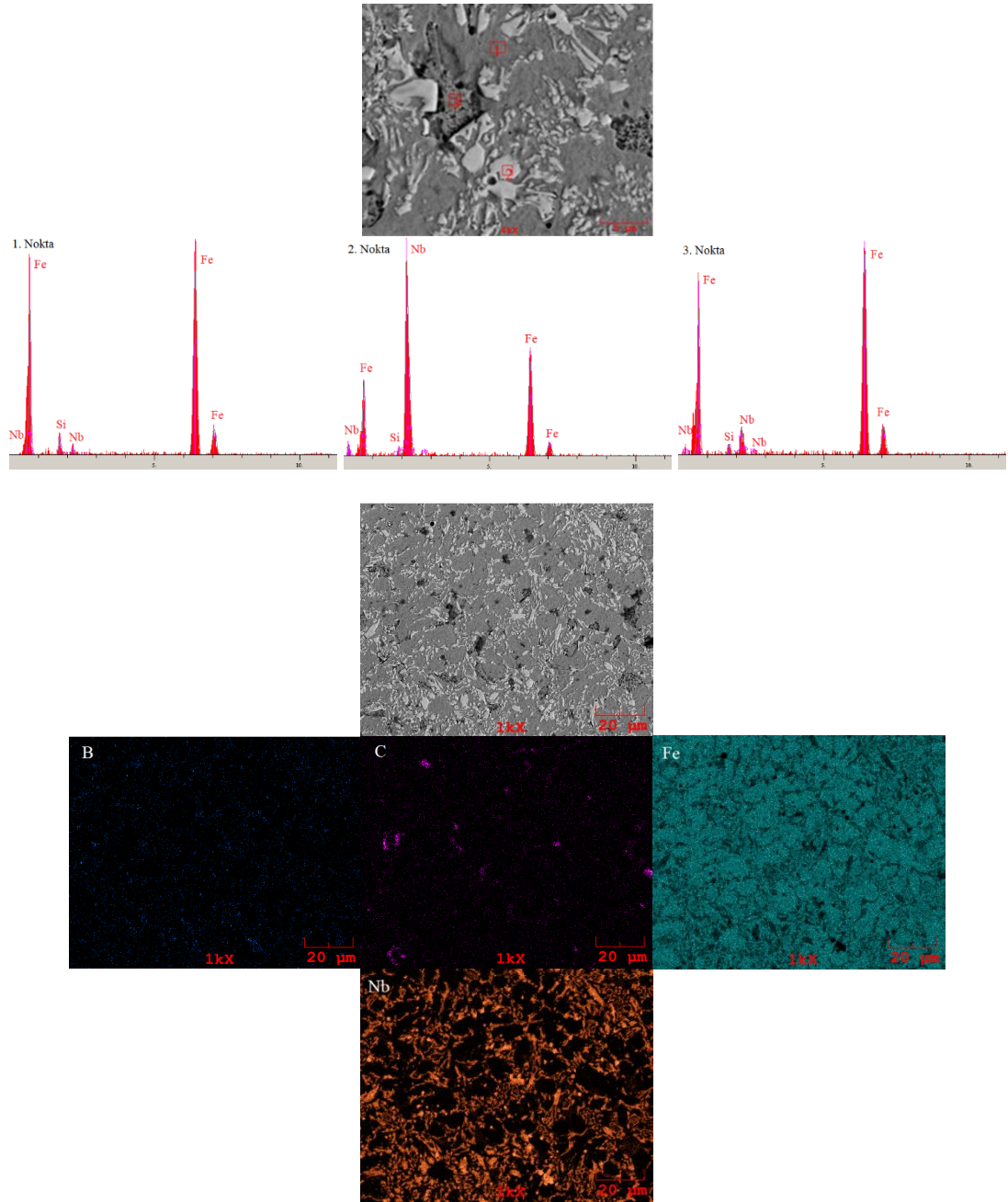
Şekil 5.6. 2. grup XRD paternleri

Şekil 5.7 ve 5.8’de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde Fe-Nb-B alaşımının mikroyapısının açık gri, koyu gri ve beyaz olmak üzere üç bölgeden oluştuğu gözlemlenmiştir. SEM, EDS, MAP ve X ışınları analizlerine göre buradaki açık gri bölgeler primer  $\alpha$ -Fe fazından oluştuğu anlaşılmaktadır. Bunların tane sınırlarında beyaz blok yapılar olarak NbFeB fazları oluşmuştur. Koyu gri bölgelerde ise  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B ötektiği meydana gelmiştir. Fe-Nb-B esaslı kaplama tabakasında Nb içeriği %5’den %10’a artmasıyla NbFeB fazının mikroyapı içinde oranının arttığı gözlemlenmiştir. Yoshitomi ve ark. [65] yaptıkları çalışmada Fe-Nb-B sisteminde 1200 °C sıcaklığa kadar delta demir sonrasında gama demir dönüşümlerinin tamamlandığını ve 1200 °C’nin altında FeNbB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarının oluştuğunu belirtmektedir. Bu fazlar arasında serbest enerjisi -166,338 J/mol değeri ile FeNbB oluşan ilk yapıdır. Sistemde artı kalan bor sonrasında -76,025 J/mol serbest enerji değerine sahip Fe<sub>2</sub>B fazını oluşturmaktadır. Fe-Nb-B sistemi içerisinde Nb miktarının

artması yapı içerisinde FeNbB fazının oranını arttırırken, Fe<sub>2</sub>B fazının oranı azalmaktadır.



Şekil 5.7. Fe<sub>16</sub>NbB<sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi



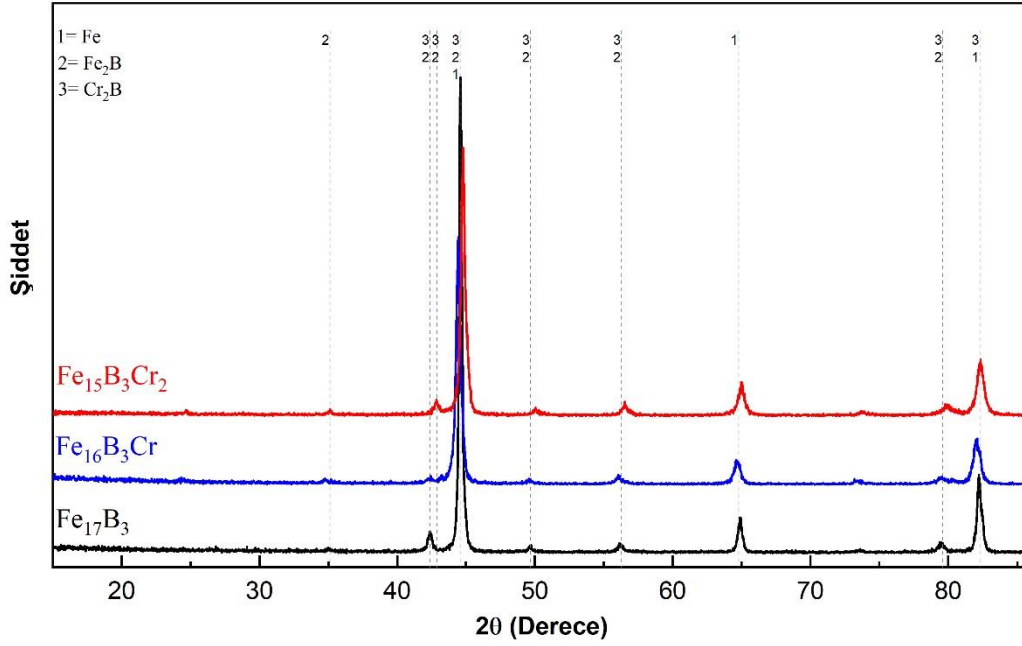
**Şekil 5.8.**  $Fe_{15}Nb_2B_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi

### 5.2.3. 3. grup

Şekil 5.9’de 3. grup alaşımları olan  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}B_3Cr$ ,  $Fe_{15}B_3Cr_2$  sert yüzey alaşımlarına ait XRD paternleri görülmektedir. Fe-B-Cr alaşım sisteminde yapılan X ışınları analizlerine göre  $\alpha$ -Fe,  $M_2B$  (M=Fe,Cr) fazları tespit edilmiştir. Tespit edilen bu fazlar Fe-Cr-B üçlü denge diyagramı ile uyumludur [64].

$Fe_{17}B_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM görüntüleri, EDS ve MAP analizleri incelendiğinde mikroyapısında iki farklı bölge bir şekilde görülmektedir. Bu bileşimde ötektik altı bir mikroyapı söz konusudur. Koyu gri bölgeler primer faz olup açık renkli

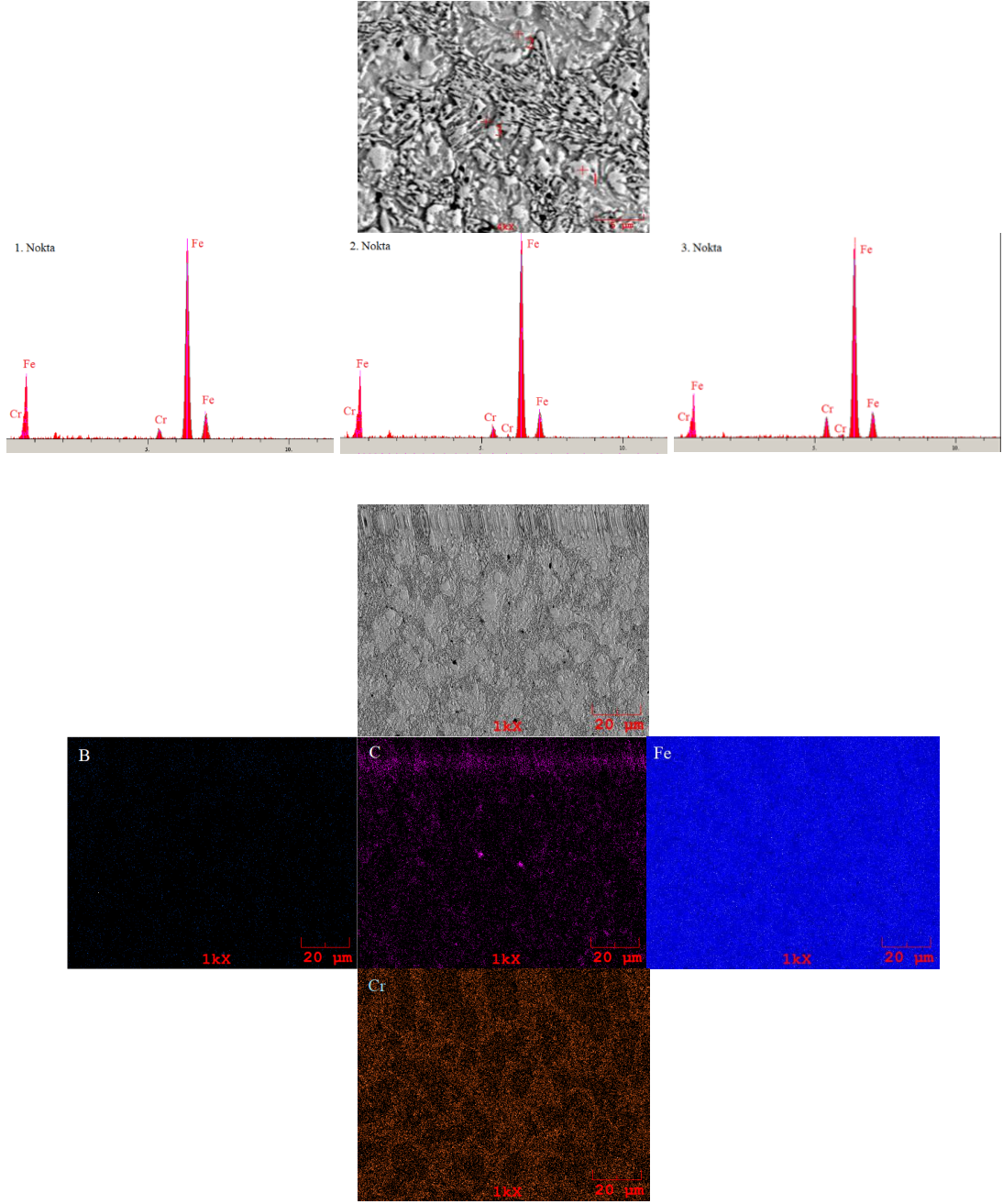
bölgeler ise ötektik fazlardan oluşmaktadır. Koyu gri bölgenin yoğun olarak Fe elementinden oluştuğu görülmektedir. Ayrıca X-ışınları analizler göz önünde bulundurulduğunda bu bölgenin  $\alpha$ -Fe olduğu tespit edilmiştir. Yine ötektik bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizi incelendiğinde Fe elementi ile birlikte B elementinin kalitatif olarak varlığı söz konusudur. MAP analizi ve XRD analizleri bu ötektik yapının  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B fazlarından oluştuğunu göstermektedir.



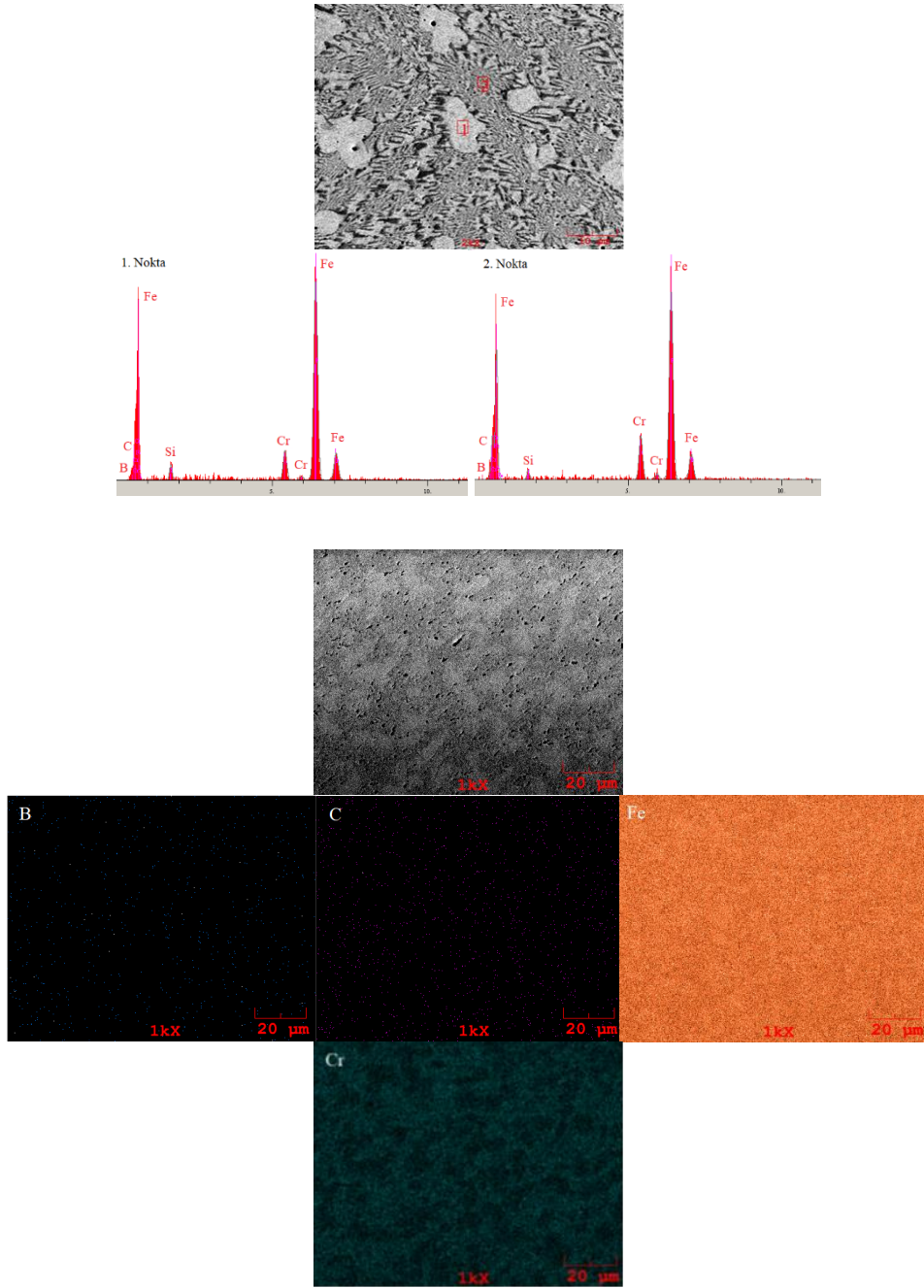
Şekil 5.9. 3. grup XRD paternleri

Fe-B-Cr esaslı sert yüzey alaşım grubuna ait mikroyapının ötektik altı bir alaşımdan meydana geldiği tespit edilmiştir. SEM, EDS, MAP ve XRD analizleri incelendiğinde bu sistemde primer  $\alpha$ -Fe fazı ve  $\alpha$ -Fe+M<sub>2</sub>B ötektiği meydana gelmiştir. Mikroyapı görüntülerine göre açık gri bölgelerin  $\alpha$ -Fe, diğer bölgelerin ise  $\alpha$ -Fe+M<sub>2</sub>B fazlarından oluştuğu gözlenmektedir.





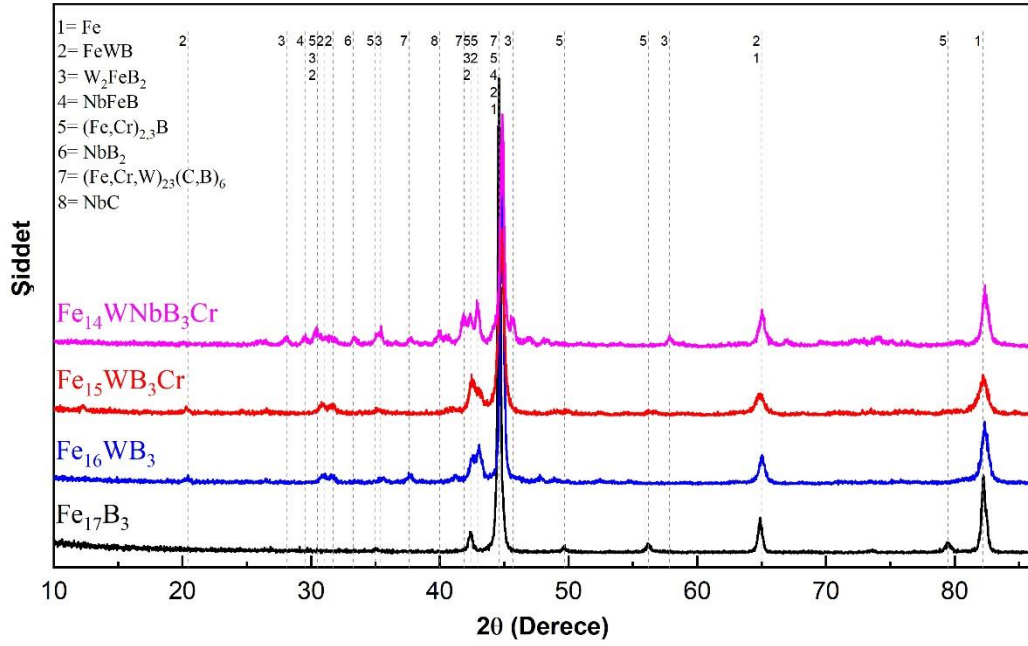
Şekil 5.10.  $Fe_{16}B_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi



Şekil 5.11.  $Fe_{15}B_3Cr_2$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi

#### 5.2.4. 4. grup

Şekil 5.12’de 4. grup alaşımları olan  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}WB_3$ ,  $Fe_{15}WB_3Cr$ ,  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımlarına ait XRD paternleri görülmektedir.



Şekil 5.12. 4. grup XRD paternleri

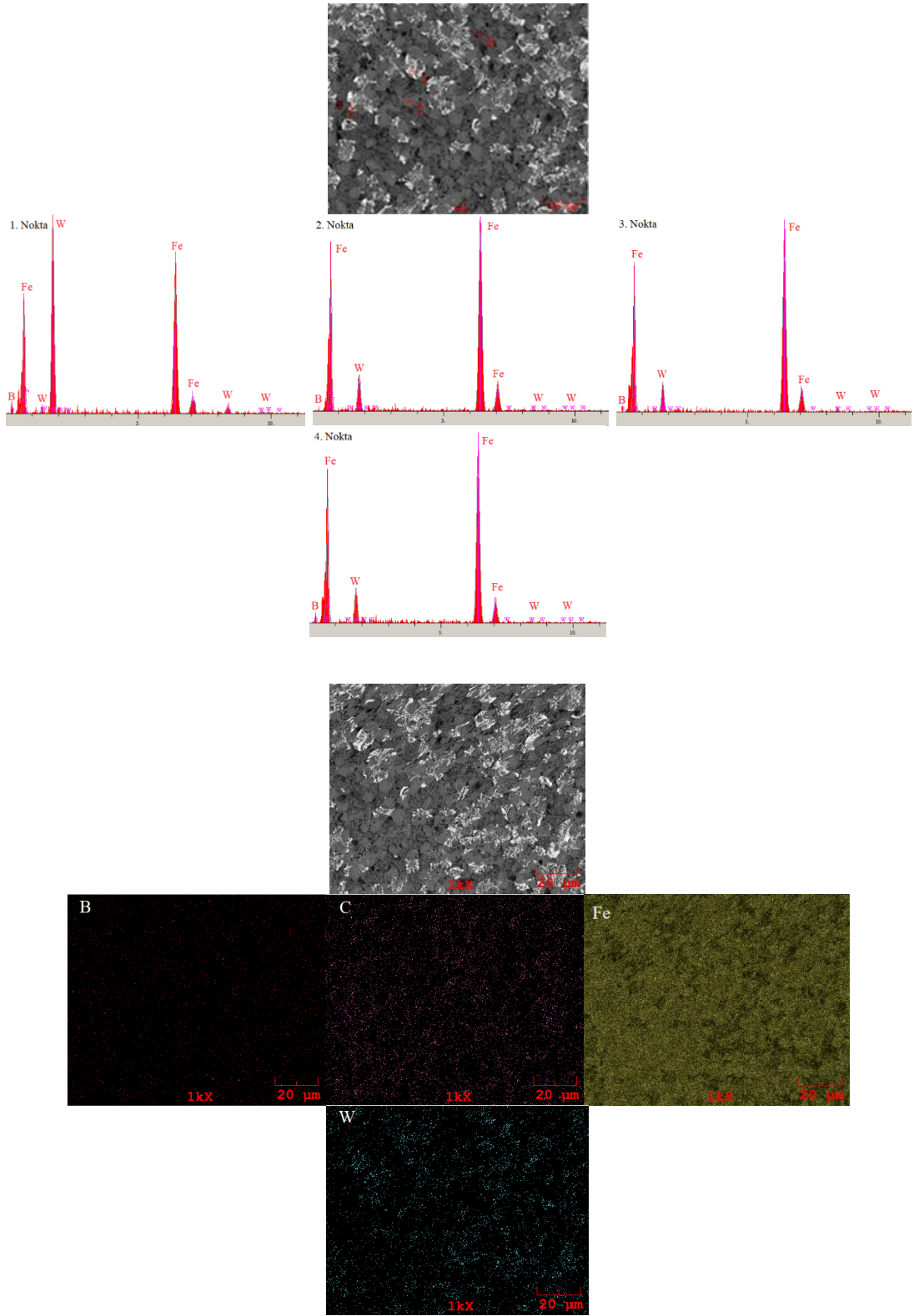
$Fe_{17}B_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM görüntüleri, EDS ve MAP analizleri incelendiğinde mikroyapısında iki farklı bölge bir şekilde görülmektedir. Bu bileşimde ötektik altı bir mikroyapı söz konusudur. Koyu gri bölgeler primer faz olup açık renkli bölgeler ise ötektik fazlardan oluşmaktadır. Koyu gri bölgenin yoğun olarak Fe elementinden oluştuğu görülmektedir. Ayrıca X ışınları analizi göz önünde bulundurulduğunda bu bölgenin  $\alpha$ -Fe olduğu tespit edilmiştir. Yine ötektik bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizi incelendiğinde Fe elementi ile birlikte B elementinin kalitatif olarak varlığı söz konusudur. MAP analizi ve XRD analizleri bu ötektik yapının  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$  fazlarından oluştuğunu göstermektedir.

$Fe_{16}WB_3$  esaslı kaplamanın SEM, EDS ve MAP görüntüleri incelendiğinde koyu gri, ötektik ve beyaz bölgelerden oluşan bir mikroyapı görülmektedir. Beyaz bölgeden alınan 1 numaralı EDS ve MAP analizinde yoğun olarak W ile birlikte Fe ve B görülmektedir. XRD analizlerinde W içeren kaplamalarda FeWB fazı tespit edilmiş olup, beyaz bölgenin bu fazdan oluştuğu anlaşılmaktadır. Koyu gri bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizi incelendiğinde Fe ve W tespit edilmiştir. Burada Fe elementinin şiddetinin yoğun olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu bölgenin  $\alpha$ -Fe fazından meydana geldiği düşünülmektedir. Ötektik bölgeden alınan 3 ve 4 numaralı EDS analizleri incelendiğinde Fe, B ve kısmen W elementleri tespit edilmiştir. XRD'de

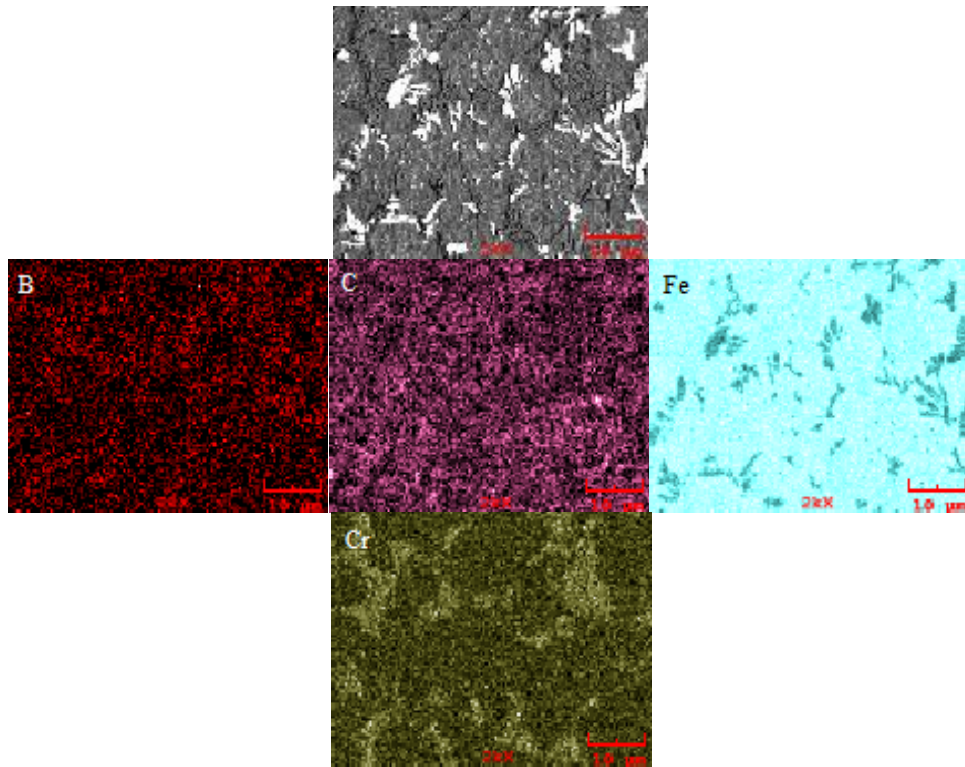
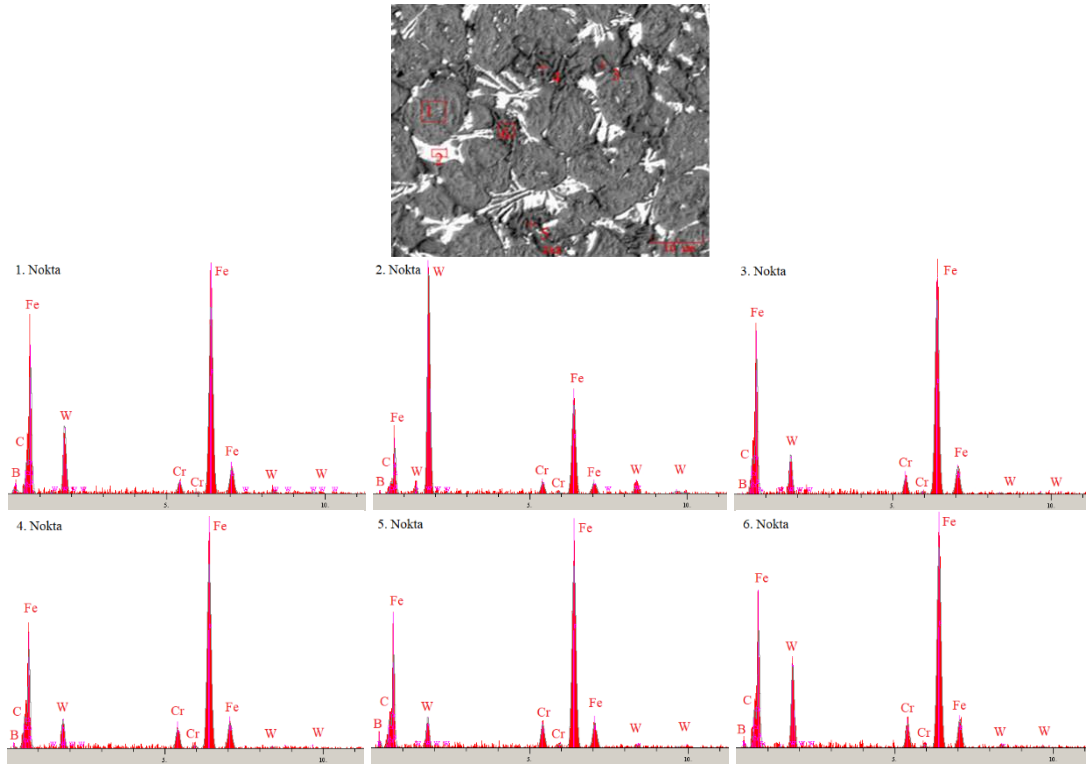
belirlenen Fe<sub>2</sub>B fazı düşünüldüğünde bu ötektik yapının  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B'den oluştuğu anlaşılmıştır.

Fe<sub>15</sub>WB<sub>3</sub>Cr esaslı sert yüzey alaşımının SEM görüntüleri incelendiğinde genel olarak beyaz, açık gri ve koyu gri bölgelerden oluşmaktadır. Bu bölgelerin ötektik öncesi primer ferrit ( $\alpha$ -Fe) fazıyla birlikte ötektik ve karbo-borür fazlarından oluştuğu düşünülmektedir. Şekil 5.14'de verilen EDS analiz sonucunda kaplama tabakasındaki bu bölgelerde Fe, Cr ve W elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca kantitatif olarak elde edilmemesine rağmen yapı içerisinde B ve C elementlerinin varlığı kalitatif olarak EDS analizlerinde görülmektedir. 1 numaralı EDS ölçümü açık gri bölgeden alınmış ve önemli oranda C ve B içermediği görülmüştür. Bu bölgelerin primer ferrit ( $\alpha$ -Fe, Cr) fazları olduğu düşünülmektedir. X-ışınları analizlerinde tespit edilen  $\alpha$ -(Fe, Cr) fazı bu düşüncüyü desteklemektedir. 4 ve 6 numaralı EDS ölçümleri koyu gri bölgelerden alınmış ve Fe, Cr ve W elementleri ile beraber C ve B elementlerini de içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca MAP analizleri incelendiğinde bu bölgelerde Cr içeriğinin yoğun olduğu görülmektedir. X-ışınları analizlerinde bu bölgenin (Fe,Cr,W)<sub>23</sub>(C,B)<sub>6</sub> fazından oluştuğu düşünülmektedir. Beyaz bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizi sonucunda W elementini bakımından zengin olduğu, Fe ve Cr elementleri de içerdiği görülmüştür. Ayrıca C ve B elementlerinin varlığında görülmektedir. MAP analizli bu durumu desteklemektedir. X-ışınları analizleri sonucunda bu bölgelerin (W,Fe,Cr)<sub>2,3</sub>(B,C) fazından oluştuğu düşünülmektedir. AISI 1010 çelik üzerine uygulanan Fe<sub>15</sub>WB<sub>3</sub>Cr esaslı sert yüzey kaplamanın X-ışınları analizi incelendiğinde  $\alpha$ -(Fe, Cr), (Fe,Cr,W)<sub>23</sub>(C,B)<sub>6</sub>, (W,Fe,Cr)<sub>2,3</sub>(B,C) fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir. Kaplama içindeki karbo-borür yapılarının literatür çalışmalarıyla uyumlu olduğu görülmüştür [66].

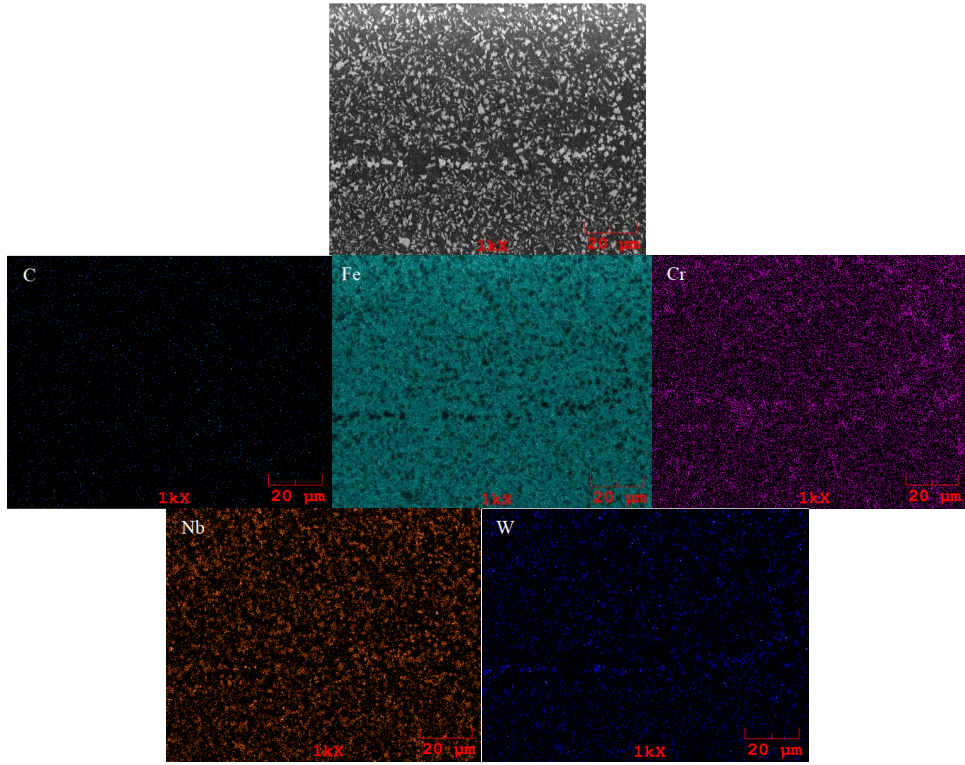
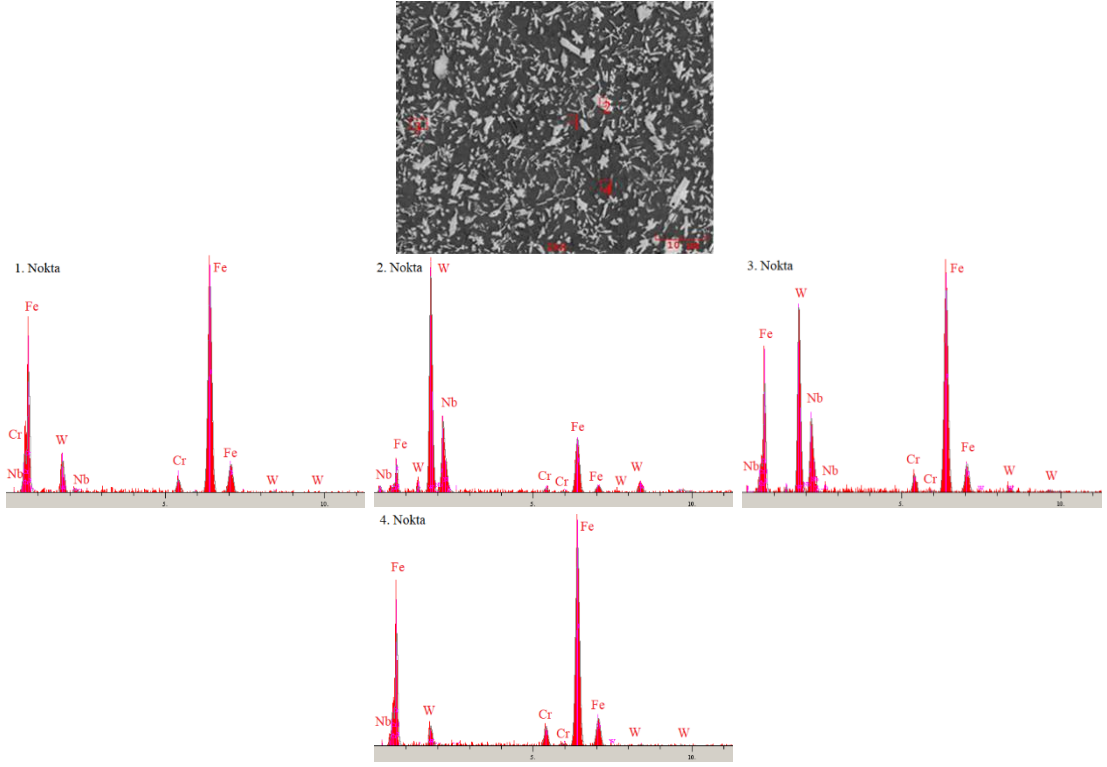
Fe<sub>14</sub>WNb<sub>3</sub>Cr esaslı sert yüzey alaşımların XRD analizleriyle  $\alpha$ -Fe, FeWB, W<sub>2</sub>FeB<sub>2</sub>, NbFeB, (Fe,Cr)<sub>2,3</sub>B, NbB<sub>2</sub>, (Fe,Cr,W)<sub>23</sub>(C,B)<sub>6</sub> ve NbC fazları tespit edilmiştir. Kaplamanın yapısı açık gri, koyu gri ve beyaz bölgelerden oluşmuştur. Açık gri bölgeler primer  $\alpha$ -Fe olup koyu gri bölgeler  $\alpha$ -Fe+M<sub>2</sub>B (M= Fe, Cr) ötektik yapısından meydana gelmiştir. Yine ötektik bölgede kompleks karboborür fazları tespit edilmiştir. Beyaz bölgelerin ise tungstence zengin olduğu görülmüş ve bu bölgelerin W<sub>2</sub>FeB<sub>2</sub> fazlarından oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 5.13.  $Fe_{16}WB_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi



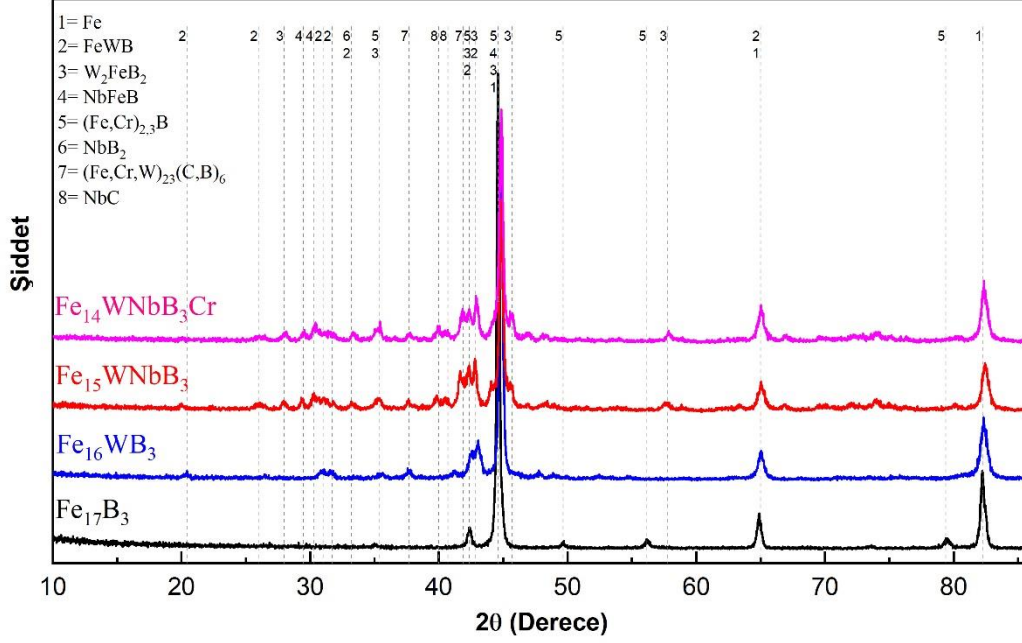
Şekil 5.14.  $Fe_{15}WB_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi



Şekil 5.15.  $\text{Fe}_{14}\text{WNbB}_3\text{Cr}$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi

### 5.2.5. 5. grup

Şekil 5.16’de 5. grup alaşımları olan  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}WB_3$ ,  $Fe_{15}WNbB_3$ ,  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımlarına ait XRD paternleri görülmektedir.



Şekil 5.16. 5. grup XRD paternleri

$Fe_{17}B_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM görüntüleri, EDS ve MAP analizleri incelendiğinde mikroyapısında iki farklı bölge açık bir şekilde görülmektedir. Bu bileşimde ötektik altı bir mikroyapı söz konusudur. Koyu gri bölgeler primer faz olup açık renkli bölgeler ise ötektik fazlardan oluşmaktadır. Koyu gri bölgenin yoğun olarak Fe elementinden oluştuğu görülmektedir. Ayrıca X ışınları analizi göz önünde bulundurulduğunda bu bölgenin  $\alpha$ -Fe olduğu tespit edilmiştir. Yine ötektik bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizi incelendiğinde Fe elementi ile birlikte B elementinin kalitatif olarak varlığı söz konusudur. MAP analizi ve XRD analizleri bu ötektik yapının  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$  fazlarından oluştuğunu göstermektedir.

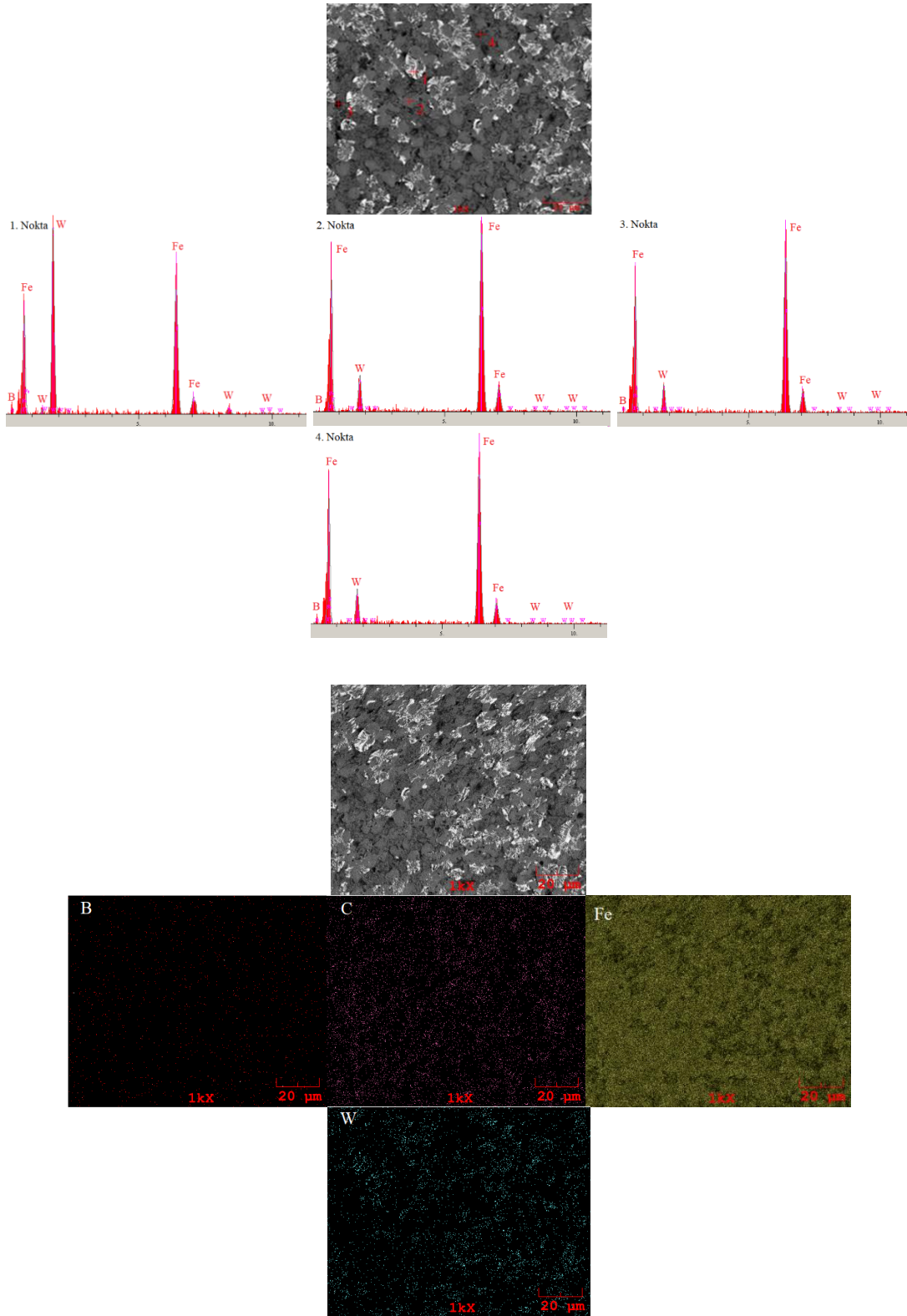
$Fe_{16}WB_3$  esaslı kaplamanın SEM, EDS ve MAP görüntüleri incelendiğinde koyu gri, ötektik ve beyaz bölgelerden oluşan bir mikroyapı görülmektedir. Beyaz bölgeden alınan 1 numaralı EDS ve MAP analizinde yoğun olarak W ile birlikte Fe ve B görülmektedir. XRD analizlerinde W içeren kaplamalarda FeWB fazı tespit edilmiş olup, beyaz bölgenin bu fazdan oluştuğu anlaşılmaktadır. Koyu gri bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizi incelendiğinde Fe ve W tespit edilmiştir. Burada Fe elementinin



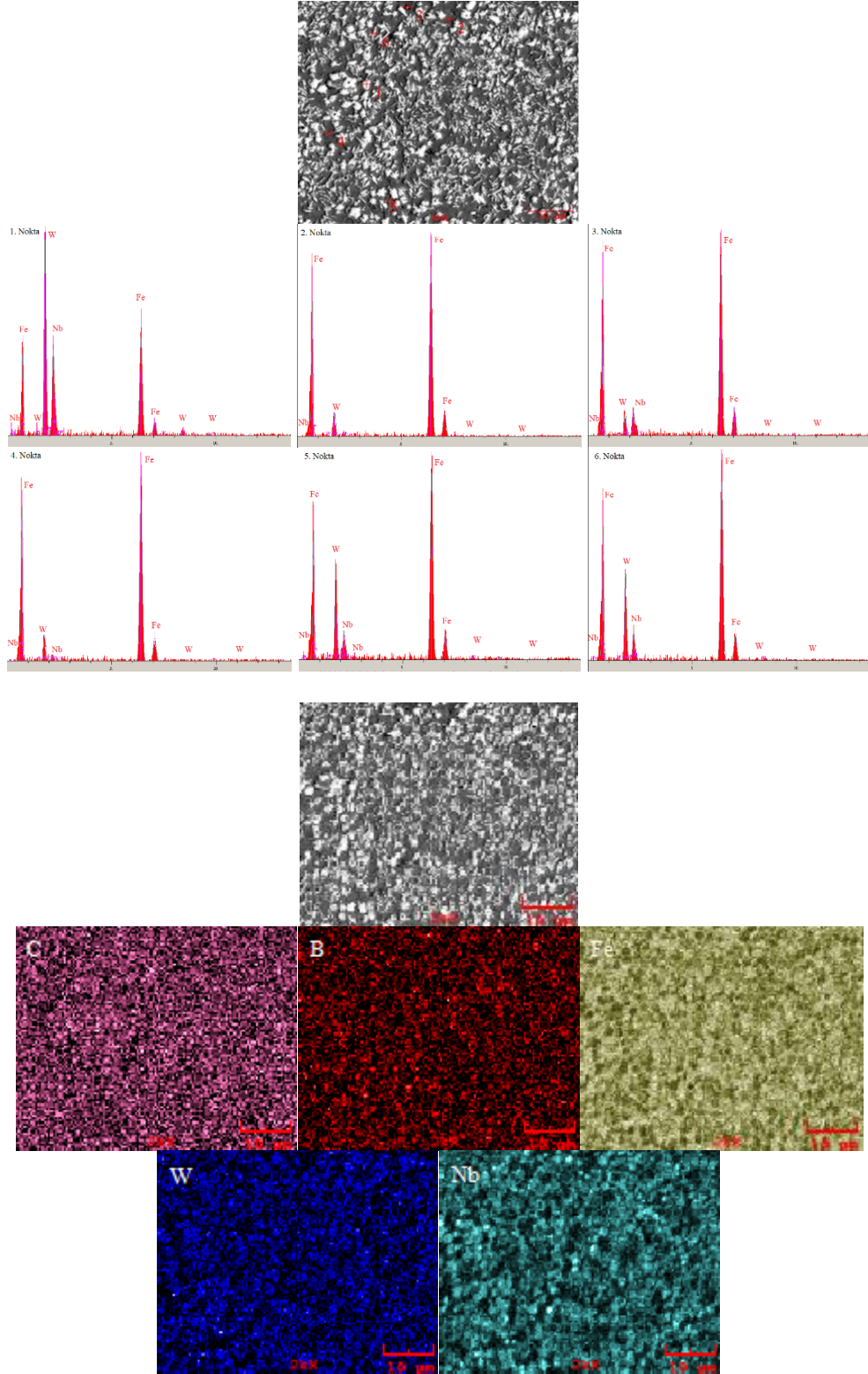
şiddetinin yoğun olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu bölgenin  $\alpha$ -Fe fazından meydana geldiği düşünülmektedir. Ötektik bölgeden alınan 3 ve 4 numaralı EDS analizleri incelendiğinde Fe, B ve kısmen W elementleri tespit edilmiştir. XRD’de belirlenen  $\text{Fe}_2\text{B}$  fazı düşünüldüğünde bu ötektik yapının  $\alpha$ -Fe+ $\text{Fe}_2\text{B}$ ’den oluştuğu anlaşılmıştır.

$\text{Fe}_{15}\text{WNbB}_3$  esalı alaşımın X ışınları analizi incelendiğinde kaplamanın yapısında  $\alpha$ -Fe, NbFeB,  $\text{NbB}_2$ , FeWB ve  $\text{W}_2\text{FeB}_2$  fazlarının olduğu tespit edilmiştir. SEM görüntüsü incelendiğinde dendritik bir yapı ve yapıda beyaz, gri ve koyu griden oluşan bölgeler görülmektedir. Beyaz bölgeden alınan EDS analizine göre bu bölgede W, Fe ve Nb varlığı görülmekle beraber gri ve koyu gri bölgelerde Fe, W ve az miktarda Nb tespit edilmiştir. XRD, SEM ve EDS analizleri değerlendirildiğinde yapı içerisinde  $\alpha$ -Fe,  $\text{Fe}_2\text{B}$ , FeNbB ve tungstenborür fazları olduğu düşünülmektedir.

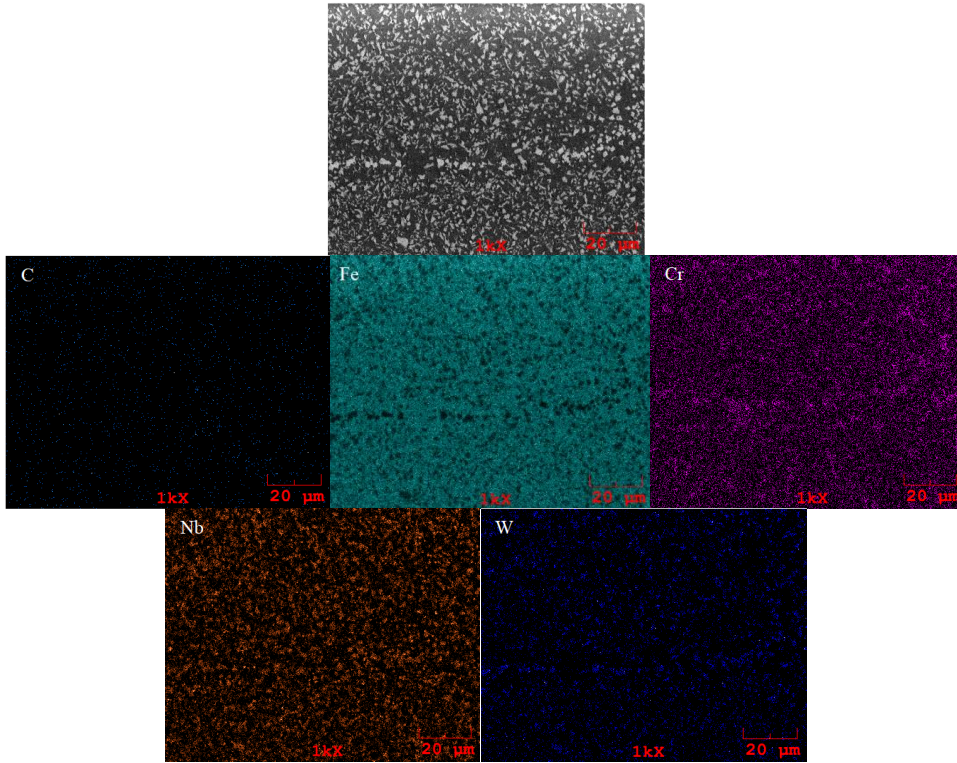
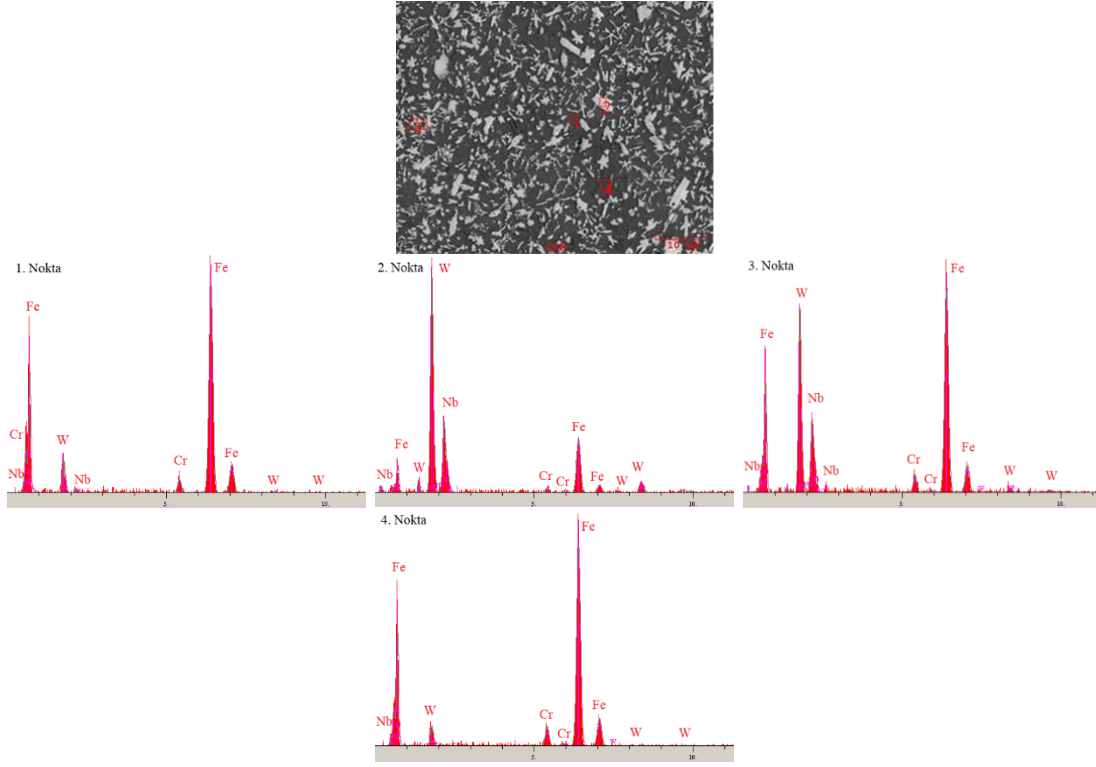
$\text{Fe}_{14}\text{WNbB}_3\text{Cr}$  esaslı sert yüzey alaşımların XRD analizleriyle  $\alpha$ -Fe, FeWB,  $\text{W}_2\text{FeB}_2$ , NbFeB,  $(\text{Fe,Cr})_{2,3}\text{B}$ ,  $\text{NbB}_2$ ,  $(\text{Fe,Cr,W})_{23}(\text{C,B})_6$  ve NbC fazları tespit edilmiştir. Kaplamanın yapısı açık gri, koyu gri ve beyaz bölgelerden oluşmuştur. Açık gri bölgeler primer  $\alpha$ -Fe olup koyu gri bölgeler  $\alpha$ -Fe+ $\text{M}_2\text{B}$  (M= Fe, Cr) ötektik yapısından meydana gelmiştir. Yine ötektik bölgede kompleks karboborür fazları tespit edilmiştir. Beyaz bölgelerin ise tungstence zengin olduğu görülmüş ve bu bölgelerin  $\text{W}_2\text{FeB}_2$  fazlarından oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 5.17.  $Fe_{16}WB_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi



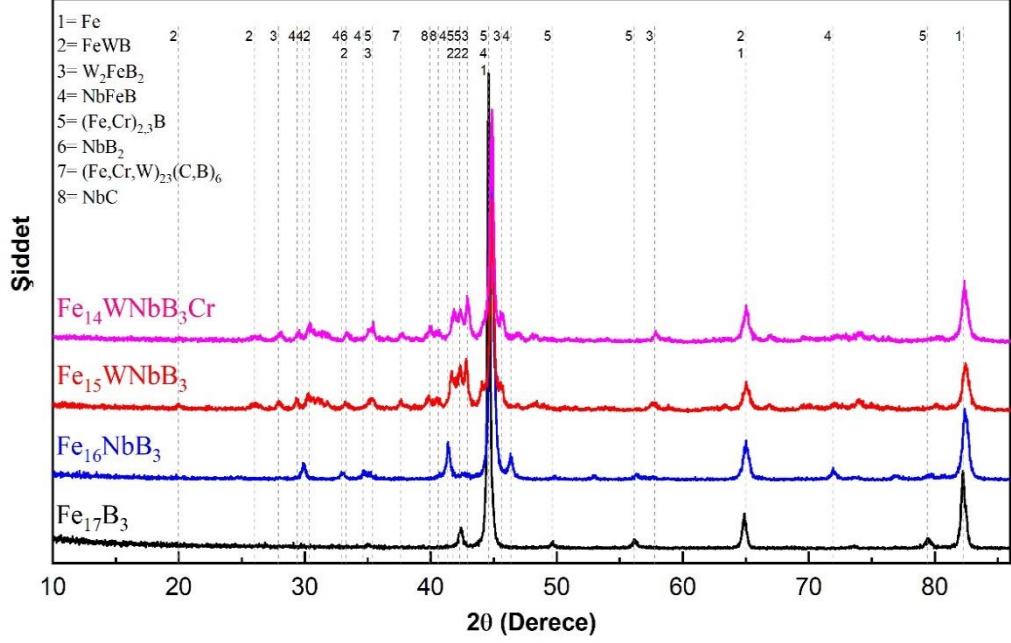
**Şekil 5.18.**  $Fe_{15}WNB_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi



Şekil 5.19. Fe<sub>14</sub>WNbB<sub>3</sub>Cr esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi

### 5.2.6. 6. grup

Şekil 5.20’de 6. grup alaşımları olan  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}NbB_3$ ,  $Fe_{15}WNbB_3$ ,  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımlarına ait XRD paternleri görülmektedir.



Şekil 5.20. 6. grup XRD paternleri

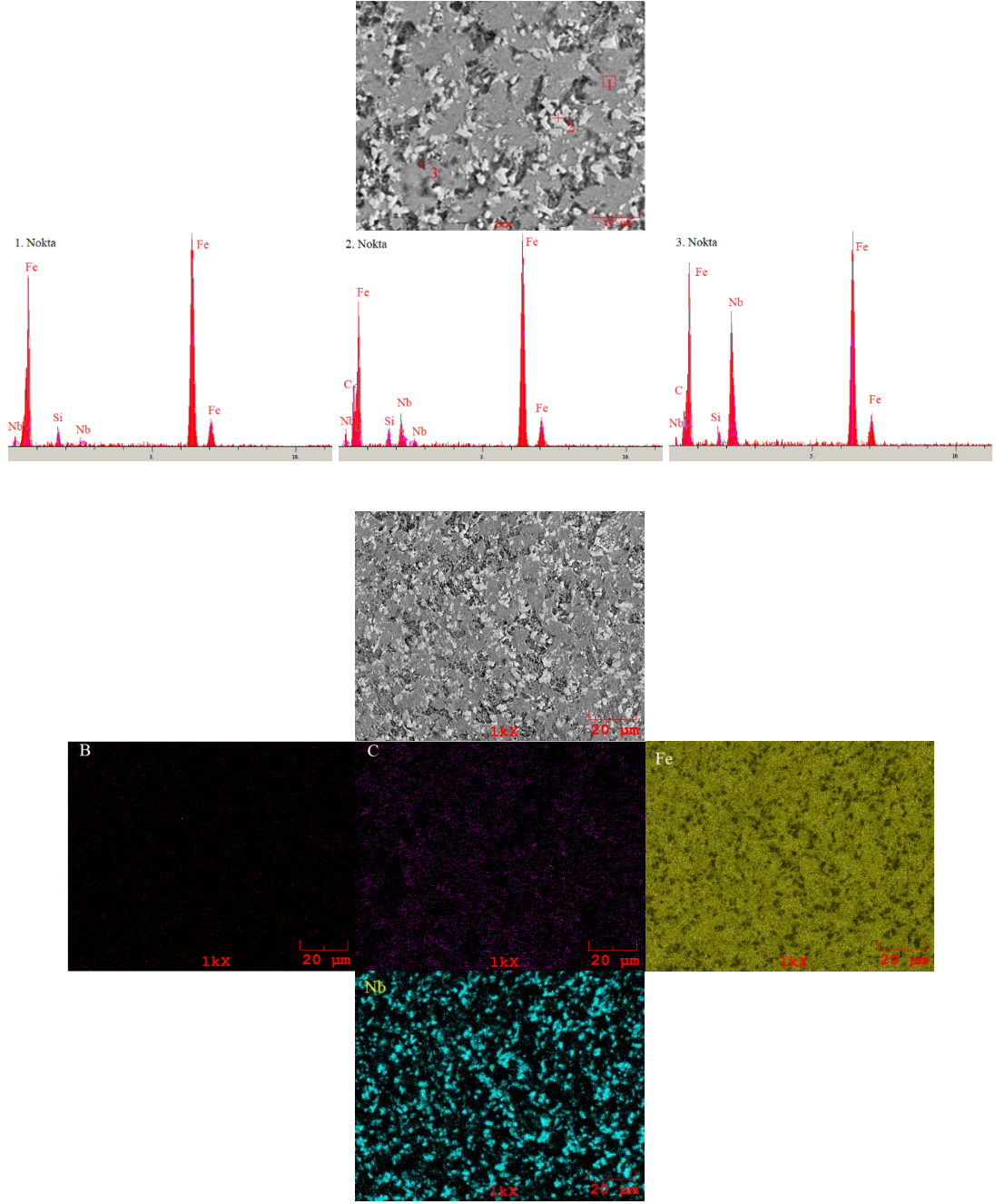
$Fe_{17}B_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM görüntüleri, EDS ve MAP analizleri incelendiğinde mikroyapısında iki farklı bölge açık bir şekilde görülmektedir. Bu bileşimde ötektik altı bir mikroyapı söz konusudur. Koyu gri bölgeler primer faz olup açık renkli bölgeler ise ötektik fazlardan oluşmaktadır. Koyu gri bölgenin yoğun olarak Fe elementinden oluştuğu görülmektedir. Ayrıca X ışını da göz önünde bulundurulduğunda bu bölgenin  $\alpha$ -Fe olduğu tespit edilmiştir. Yine ötektik bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizi incelendiğinde Fe elementi ile birlikte B elementinin kalitatif olarak varlığı söz konusudur. MAP analizi ve XRD analizleri bu ötektik yapının  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$  fazlarından oluştuğunu göstermektedir.

SEM görüntüleri incelendiğinde  $Fe_{16}NbB_3$  alaşımının mikroyapısının açık gri, koyu gri ve beyaz olmak üzere üç bölgeden oluştuğu gözlemlenmiştir. SEM, EDS, MAP ve X ışınları analizlerine göre buradaki açık gri bölgeler primer  $\alpha$ -Fe fazından oluştuğu anlaşılmaktadır. Bunların tane sınırlarında beyaz blok yapılar olarak NbFeB fazları oluşmuştur. Koyu gri bölgelerde ise  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$  ötektiği meydana gelmiştir.

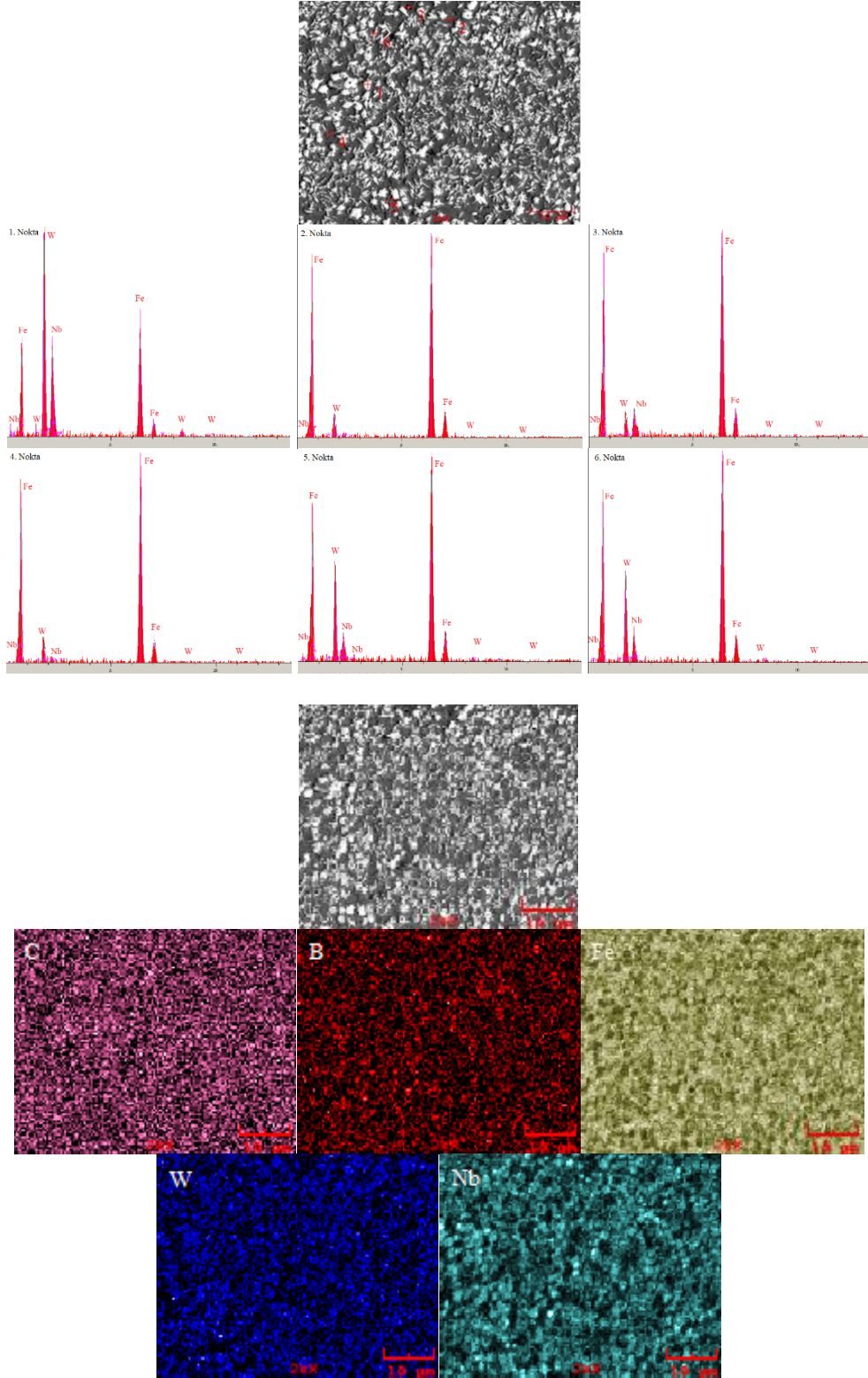
Fe-Nb-B esaslı kaplama tabakasında Nb içeriği %5'den %10'a artmasıyla NbFeB fazının mikroyapı içinde oranının arttığı gözlemlenmiştir.

Fe<sub>15</sub>WNbB<sub>3</sub> esaslı alaşımın X ışınları analizi incelendiğinde kaplamanın yapısında  $\alpha$ -Fe, NbFeB, NbB<sub>2</sub>, FeWB ve W<sub>2</sub>FeB<sub>2</sub> fazlarının olduğu tespit edilmiştir. SEM görüntüsü incelendiğinde dendritik bir yapı ve yapıda beyaz, gri ve koyu gri den oluşan bölgeler görülmektedir. Beyaz bölgeden alınan EDS analizine göre bu bölgede W, Fe ve Nb varlığı görülmekle beraber gri ve koyu gri bölgelerde Fe, W ve az miktarda Nb tespit edilmiştir. XRD, SEM ve EDS analizleri değerlendirildiğinde yapı içerisinde  $\alpha$ -Fe, Fe<sub>2</sub>B, FeNbB tungstenborür fazları olduğu düşünülmektedir.

Fe<sub>14</sub>WNbB<sub>3</sub>Cr esaslı sert yüzey alaşımların XRD analizleriyle  $\alpha$ -Fe, FeWB, W<sub>2</sub>FeB<sub>2</sub>, NbFeB, (Fe,Cr)<sub>2,3</sub>B, NbB<sub>2</sub>, (Fe,Cr,W)<sub>23</sub>(C,B)<sub>6</sub> ve NbC fazları tespit edilmiştir. Kaplamanın yapısı açık gri, koyu gri ve beyaz bölgelerden oluşmuştur. Açık gri bölgeler primer  $\alpha$ -Fe olup koyu gri bölgeler  $\alpha$ -Fe+M<sub>2</sub>B (M= Fe, Cr) ötektik yapısından meydana gelmiştir. Yine ötektik bölgede kompleks karboborür fazları tespit edilmiştir. Beyaz bölgelerin ise tungsten zengin olduğu görülmüş ve bu bölgelerin W<sub>2</sub>FeB<sub>2</sub> fazlarından oluştuğu belirlenmiştir.

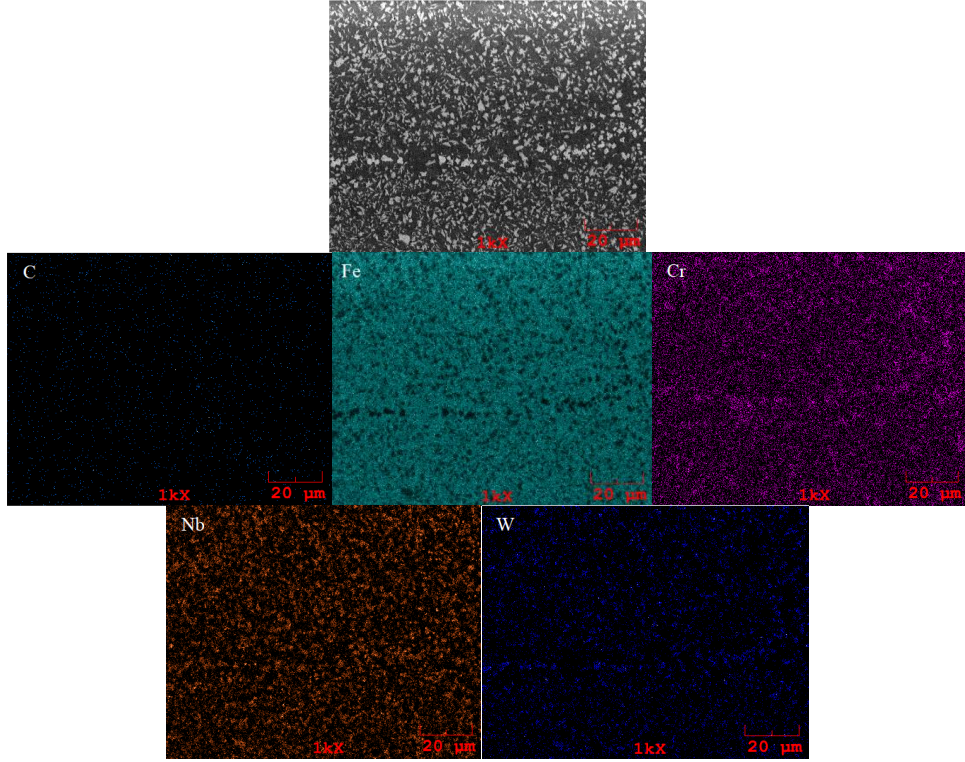
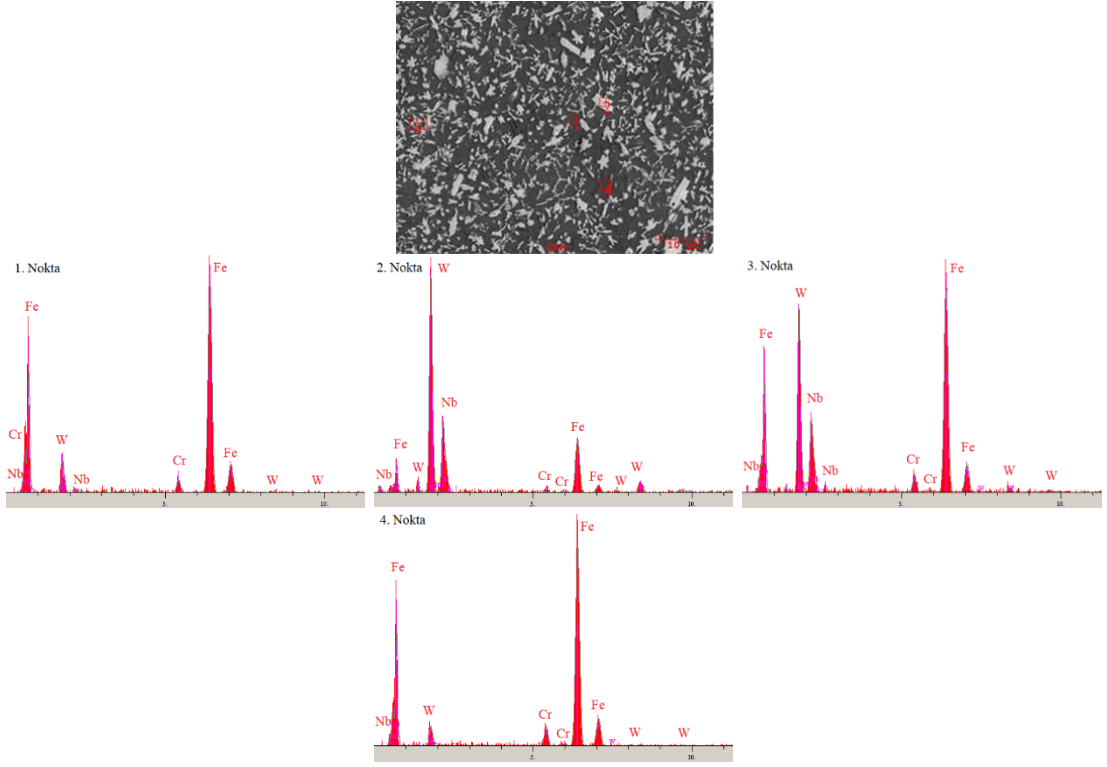


Şekil 5.21.  $Fe_{16}NbB_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi



Şekil 5.22.  $Fe_{15}WNB_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi

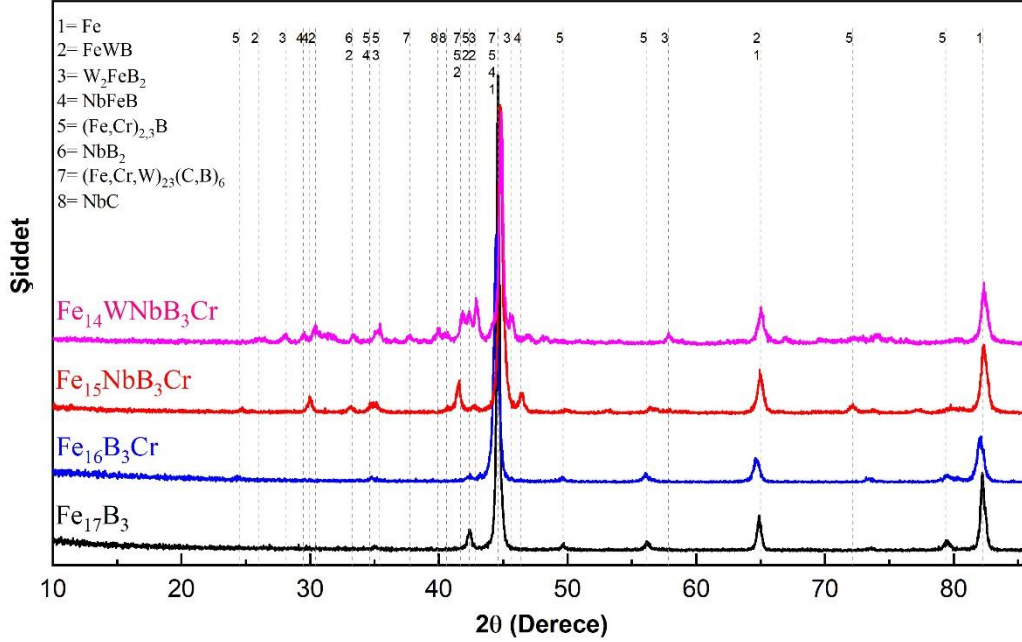




Şekil 5.23.  $\text{Fe}_{14}\text{WNbB}_3\text{Cr}$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi

### 5.2.7. 7. grup

Şekil 5.24'de 7. grup alaşımları olan  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}B_3Cr$ ,  $Fe_{15}NbB_3Cr$ ,  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımlarına ait XRD paternleri görülmektedir.



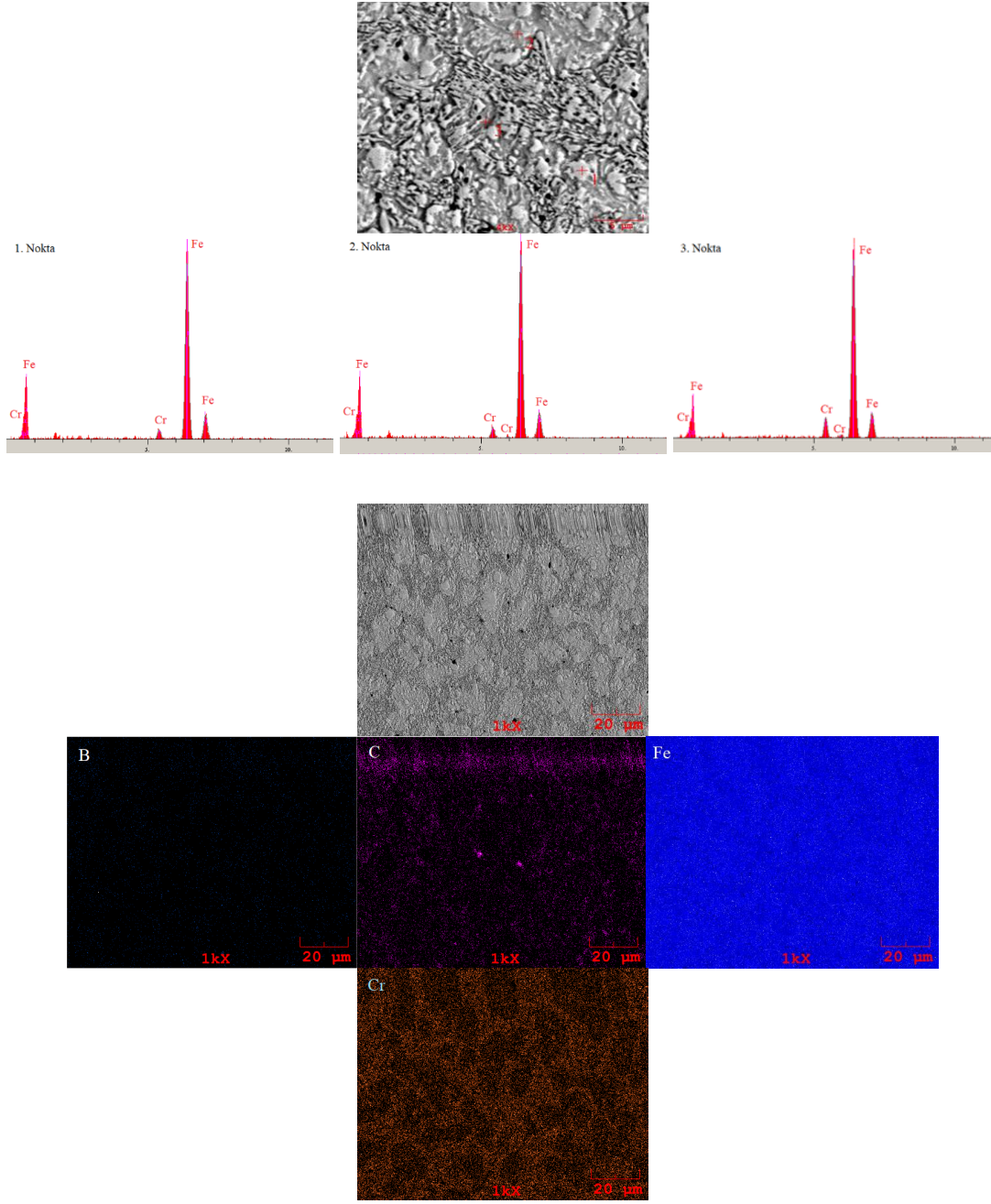
Şekil 5.24. 7. grup XRD paternleri

$Fe_{17}B_3$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM görüntüleri, EDS ve MAP analizleri incelendiğinde mikroyapısında iki farklı bölge açık bir şekilde görülmektedir. Bu bileşimde ötektik altı bir mikroyapı söz konusudur. Koyu gri bölgeler primer faz olup açık renkli bölgeler ise ötektik fazlardan oluşmaktadır. Koyu gri bölgenin yoğun olarak Fe elementinden oluştuğu görülmektedir. Ayrıca X ışınları analizi göz önünde bulundurulduğunda bu bölgenin  $\alpha$ -Fe olduğu tespit edilmiştir. Yine ötektik bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizi incelendiğinde Fe elementi ile birlikte B elementinin kalitatif olarak varlığı söz konusudur. MAP analizi ve XRD analizleri bu ötektik yapının  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$  fazlarından oluştuğunu göstermektedir.

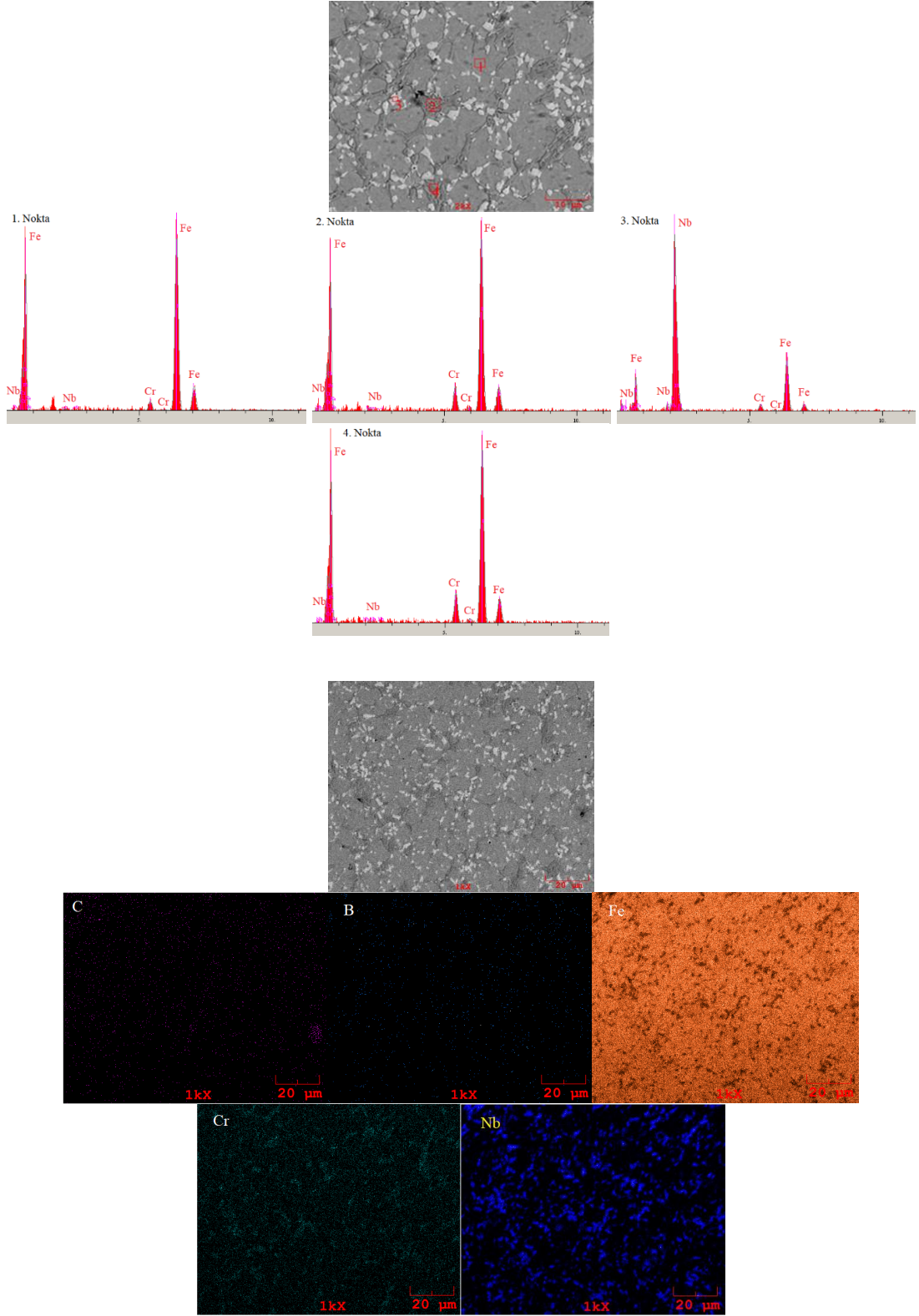
$Fe_{16}B_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşım grubuna ait mikroyapının ötektik altı bir alaşımdan meydana geldiği tespit edilmiştir. SEM, EDS, MAP ve XRD analizleri incelendiğinde bu sistemde primer  $\alpha$ -Fe fazı ve  $\alpha$ -Fe+ $M_2B$  (M=Cr,Fe) ötektiği meydana gelmiştir. Mikroyapı görüntülerine göre açık gri bölgelerin  $\alpha$ -Fe, diğer bölgelerin ise  $\alpha$ -Fe fazı ve  $\alpha$ -Fe+ $M_2B$  (M=Cr,Fe) fazlarından oluştuğu gözlenmektedir.

Fe<sub>15</sub>NbB<sub>3</sub>Cr esaslı sert yüzey alaşımının XRD analizlerinde yapısında  $\alpha$ -Fe, Fe<sub>2</sub>B, NbFeB, NbB<sub>2</sub> ve CrB fazları tespit edilmiştir. Yapıdaki gri matris fazının  $\alpha$ -Fe olduğu düşünülmektedir. Matris fazının tane sınırlarında açık gri ve koyu gri fazlar mevcut olup, bu fazlar EDS analizleri dikkate alındığında açık gri bölgelerde NbB<sub>2</sub> ve NbFeB fazlarının olduğu düşünülmektedir. Koyu gri bölgeler ise kromborür fazlarından oluşmaktadır.

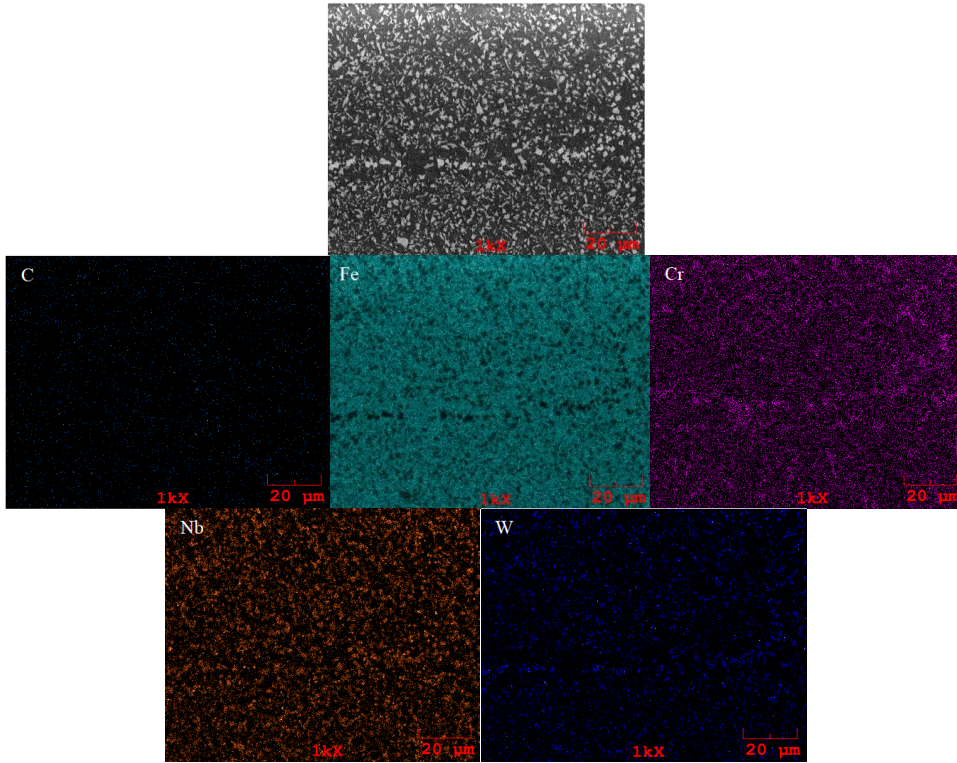
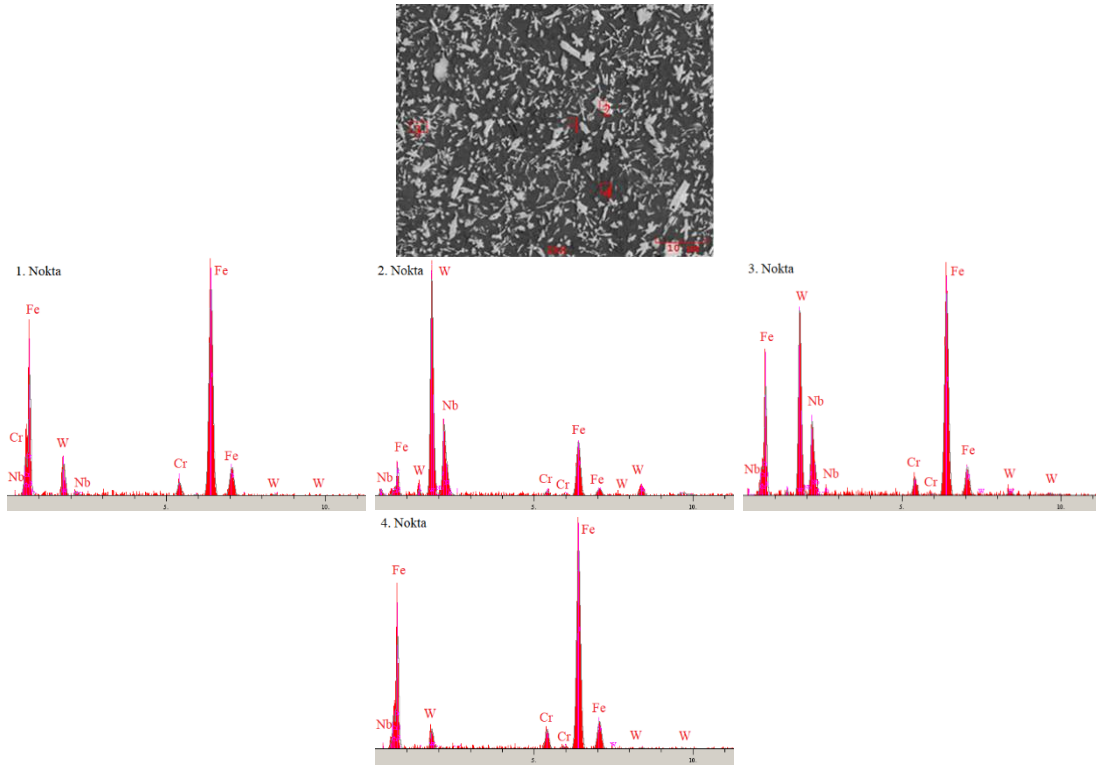
Fe<sub>14</sub>WNbB<sub>3</sub>Cr esaslı sert yüzey alaşımların XRD analizleriyle  $\alpha$ -Fe, FeWB, W<sub>2</sub>FeB<sub>2</sub>, NbFeB, (Fe,Cr)<sub>2,3</sub>B, NbB<sub>2</sub>, (Fe,Cr,W)<sub>23</sub>(C,B)<sub>6</sub> ve NbC fazları tespit edilmiştir. Kaplamanın yapısı açık gri, koyu gri ve beyaz bölgelerden oluşmuştur. Açık gri bölgeler primer  $\alpha$ -Fe olup koyu gri bölgeler  $\alpha$ -Fe+M<sub>2</sub>B (M= Fe, Cr) ötektik yapısından meydana gelmiştir. Yine ötektik bölgede kompleks karborür fazları tespit edilmiştir. Beyaz bölgelerin ise tungstence zengin olduğu görülmüş ve bu bölgelerin W<sub>2</sub>FeB<sub>2</sub> fazlarından oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 5.25.  $Fe_{16}B_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi



Şekil 5.26.  $Fe_{15}NbB_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi



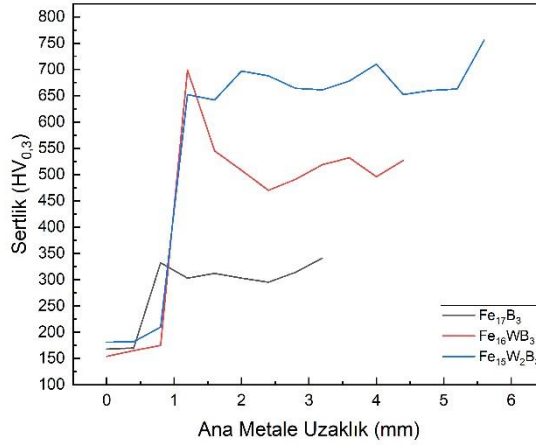
Şekil 5.27.  $Fe_{14}WNB_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımının SEM, EDS ve MAP analizi

### 5.3. Sertlik Testleri

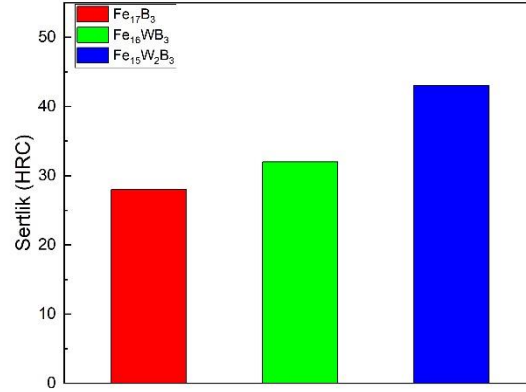
Alaşım elementlerinin ilave edilmesi ve ince bir şekilde dağılmış sert fazların sert yüzey alaşımlarına mükemmel sertlik kazandırdıkları bilinmektedir [67]. Sert dolgu alaşım elektrotlarına ilave edilen alaşım elementlerinin sertliğe katkısı bu aşamada incelenmiştir.

#### 5.3.1. 1. grup

Fe-B baz bileşiminin mikro sertliği ortalama 314 HV, makro sertliği 28 HR<sub>C</sub> olarak ölçülmüştür. Bu bileşimine %5 ve %10 W ilavesinin sertliğe etkisi incelenmiştir. Fe-W-B esaslı sert yüzey kaplama tabakasının mikro sertlik değerleri 470-756 HV değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. Fe-B baz bileşimi göz önüne alındığında sıra sertlik testleri sonucunda bu sistem içerisinde %5 ve %10 W ilavesinin artmasıyla belirgin bir şekilde kaplama tabakaların mikro sertlik değerleri artmıştır. Bu sistemde en yüksek sertlik %10 W ilavesi olan bileşimde gözlemlenmiştir. Sert yüzey alaşımlama makro sertlik değerleri incelendiğinde 32-43 HR<sub>C</sub> arasında değişmekte olup, bu testte de yine en yüksek HR<sub>C</sub> sertlik değeri %10 W oranına sahip kaplamadan elde edilmiştir.



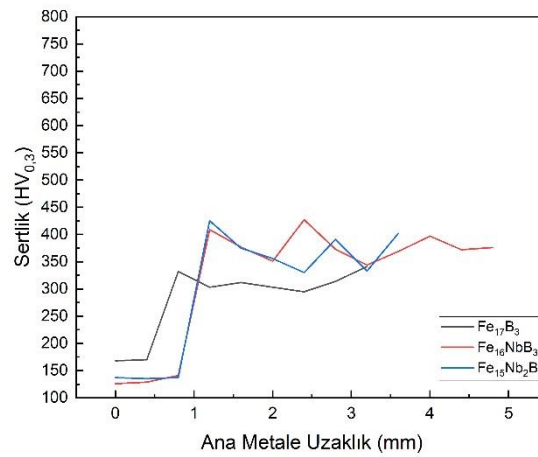
Şekil 5.28. 1. grup sert yüzey alaşımların mikro sertlik değerleri



Şekil 5.29. 1. grup sert yüzey alaşımların makro sertlik değerleri

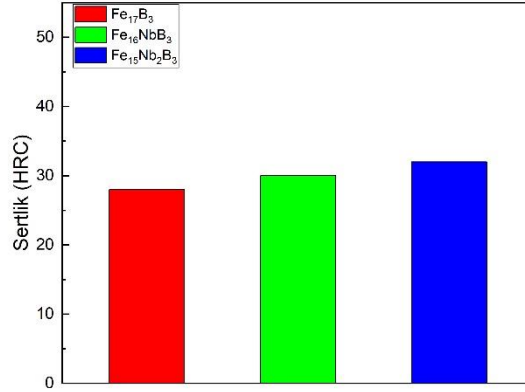
### 5.3.2. 2. grup

Fe-B baz bileşimine %5 ve %10 Nb ilavesinin sertliğe etkisi incelenmiştir. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey kaplama tabakasının mikro sertlik değerleri 330-427 HV değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. Sıra sertlik testleri sonucunda bu sistem içinde, Fe-B baz bileşimine ilave ettiğimiz %5 ve %10 Nb yaklaşık aynı mikrosertlik değerlerini vermiştir. Sert yüzey alaşımlama makro sertlik değerleri incelendiğinde 30-32 HR<sub>C</sub> arasında değişmekte olup burada en yüksek sertlik değeri olan 32 HR<sub>C</sub> değerini %10 Nb ilave edilen sert yüzey alaşımından elde edilmiştir



Şekil 5.30. 2. grup sert yüzey alaşımların mikro sertlik değerleri

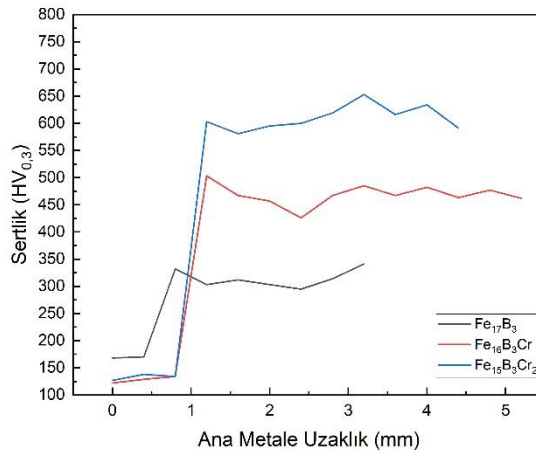




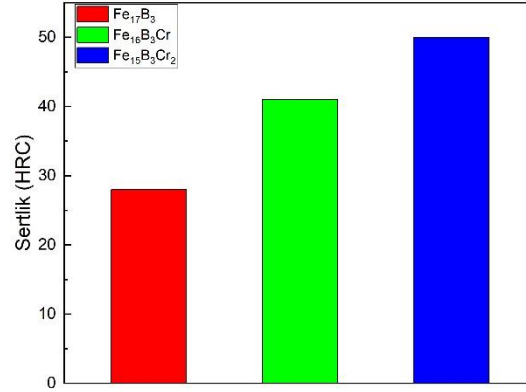
Şekil 5.31. 2. grup sert yüzey alaşımların makro sertlik değerleri

### 5.3.3. 3. grup

Fe-B baz bileşimine % 5 ve %10 Cr ilavesinin sertliğe etkisi incelenmiştir. Fe-Cr-B esaslı sert yüzey kaplama tabakasının mikro sertlik değerleri 426-653 HV değerleri olduğu tespit edilmiştir. Sıra sertlik testleri sonucunda bu sistem içinde, Fe-B baz sistemine ilave ettiğimiz %5 ve %10 Cr ilavesi sırasıyla sertliği arttırdığı gözlemlenmiştir. Burada en yüksek sertlik değeri % 10 Cr ilavesinin olduğu bileşimde gözlemlenmiştir. Sert yüzey alaşımlama makro sertlik değerleri incelendiğinde 41-50 HRC arasında değişmekte olup burada en yüksek sertlik değeri olan 50 HRC değerini %10 Cr ilave edilen sert alaşımından elde edilmiştir.



Şekil 5.32. 3. grup sert yüzey alaşımların mikro sertlik değerleri

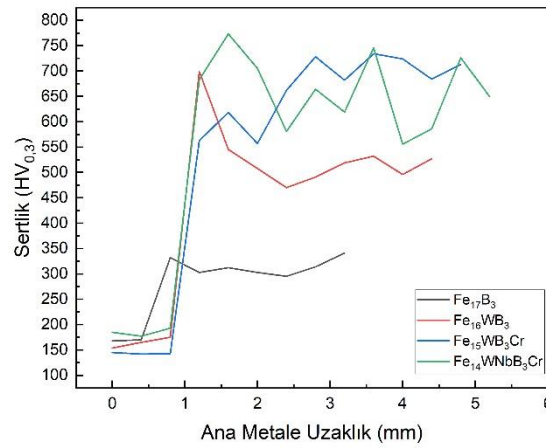


Şekil 5.33. 3. grup sert yüzey alaşımların makro sertlik değerleri

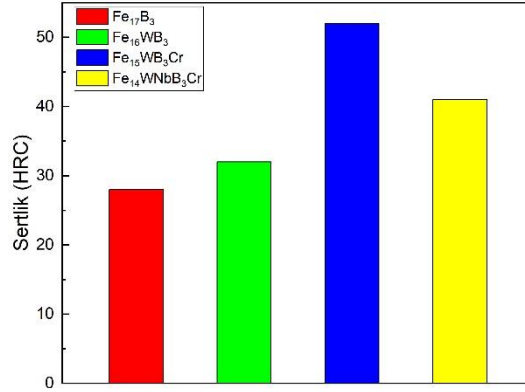
#### 5.3.4. 4. grup

Fe-B baz bileşime göre  $Fe_{16}WB_3$ ,  $Fe_{15}WB_3Cr$  ve  $Fe_{14}WNbBCr$  esaslı sert yüzey alaşımlarının mikro ve makro sertlik değerleri kıyaslanmıştır. Fe-B bileşimine %5 W ilavesiyle ortalama 314 HV olan mikrosertlik 531 HV'ye çıkmıştır. Yine bu bileşime %5 W ve %5 Cr ilave edildiğinde ortalama sertlik 666 HV'ye çıkmıştır. Son olarak %5 W, %5 Nb ve %5 Cr ilavesi ile ortalama sertlik 662 HV olarak ölçülmüştür.

Fe-B baz bileşiminin makro sertlik değeri ortalama 28 HV olarak ölçülmüş ve aynı sıra ile ölçülen diğer bileşimlerin makro sertlik değerleri sırasıyla 32, 52 ve 41 HRC olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.34. 4. grup sert yüzey alaşımların mikro sertlik ölçümleri

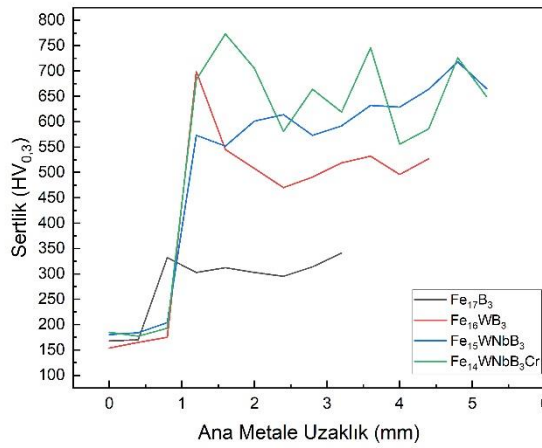


Şekil 5.35. 4. grup sert yüzey alaşımların makro sertlik değerleri

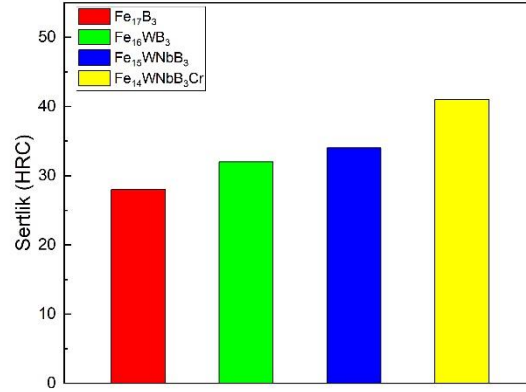
### 5.3.5. 5. grup

Fe-B baz bileşime göre  $Fe_{16}WB_3$ ,  $Fe_{15}WNB_3$ ,  $Fe_{14}WNB_3Cr$  sert yüzey alaşımlarının mikro ve makro sertlik değerleri kıyaslanmıştır. %5 W ilavesiyle ortalama 314 HV olan mikro sertlik 531 HV'ye çıkmıştır. Bu bileşime %5 W ve %5 Nb ilave edildiğinde mikro sertlik 619 HV'ye çıkmıştır. Son olarak %5 W, %5 Nb ve %5 Cr ilavesi ile ortalama sertlik 662 HR<sub>C</sub> olarak ölçülmüştür.

Fe-B baz bileşiminin makro sertlik değeri ortalama 28 HR<sub>C</sub> olarak ölçülmüş ve aynı sıra ile ölçülen diğer bileşimlerin makro sertlik değerleri sırasıyla 32, 34 ve 41 HR<sub>C</sub> olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.36. 5. grup sert yüzey alaşımların mikro sertlik değerleri

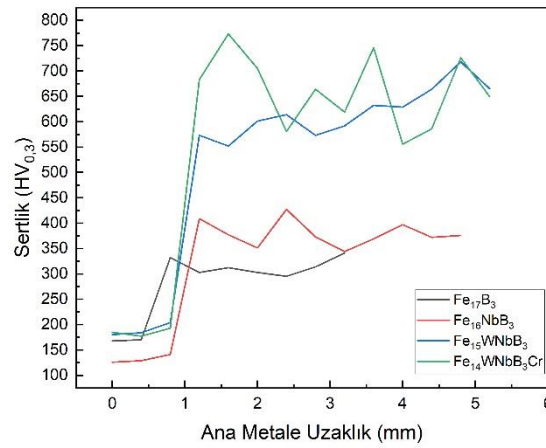


Şekil 5.37. 5. grup sert yüzey alaşımların makro sertlik değerleri

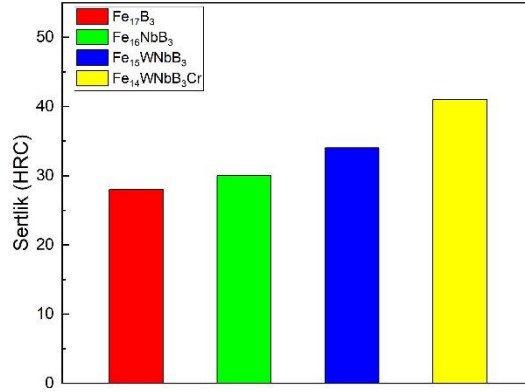
### 5.3.6. 6. grup

Fe-B baz bileşime göre  $Fe_{16}NbB_3$ ,  $Fe_{15}WNB_3$ ,  $Fe_{14}WNB_3Cr$  sert yüzey alaşımlarının mikro ve makro sertlik değerleri kıyaslanmıştır. %5 Nb ilavesiyle ortalama 314 HV olan mikrosetlik değeri 379 HV'ye çıkmıştır. %5W ve %5 Nb ilave edilmesiyle ise mikro sertlik 619 HV'ye çıkmıştır. Son olarak %5 W, %5 Nb ve %5 Cr ilavesi ile ortalama sertlik 662 HV olarak ölçülmüştür.

Fe-B baz bileşiminin makro sertlik değeri ortalama 28 HR<sub>C</sub> olarak ölçülmüş ve aynı sıra ile ölçülen diğer bileşimlerin makro sertlik değerleri sırasıyla 30, 34 ve 41 HR<sub>C</sub> olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.38. 6. grup sert yüzey alaşımların mikro sertlik değerleri

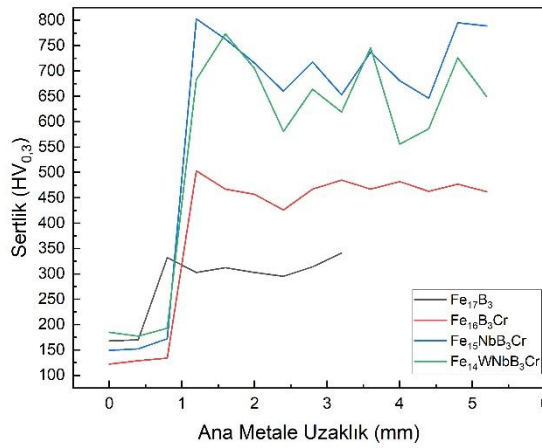


Şekil 5.39. 6. grup sert yüzey alaşımların makro sertlik değerleri

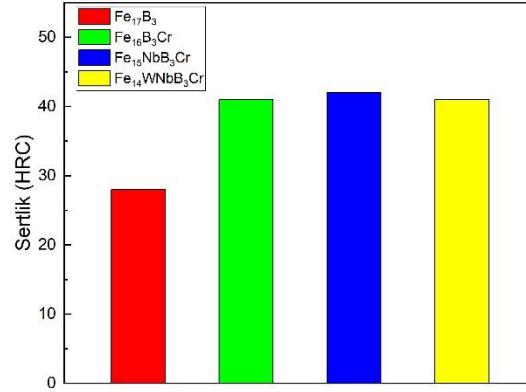
### 5.3.7. 7. grup

Fe-B baz bileşime göre  $Fe_{16}B_3Cr$ ,  $Fe_{15}NbB_3Cr$ ,  $Fe_{14}WNB_3Cr$  sert yüzey alaşımlarının mikro ve makro sertlik değerleri kıyaslanmıştır. %5 Cr ilave edilen alaşımın mikro sertlik değeri ortalama 314 HV'den 468 HV'ye çıkmıştır. %5 Nb ve %5 Cr ilave edilen alaşımın mikrosertlik değeri 723 olarak llmüştür. Son olarak %5 W, %5 Nb ve %5 Cr ilavesi ile ortalama sertlik 662 HV olarak llmüştür.

Fe-B baz bileşiminin makro sertlik değeri ortalama 28 HR<sub>C</sub> olarak llmüş ve aynı sıra ile llen diğer bileşimlerin makro sertlik değerleri sırasıyla 41, 42 ve 41 HR<sub>C</sub> olarak llmüştür.



Şekil 5.40. 7. grup sert yüzey alaşımların mikro sertlik değerleri



**Şekil 5.41.** 7. grup sert yüzey alaşımların makro sertlik değerleri

#### 5.4. Aşınma Testleri

Bu çalışma kapsamında ürettiğimiz 11 farklı bileşime sahip elektrotlarımızı sert yüzey alaşımlama işlemi yaptıktan sonra kaynak yüzeyini yere paralel şekilde taşıyarak aldığımız numunelerimizi aşınma testine tabi tuttuk. Bu testler TRIBOtechnic-TRIBOtester aşınma cihazı ile salınım (karşılıklı - git gel) hareketli ve oda sıcaklığında 25° (±2) sıcaklık ve %30 (±3) nem ortamında yapılmıştır. Aşınma testleri 10 mm çaplı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1850 HV<sub>0,1</sub>) bilye ile yapılmıştır. Testler 100 m boyunca, 30 mm/sn hız, 5 mm git-gel mesafesinde ve 2, 4, 8 N olan üç farklı yük şartlarında yapılmıştır.

Yapılan aşınma testlerinin tamamında yük arttıkça aşınma oranının arttığı görülmüştür. Aşınma oranının yüklerle birlikte artması daha önceki çalışmalarda doğrulanmıştır [68]. Ayrıca aşınma testlerinde farklı tipte aşınma mekanizmalarının meydana gelmesi malzemenin kimyasına, mikro yapısına ve sertliğine bağlı olarak değişiklik gösterebilir [69].

##### 5.4.1. 1. grup

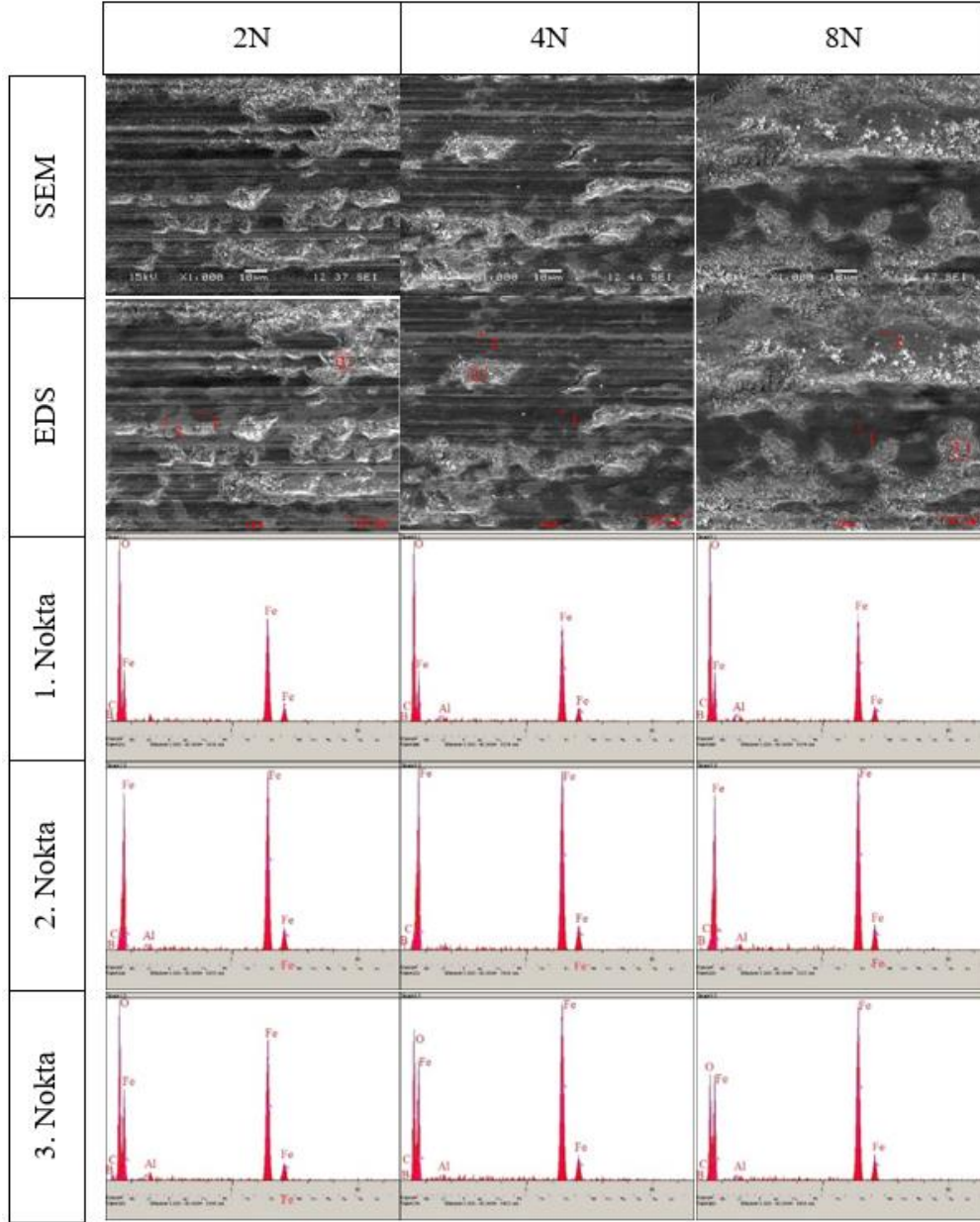
1. grup kapsamında Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub>, Fe<sub>16</sub>WB<sub>3</sub>, Fe<sub>15</sub>W<sub>2</sub>B<sub>3</sub> sert yüzey alaşımlanmış numunelerin aşınma testleri irdelenmiştir.

Mikro sertliği ortalama 314 HV ölçülen Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> sert yüzey alaşımına ait aşınma izlerinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, numunemizin yüzeyinde 2N yük altında daha çok abrazif aşınmanın olduğu, kısmende adhezif aşınma mekanizmasının

olduğu görülmektedir. Yük arttıka (4N, 8N) azalan abrazif aşınma yerine artan adhezif aşınmanın olduğu görülmektedir. SEM görüntülerinden elde edilen EDS analizleri incelendiğinde aşınma yüzeylerinde kısmen oksidatif aşınmalara rastlanmaktadır.

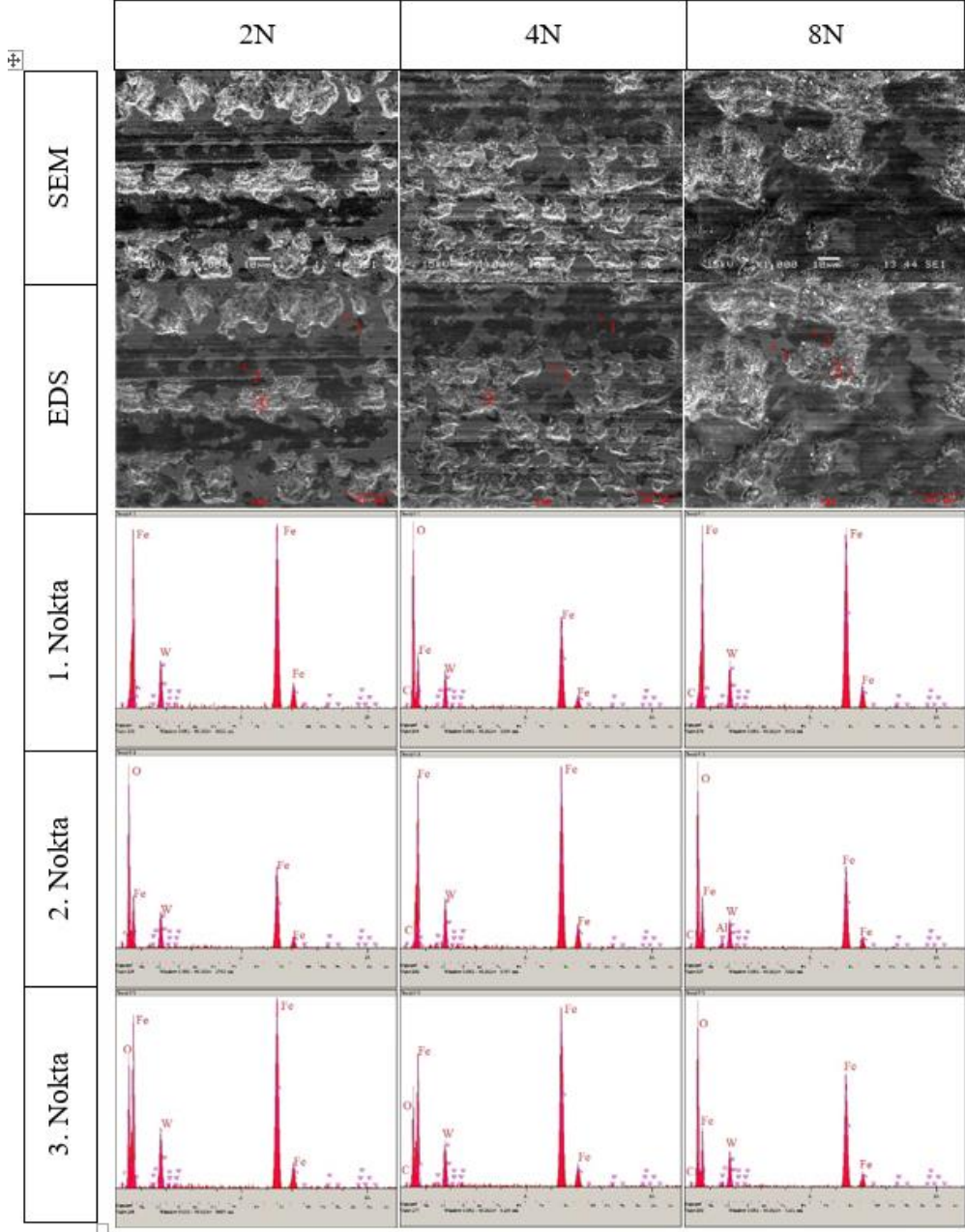
Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımına %5 W ilave edilmesiyle elde ettiğimiz Fe<sub>16</sub>WB<sub>3</sub> sert yüzey alaşımının SEM görüntülerini incelediğimizde ilave edilen %5 tungstenin sertliği arttırmasıyla (ortalama 531 HV) aşınma yüzeyinde oluşan adhezif aşınmalar artmış, abrazif aşınmalar ise belirgin bir şekilde azalmıştır. Yükün artırılmasıyla adhezif aşınma yoğunluğu artmıştır. SEM görüntülerinden elde edilen EDS analizleri incelendiğinde yer yer oksidatif aşınma mekanizmasının olduğunu göstermektedir.

Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımına %10 W ilave edilmesiyle elde ettiğimiz Fe<sub>15</sub>W<sub>2</sub>B<sub>3</sub> sert yüzey alaşımının SEM görüntülerini incelediğimizde ilave edilen %10 tungstenin sertliği daha da arttırmasıyla (ortalama 676 HV), 2N ve 4N yüklerde adhezif ve abrazif aşınma mekanizmaları yoğun bir şekilde mevcut olup EDS analizlerine bakıldığında bazı bölgelerde oksidatif aşınmalarda görülmektedir. 8N yükte ise adhezif aşınmanın azaldığı görülmektedir. 4N ve 8N yükte az sayıda kk boyutlu parça kopmaları grlmştir.

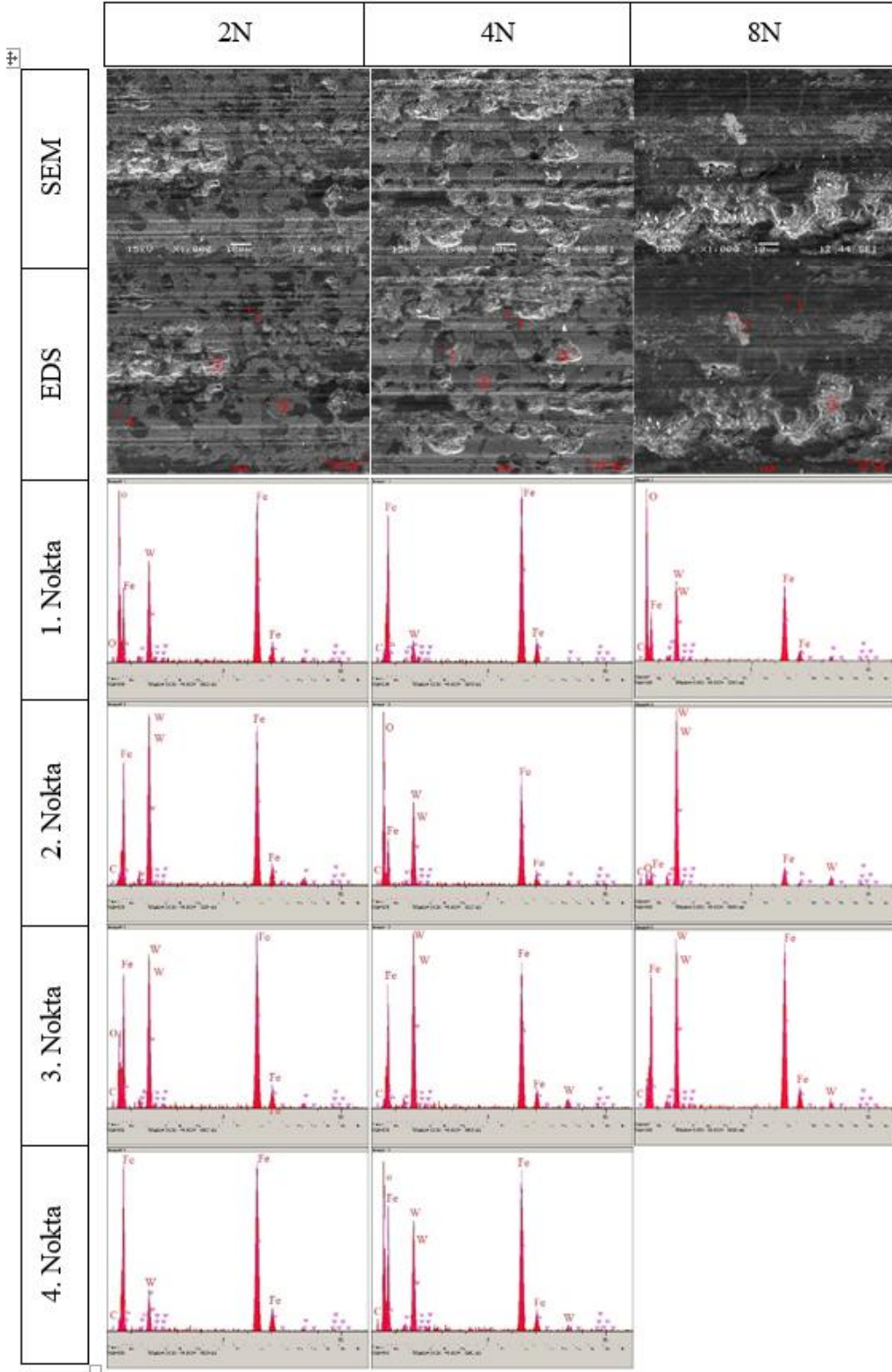


**Şekil 5.42.** Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri

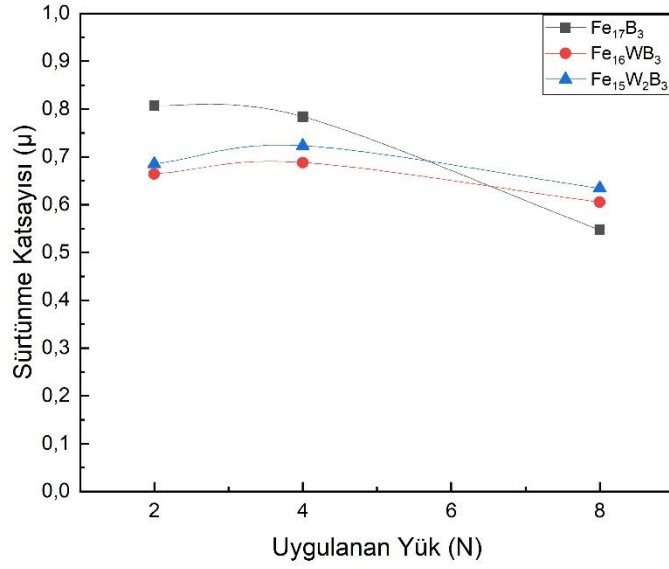




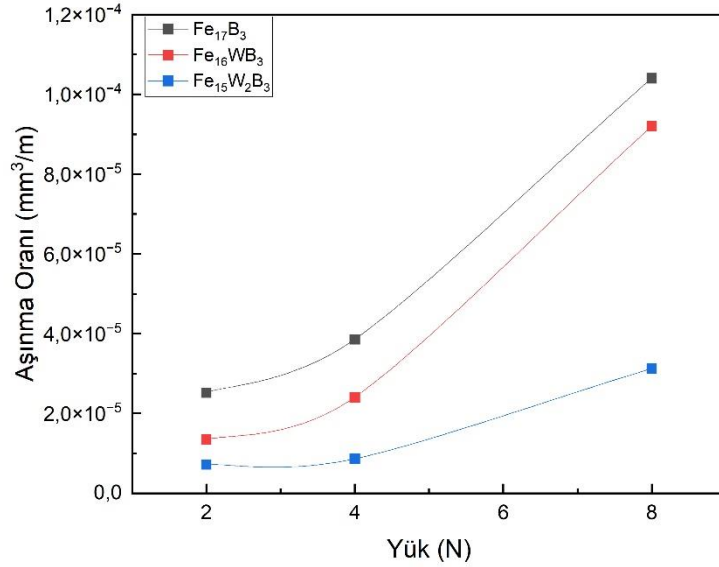
**Şekil 5.43.**  $Fe_{16}WB_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



Şekil 5.44. Fe<sub>15</sub>W<sub>2</sub>B<sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri

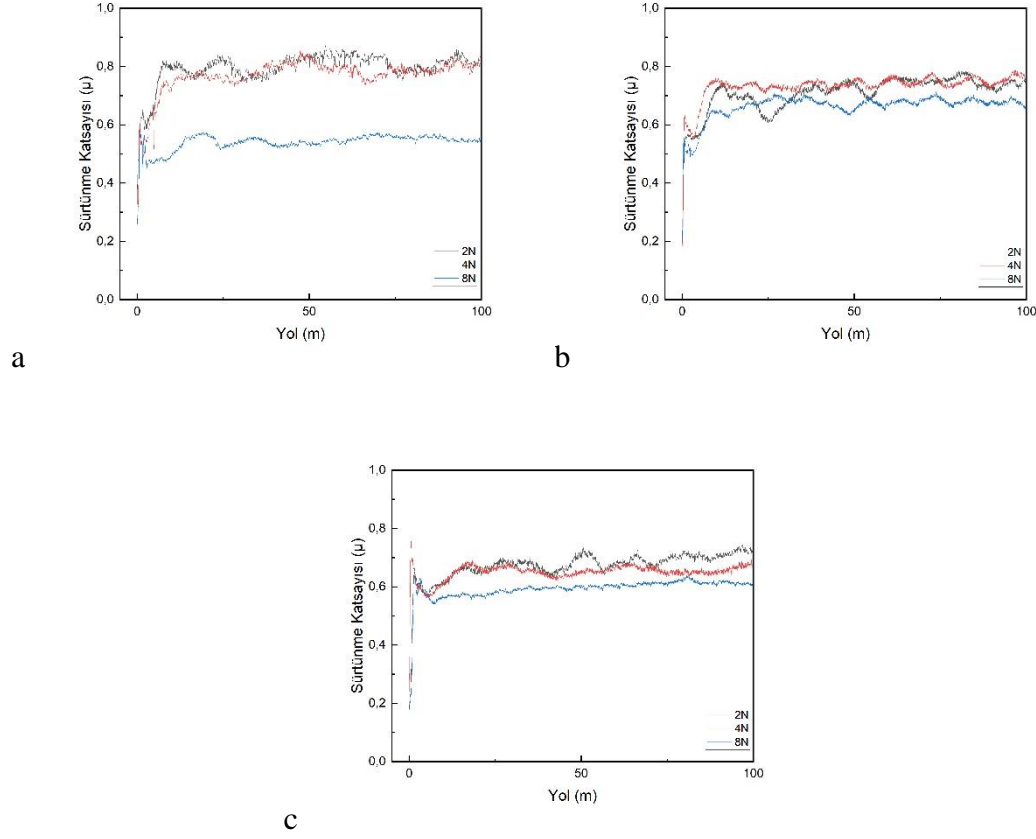


Şekil 5.45. 1. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri



Şekil 5.46. 1. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları

1. grupta yer alan Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub>, Fe<sub>16</sub>WB<sub>3</sub>, Fe<sub>15</sub>W<sub>2</sub>B<sub>3</sub> sert yüzey alaşımlarının sürtünme katsayı değerleri artan W oranı artan yüklerde düşüş göstermektedir. Artan yüklerde W oranının artmasıyla aşınma oranının artış ivmesi ise azalmıştır. Burada W oranının artışıyla sertliğin ve aşınma direncinin paralel şekilde arttığını söyleyebiliriz.



**Şekil.5.47**  $Fe_{17}B_3$  (a),  $Fe_{16}WB_3$  (b) ve  $Fe_{15}W_2B_3$  (c) bileşimlerine ait sürtünme mesafesine bağlı sürtünme katsayı değerleri

#### 5.4.2. 2. grup

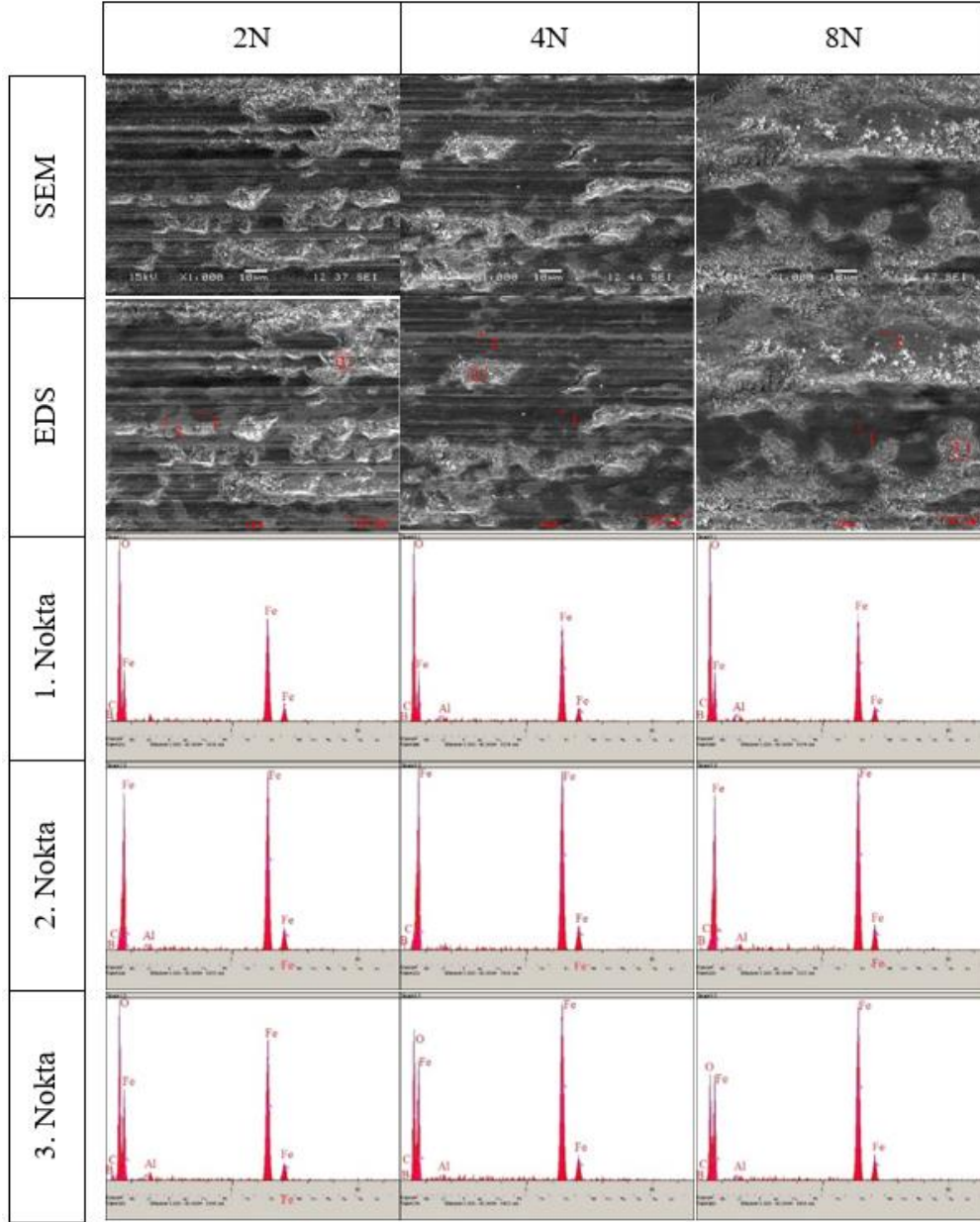
2. grup kapsamında  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}NbB_3$ ,  $Fe_{15}Nb_2B_3$  sert yüzey alaşımlanmış numunelerin aşınma testleri irdelenmiştir.

Mikro sertliği ortalama 314 HV ölçülen  $Fe_{17}B_3$  sert yüzey alaşımına ait aşınma izlerinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, numunemizin yüzeyinde 2N yük altında daha çok abrazyif aşınmanın olduğu, kısımda adhezif aşınma mekanizmasının olduğu görülmektedir. Yük arttıkça (4N, 8N) azalan abrazyif aşınma yerine artan adhezif aşınmanın olduğu görülmektedir. SEM görüntülerinden elde edilen EDS analizleri incelendiğinde aşınma yüzeylerinde kısmen oksidatif aşınmalara rastlanmaktadır.

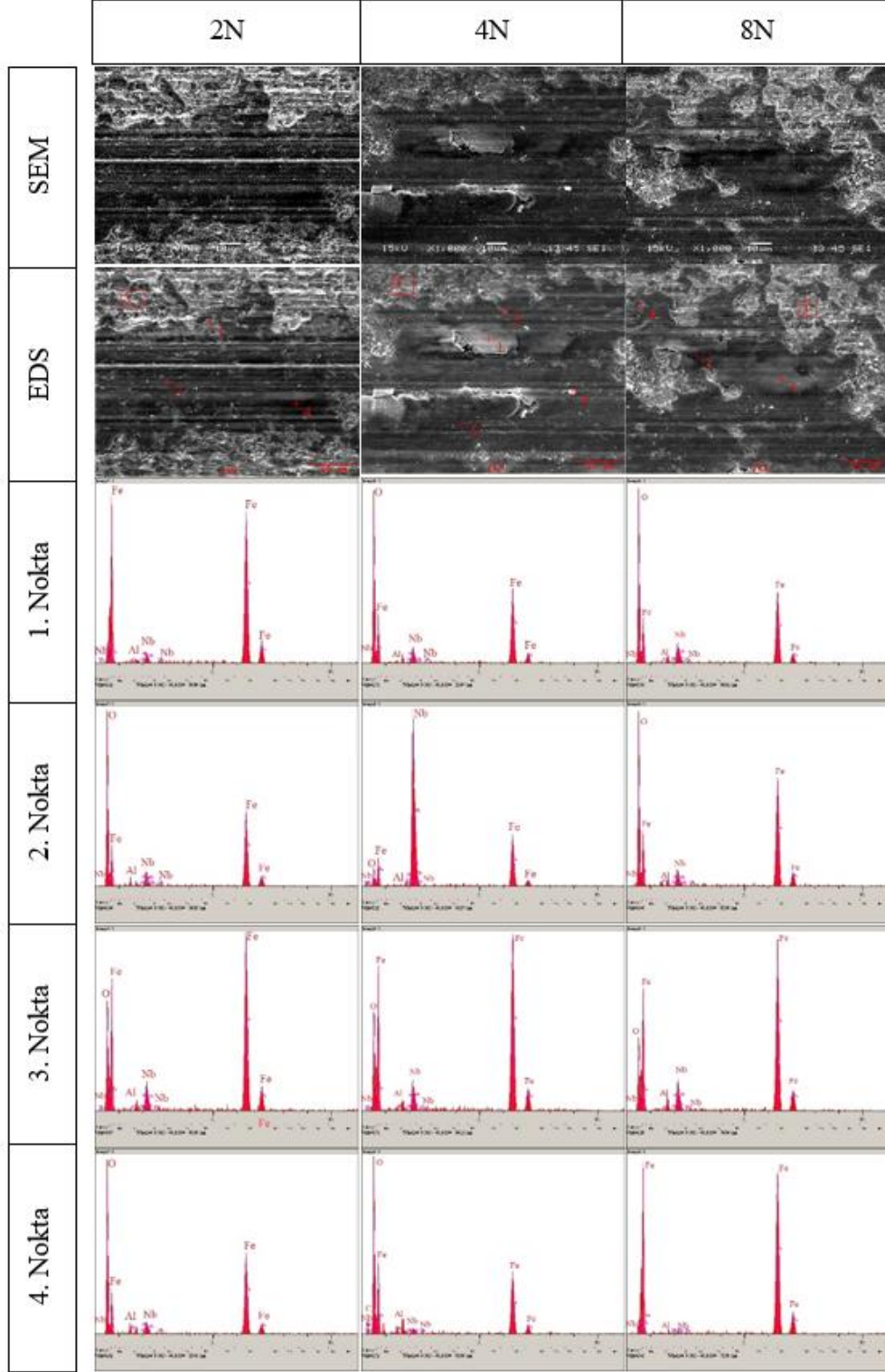
$Fe_{17}B_3$  alaşımına %5 Nb ilavesiyle elde ettiğimiz  $Fe_{16}NbB_3$  sert yüzey alaşımını sertliği 314 HV'den 379 HV'ye çıkarmış, bu alaşımın 2N yük altındaki testlerinde derin abrazyif aşınmalar oluşmuştur. Bu aşınma mekanizmasının yanında adhezif aşınmalarda görülmekte ve EDS analizleri incelendiğinde aşınma yüzeyinde oksidatif

aşınmalarda gözlenmiştir. Test yükü 4N'ye çıkarıldığında yüzeyden parçaların koparak adhezif aşınmaların yoğunluğunun arttığını gözlemlemekteyiz. Bu yükte derin abrazif aşınma izleri kaybolmuş, nispeten silik izler oluşmuştur. 8N yük altında ise abrazif aşınma mekanizmasının yoğunluğu artmakla beraber adhezif aşınma mekanizmasında görülmektedir. 4N ve 8N yüklerde EDS analizlerinden anlaşılacağı üzere oksidatif aşınma mevcut olup, bu yüklerde bazı bölgelerde kılcal çatlaklar gözlenmiştir.

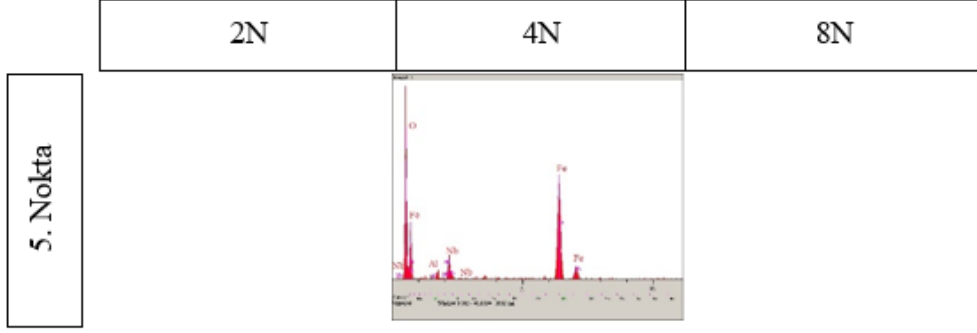
$Fe_{17}B_3$  alaşımına %10 Nb ilavesiyle elde ettiğimiz  $Fe_{15}Nb_2B_3$  sert yüzey alaşımı mikro sertliği 314 HV'den 373 HV'ye çıkarmıştır. Sertliğin  $Fe_{16}NbB_3$  alaşımına göre artmadığı görülen bu alaşımın aşınma mekanizmalarıda benzerlik göstermektedir. 2N yük altında derin abrazif aşınmanın yanında adhezif aşınmalar mevcut olup EDS analizlerine bakıldığında oksidatif aşınmalar görülmektedir. 4N yük altında abrazif aşınma izlerinin arttığı görülmekle birlikte adhezif aşınmaların azaldığı gözlenmektedir. Bunların yanında EDS analizleri incelendiğinde oksidatif aşınmanın olduğunu da görmekteyiz. Ayrıca yer yer parça kopmaları olsada yüzeyde kılcal çatlakların oluşmadığı görülmüştür. 8N yük altında ise abrazif aşınma mekanizmasının azaldığı, bunun yanında adhezif aşınma mekanizmasında yoğunluk gözlenmiştir. Bu yük altında parça kopmaları mevcut olup, kılcal çatlak gözlenmemiştir. EDS analizleri incelendiğinde bazı bölgelerde oksidatif aşınmalar mevcuttur.



**Şekil 5.48.**  $Fe_{17}B_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri

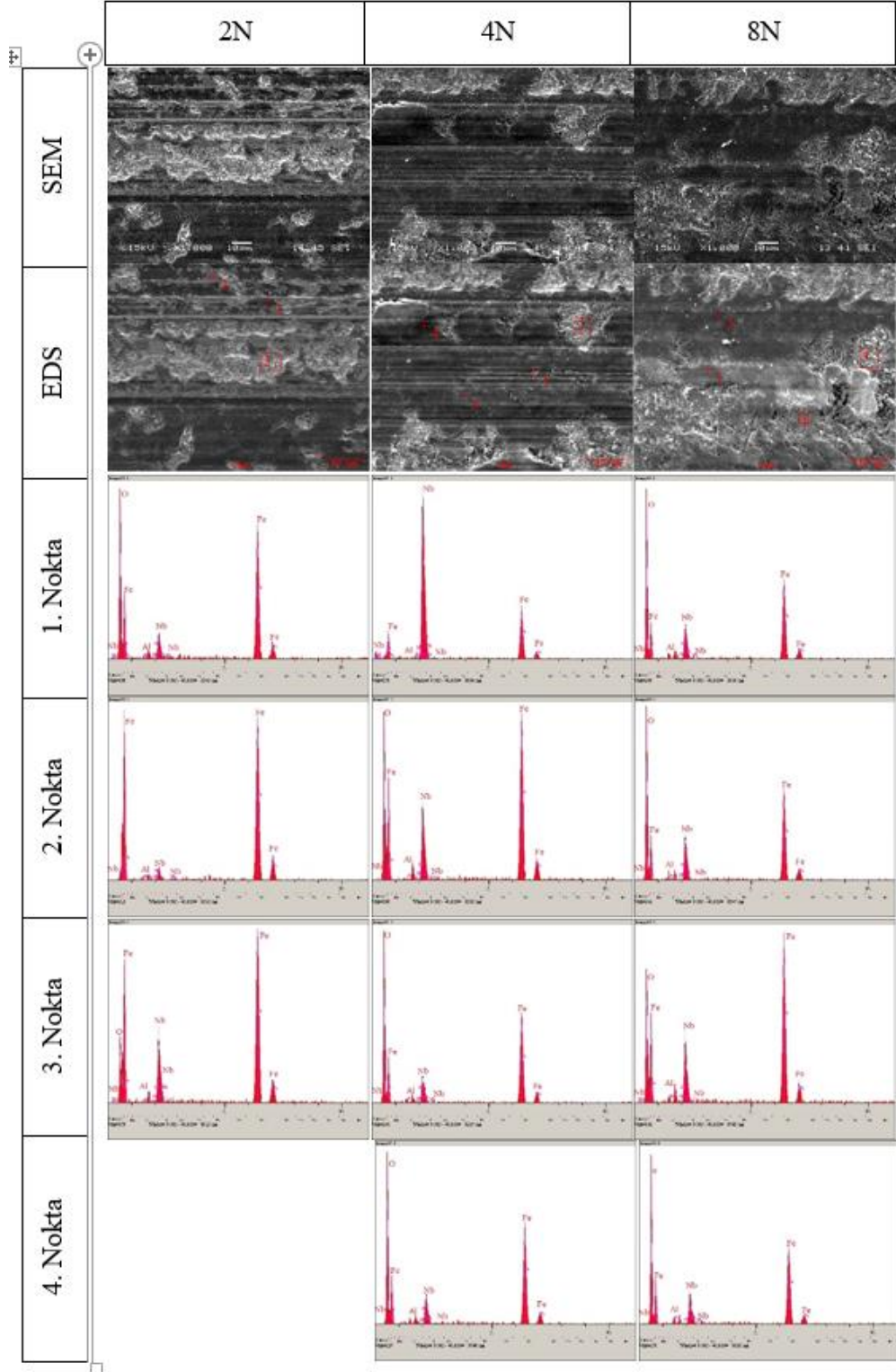


**Şekil 5.49.** Fe<sub>16</sub>NbB<sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri

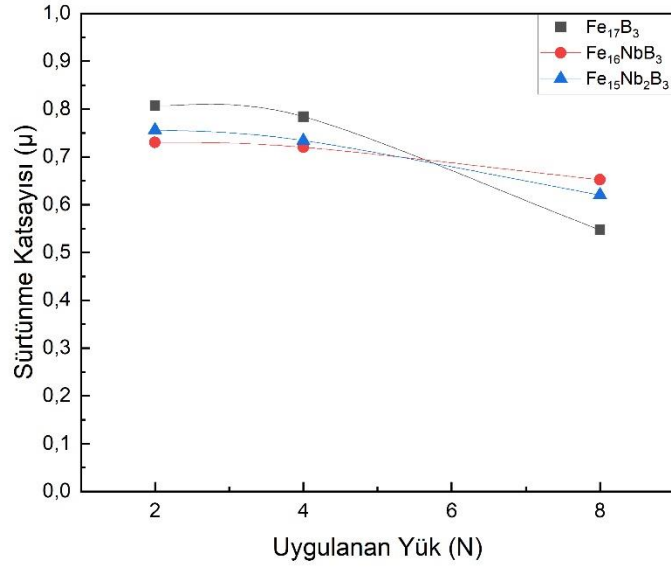


**Şekil 5.49.(Devamı):**  $Fe_{16}NbB_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri

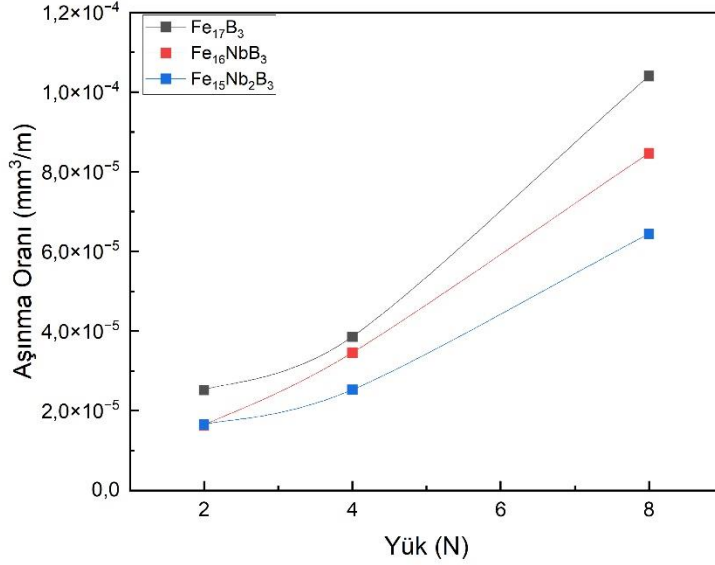




Şekil 5.50.  $Fe_{15}Nb_2B_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri

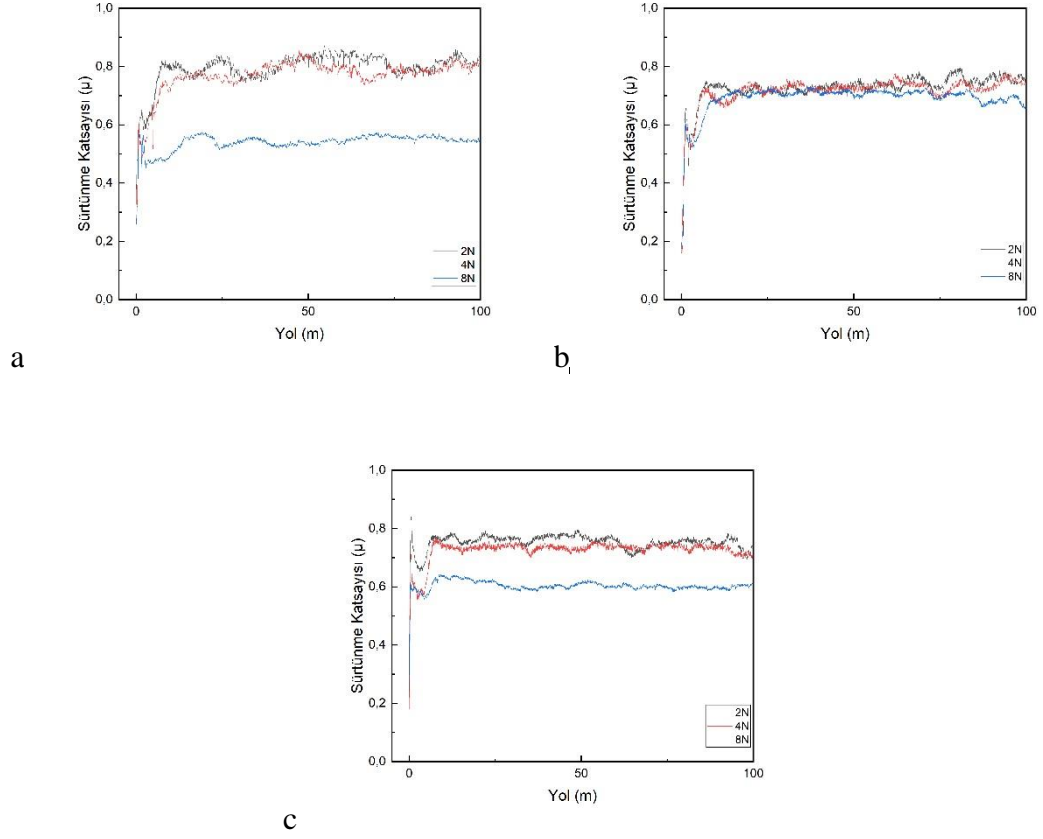


Şekil 5.51. 2. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri



Şekil 5.52. 2. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları

2. grupta yer alan Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub>, Fe<sub>16</sub>NbB<sub>3</sub>, Fe<sub>15</sub>Nb<sub>2</sub>B<sub>3</sub> sert yüzey alaşımlarının artan Nb ile sürtünme katsayı değerleri düştüğü görülmekle beraber, artan yüklerde aşınma oranları artış ivmesinde ciddi azalma görülmemiştir. Sertlik değerleri ciddi artış göstermeyen bu alaşımların aşınma dayanımı da nispeten düşüktür.



**Şekil.5.53.** Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> (a), Fe<sub>16</sub>NbB<sub>3</sub> (b) ve Fe<sub>15</sub>Nb<sub>2</sub>B<sub>3</sub> (c) bileşimlerine ait sürtünme mesafisine bağlı sürtünme katsayı değerleri

### 5.4.3. 3. grup

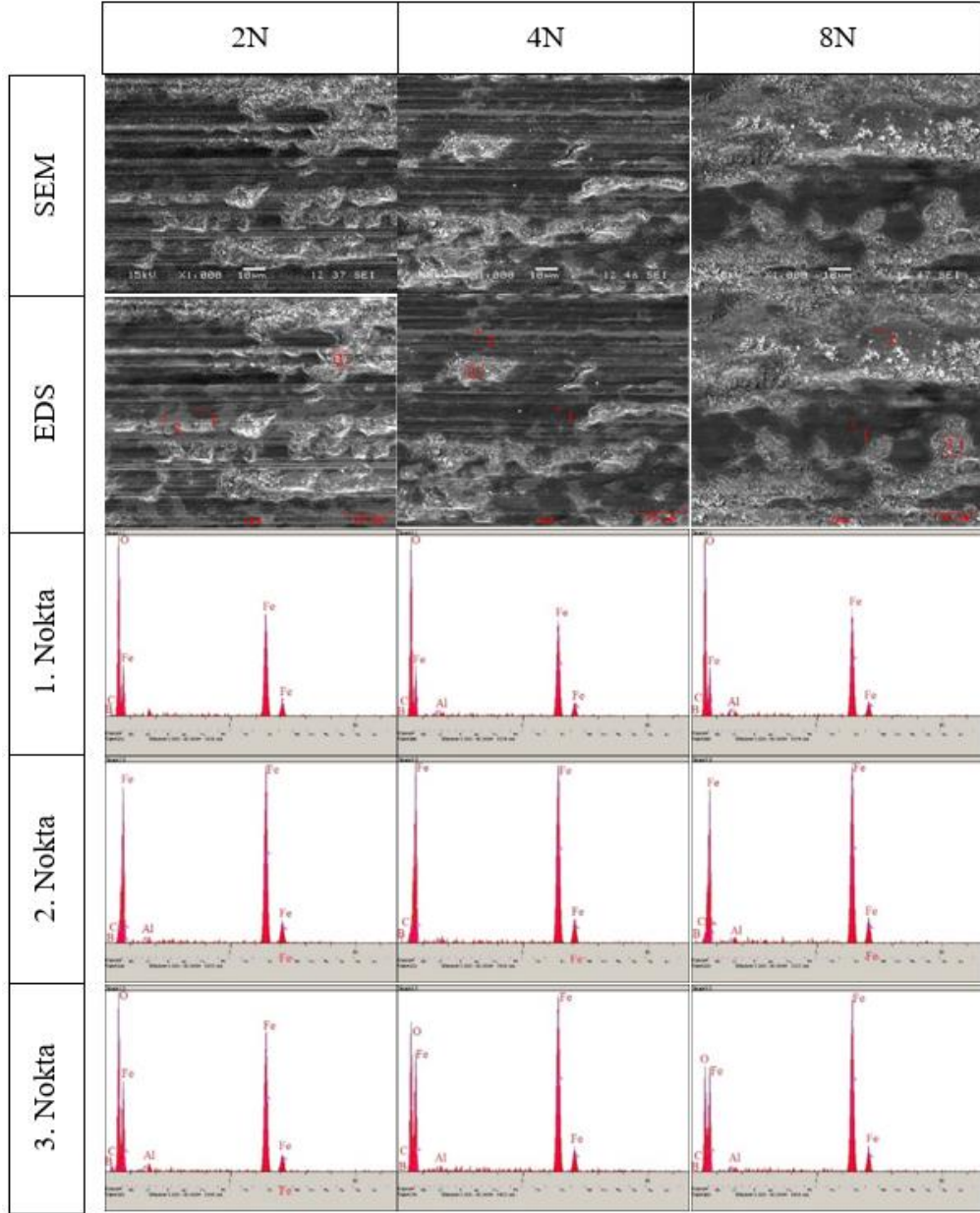
3. grup kapsamında Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub>, Fe<sub>16</sub>B<sub>3</sub>Cr, Fe<sub>15</sub>B<sub>3</sub>Cr<sub>2</sub> sert yüzey alaşımlanmış numunelerin aşınma testleri irdelenmiştir.

Mikro sertliği ortalama 314 HV ölçülen Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> sert yüzey alaşımına ait aşınma izlerinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, numunemizin yüzeyinde 2N yük altında daha çok abrazif aşınmanın olduğu, kısmende adhezif aşınma mekanizmasının olduğu görülmektedir. Yük arttıkça (4N, 8N) azalan abrazif aşınma yerine artan adhezif aşınmanın olduğu görülmektedir. SEM görüntülerinden elde edilen EDS analizleri incelendiğinde aşınma yüzeylerinde kısmen oksidadif aşınmalara rastlanmaktadır.

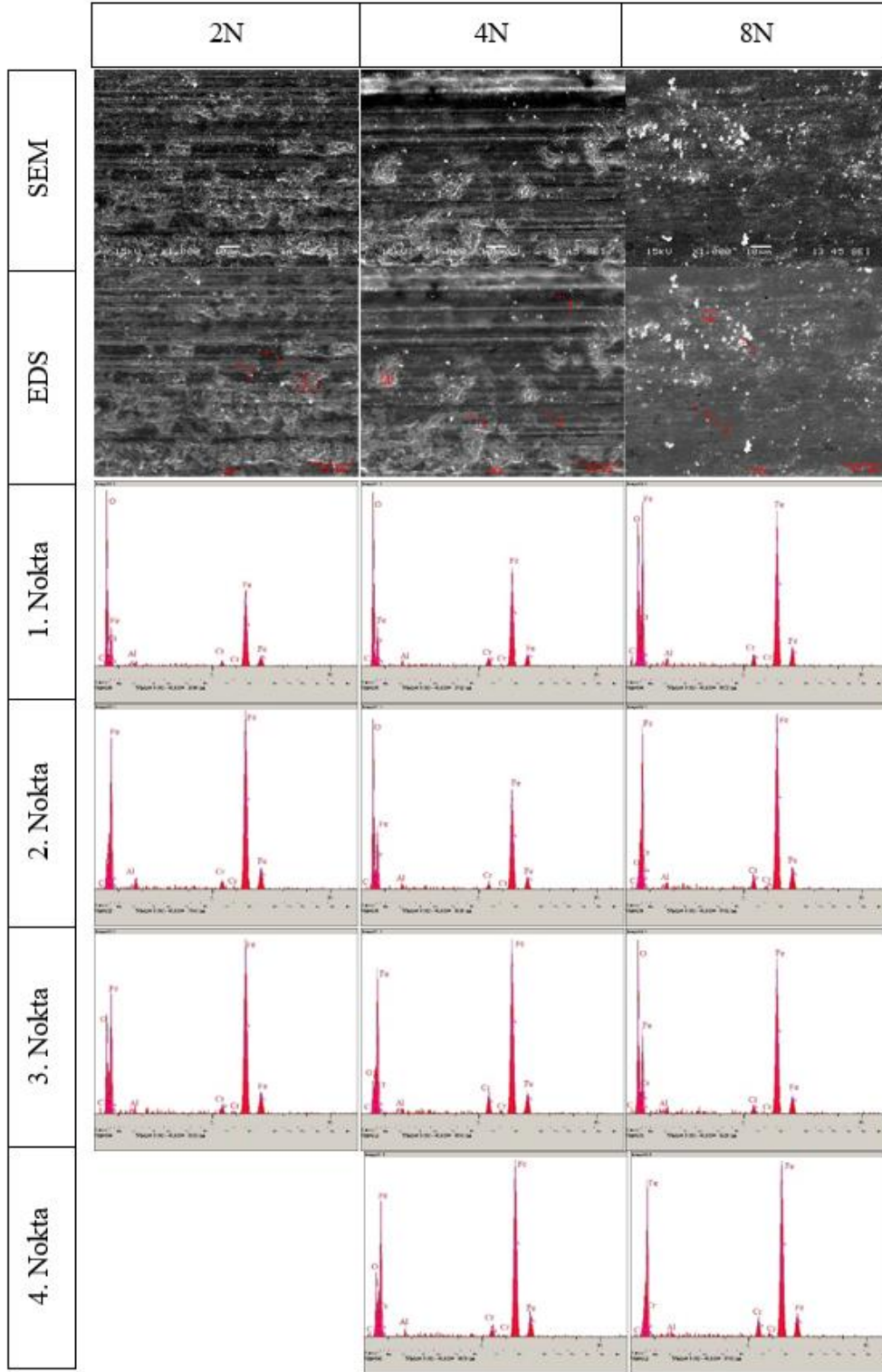
Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımına %5 Cr ilave ederek elde ettiğimiz Fe<sub>16</sub>B<sub>3</sub>Cr sert yüzey alaşımı 314 HV olan sertliği 468 HV'ye çıkartmıştır. Bu alaşımın SEM görüntülerini icediğimizde 2N yük altında abrazif ve adhezif aşınma mekanizmaları birlikte yoğun bir şekilde gözlenmekle birlikte yüzeyde küçük boyutlarda parça kopmaları

mevcuttur. 4N yük altında ise abrazif aşınma izleri derinleşmiş ve nispeten bu aşınma azalmıştır. Adhezif aşınmanın da nispeten azalarak bölgesel olarak gözlenmektedir. Kopan parça miktarı azalmış fakat boyutları artmıştır. 8N yük altına abrazif aşınma oldukça azalmış, adhezif aşınma da nispeten azalmış, bunların yanında kopan parça miktarı ve boyutu oldukça artmıştır. Kopan parçalardan alınan EDS analizine bakıldığında, bu parçaların oksitlendiği görülmüştür. Bu alaşımın EDS analizleri incelendiğinde tüm yüklerde oksidatif aşınma tespit edilmiştir.

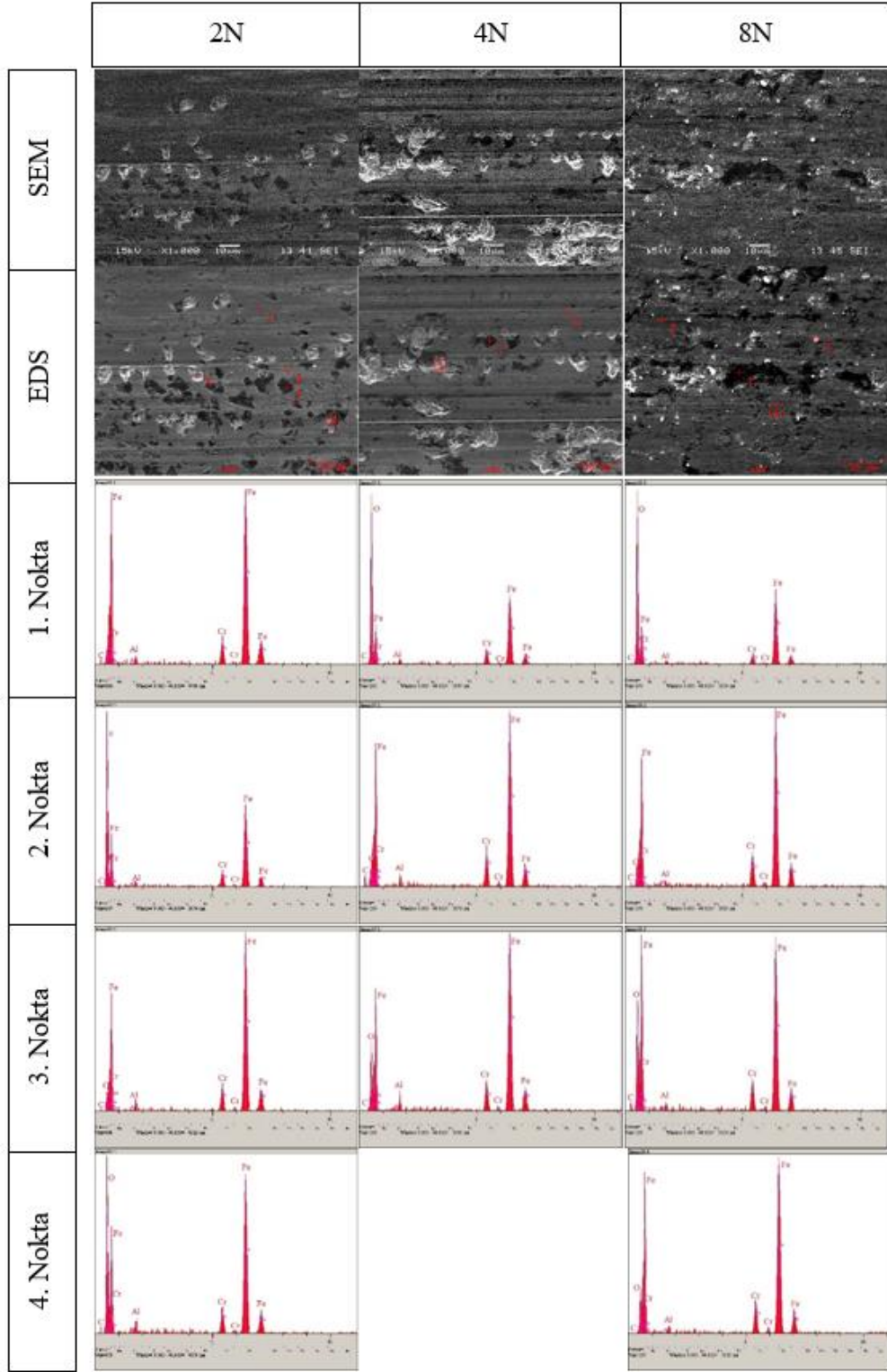
$Fe_{17}B_3$  alaşımına %10 Cr ilave ederek elde ettiğimiz  $Fe_{15}B_3Cr_2$  sert yüzey alaşımı 314 HV olan sertliği 610 HV'ye çıkartmıştır. Bu alaşımın 2N yük altındaki SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyden parçaların koparak yüzeyde başka yerlere sıvandığı görülmüştür. Bu parçaların koptuğu yerden alınan EDS analizine göre bu bölgelerin oksitlendiği anlaşılmaktadır. Kopan parçaların ise alaşım özelliğini koruduğu anlaşılmıştır. Bu bölgelerde özellikle adhezif aşınma mekanizmasının hakim olduğu görülmekle beraber, bazı bölgelerde abrazif ve oksidatif aşınmanın varlığı SEM ve EDS analizlerinden anlaşılmaktadır. 4N yük altında ise abrazif aşınma izlerinin arttığı, parça kopmalarının azaldığı, adhezif aşınmanın ise bölgesel olarak dağıldığı gözlenmiştir. Yine burada kopan parçaların yerlerinden alınan EDS analizine göre bu bölgelerin oksitlendiği anlaşılmıştır. 8N yük altında ise adhezif aşınma mekanizmasının bariz bir şekilde arttığı görülmektedir. Burada dağınık bir şekilde kopan parçalar görülmektedir. Burada hem bu parçaların koptuğu yer hemde parçaların kendisinin oksitlendiği EDS analizinden anlaşılmaktadır. 8N yük altında abrazif aşınma az miktarda gözlenmekle beraber EDS analizlerinden anlaşılacağı üzere oksidatif aşınma da tespit edilmiştir.



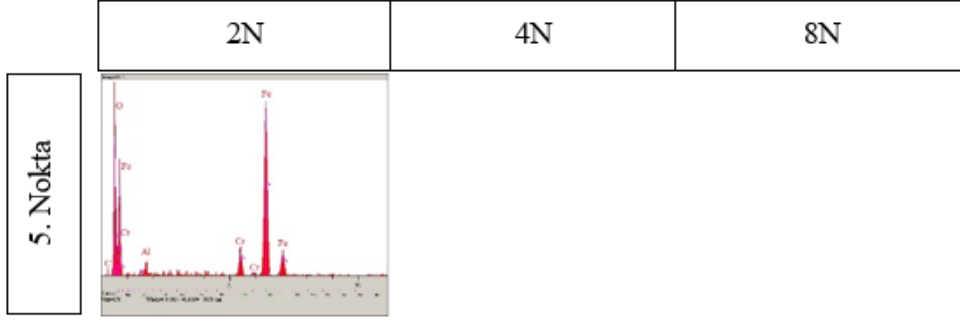
**Şekil 5.54.** Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



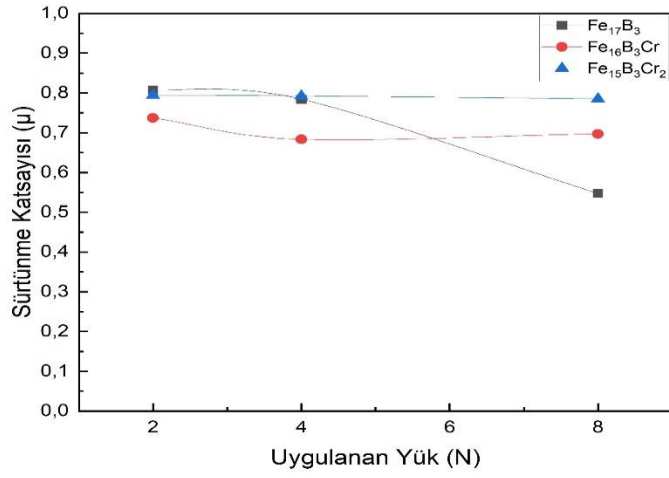
**Şekil 5.55.**  $Fe_{16}B_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



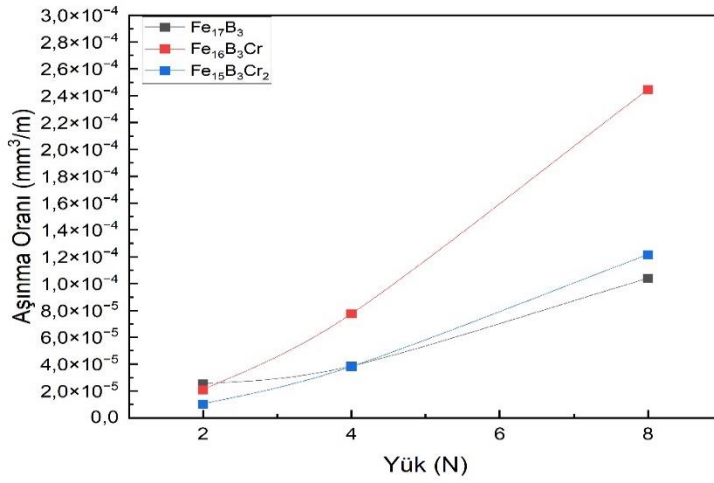
**Şekil 5.56.**  $Fe_{15}B_3Cr_2$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



**Şekil 5.56.(Devamı)**  $\text{Fe}_{15}\text{B}_3\text{Cr}_2$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



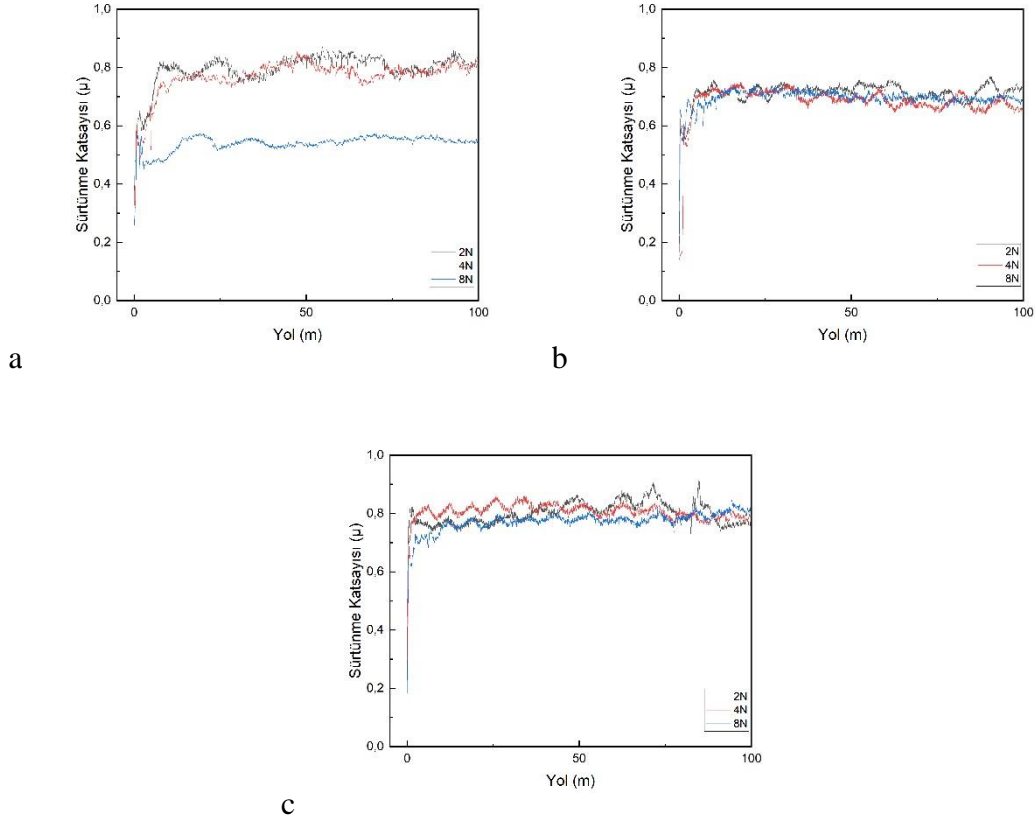
**Şekil 5.57.** 3. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri



**Şekil 5.58.** 3. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları



3. grupta yer alan  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}B_3Cr$ ,  $Fe_{15}B_3Cr_2$  sert yüzey alaşımlarının artan Cr oranıyla sürtünme kat sayısının ciddi bir şekilde azalmadığı görülmüştür. Bununla beraber %5 Cr ilavesi ve artan yükte aşınma oranı yükselmiştir. %10 Cr ilavesiyle sertliğin ve aşınma direncinin  $Fe_{17}B_3$  alaşımıyla benzerlik görülmektedir.



**Şekil.5.59.**  $Fe_{17}B_3$  (a),  $Fe_{16}B_3Cr$  (b) ve  $Fe_{15}B_3Cr_2$  (c) bileşimlerine ait sürtünme mesafisine bağlı sürtünme katsayı değerleri

#### 5.4.4. 4. grup

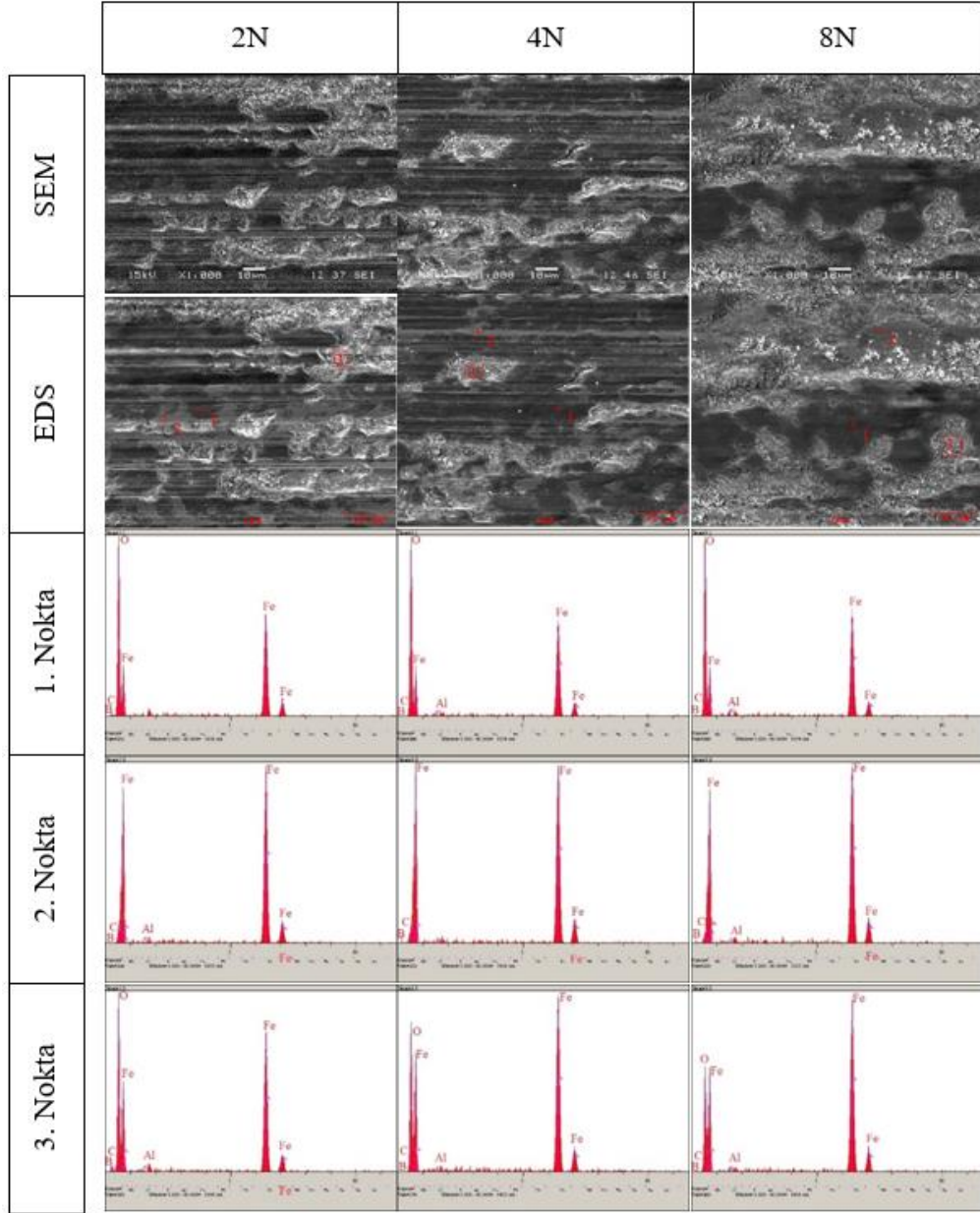
4. grup kapsamında  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}WB_3$ ,  $Fe_{15}WB_3Cr$ ,  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımlanmış numunelerin aşınma testleri irdelenmiştir.

Mikro sertliği ortalama 314 HV ölçülen  $Fe_{17}B_3$  sert yüzey alaşımına ait aşınma izlerinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, numunemizin yüzeyinde 2N yük altında daha çok abrazif aşınmanın olduğu, kısmende adhezif aşınma mekanizmasının olduğu görülmektedir. Yük arttıkça (4N, 8N) azalan abrazif aşınma yerine artan adhezif aşınmanın olduğu görülmektedir. SEM görüntülerinden elde edilen EDS analizleri incelendiğinde aşınma yüzeylerinde kısmen oksidatif aşınmalara rastlanmaktadır.

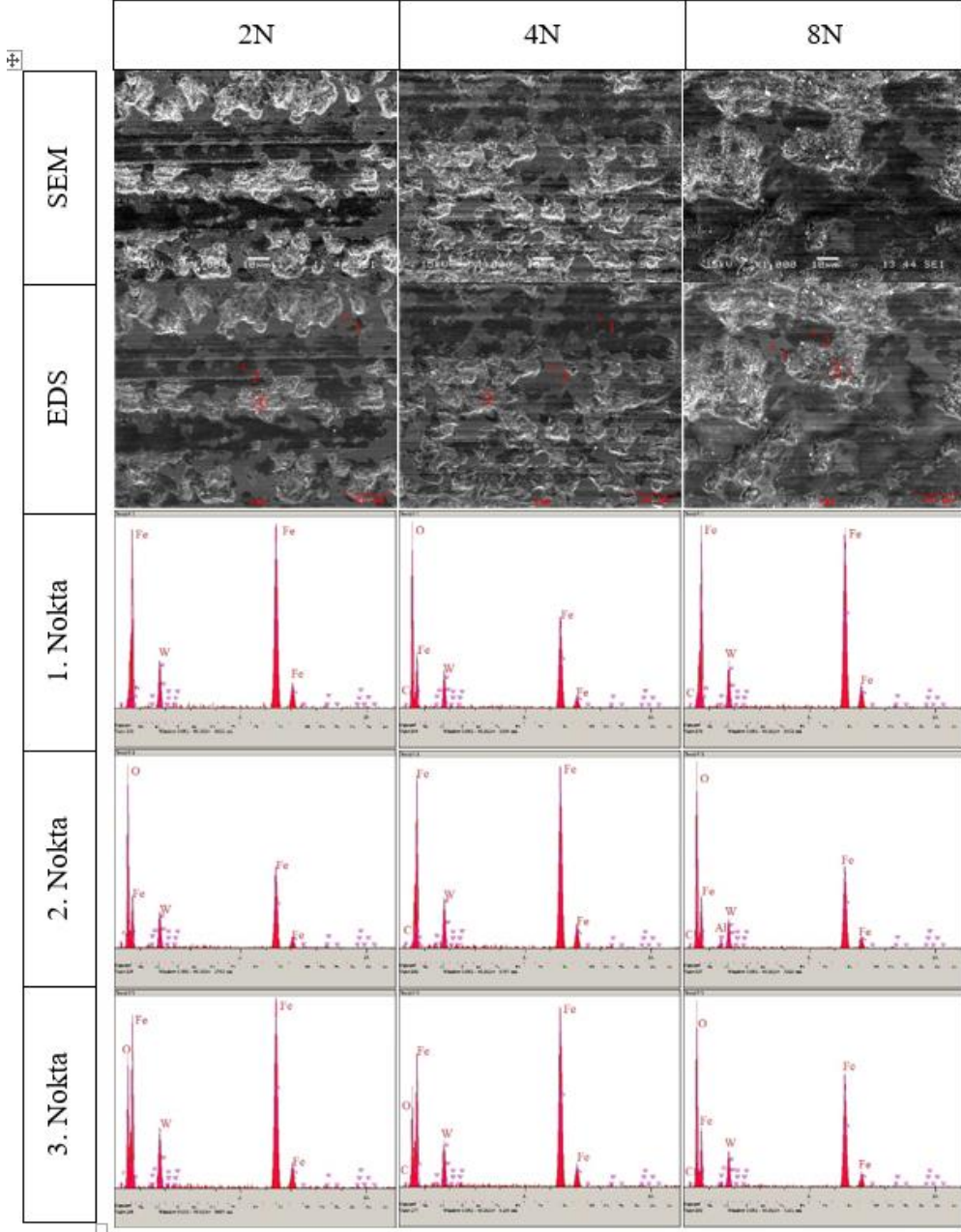
Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımına %5 W ilave edilmesiyle elde ettiğimiz Fe<sub>16</sub>WB<sub>3</sub> sert yzey alaşımının SEM görüntülerini incelediğimizde ilave edilen %5 tungstenin sertliği arttırmasıyla (ortalama 531 HV) aşınma yzeyinde oluşan adhezif aşınmalar artmış, abrazif aşınmalar ise belirgin bir şekilde azalmıştır. Yükün arttırılmasıyla adhezif aşınma yoğunluğu artmıştır. SEM görüntülerinden elde edilen EDS analizleri incelendiğinde yer yer oksidatif aşınma mekanizmasının olduğunu göstermektedir.

Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımına %5 W ve %5 Cr ilave ederek elde ettiğimiz Fe<sub>15</sub>WB<sub>3</sub>Cr sert yzey alaşımını 314 HV olan sertliği 666 HV'ye çıkartmıştır. Bu alaşımın 2N yük altındaki testlerinin SEM görüntüleri incelendiğinde adhezif aşınma ve abrazif aşınma mekanizmalarını görmekteyiz. Bazı bölgelerde parça kopmaları görülmektedir. Kopan parçaların yerinden alınan EDS analizlerine bakıldığında parçaların koptuğu yerlerde oksitlenme oluşmuştur. 4N yük altındaki testler incelendiğinde, bu yükte abrazif aşınma miktarının arttığı görülmüş, parça kopmalar azalmıştır. Aynı zamanda adhezif aşınma miktarıda azalmıştır. Burada da kopan parçaların yerlerinden alınan EDS analine göre, parça kopan yerler oksitlenmiştir. 8N yük altında ise abrazif aşınma izleri derinleşmiştir. Adhezif aşınma miktarında da azalma görülmüş, parça kopması azalmıştır. Bunların yanında tüm yüklerde EDS analizlerine bakıldığında oksidatif aşınmalar tespit edilmiştir.

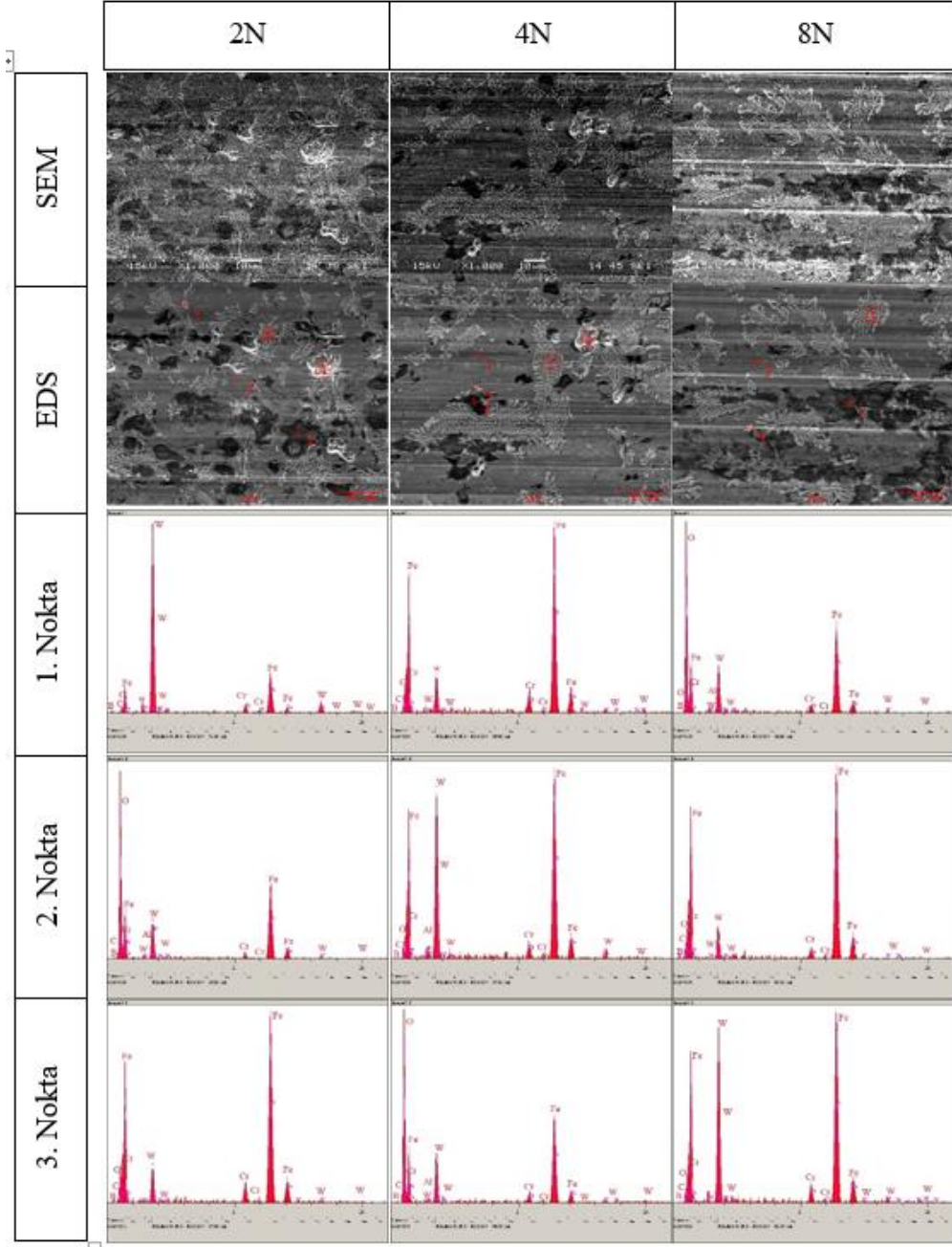
Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımına %5 W, %5 Nb ve %5 Cr ilave ederek elde ettiğimiz Fe<sub>14</sub>WNbB<sub>3</sub>Cr sert yzey alaşımını 314 HV olan sertliği 662 HV'ye çıkartmıştır. 2N yük altındaki testlerde adhezif aşınmanın belirgin olduğu görülmektedir. Yzeyde küçük boyutlarda ve az miktarda parça kopmaları görülmektedir. Ayrıca abrazif aşınmada gözlemlenen yzeyde EDS analizlerine bakıldığında oksidatif aşınmada söz konusudur. 4N yük altında aşınma izlerinin karışıklık gösterdiği görülmektedir. Bu yükte parça kopmaları nispeten daha az olmasına rağmen kopan parçaların bazıları yzeyde başka bir yere sıvanma şeklinde yapışmıştır. EDS analizleri incelendiğinde az miktarda oksidatif aşınma söz konusudur. 8N yük altında ise aşınma daha çok parça kopması şeklinededir. Kopan parçaların miktarı oldukça fazladır ve kopan parçaların birçoğu yzeyde başka yerlere yapışmıştır. Bu yükte adhezif aşınmanın yoğun olduğu görülmektedir. Abrazif aşınma izleri çok az gözlenmiştir. Parça kopan yerlerden alınan EDS analizlerine göre parçaların koptuğu yerlerde oksitlenme mevcuttur.



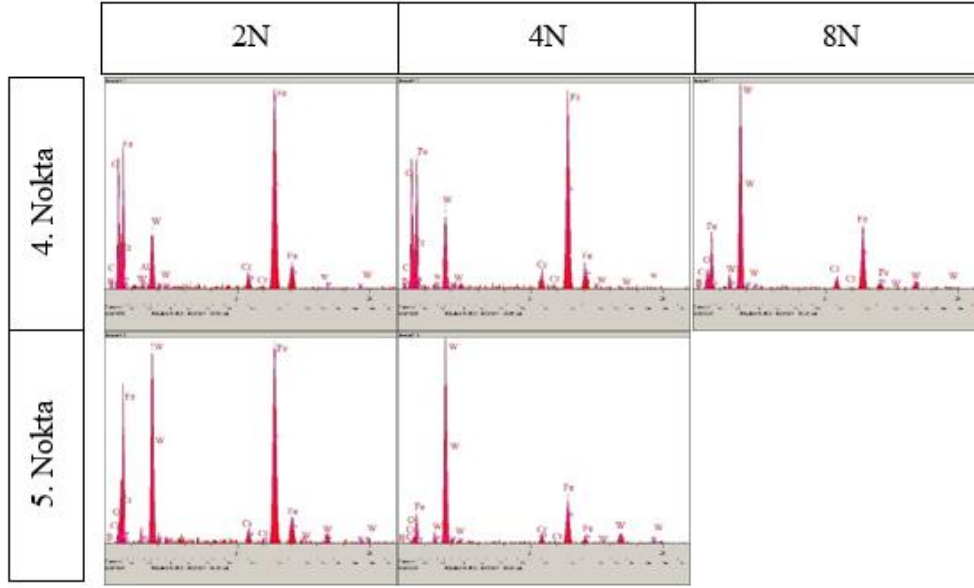
**Şekil 5.60.**  $Fe_{17}B_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



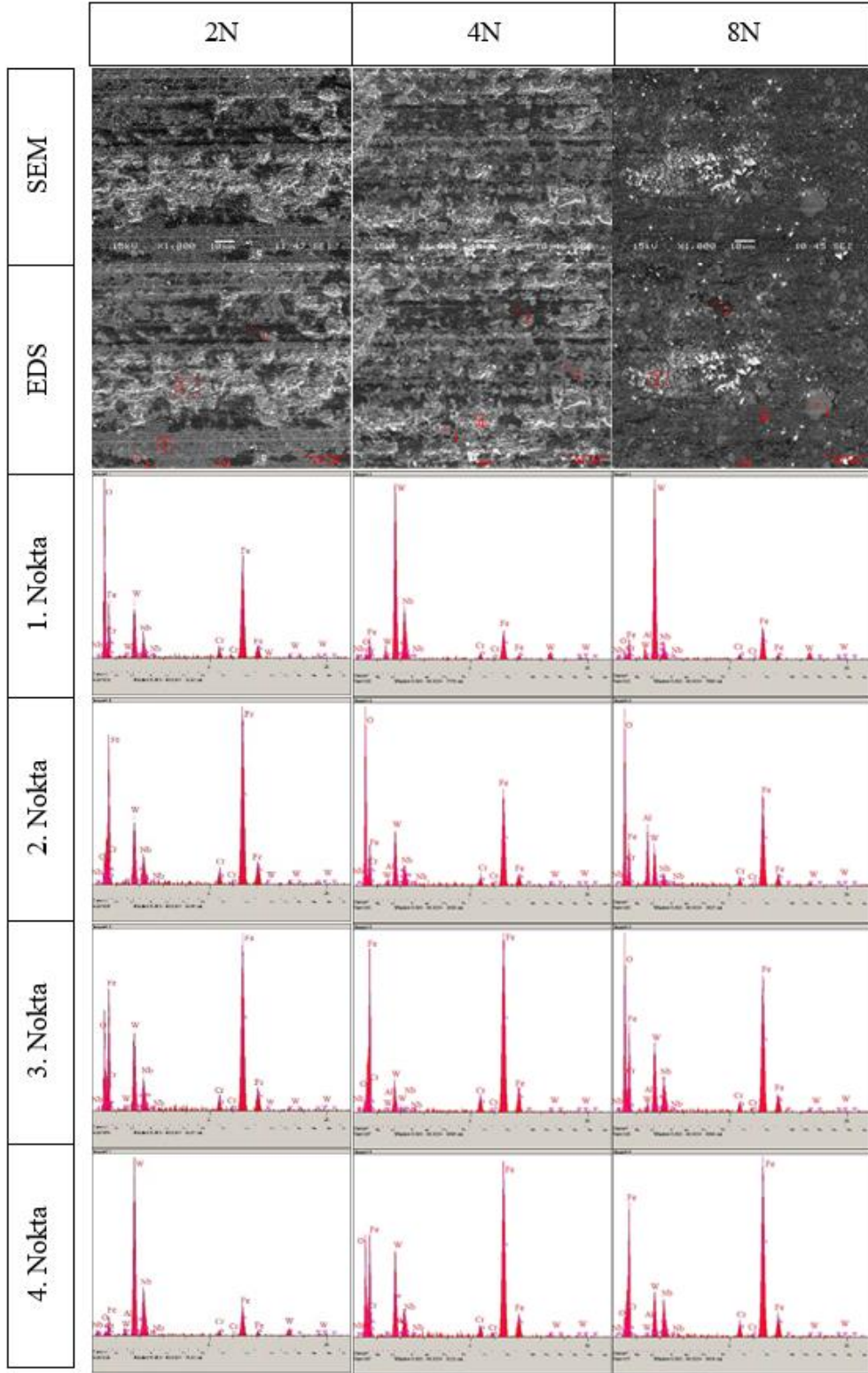
**Şekil 5.61.**  $Fe_{16}WB_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



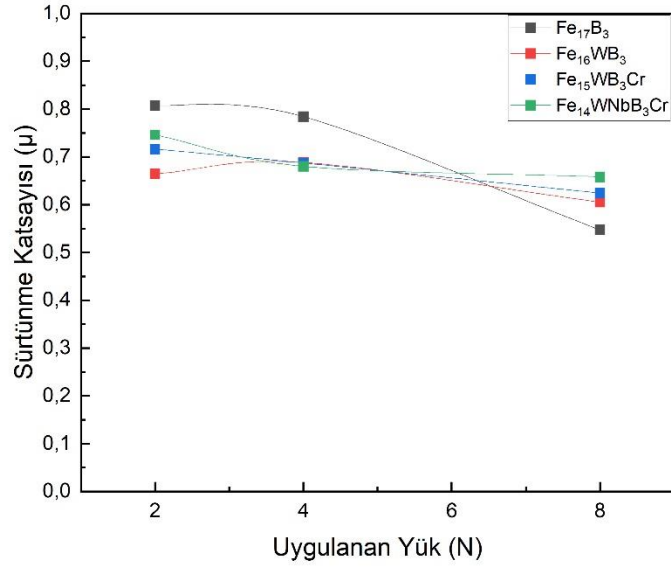
**Şekil 5.62.**  $Fe_{15}WB_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



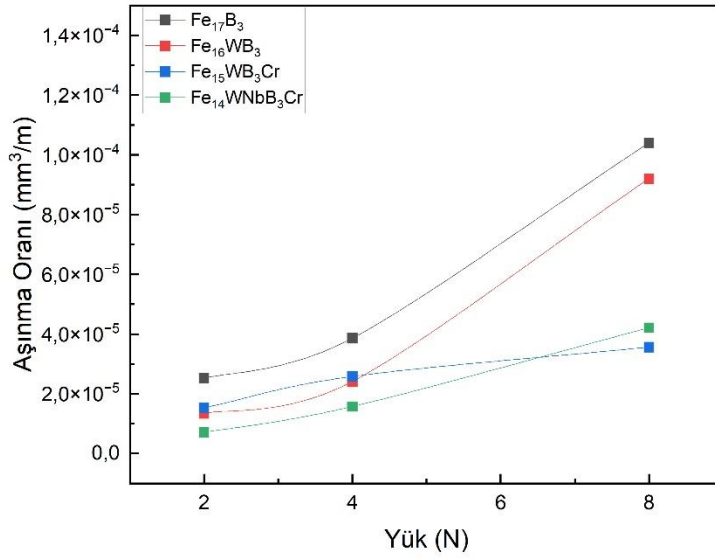
**Şekil 5.62.(Devamı):**  $Fe_{15}WB_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



Şekil 5.63.  $Fe_{14}WNb_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



Şekil 5.64. 4. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri

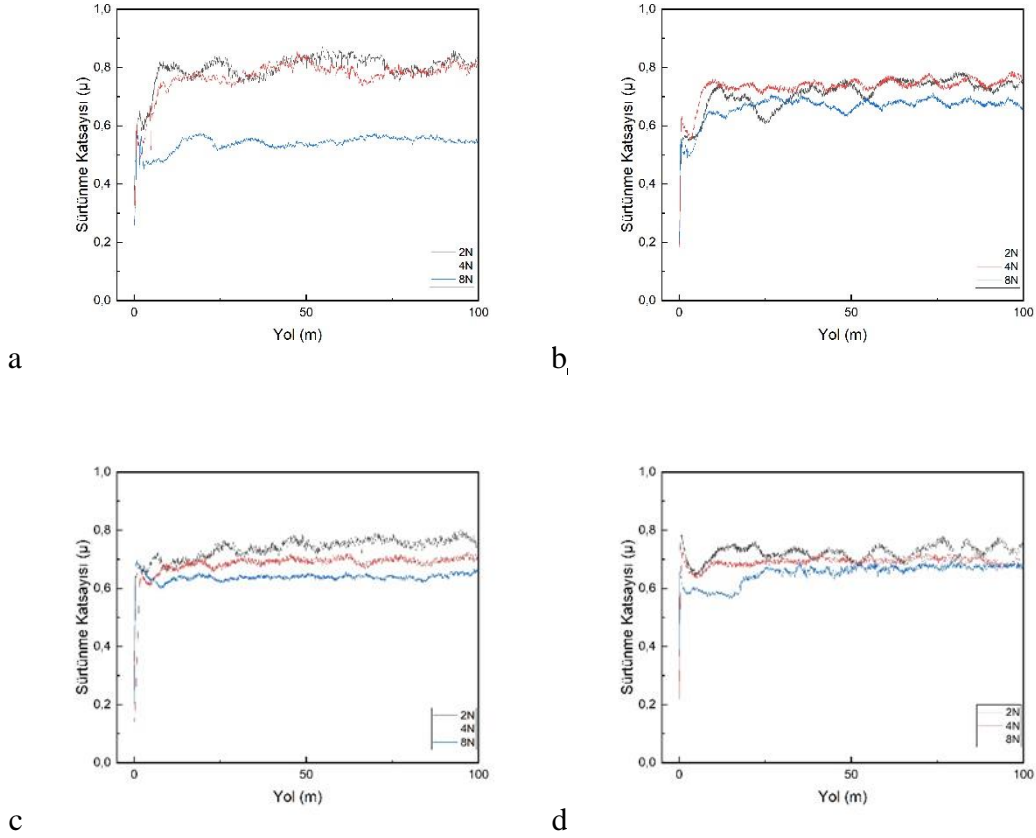


Şekil 5.65. 4. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları

4. grupta yer alan Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub>, Fe<sub>16</sub>WB<sub>3</sub>, Fe<sub>15</sub>WB<sub>3</sub>Cr, Fe<sub>14</sub>WNB<sub>3</sub>Cr sert yüzey alaşımlarının sürtünme katsayısı ve aşınma oranlarına baktığımızda Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımının sertliğinin ve aşınma direncinin düşük olduğunu ve bu alaşıma ilave edilen %5 W ile beraber sertlik ve aşınma direncinde artış olduğunu söylemiştik. Fe<sub>16</sub>WB<sub>3</sub> alaşımına



%5 Cr ilavesiyle elde edilen  $Fe_{15}WB_3Cr$  alaşımının sertlikte bir miktar artış olmuştur. Aşınma oranına baktığımızda  $Fe_{16}WB_3$  sert yüzey alaşımıyla benzerlik göstermektedir.  $Fe_{15}WB_3Cr$  alaşımına ilave edilen %5 Nb ile elde edilen  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımının sertliği  $Fe_{15}WB_3Cr$  alaşımına yakın olmasına rağmen 8N yük altındaki aşınma oranı çok yükselmiştir. Bu sonuç bu alaşımın aşınma direncinin düşük olduğu anlamına gelmektedir.



**şekil.5.66.**  $Fe_{17}B_3$  (a),  $Fe_{16}WB_3$  (b),  $Fe_{15}WB_3Cr$  (c) ,  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  (d) bileşimlerine ait sürtünme mesafesine bağlı sürtünme katsayı değerleri

#### 5.4.5. 5. grup

5. grup kapsamında  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}WB_3$ ,  $Fe_{15}WNbB_3$ ,  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımlanmış numunelerin aşınma testleri irdelenmiştir.

Mikro sertliği ortalama 314 HV ölçülen  $Fe_{17}B_3$  sert yüzey alaşımına ait aşınma izlerinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, numunemizin yüzeyinde 2N yük altında daha çok abrazyon aşınmanın olduğu, kısımda adhezif aşınma mekanizmasının olduğu görülmektedir. Yük arttıkça (4N, 8N) azalan abrazyon aşınma yerine artan

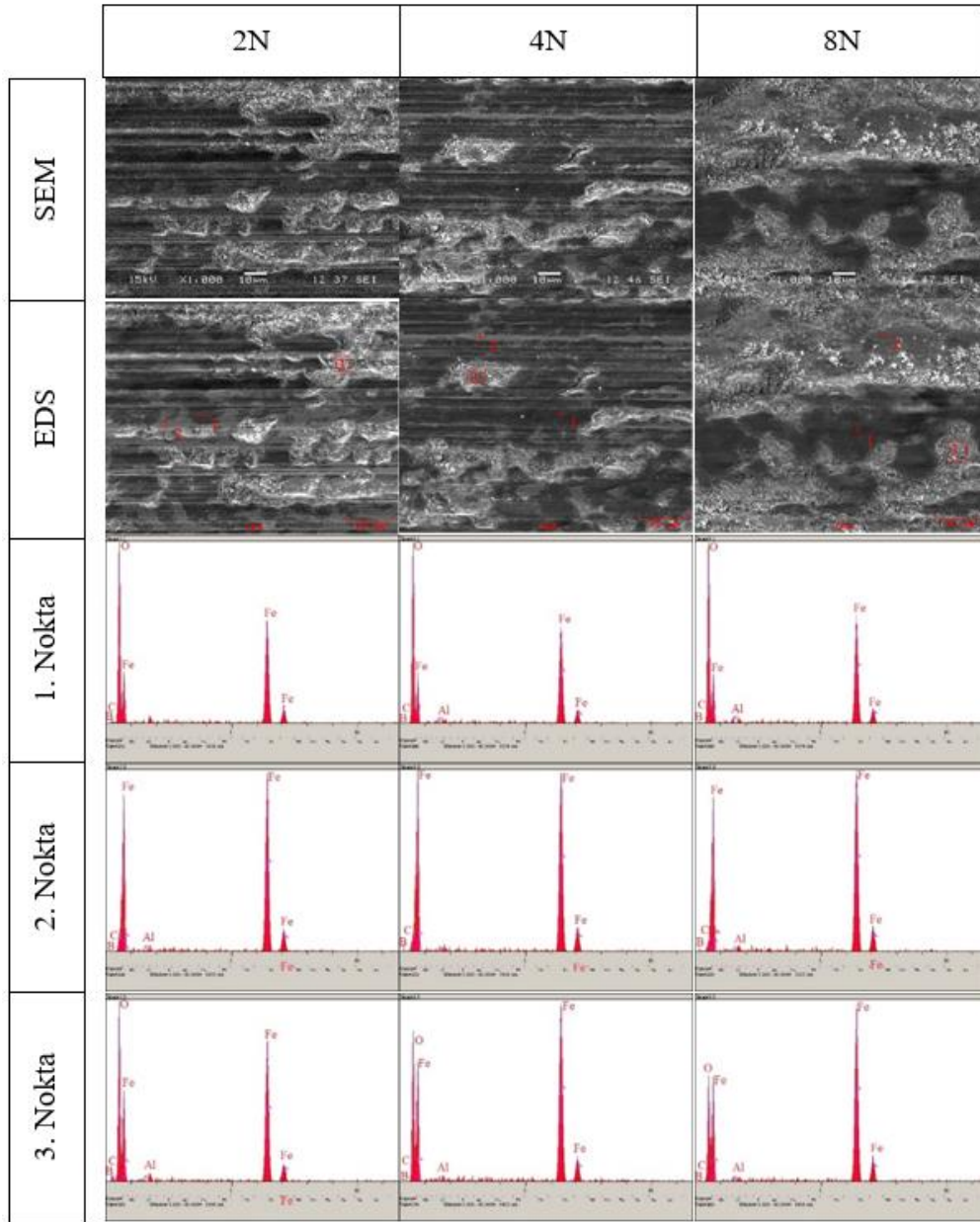
adhezif aşınmanın olduğu görülmektedir. SEM görüntülerinden elde edilen EDS analizleri incelendiğinde aşınma yüzeylerinde kısmen oksidatif aşınmalara rastlanmaktadır.

$Fe_{17}B_3$  alaşımına %5 W ilave edilmesiyle elde ettiğimiz  $Fe_{16}WB_3$  sert yüzey alaşımının SEM görüntülerini incelediğimizde ilave edilen %5 tungstenin sertliği artırmasıyla (ortalama 531 HV) aşınma yüzeyinde oluşan adhezif aşınmalar artmış, abrazif aşınmalar ise belirgin bir şekilde azalmıştır. Yükün artırılmasıyla adhezif aşınma yoğunluğu artmıştır. SEM görüntülerinden elde edilen EDS analizleri incelendiğinde yer yer oksidatif aşınma mekanizmasının olduğunu göstermektedir.

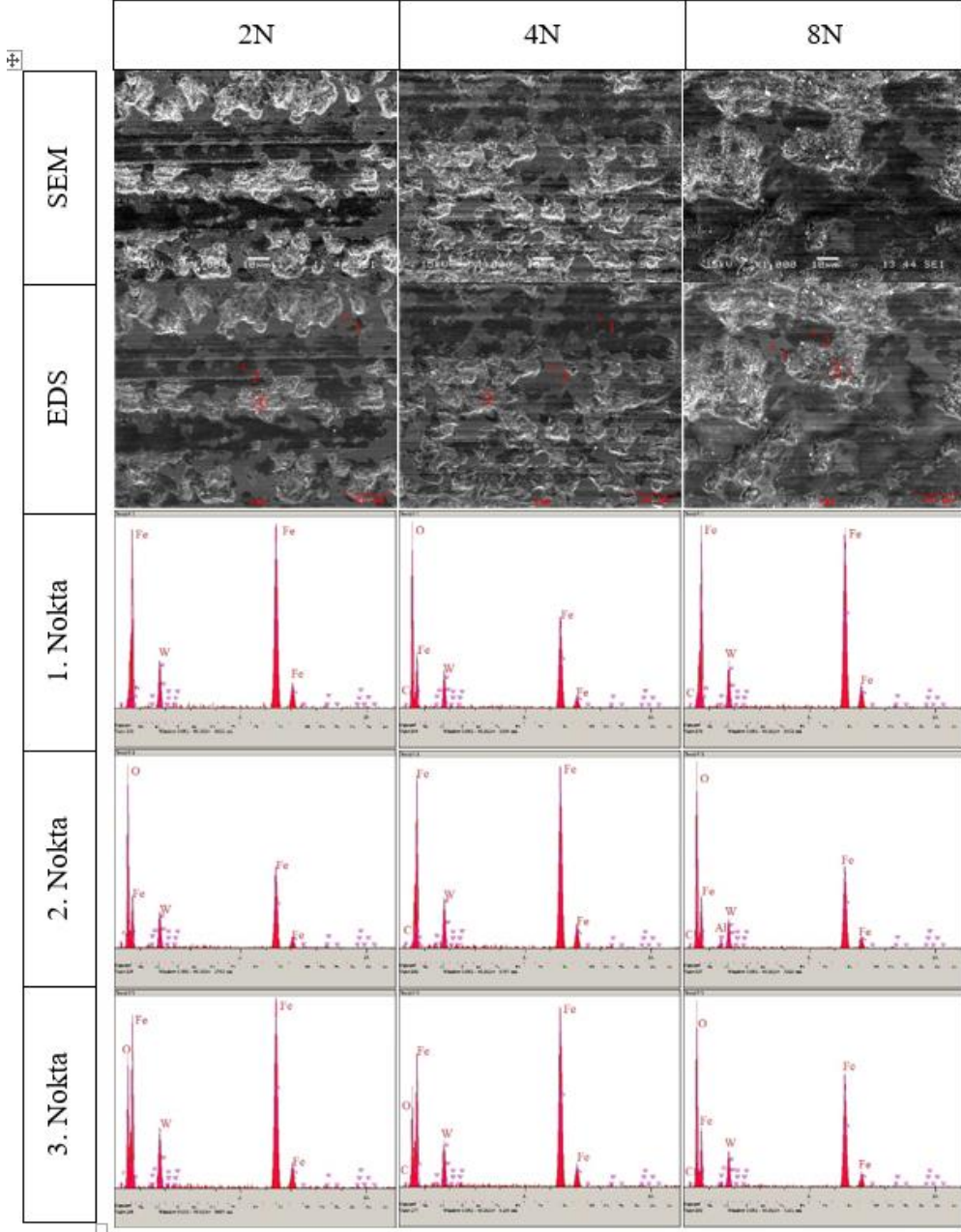
$Fe_{17}B_3$  alaşımına %5 W ve %5 Nb ilave edilmesiyle elde ettiğimiz  $Fe_{15}WNbB_3$  sert yüzey alaşımı 314 HV olan sertliği 619 HV'ye çıkarmıştır. SEM görüntülerini incelediğimizde 2N yük altında yüzeyde daha çok adhezif aşınmanın olduğu ve büyük parçaların koparak yüzeyde başka yerlere sıvandığı gözlenmiştir. Parçaların koptuğu yerlerden alınan EDS analizlerine göre parçaların koptuğu yerlerde oksitlenme olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bazı bölgelerde çok az miktarda abrazif aşınma gözlenmiştir. 4N yük altında ise adhezif aşınma nispeten azalmakla beraber, parça kopmaları 2N yükteki ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca bu yükte çok sayıda kılcal çatlak görülmektedir. Bu çatlakalar yorulma aşınmasına işaret etmektedir. Yine bu yükte abrazif aşınma da gözlenmiştir. 8N yük altında da parçalar koparak yüzeyde başka yerlere sıvanmıştır. Bu yükte de kılcal çatlakalar görülmektedir. Ayrıca bu yükte abrazif aşınma izleri artmış ve izleri belirginleşmiştir.

$Fe_{17}B_3$  alaşımına %5 W, %5 Nb ve %5 Cr ilave ederek elde ettiğimiz  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımı 314 HV olan sertliği 662 HV'ye çıkartmıştır. 2N yük altındaki testlerde adhezif aşınmanın belirgin olduğu görülmektedir. Yüzeyde küçük boyutlarda ve az miktarda parça kopmaları görülmektedir. Ayrıca abrazif aşınmada gözlemlenen yüzeyde EDS analizlerine bakıldığında oksidatif aşınmada söz konusudur. 4N yük altında aşınma izlerinin karışıklık gösterdiği görülmektedir. Bu yükte parça kopmaları nispeten daha az olmasına rağmen kopan parçaların bazıları yüzeyde başka bir yere sıvanma şeklinde yapışmıştır. EDS analizleri incelendiğinde az miktarda oksidatif aşınma söz konusudur. 8N yük altında ise aşınma daha çok parça kopması şeklindedir. Kopan parçaların miktarı oldukça fazladır ve kopan parçaların birçoğu yüzeyde başka yerlere yapışmıştır. Bu yükte adhezif aşınmanın yoğun olduğu görülmektedir. Abrazif

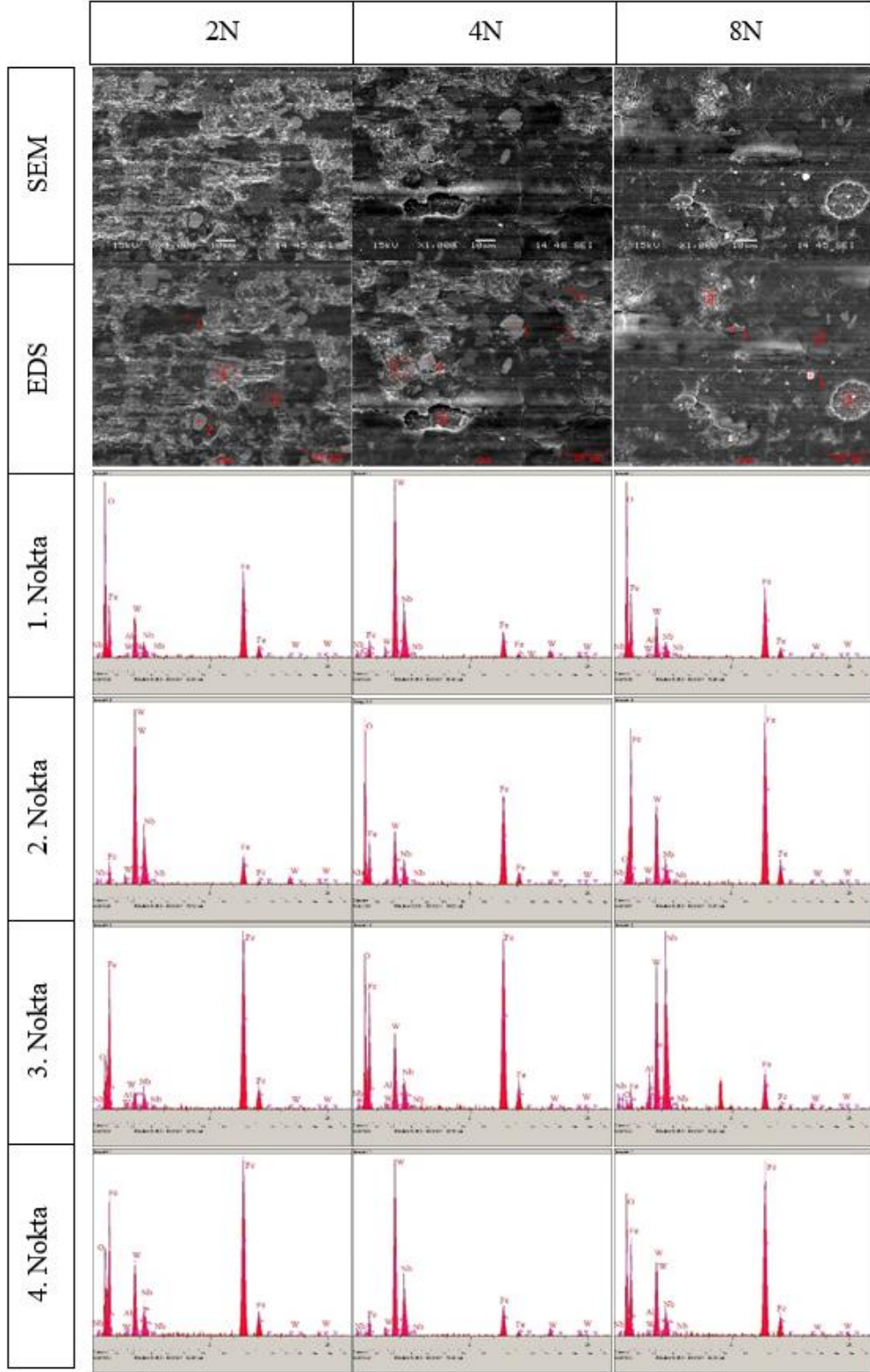
aşınma izleri çok az gözlenmiştir. Parça kopan yerlerden alınan EDS analizlerine göre parçaların koptuğu yerlerde oksitlenme mevcuttur.



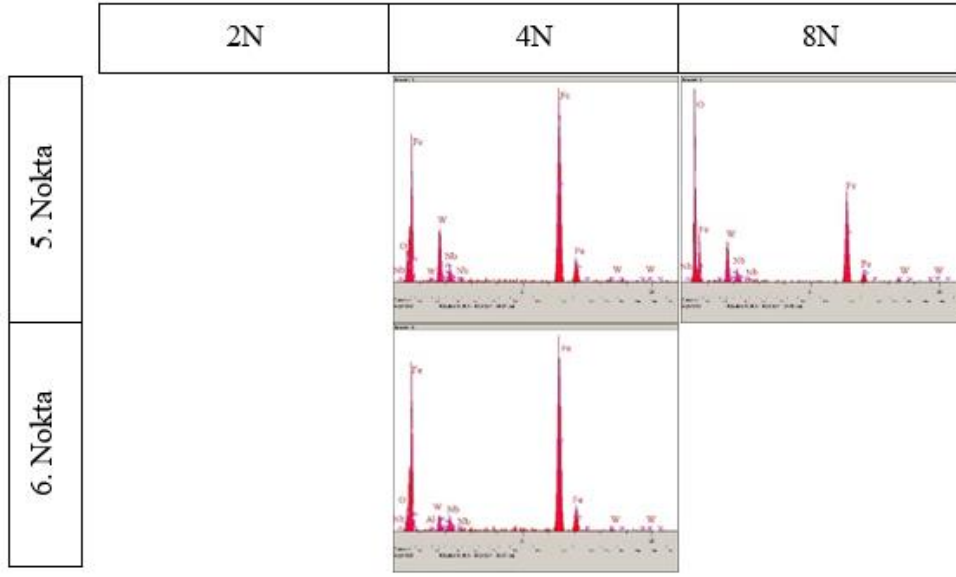
**Şekil 5.67.** Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



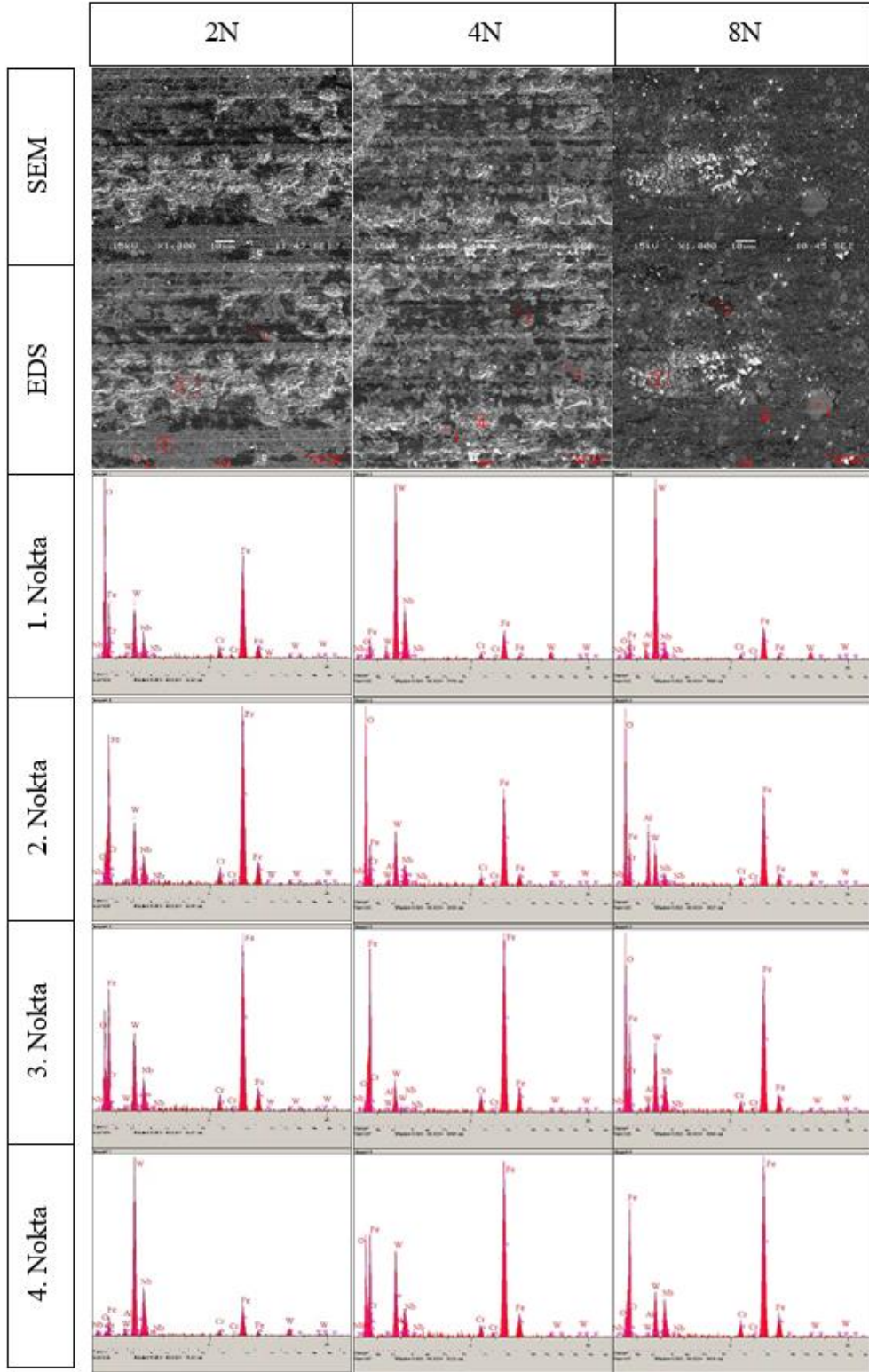
**Şekil 5.68.**  $Fe_{16}WB_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



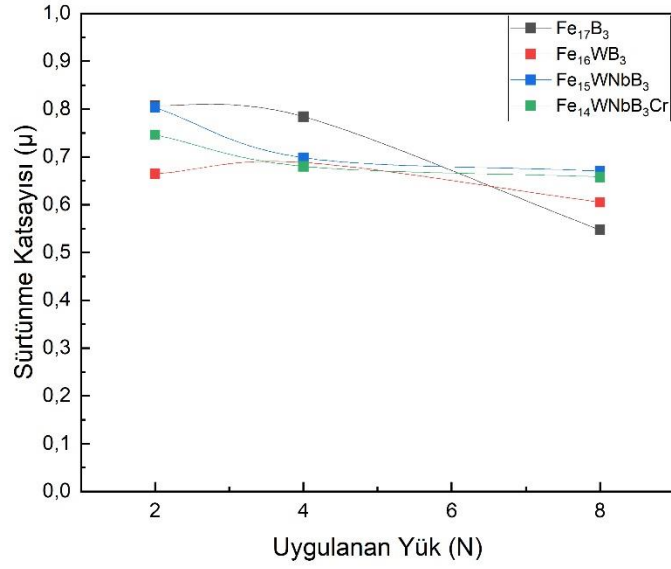
**Şekil 5.69.**  $Fe_{15}WNbB_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



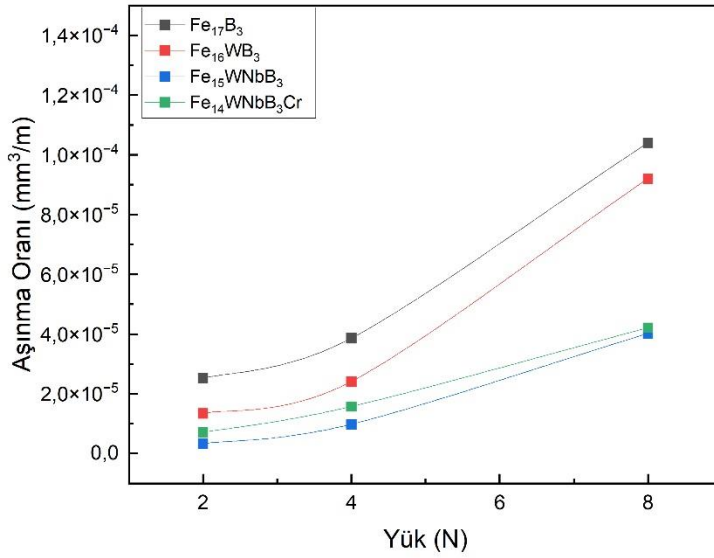
**Şekil 5.69.(Devam):**  $Fe_{15}WNbB_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



Şekil 5.70.  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



Şekil 5.71. 5. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri

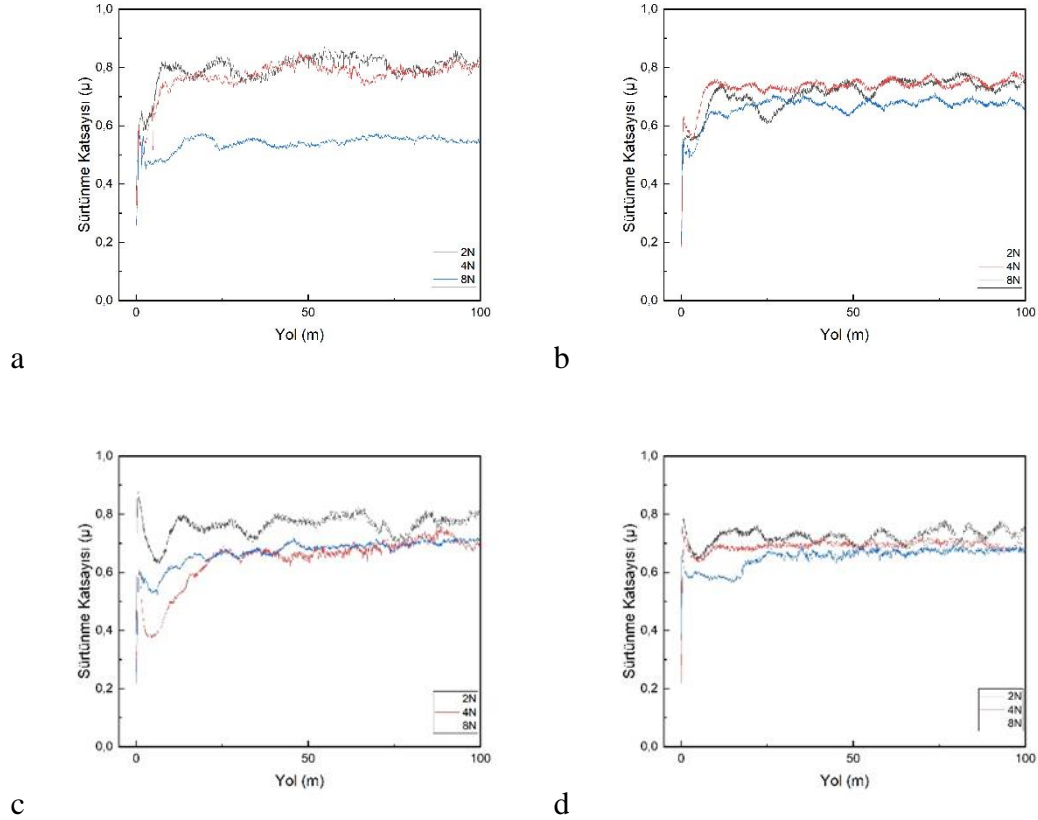


Şekil 5.72. 5. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları

5. grupta yer alan Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub>, Fe<sub>16</sub>WB<sub>3</sub>, Fe<sub>15</sub>WNB<sub>3</sub>, Fe<sub>14</sub>WNB<sub>3</sub>Cr sert yüzey alaşımlarının sürtünme katsayılarını incelediğimizde Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımının sertliğinin ve aşınma direncinin düşük olduğunu ve bu alaşıma ilave edilen %5 W ile beraber sertlik ve aşınma direncinde artış olduğunu söylemiştik. Fe<sub>16</sub>WB<sub>3</sub> alaşımına ilave edilen %5



Nb ile elde edilen  $Fe_{15}WNbB_3$  sert yüzey alaşımının sertliğinin arttığını görmüştük. Buna bağlı olarak aşınma oranının yüke bağlı olarak artış ivmesinde yavaşlama gözlenmiştir. Buradan bu alaşımın aşınma direncinin yüksek olduğunu söyleyebiliriz.  $Fe_{15}WNbB_3$  alaşımına %5 Cr ilave edilerek elde edilen  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımının sertliğinde artış olmasına rağmen aşınma oranı yüke bağlı artışla hızla artmıştır. Bu alaşımın aşınma direncinin düşük olduğunu göstermektedir.



**Şekil.5.73.**  $Fe_{17}B_3$  (a),  $Fe_{16}WB_3$  (b),  $Fe_{15}WNbB_3$  (c),  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  (d) bileşimlerine ait sürtünme mesafisine bağlı sürtünme katsayı değerleri

#### 5.4.6. 6. grup

6. grup kapsamında  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}NbB_3$ ,  $Fe_{15}WNbB_3$ ,  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımlanmış numunelerin aşınma testleri irdelenmiştir.

Mikro sertliği ortalama 314 HV ölçülen  $Fe_{17}B_3$  sert yüzey alaşımına ait aşınma izlerinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, numunemizin yüzeyinde 2N yük altında daha çok abrazyon aşınmanın olduğu, kısmende adhezif aşınma mekanizmasının olduğu görülmektedir. Yük arttıkça (4N, 8N) azalan abrazyon aşınma yerine artan adhezif aşınmanın olduğu görülmektedir. SEM görüntülerinden elde edilen EDS

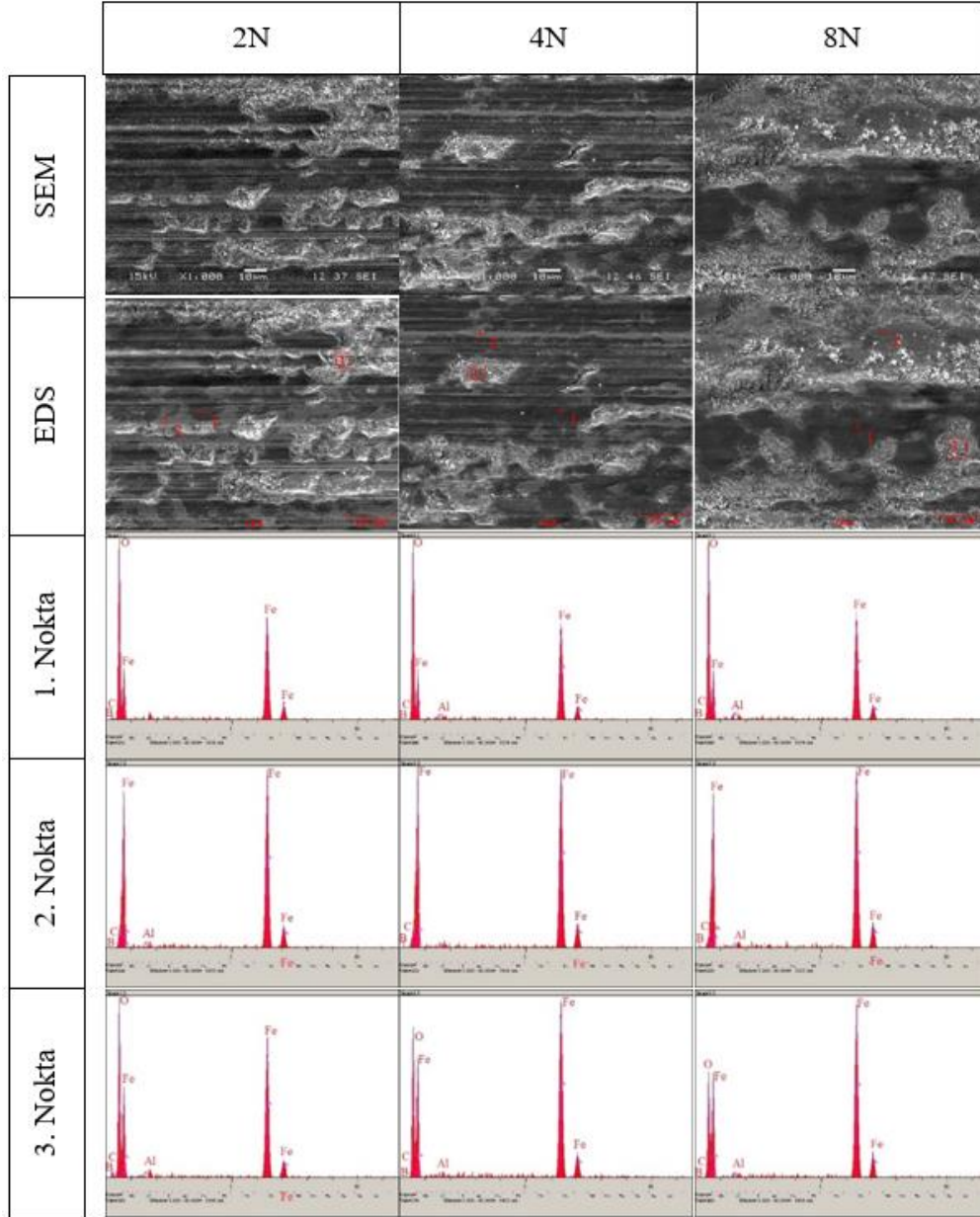
analizleri incelendiğinde aşınma yüzeylerinde kısmen oksidatif aşınmalara rastlanmaktadır.

$Fe_{17}B_3$  alaşımına %5 Nb ilavesiyle elde ettiğimiz  $Fe_{16}NbB_3$  sert yüzey alaşımı sertliği 314 HV'den 379 HV'ye çıkarmış, bu alaşımın 2N yük altındaki testlerinde derin abrazyon aşınmalar oluşmuştur. Bu aşınma mekanizmasının yanında adhezif aşınmalarda görülmekte ve EDS analizleri incelendiğinde aşınma yüzeyinde oksidatif aşınmalarda gözlenmiştir. Test yükü 4N'ye çıkarıldığında yüzeyden parçaların koparak adhezif aşınmaların yoğunluğunun arttığını gözlemlemekteyiz. Bu yükte derin abrazyon aşınma izleri kaybolmuş, nispeten silik izler oluşmuştur. 8N yük altında ise abrazyon aşınma mekanizmasının yoğunluğu artmakla beraber adhezif aşınma mekanizmasında görülmektedir. 4N ve 8N yüklerde EDS analizlerinden anlaşılacağı üzere oksidatif aşınma mevcut olup, bu yüklerde bazı bölgelerde kılcal çatlaklar gözlenmiştir.

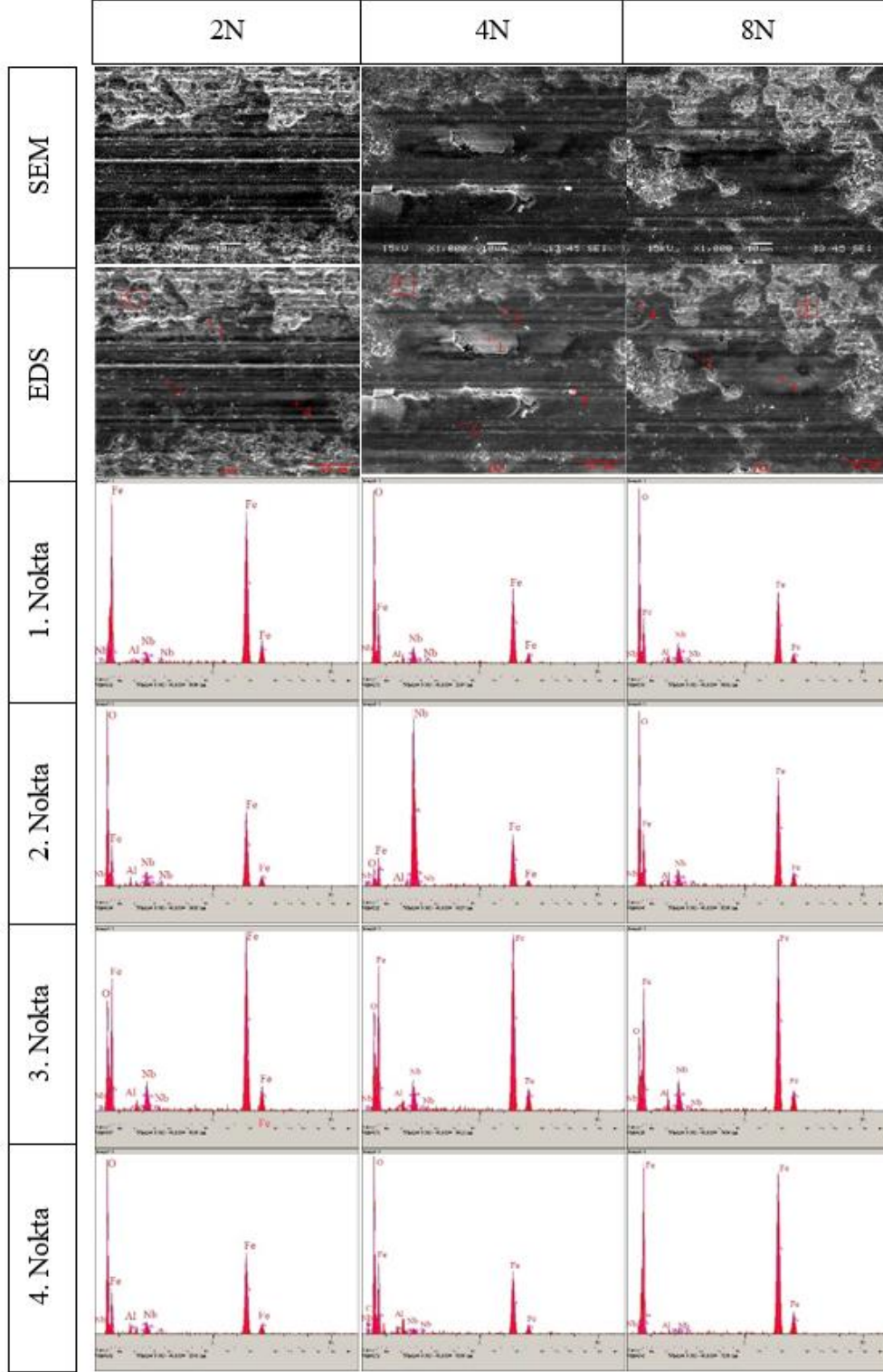
$Fe_{17}B_3$  alaşımına %5 W ve %5 Nb ilave edilmesiyle elde ettiğimiz  $Fe_{15}WNbB_3$  sert yüzey alaşımı 314 HV olan sertliği 619 HV'ye çıkarmıştır. SEM görüntülerini incelediğimizde 2N yük altında yüzeyde daha çok adhezif aşınmanın olduğu ve büyük parçaların koparak yüzeyde başka yerlere sıvandığı gözlenmiştir. Parçaların koptuğu yerlerden alınan EDS analizlerine göre parçaların koptuğu yerlerde oksitlenme olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bazı bölgelerde çok az miktarda abrazyon aşınma gözlenmiştir. 4N yük altında ise adhezif aşınma nispeten azalmakla beraber, parça kopmaları 2N yükteki ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca bu yükte çok sayıda kılcal çatlak görülmektedir. Bu çatlakalar yorulma aşınmasına işaret etmektedir. Yine bu yükte abrazyon aşınma da gözlenmiştir. 8N yük altında da parçalar koparak yüzeyde başka yerlere sıvanmıştır. Bu yükte de kılcal çatlakalar görülmektedir. Ayrıca bu yükte abrazyon aşınma izleri artmış ve izleri belirginleşmiştir.

$Fe_{17}B_3$  alaşımına %5 W, %5 Nb ve %5 Cr ilave ederek elde ettiğimiz  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımı 314 HV olan sertliği 662 HV'ye çıkartmıştır. 2N yük altındaki testlerde adhezif aşınmanın belirgin olduğu görülmektedir. Yüzeyde küçük boyutlarda ve az miktarda parça kopmaları görülmektedir. Ayrıca abrazyon aşınmada gözlemlenen yüzeyde EDS analizlerine bakıldığında oksidatif aşınmada söz konusudur. 4N yük altında aşınma izlerinin karışıklık gösterdiği görülmektedir. Bu yükte parça kopmaları nispeten daha az olmasına rağmen kopan parçaların bazıları yüzeyde başka bir yere sıvanma şeklinde yapışmıştır. EDS analizleri incelendiğinde az miktarda oksidatif

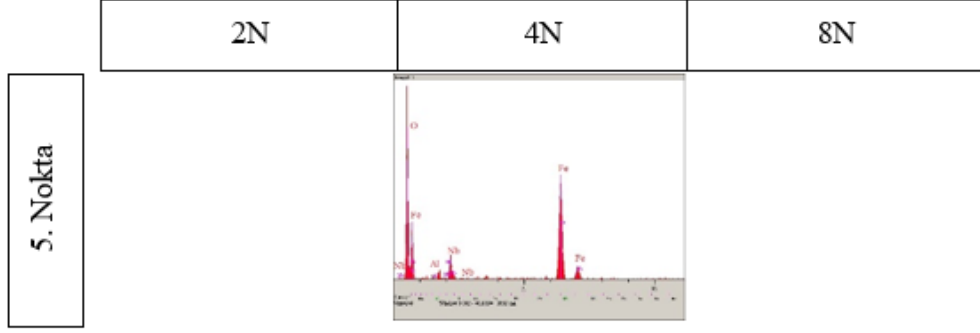
aşınma söz konusudur. 8N yük altında ise aşınma daha çok parça kopması şeklindedir. Kopan parçaların miktarı oldukça fazladır ve kopan parçaların birçoğu yüzeyde başka yerlere yapışmıştır. Bu yükte adhezif aşınmanın yoğun olduğu görülmektedir. Abrazif aşınma izleri çok az gözlenmiştir. Parça kopan yerlerden alınan EDS analizlerine göre parçaların koptuğu yerlerde oksitlenme mevcuttur.



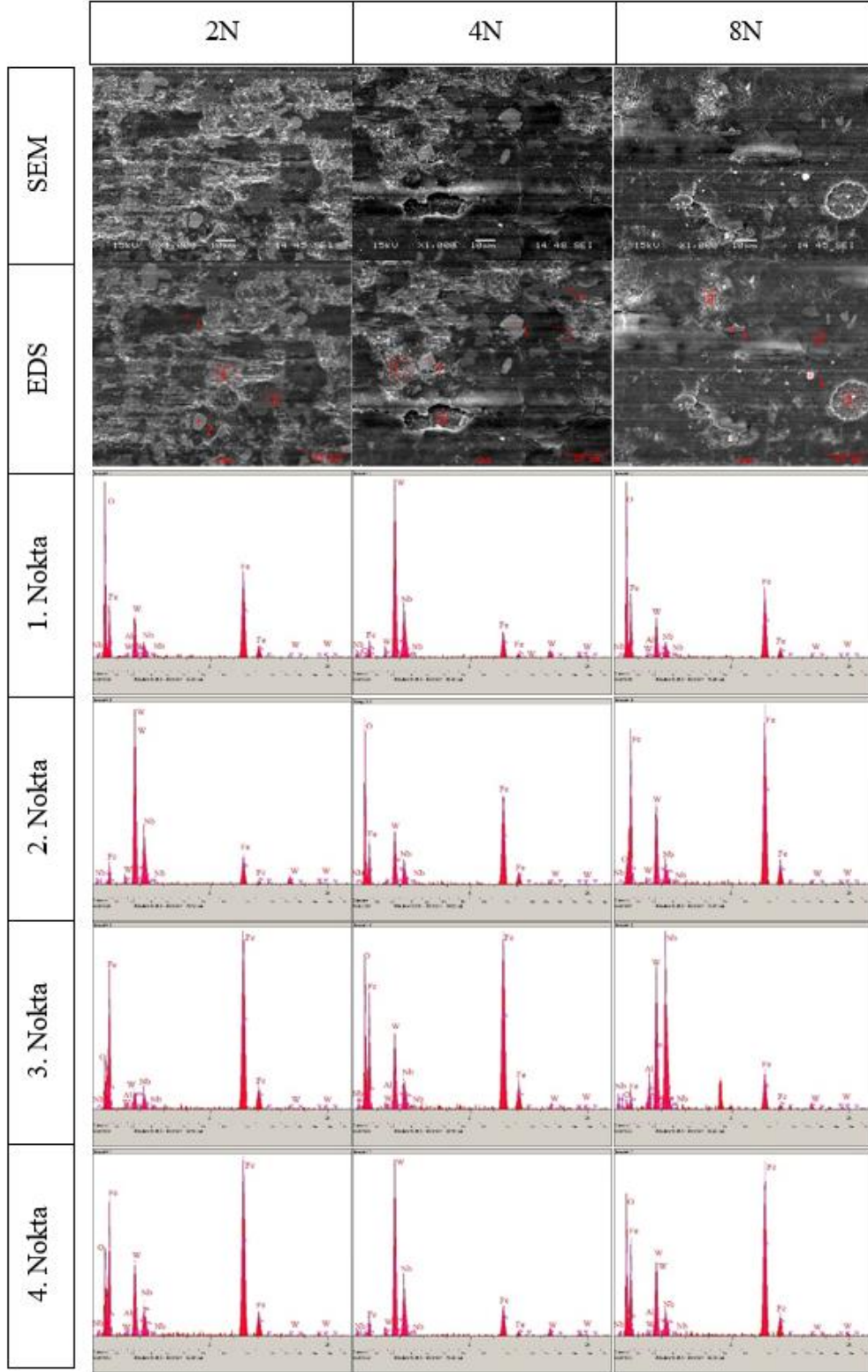
**Şekil 5.74.** Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



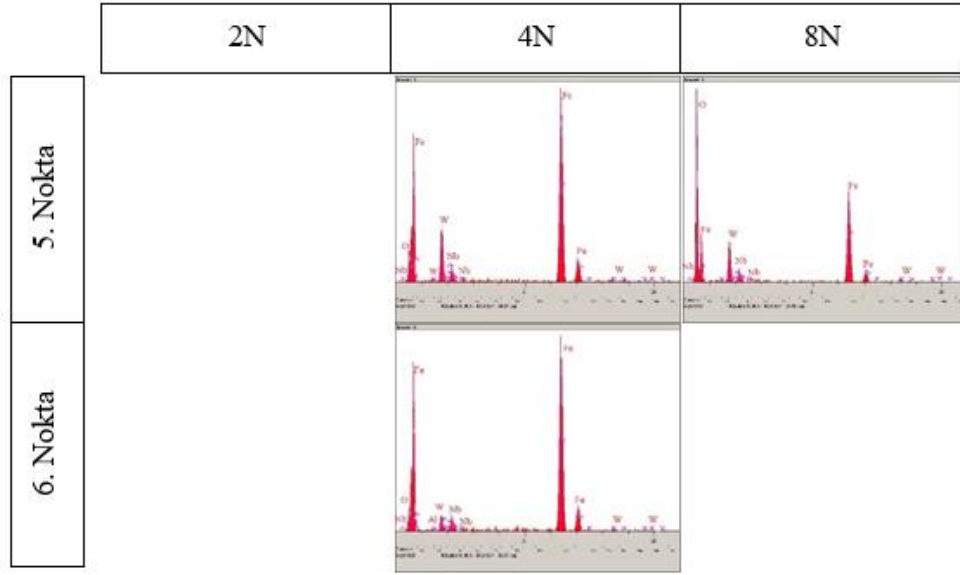
Şekil 5.75. Fe<sub>16</sub>NbB<sub>3</sub> esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



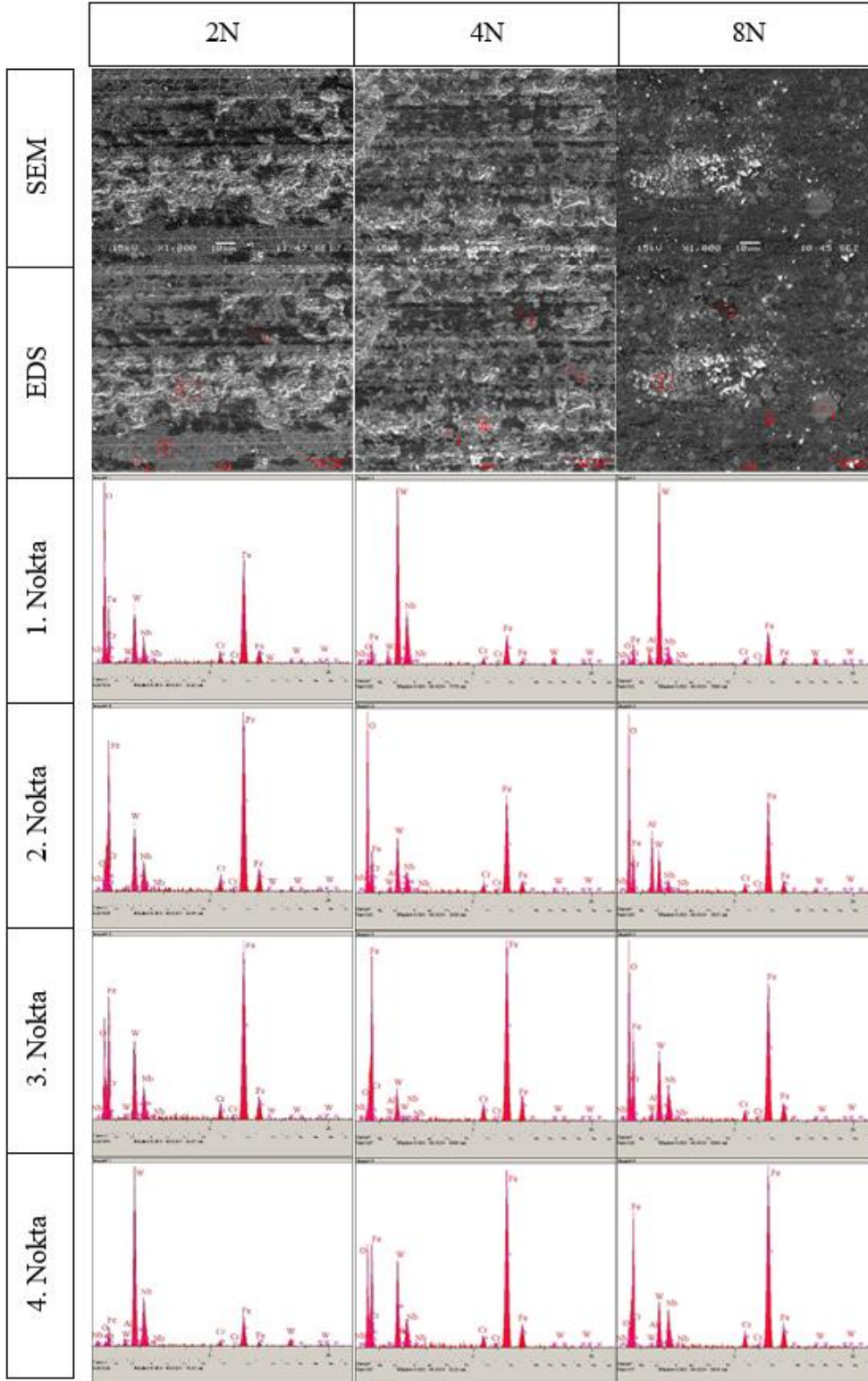
**Şekil 5.75.(Devamı)**  $Fe_{16}NbB_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



**Şekil 5.76.**  $Fe_{15}WNbB_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri

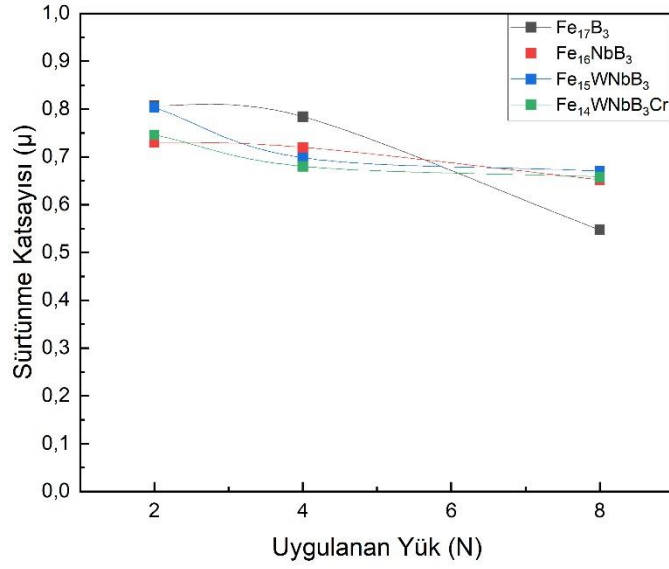


**Şekil 5.76. (Devamı):**  $Fe_{15}WNbB_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri

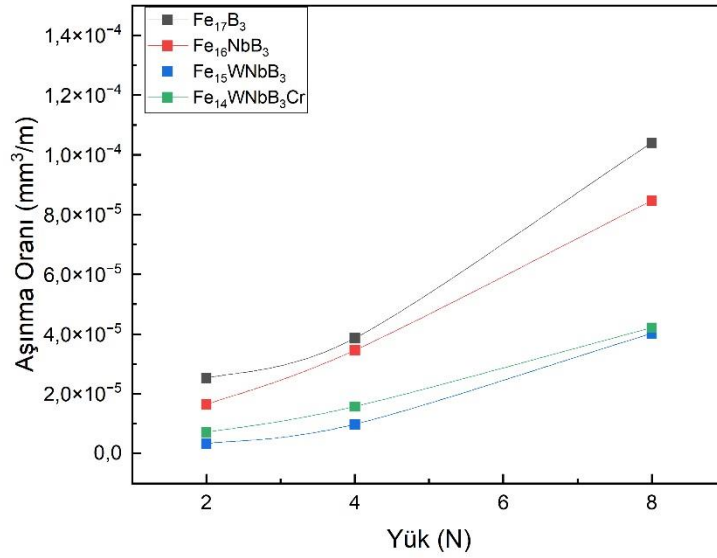


Şekil 5.77.  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri





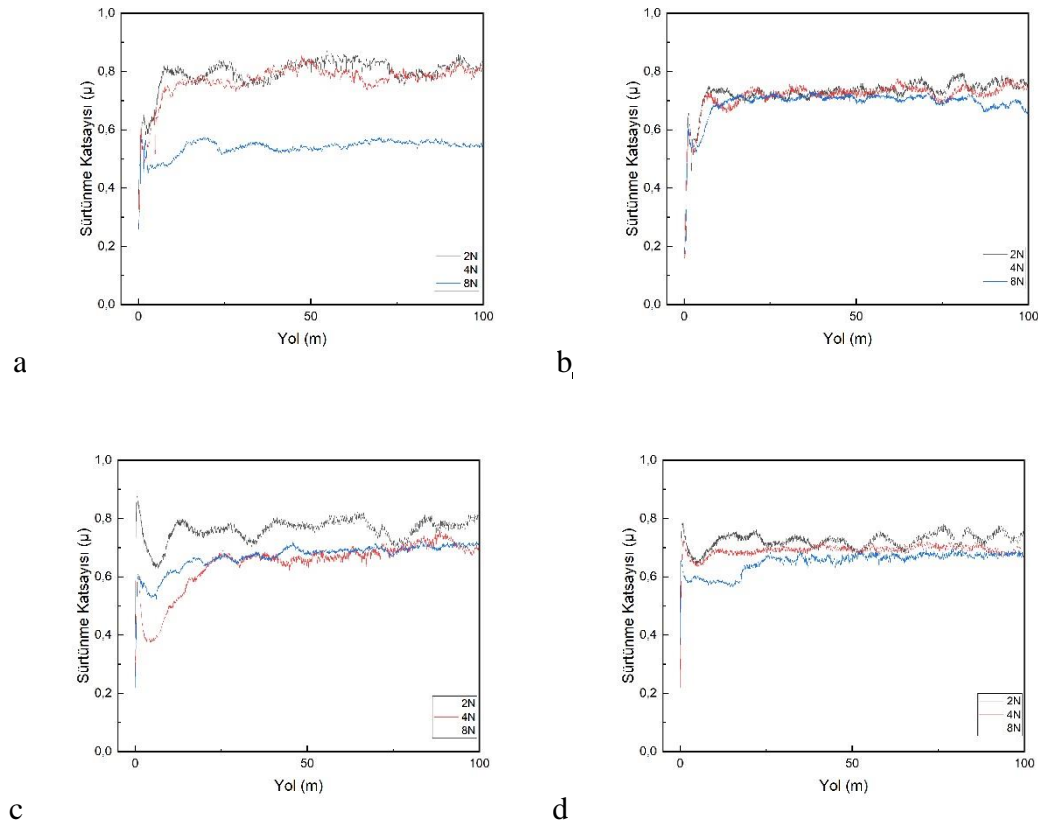
**Şekil 5.78.** 6. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri



**Şekil 5.79.** 6. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları

6. grupta yer alan Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub>, Fe<sub>16</sub>NbB<sub>3</sub>, Fe<sub>15</sub>WNB<sub>3</sub>, Fe<sub>14</sub>WNB<sub>3</sub>Cr sert yüzey alaşımlarının sürtünme katsayısı ve aşınma oranları incelendiğinde Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımına ilave edilen %5 Nb ilavesi ile elde edilen Fe<sub>16</sub>NbB<sub>3</sub> sert yüzey alaşımına çok ciddi sertlik artışı sağlamamıştır. Buna paralel olarak aşınma dayanımı da Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub>

alaşımından çok daha iyi değildir.  $Fe_{16}NbB_3$  sert yüzey alaşımına %5 W ilavesi ile elde edilen  $Fe_{15}WNbB_3$  sert yüzey alaşımının sertliği oldukça artmıştır. Buna paralel olarak aşınma direncinde de ciddi artış olduğu aşınma oranı grafiğinden anlaşılmaktadır.  $Fe_{15}WNbB_3$  alaşımına ilave edilen %5 Cr ilave edilerek elde edilen  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımının sertliği artmasına rağmen yük artışına bağlı olarak aşınma oranı artmıştır. Buna bağlı olarak aşınma dayanımının düştüğünü söyleyebiliriz. Aşınma SEM görüntüleri bunu desteklemektedir.



**Şekil.5.80.**  $Fe_{17}B_3$  (a),  $Fe_{16}NbB_3$  (b),  $Fe_{15}WNbB_3$  (c),  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  (d) bileşimlerine ait sürtünme mesafisine bağlı sürtünme katsayı değerleri

#### 5.4.7. 7. grup

7. grup kapsamında  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}B_3Cr$ ,  $Fe_{15}NbB_3Cr$ ,  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımlanmış numunelerin aşınma testleri irdelenmiştir.

Mikro sertliği ortalama 314 HV ölçülen  $Fe_{17}B_3$  sert yüzey alaşımına ait aşınma izlerinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, numunemizin yüzeyinde 2N yük altında daha çok abrazyif aşınmanın olduğu, kısımda adhezif aşınma mekanizmasının olduğu görülmektedir. Yük arttıkça (4N, 8N) azalan abrazyif aşınma yerine artan

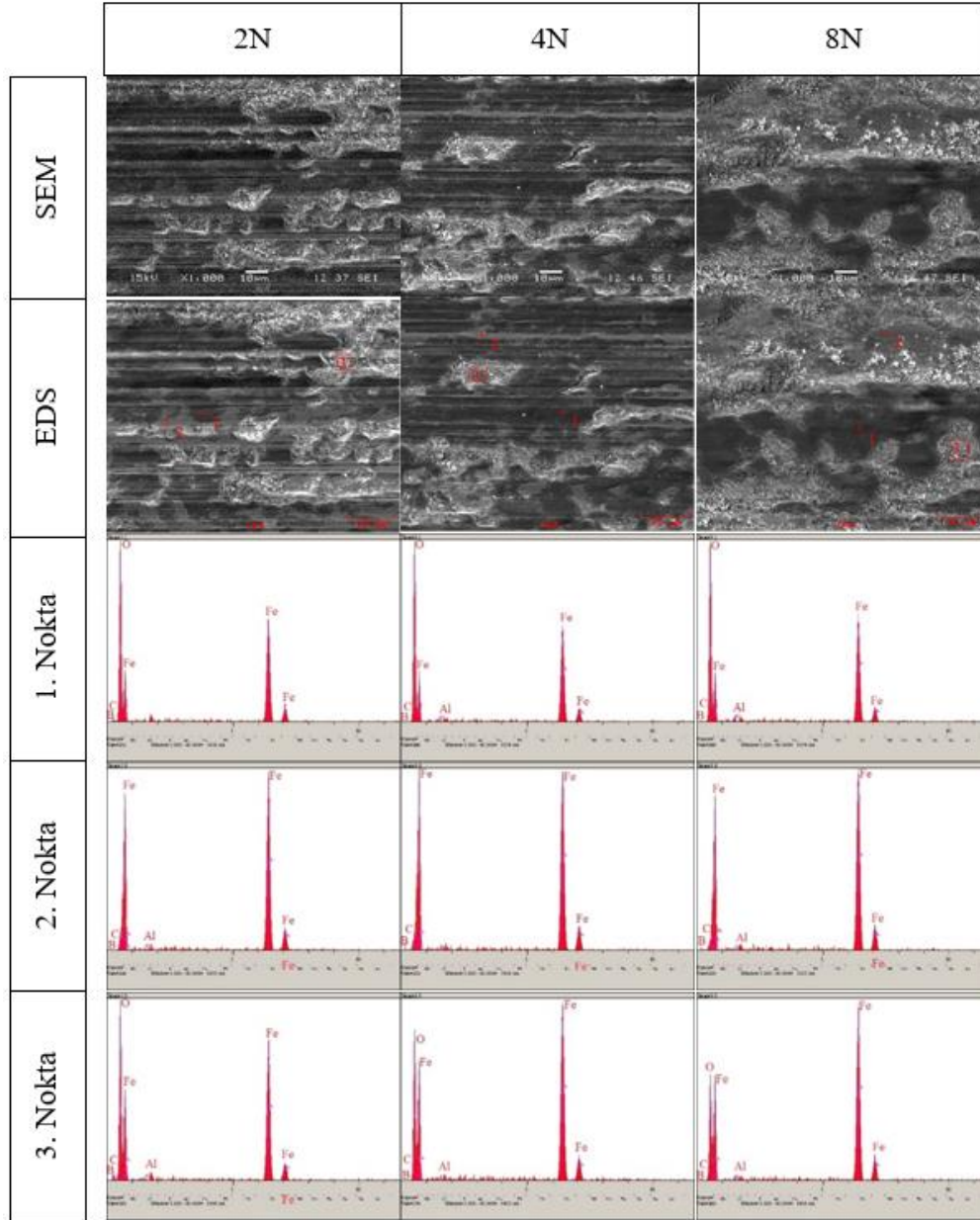
adhezif aşınmanın olduğu görülmektedir. SEM görüntülerinden elde edilen EDS analizleri incelendiğinde aşınma yüzeylerinde kısmen oksidatif aşınmalara rastlanmaktadır.

$Fe_{17}B_3$  alaşımına %5 Cr ilave ederek elde ettiğimiz  $Fe_{16}B_3Cr$  sert yüzey alaşımı 314 HV olan sertliği 468 HV'ye çıkartmıştır. Bu alaşımın SEM görüntülerini incelediğimizde 2N yük altında abrazif ve adhezif aşınma mekanizmaları birlikte yoğun bir şekilde gözlenmekle birlikte yüzeyde küçük boyutlarda parça kopmaları mevcuttur. 4N yük altında ise abrazif aşınma izleri derinleşmiş ve nispeten bu aşınma azalmıştır. Adhezif aşınmanın da nispeten azalarak bölgesel olarak gözlenmektedir. Kopan parça miktarı azalmış fakat boyutları artmıştır. 8N yük altına abrazif aşınma oldukça azalmış, adhezif aşınma da nispeten azalmış, bunların yanında kopan parça miktarı ve boyutu oldukça artmıştır. Kopan parçalardan alınan EDS analizine bakıldığında, bu parçaların oksitlendiği görülmüştür. Bu alaşımın EDS analizleri incelendiğinde tüm yüklerde oksidatif aşınma tespit edilmiştir.

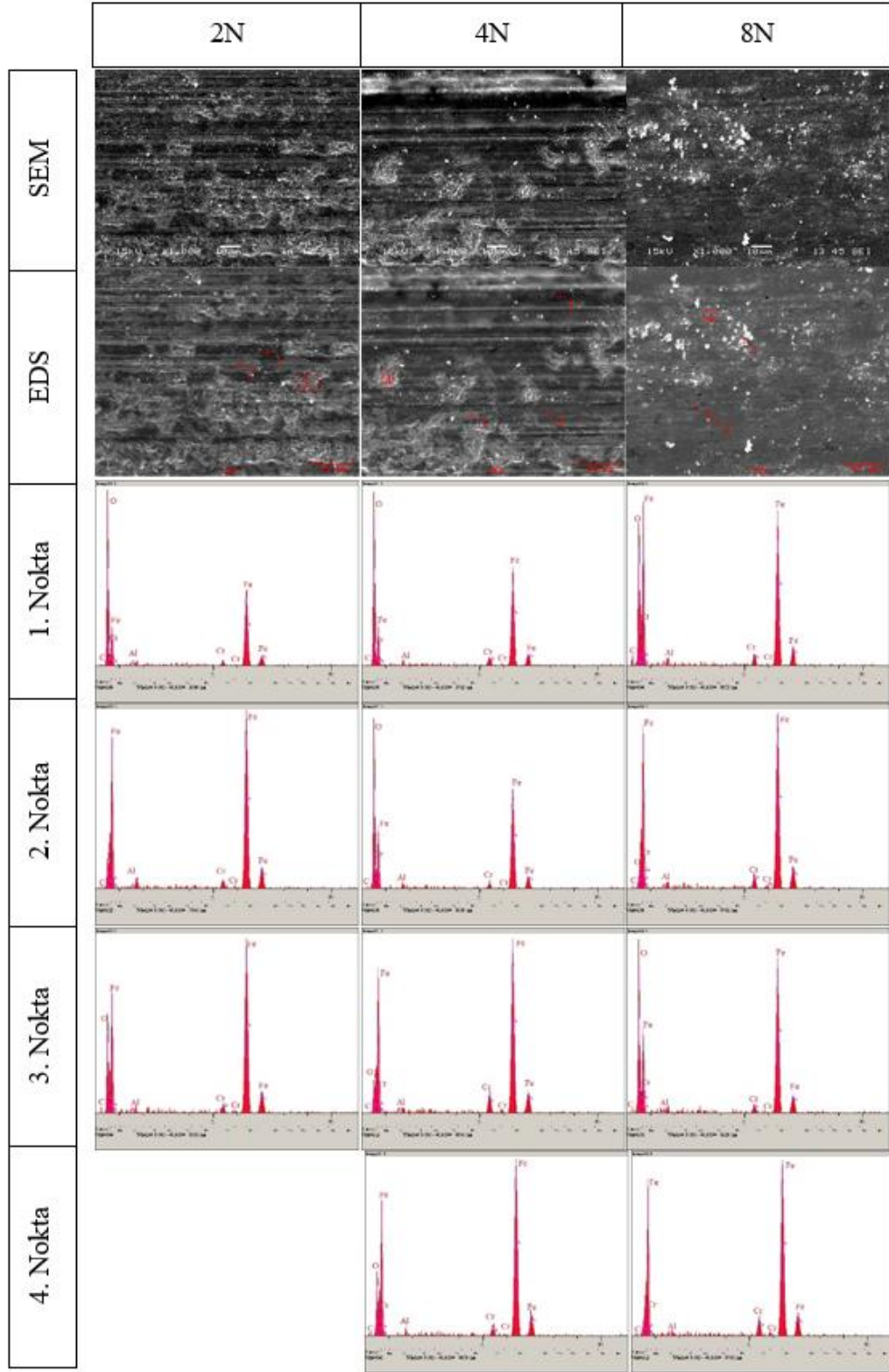
$Fe_{17}B_3$  alaşımına %5 Nb ve %5 Cr ilave ederek elde ettiğimiz  $Fe_{15}NbB_3Cr$  sert yüzey alaşımı 314 HV olan sertliği 723 HV'ye çıkartmıştır. Bu aynı zamanda bu çalışmada gördüğümüz en yüksek mikrosertlik değeridir. Bu alaşımın SEM görüntülerini incelediğimizde alaşımın yüksek sertliğinden dolayı 2N yükte adhezif aşınma ile birlikte küçük boyutlarda parça kopmaları görülmektedir. Yine yüzeyde abrazif aşınma çizgileri görülmektedir. 4N yükte ise aynı 2N yükte olduğu gibi adhezif davranış görülmektedir. Bunun yanında abrazif aşınma çizgilerinde artış gözlenmiştir. Bu yükte de parça kopmaları mevcuttur. 8N yükteki SEM görüntülerine baktığımızda abrazif aşınma çizgileri oluşmuş ve çizgilerin devamında bazı bölgeler adhezif aşınma davranışı göstermeye başlamıştır. Bu yükte de parça kopmaları gözlenmiştir. Bu alaşımın SEM görüntülerinden elde edilen EDS analizlerine baktığımızda her üç yük altında da oksidatif aşınma tespit edilmiştir.

$Fe_{17}B_3$  alaşımına %5 W, %5 Nb ve %5 Cr ilave ederek elde ettiğimiz  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımı 314 HV olan sertliği 662 HV'ye çıkartmıştır. 2N yük altındaki testlerde adhezif aşınmanın belirgin olduğu görülmektedir. Yüzeyde küçük boyutlarda ve az miktarda parça kopmaları görülmektedir. Ayrıca abrazif aşınmada gözlemlenen yüzeyde EDS analizlerine bakıldığında oksidatif aşınmada söz konusudur. 4N yük altında aşınma izlerinin karışıklık gösterdiği görülmektedir. Bu yükte parça kopmaları nispeten daha az olmama rağmen kopan parçaların bazıları yüzeyde başka bir yere

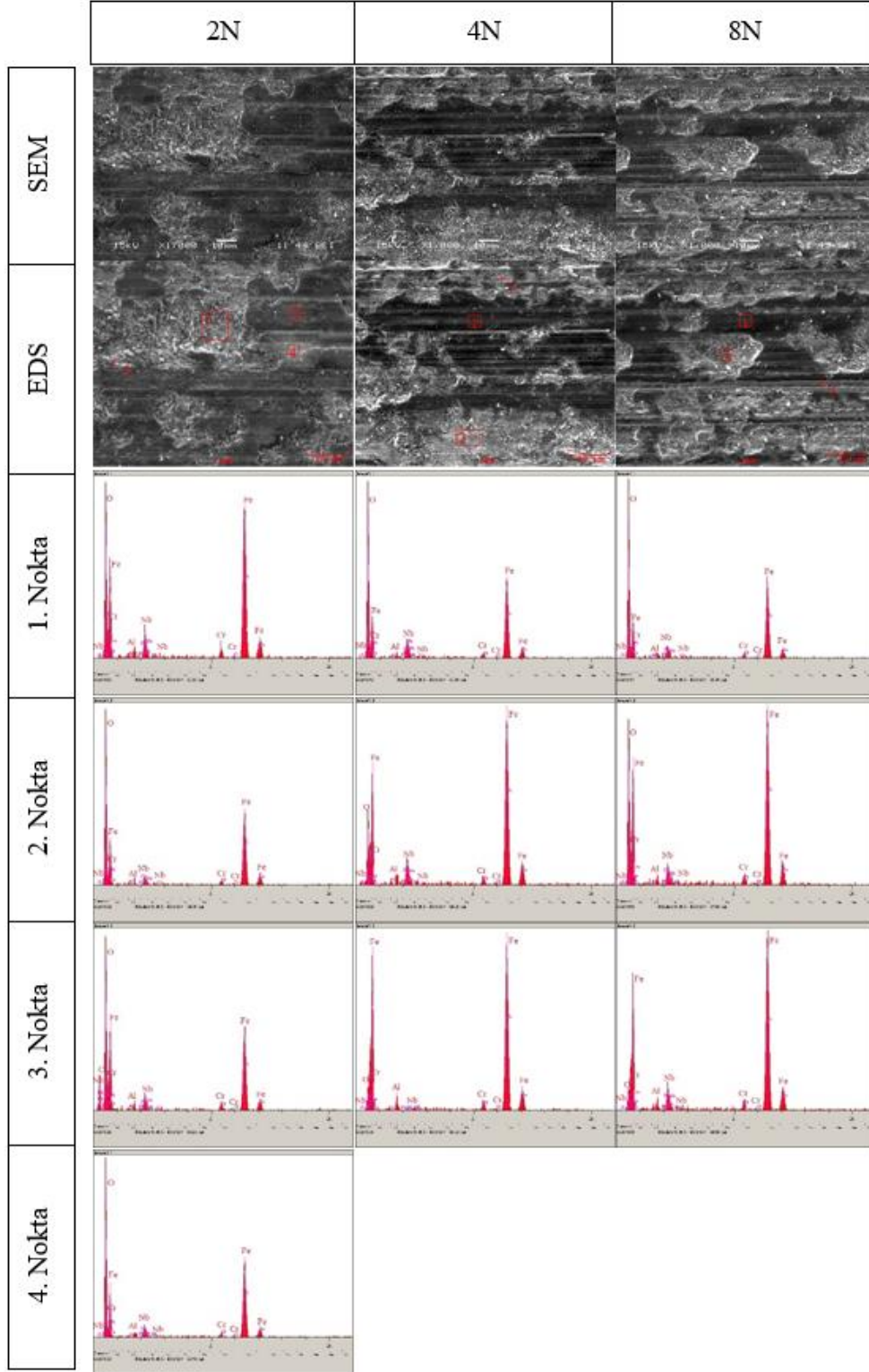
sıvanma şeklinde yapışmıştır. EDS analizleri incelendiğinde az miktarda oksidatif aşınma söz konusudur. 8N yük altında ise aşınma daha çok parça kopması şeklindedir. Kopan parçaların miktarı oldukça fazladır ve kopan parçaların bir çoğu yüzeyde başka yerlere yapışmıştır. Bu yükte adhezif aşınmanın yoğun olduğu görülmektedir. Abrazif aşınma izleri çok az gözlenmiştir. Parça kopan yerlerden alınan EDS analizlerine göre parçaların koptuğu yerlerde oksitlenme mevcuttur.



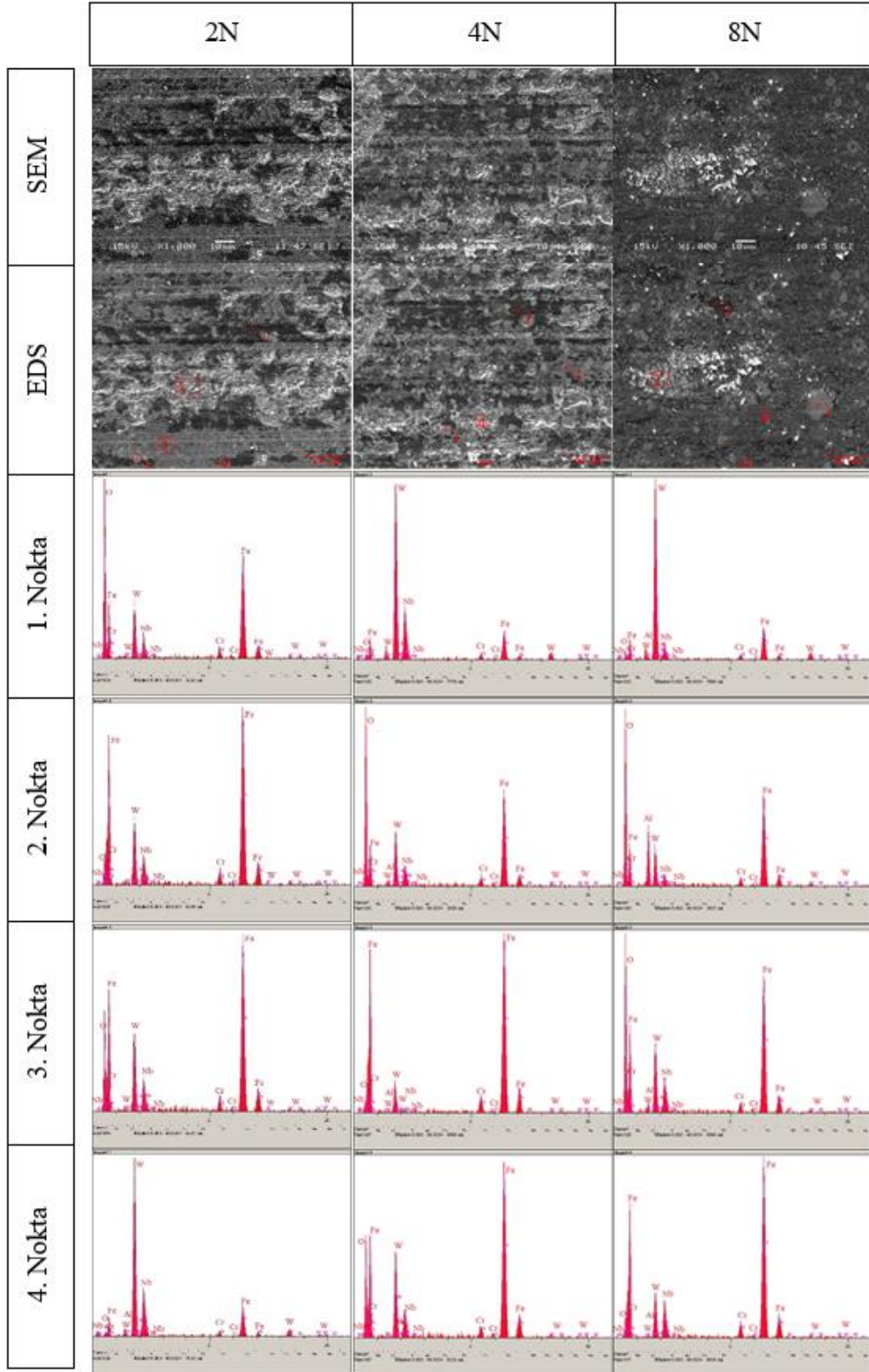
**Şekil 5.81.**  $Fe_{17}B_3$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



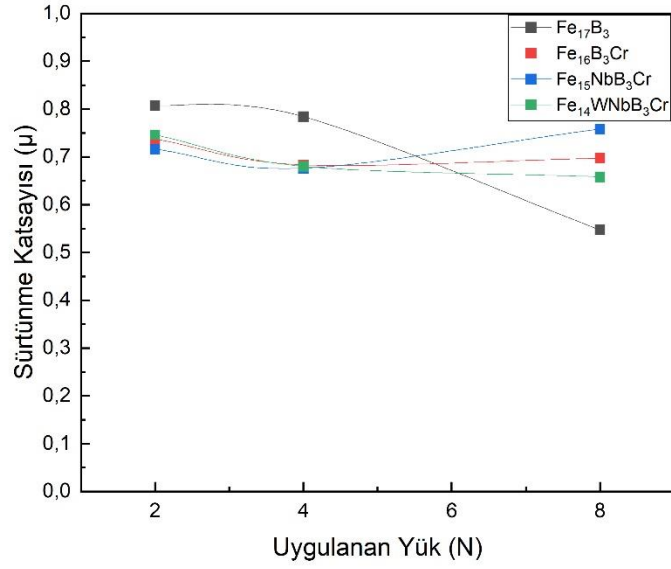
**Şekil 5.82.** Fe<sub>16</sub>B<sub>3</sub>Cr esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



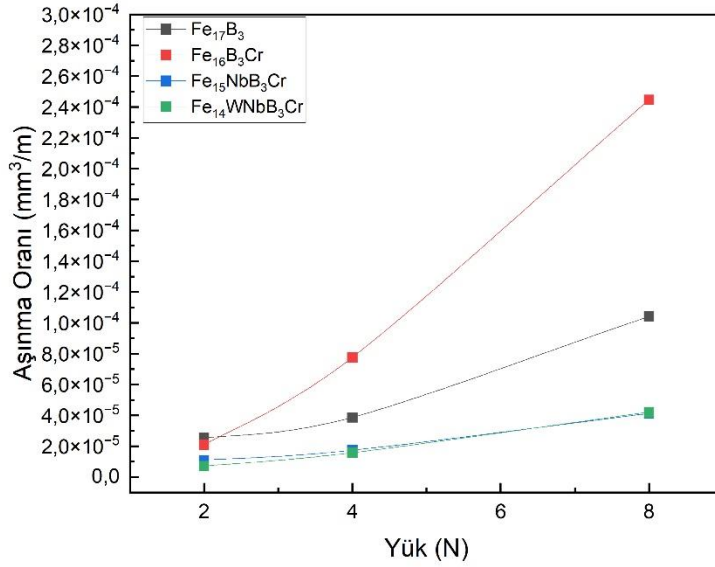
**Şekil 5.83.**  $Fe_{15}NbB_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



Şekil 5.84.  $Fe_{14}WNb_3Cr$  esaslı sert yüzey alaşımlanan numunelerin 2N, 4N, 8N yüklerde oluşan aşınma izlerinden elde edilen SEM ve EDS verileri



Şekil 5.85. 7. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan sürtünme katsayı değerleri

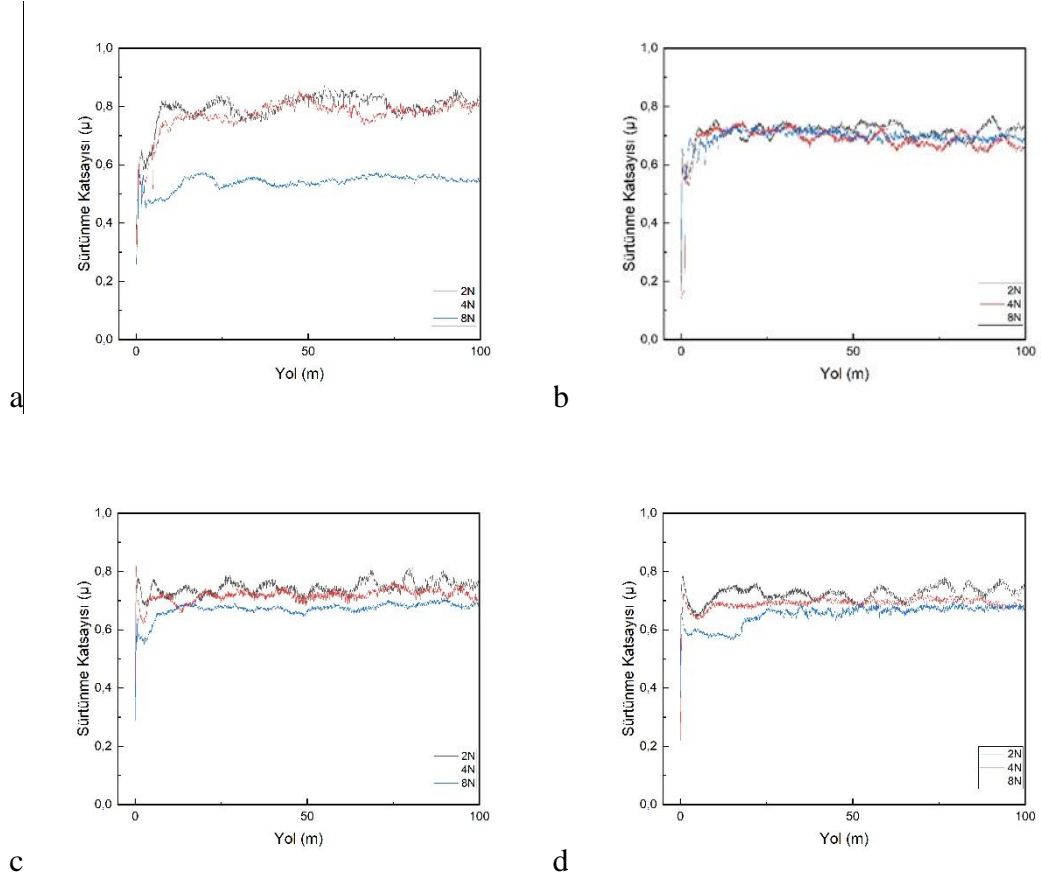


Şekil 5.86. 7. grup sert yüzey alaşımlarının 2N, 4N, 8N yük altında oluşan aşınma oranları

7. grupta yer alan Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub>, Fe<sub>16</sub>B<sub>3</sub>Cr, Fe<sub>15</sub>NbB<sub>3</sub>Cr, Fe<sub>14</sub>WNbB<sub>3</sub>Cr sert yüzey alaşımlarının sürtünme katsayısı ve aşınma oranı grafikleri incelendiğinde Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımına %5 Cr ilavesiyle elde edilen Fe<sub>16</sub>B<sub>3</sub>Cr sert yüzey alaşımının sertliğinin artmasına rağmen artan yüklerle beraber aşınma oranı artmıştır. Fe<sub>16</sub>B<sub>3</sub>Cr alaşımına %5



Nb ilavesiyle elde edilen  $Fe_{15}NbB_3Cr$  sert yüzey alaşımının sertliği ciddi bir şekilde artmış, bununla uyumlu olarak da artan yükte beraber aşınma oranı düşük seyretmiştir.  $Fe_{15}NbB_3Cr$  alaşımına %5 W ilave edilerek elde edilen  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımının W ilavesi ile sertliği düşmüştür bununla beraber artan yükte beraber aşınma oranı düşmüştür.



**Şekil.5.87.**  $Fe_{17}B_3$  (a),  $Fe_{16}B_3Cr$  (b),  $Fe_{15}NbB_3Cr$  (c),  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  (d) bileşimlerine ait sürtünme mesafesine bağlı sürtünme katsayı değerleri



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada örtülü elektrot ile elektrik arka kaynağı ile düşük karbonlu AISI 1020 çelik altlık üzerine yapılan Fe-B esaslı sert dolgu kaplamalarına W, Nb ve Cr ilavesinin etkileri incelenmiştir. Üretilen bu kaplamaların mikroyapı ve faz özellikleri tespit edilmiş, sertlik ve aşınma değerleri incelenmiştir. Yapılan testler ve araştırmalar ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Sert yüzey alaşımlama işlemi sonrası kaplamalar incelenmiş ve tüm kaplama tabakalarının altlık malzemeyle metalurjik uyum içerisinde olduğu ve kaynak tabakalarının homojen bir şekilde oluştuğu gözlenmiştir.

1. grup alaşımları olan  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}WB_3$ ,  $Fe_{15}W_2B_3$  sert yüzey alaşımlarına ait XRD analizleri incelendiğinde  $\alpha$ -Fe ve  $Fe_2B$  fazının yanı sıra FeWB fazında bulunduğu belirlenmiştir.

$Fe_{17}B_3$  esaslı kaplamanın mikroyapısı incelendiğinde iki farklı bölge açık bir şekilde görülmektedir. Bu bileşimde ötektik altı bir mikroyapı söz konusudur. Koyu gri bölgeler primer faz olup açık renkli bölgeler ise ötektik fazlardan oluşmaktadır. EDS ve MAP analizi incelendiğinde koyu gri bölgenin yoğun olarak Fe elementinden oluştuğu görülmektedir. X ışınları analizi de göz önünde bulundurulduğunda bu bölgenin  $\alpha$ -Fe olduğu tespit edilmiştir. Ötektik bölgeden alınan EDS analizi incelendiğinde Fe elementi ile birlikte B elementinin kalitatif olarak varlığı söz konusudur. MAP analizi ve XRD analizleri bu ötektik yapının  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$  fazlarından oluştuğunu göstermektedir.

$Fe_{16}WB_3$  SEM görüntüleri incelendiğinde koyu gri, ötektik ve beyaz bölgelerden oluşan bir mikroyapı görülmektedir. EDS ve MAP analizi incelendiğinde beyaz bölgenin yoğun olarak W ile birlikte Fe ve B görülmektedir. XRD analizlerinde W içeren kaplamalarda FeWB fazı tespit edilmiş olup, beyaz bölgenin bu fazdan oluştuğu anlaşılmaktadır. Koyu gri bölgenin EDS analizi incelendiğinde Fe ve W tespit edilmiştir. Burada Fe elementinin şiddetinin yoğun olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu bölgenin  $\alpha$ -Fe fazından meydana geldiği düşünülmektedir. Ötektik bölgenin EDS

analizleri incelendiğinde Fe, B ve kısmen W elementleri tespit edilmiştir. XRD’de belirlenen Fe<sub>2</sub>B fazı düşünüldüğünde bu ötektik yapının α-Fe+Fe<sub>2</sub>B’den oluştuğu anlaşılmıştır.

Fe<sub>15</sub>W<sub>2</sub>B<sub>3</sub> kaplamasına ait SEM görüntüleri incelendiğinde, mikroyapının iki bölgeden oluştuğu görülmektedir. Beyaz renkli ötektik yapı üzerinden alınan EDS analizinde W, Fe, B ve C elementleri tespit edilmiş olup, bu yapının α-Fe+FeW(B,C) fazından oluştuğu belirlenmiştir. Koyu bölgenin EDS analizinde ise Fe elementi yoğun olarak bulunmaktadır. Dolayısıyla bu bölgenin α-Fe’den oluştuğu düşünülmektedir.

2. grup alaşımları olan Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub>, Fe<sub>16</sub>NbB<sub>3</sub>, Fe<sub>15</sub>Nb<sub>2</sub>B<sub>3</sub> sert yüzey alaşımlarına ait XRD analizleri incelendiğinde Fe-Nb-B kaplama tabakalarında α-Fe, Fe<sub>2</sub>B ve NbFeB fazları tespit edilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde Fe-Nb-B alaşımının mikroyapısının açık gri, koyu gri ve beyaz olmak üzere üç bölgeden oluştuğu gözlemlenmiştir. SEM, EDS, MAP ve X ışınları analizlerine göre buradaki açık gri bölgeler primer α-Fe fazından oluştuğu anlaşılmaktadır. Bunların tane sınırlarında beyaz blok yapılar olarak NbFeB fazları oluşmuştur. Koyu gri bölgelerde ise α-Fe+Fe<sub>2</sub>B ötektiği meydana gelmiştir. Fe-Nb-B esaslı kaplama tabakasında Nb içeriği %5’den %10’a artmasıyla NbFeB fazının mikroyapı içinde oranının arttığı gözlemlenmiştir.

3. grup alaşımları olan Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub>, Fe<sub>16</sub>B<sub>3</sub>Cr, Fe<sub>15</sub>B<sub>3</sub>Cr<sub>2</sub> sert yüzey alaşımlarına ait XRD analizlerine göre α-Fe, M<sub>2</sub>B (M= Fe,Cr) fazları tespit edilmiştir. Tespit edilen bu fazlar Fe-Cr-B üçlü denge diyagramı ile uyumludur. Fe-B-Cr esaslı sert yüzey alaşım grubuna ait mikroyapının ötektik altı bir alaşımdan meydana geldiği tespit edilmiştir. SEM, EDS, MAP ve XRD analizleri incelendiğinde bu sistemde primer α-Fe fazı ve α-Fe+M<sub>2</sub>B (M= Fe, Cr) ötektiği meydana gelmiştir. Mikroyapı görüntülerine göre açık gri bölgelerin α-Fe, diğer bölgelerin ise α-Fe+M<sub>2</sub>B fazlarından oluştuğu gözlenmektedir.

4. grup alaşımları olan Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub>, Fe<sub>16</sub>WB<sub>3</sub>, Fe<sub>15</sub>WB<sub>3</sub>Cr, Fe<sub>14</sub>WNbB<sub>3</sub>Cr sert yüzey alaşımlarına ait XRD analizleri incelendiğinde α-Fe, FeWB, W<sub>2</sub>FeB<sub>2</sub>, NbFeB, (Fe,Cr)<sub>2,3</sub>B, NbB<sub>2</sub>, (Fe,Cr,W)<sub>23</sub>(C,B)<sub>6</sub> ve NbC fazları tespit edilmiştir. Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> ve Fe<sub>16</sub>WB<sub>3</sub> (bkz. 1. grup) analizlerine ek olarak Fe<sub>15</sub>WB<sub>3</sub>Cr esaslı sert yüzey alaşımının SEM görüntüleri incelendiğinde genel olarak beyaz, açık gri ve koyu gri bölgelerden oluşmaktadır. Bu bölgelerin ötektik öncesi primer ferrit (α-Fe) fazıyla birlikte ötektik ve karbo-borür fazlarından oluştuğu düşünülmektedir. Şekil 5.18’de verilen EDS

analiz sonucunda kaplama tabakasındaki bu bölgelerde Fe, Cr ve W elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. 1 numaralı EDS ölçümü açık gri bölgeden alınmış ve bu bölgelerin primer ferrit ( $\alpha$ -Fe, Cr) fazları olduğu düşünülmektedir. X-ışınları analizlerinde tespit edilen  $\alpha$ -(Fe, Cr) fazı bu düşüncüyü desteklemektedir. 4 ve 6 numaralı EDS ölçümleri koyu gri bölgelerden alınmış ve Fe, Cr ve W elementleri ile beraber C ve B elementlerini de içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca MAP analizleri incelendiğinde bu bölgelerde Cr içeriğinin yoğun olduğu görülmektedir. X-ışınları analizlerinde bu bölgenin  $(\text{Fe,Cr,W})_{23}(\text{C,B})_6$  fazından oluştuğu düşünülmektedir. Beyaz bölgeden alınan 2 numaralı EDS analizi sonucunda W elementini bakımından zengin olduğu, Fe ve Cr elementleri de içerdiği görülmüştür. Ayrıca C ve B elementlerinin varlığında görülmektedir. MAP analizli bu durumu desteklemektedir. X-ışınları analizleri sonucunda bu bölgelerin  $(\text{W,Fe,Cr})_{2,3}(\text{B,C})$  fazından oluştuğu düşünülmektedir.  $\text{Fe}_{15}\text{WB}_3\text{Cr}$  esaslı sert yüzey kaplamanın X-ışınları analizi incelendiğinde  $\alpha$ -(Fe, Cr),  $(\text{Fe,Cr,W})_{23}(\text{C,B})_6$ ,  $(\text{W,Fe,Cr})_{2,3}(\text{B,C})$  fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir.  $\text{Fe}_{14}\text{WNbB}_3\text{Cr}$  esaslı sert yüzey alaşımların XRD analizleriyle  $\alpha$ -Fe, FeWB,  $\text{W}_2\text{FeB}_2$ , NbFeB,  $(\text{Fe,Cr})_{2,3}\text{B}$ ,  $\text{NbB}_2$ ,  $(\text{Fe,Cr,W})_{23}(\text{C,B})_6$  ve NbC fazları tespit edilmiştir. Kaplamanın yapısı açık gri, koyu gri ve beyaz bölgelerden oluşmuştur. Açık gri bölgeler primer  $\alpha$ -Fe olup koyu gri bölgeler  $\alpha$ -Fe+ $\text{M}_2\text{B}$  (M= Fe, Cr) ötektik yapısından meydana gelmiştir. Yine ötektik bölgede kompleks karboborür fazları tespit edilmiştir. Beyaz bölgelerin ise tungstence zengin olduğu görülmüş ve bu bölgelerin  $\text{W}_2\text{FeB}_2$  fazlarından oluştuğu belirlenmiştir.

5. grup alaşımları olan  $\text{Fe}_{17}\text{B}_3$ ,  $\text{Fe}_{16}\text{WB}_3$ ,  $\text{Fe}_{15}\text{WNbB}_3$ ,  $\text{Fe}_{14}\text{WNbB}_3\text{Cr}$  sert yüzey alaşımlarına ait XRD analizlerinde  $\alpha$ -Fe, FeWB,  $\text{W}_2\text{FeB}_2$ , NbFeB,  $(\text{Fe,Cr})_{2,3}\text{B}$ ,  $\text{NbB}_2$ ,  $(\text{Fe,Cr,W})_{23}(\text{C,B})_6$  ve NbC fazları tespit edilmiştir.  $\text{Fe}_{17}\text{B}_3$  ve  $\text{Fe}_{16}\text{WB}_3$  (bkz. 1. grup) analizleri ve  $\text{Fe}_{14}\text{WNbB}_3\text{Cr}$  (bkz. 4. grup) analizlerine ek olarak  $\text{Fe}_{15}\text{WNbB}_3$  esaslı alaşımın X ışınları analizi incelendiğinde kaplamanın yapısında  $\alpha$ -Fe, NbFeB,  $\text{NbB}_2$ , FeWB ve  $\text{W}_2\text{FeB}_2$  fazlarının olduğu tespit edilmiştir. SEM görüntüsü incelendiğinde beyaz, gri ve koyu griden oluşan bölgeler görülmektedir. Beyaz bölgeden alınan EDS analizine göre bu bölgede W, Fe ve Nb varlığı görülmekle beraber gri ve koyu gri bölgelerde Fe, W ve az miktarda Nb tespit edilmiştir. XRD, SEM ve EDS analizleri değerlendirildiğinde yapı içerisinde  $\alpha$ -Fe,  $\text{Fe}_2\text{B}$  ve FeNbB fazları olduğu düşünülmektedir.

6. grup alaşımları olan  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}NbB_3$ ,  $Fe_{15}WNbB_3$ ,  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yzey alaşımlarına ait XRD analizleri incelendiğinde  $\alpha$ -Fe, FeWB,  $W_2FeB_2$ , NbFeB,  $(Fe,Cr)_{2,3}B$ ,  $NbB_2$ ,  $(Fe,Cr,W)_{23}(C,B)_6$  ve NbC fazları tespit edilmiştir.  $Fe_{17}B_3$  ve  $Fe_{16}NbB_3$  (bkz. 2. Grup),  $Fe_{15}WNbB_3$  (bkz. 5. grup) ve  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  (bkz. 4. grup) analizleri yapılmıştır.

7. grup alařımları olan  $Fe_{17}B_3$ ,  $Fe_{16}B_3Cr$ ,  $Fe_{15}NbB_3Cr$ ,  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yzey alařımlarına ait XRD analizleri incelendiđinde  $\alpha$ -Fe, FeWB,  $W_2FeB_2$ , NbFeB,  $(Fe,Cr)_{2,3}B$ ,  $NbB_2$ ,  $(Fe,Cr,W)_{23}(C,B)_6$  ve NbC fazları tespit edilmiřtir.  $Fe_{17}B_3$  ve  $Fe_{16}B_3Cr$  (bkz. 3. grup) ve  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  (bkz. 4. grup) analizlerine ek olarak  $Fe_{15}NbB_3Cr$  esaslı sert yzey alařımının XRD analizlerinde yapısında  $\alpha$ -Fe,  $Fe_2B$ , NbFeB,  $NbB_2$  ve CrB fazları tespit edilmiřtir. Yapıdaki gri matris fazının  $\alpha$ -Fe olduđu dűřnűlmektedir. Matris fazının tane sınırlarında ađık gri ve koyu gri fazlar mevcut olup, bu fazlar EDS analizleri dikkate alındıđında ađık gri bűlgelerde  $NbB_2$  ve NbFeB fazlarının olduđu dűřnűlmektedir. Koyu gri bűlgeler ise kromborűr fazlarından oluřmaktadır.

$Fe_{17}B_3$  baz bileşimine ilave edilen elementlerin sertliğe etkisine baktığımızda, bu bileşime %5 W ilavsiyle mikro sertlik değer 314 HV'den 531 HV'ye ıkmış, makro sertlik ise 28 HRC'den 32 HRC'ye ıkmıştır. %10 W ilavesiyle mikro sertlik 676 HV, makro sertlik ise 43 HRC olmuştur.

$Fe_{17}B_3$  baz bileşimine %5 Nb ilavesiyle mikro sertlik 379 HV, makro sertlik 30 HRC olmuştur. %10 Nb ilave edildiğinde ise mikro sertlik 373 HV, makro sertlik 32 HRC olmuştur.

$Fe_{17}B_3$  baz bileşimine %5 Cr ilave edilmesiyle mikro sertlik 468 HV, makro sertlik 41 HRC olmuştur. %10 Cr ilave edildiğinde ise mikro sertlik 610 HV, makro sertlik 50 HRC olmuştur.

$Fe_{17}B_3$  baz bileşimine %5 W ve %5 Cr ilave edildiğinde mikro sertlik 666 HV, makro sertlik ise 52 HRC olmuştur.

$Fe_{17}B_3$  baz bileşimine %5 W ve %5 Nb ilave edildiğinde mikro sertlik 619 HV, makro sertlik ise 34 HRC olmuştur.

$Fe_{17}B_3$  baz bileşimine %5 Nb ve %5 Cr ilave edildiğinde mikro sertlik 723 HV, makro sertlik 42 HRC olmuştur.

Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> baz bileşimine %5 W, %5 Nb ve %5 Cr ilave edildiğinde mikro sertlik 662 HV, makro sertlik ise 41 HR<sub>C</sub> olmuştur.

Tüm bileşimlerin sertlik değerlerini değerlendirdiğimizde mikro sertlik olarak en yüksek değer (723 HV) Fe<sub>15</sub>NbB<sub>3</sub>Cr bileşiminde ölçülürken, makro sertlik olarak en yüksek değer (52 HR<sub>C</sub>) Fe<sub>15</sub>WB<sub>3</sub>Cr bileşiminde ölçüldüğü görülmüştür. Bu sonuçlara baktığımızda Cr ilavesinin sertliğe katkısının diğer elementlerden nispeten fazla olduğu söylenebilir.

Sert yüzey kaplamaların aşınma testlerini incelediğimizde, 2N, 4N ve 8N yükler altında yükün artmasıyla aşınma oranının arttığı görülmüştür. Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> bileşimine ilave edilen %5 ve %10 W ile birlikte sertlik değerinin artmasıyla artan yükte aşınma oranındaki artışın azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte yükün artması ve W oranının artışıyla birlikte yüzeyde görülen abrazyon aşınma mekanizması azalarak adheziv aşınmanın arttığı gözlenmiştir. EDS analizleri incelendiğinde yüzeyde bazı noktalarda oksidatif aşınma gözlenmiştir.

Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> bileşimine ilave edilen %5 ve %10 Nb ile birlikte sertliğin bir miktar artması ile birlikte artan yükte aşınma oranı nispeten düşmüştür. 2N yükte aşınma mekanizması derin abrazyon izleri şeklinde olup yük Nb oranı arttıkça aşınma mekanizması daha çok adheziv aşınma şeklinde görülmüştür. Bazı noktalarda parça kopmaları gözlenmiştir. EDS analizleri incelendiğinde yüzeyde bazı noktaların oksidatif aşınmaya uğradığı görülmüştür.

Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımına %5 Cr ilave edildiğinde sertlik 468 HV'ye çıkartmıştır. Bu alaşımın SEM görüntülerini incelediğimizde 2N yük altında abrazyon ve adheziv aşınma mekanizmaları birlikte yoğun bir şekilde gözlenmekle birlikte yüzeyde küçük boyutlarda parça kopmaları mevcuttur. 4N yük altında ise abrazyon aşınma izleri derinleşmiş ve nispeten bu aşınma azalmıştır. Adheziv aşınmanın da nispeten azalarak bölgesel olarak gözlenmektedir. Kopan parça miktarı azalmış fakat boyutları artmıştır. 8N yük altına abrazyon aşınma oldukça azalmış, adheziv aşınma da nispeten azalmış, bunların yanında kopan parça miktarı ve boyutu oldukça artmıştır. Kopan parçalardan alınan EDS analizine bakıldığında, bu parçaların oksitlendiği görülmüştür. Bu alaşımın EDS analizleri incelendiğinde tüm yüklerde oksidatif aşınma tespit edilmiştir.

Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımına %10 Cr ilave edildiğinde sertlik 610 HV'ye çıkartmıştır. Bu alaşımın 2N yük altındaki SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyden parçaların koparak yüzeyde

başka yerlere sıvandığı görülmüştür. Bu parçaların koptuğu yerden alınan EDS analizine göre bu bölgelerin oksitlendiği anlaşılmaktadır. Bu bölgelerde özellikle adhezif aşınma mekanizmasının hakim olduğu görülmekle beraber, bazı bölgelerde abrazyif ve oksidatif aşınmanın varlığı SEM ve EDS analizlerinden anlaşılmaktadır. 4N yük altında ise abrazyif aşınma izlerinin arttığı, parça kopmalarının azaldığı, adhezif aşınmanın ise bölgesel olarak dağıldığı gözlenmiştir. Yine burada kopan parçaların yerlerinden alınan EDS analizine göre bu bölgelerin oksitlendiği anlaşılmıştır. 8N yük altında ise adhezif aşınma mekanizmasının bariz bir şekilde arttığı görülmektedir. 8N yük altında abrazyif aşınma az miktarda gözlenmekle beraber EDS analizlerinden anlaşılacağı üzere oksidatif aşınma da tespit edilmiştir.

Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımına %5 W ve %5 Cr ilave ederek elde ettiğimiz Fe<sub>15</sub>WB<sub>3</sub>Cr sert yüzey alaşımını 314 HV olan sertliği 666 HV'ye çıkartmıştır. Bu alaşımın 2N yük altındaki testlerinin SEM görüntüleri incelendiğinde adhezif aşınma ve abrazyif aşınma mekanizmalarını görmektediriz. Bazı bölgelerde parça kopmaları görülmektedir. Kopan parçaların yerinden alınan EDS analizlerine bakıldığında parçaların koptuğu yerlerde oksitlenme oluşmuştur. 4N yük altındaki testler incelendiğinde, bu yükte abrazyif aşınma miktarının arttığı görülmüş, parça kopmalar azalmıştır. Aynı zamanda adhezif aşınma miktarında azalmıştır. Burada da kopan parçaların yerlerinden alınan EDS analine göre, parça kopan yerler oksitlenmiştir. 8N yük altında ise abrazyif aşınma izleri derinleşmiştir. Adhezif aşınma miktarında da azalma görülmüş, parça kopması azalmıştır. Bunların yanında tüm yüklerde EDS analizlerine bakıldığında oksidatif aşınmalar tespit edilmiştir.

Fe<sub>17</sub>B<sub>3</sub> alaşımına %5 W ve %5 Nb ilave edilmesiyle elde ettiğimiz Fe<sub>15</sub>WNbB<sub>3</sub> sert yüzey alaşımını 314 HV olan sertliği 619 HV'ye çıkarmıştır. SEM görüntülerini incelediğimizde 2N yük altında yüzeyde daha çok adhezif aşınmanın olduğu ve büyük parçaların koparak yüzeyde başka yerlere sıvandığı gözlenmiştir. Parçaların koptuğu yerlerden alınan EDS analizlerine göre parçaların koptuğu yerlerde oksitlenme olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bazı bölgelerde çok az miktarda abrazyif aşınma gözlenmiştir. 4N yük altında ise adhezif aşınma nispeten azalmakla beraber, parça kopmaları 2N yükteki ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca bu yükte çok sayıda kılcal çatlak görülmektedir. Bu çatlakalar yorulma aşınmasına işaret etmektedir. Yine bu yükte abrazyif aşınma da gözlenmiştir. 8N yük altında da parçalar koparak yüzeyde başka



yerlere sıvanmıştır. Bu yükte de kılcal çatlakalar görülmektedir. Ayrıca bu yükte abrazyon aşınma izleri artmış ve izleri belirginleşmiştir.

$Fe_{17}B_3$  alaşımına %5 Nb ve %5 Cr ilave ederek elde ettiğimiz  $Fe_{15}NbB_3Cr$  sert yüzey alaşımı 314 HV olan sertliği 723 HV'ye çıkartmıştır. Bu alaşımın SEM görüntülerini incelediğimizde 2N yükte adhezyon aşınma ile birlikte küçük boyutlarda parça kopmaları görülmektedir. 4N yükte ise adhezyon davranış görülmektedir. Bunun yanında abrazyon aşınma çizgilerinde artış gözlenmiştir. Bu yükte de parça kopmaları mevcuttur. 8N yükteki SEM görüntülerine baktığımızda abrazyon aşınma çizgileri oluşmuş ve çizgilerin devamında bazı bölgeler adhezyon aşınma davranışı göstermeye başlamıştır. Bu yükte de parça kopmaları gözlenmiştir. Bu alaşımın SEM görüntülerinden elde edilen EDS analizlerine baktığımızda her üç yük altında da oksidatif aşınma tespit edilmiştir.

$Fe_{17}B_3$  alaşımına %5 W, %5 Nb ve %5 Cr ilave ederek elde ettiğimiz  $Fe_{14}WNbB_3Cr$  sert yüzey alaşımı 314 HV olan sertliği 662 HV'ye çıkartmıştır. 2N yük altındaki testlerde adhezyon aşınmanın belirgin olduğu görülmektedir. Yüzeyde küçük boyutlarda ve az miktarda parça kopmaları görülmektedir. Ayrıca abrazyon aşınmada gözlemlenen yüzeyde EDS analizlerine bakıldığında oksidatif aşınmada söz konusudur. 4N yükte parça kopmaları nispeten daha az olmasına rağmen kopan parçaların bazıları yüzeyde başka bir yere sıvanma şeklinde yapışmıştır. EDS analizleri incelendiğinde az miktarda oksidatif aşınma söz konusudur. 8N yük altında ise aşınma daha çok parça kopması şeklindedir. Kopan parçaların miktarı oldukça fazladır ve kopan parçaların bir çoğu yüzeyde başka yerlere yapışmıştır. Bu yükte adhezyon aşınmanın yoğun olduğu görülmektedir. Parça kopan yerlerden alınan EDS analizlerine göre parçaların koptuğu yerlerde oksitlenme mevcuttur.

- Yapılan testlere ek olarak korozyon testi yapılabilir.
- Bu alaşım grubu farklı kimyasal bileşim oranları ile farklı sonuçlar verebilir.
- Elektrot üretimi laboratuvar şartlarında yapılmıştır. Endüstriyel üretim şartlarında elektrot üretilmesiyle daha iyi sonuçların alınabileceği düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Tunç, U. D. (2015). *Farklı kimyasal bileşimlerdeki sert dolgu aşınma plakalarının özelliklerinin incelenmesi, geliştirilmesi ve optimizasyonu* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi
- [2] Oerlikon Kaynak Elektrotları Ve Sanayi A.Ş. (1992). *Sert dolgu alaşımları*.
- [3] Zahiri, R., Sundaramoorthy, R., Lysz, P. and Subramanian, C. (2014). Hardfacing using ferro-alloy powder mixtures by submerged arc welding. *Surface & Coating Technology*, 19724, 10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.08.076>
- [4] Balakrishnan, M., Balasubramanian, V. and Reddy, M. G. (2013). Effect of Hardfaced Interlayer Thickness and Low Hydrogen Ferritic Capping on Ballistic Performance of Shielded Metal Arc Welded Armour Steel Joints. *Journal Of Iron And Steel Reserch, International*, 20(12), 82-91.
- [5] Crespo, C. A., Scotti, A. and Perez, R. M. (2008). Operational behavior assesment of coated tubular electrodes for SMAW hardfacing. *Journal Of Materials Processing Technology*, 199, 265-273 [doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.07.048](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.07.048)
- [6] Hojjatzadeh, S. M. H., Halvae, A., ve Sohi, M. H. (2012). Surface alloying of AISI 1045 steel in a nitrogen environment using a gas tungsten arc process. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(11), 2496–2504. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.06.006>
- [7] Yoo, J. W., Lee, S. H., Yoon, C. S. and Kim, S. J. (2006). The effect of boron on the wear behavior of iron-based hardfacing alloys for nuclear power plants valves. *Journal of Nuclear Materials*, 352, 90-96. [Doi:10.1016/j.jnucmat.2006.02.071](https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2006.02.071)
- [8] Ingole, S., Liang, H., Usta, M., Bindal, C. and Ucisik, A. H. (2005). Multi-scale wear of a boride coating on tungsten. *Wear*, 259, 849-860. [Doi:10.1016/j.wear.2004.12.024](https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.12.024)
- [9] Yaz M. (2005). *Düşük karbonlu yumuşak çeliklerin co esaslı süper alaşım elektrotları kaplanabilirliğinin araştırılması*. [Doktora tezi]. Fırat Üniversitesi
- [10] Abed, H., Ghaini, F. M., and Shahverdi, H. R. (2018). Characterization of Fe49Cr18Mo7B16C4Nb6 high-entropy hardfacing layers produced by gas tungsten arc welding (GTAW) process. *Surface & Coatings Technology*, 352, 360–369. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.08.019>
- [11] Buchely, M. F., Gutierrez, J. C., León, L. M., and Toro, A. (2005). The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear*, 259, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.03.002>
- [12] Wu, W. and Wu, L.-T. (1996). The Wear Behavior Between Hardfacing Materials. *Metallurgical and materials transactions a*, 27A, 3639-3648

- [13] Roy, M. (Ed). (2013). *Surface engineering for enhanced performance against wear*. Springer-Verlag Wien
- [14] Kılınç, B. (2018). *Fe-M-B esaslı sert yüzey alaşımların çelik yüzeyinde tig kaynak yöntemiyle oluşturulması ve özelliklerinin incelenmesi*. [Doktora tezi]. Sakarya Üniversitesi
- [15] Kocaman, E. (2020). *Fe-Cr-Ti-B esaslı in-situ kompozit sert yüzey alaşımlama elektrotlarının geliştirilmesi*. [Doktora tezi]. Sakarya Üniversitesi
- [16] Davis, J. R. (Ed). (2002). *Surface Hardening of Steels-Understanding the Basics*. ASM International
- [17] Dilawary, S. A. A. (2018). *An investigation on enhancement in wear resistance of hardfacings*. [Doktora tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi
- [18] Oukach, S., Pateyron, B. and Pawłowski, L. (2019). Physical and chemical phenomena occurring between solid ceramics and liquid metals and alloys at laser and plasma composite coatings formation: A review. *Surface Science Reports*, 74, 213–241, <https://doi.org/10.1016/j.surfrep.2019.06.001>Jeshvaghani, R. A., Shamanian, M. and Jaberzadeh, M. (2010). Enhancement of wear resistance of ductile iron surface alloyed by stellite 6. *Materials and Design*, 32, 2028–2033, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.11.060>
- [19] Yavuz, Y. (2018). *Fe-Cr-W-B-C Esaslı Sert Dolgu Örtülü Elektrot Üretimi ve Karakterizasyonu*. [Yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi
- [20] Nagentrau, M., Tobi, A. L. M., Sambu, M. And Jamian, S. (2019). The influence of welding condition on microstructure of WC hardfacing coating on carbon steel substrate. *International Journal Refractory Metals and Hard Materials*, 82, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2019.03.029>
- [21] Liu, W. and Gao, D. (2021). Microstructure and wear of Ni-WC hardfacing used for steel-body PDC bits. *International Journal Refractory Metals and Hard Materials*, 101, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2021.105683>
- [22] Leech, P. W. and Li, X. S. (2011). Comparison of abrasive wear in diamond composites and WC-based coatings. *Wear*, 271, 1244–1251, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2011.01.049>
- [23] Zikin, A., Hussainova, I., Katsich, C., Badisch, E. and Tomastik, C. (2012). Advanced chromium carbide-based hardfacings. *Surface & Coatings Technology*, 206, 4270–4278, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.04.039>
- [24] Olson, D. L., Siewert, T. A., Liu, S. and Edward, G. R. (1993). *Welding, Brazing, and Soldering*. ASM Handbook Vol. 6
- [25] Zikin, A., Badisch, E., Hussainova, I., Tomastik, C. and Danninger, H. (2013). Characterisation of TiC – NiMo reinforced Ni-based hardfacing. *Surface Coating Technology*, 236, 36–44 <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.02.027>
- [26] Prabanjan, S., Karthick, K., Kumar, J. R., Ramkumar, S. and Ahmed, A. R. (2020). Wear behavior and metallurgical characteristics of particle reinforced metal matrix composites produced by hardfacing : A review. *Materials Today: Proceedings*, 33, 599-306, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.527>

- [28] Kaptanoğlu, M. (2020). Kaynak Akımı Değişiminin Karbür ve Boro karbür İçeren Kaplamalara Etkisi. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 20, 827–834, <https://doi.org/10.31590/ejosat.747441>
- [29] Anık, S. (1983). *Kaynak Tekniği El Kitabı*. Gedik Eğitim Vakfı
- [30] Anık, S., Tülbetçi, K. ve Kaluç, E. (1991). *Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı*. Gedik Eğitim Vakfı
- [31] Anık, S., Anık, E. S. ve Vural, M. (1993). *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt-1*. Birsen Yayınevi.
- [32] Sham, K. and Liu, S. (2014). Flux - Coating Development for SMAW Consumable Electrode of High - Nickel Alloys. *Welding Research*, 93, 271-281
- [33] Lin, H., Ying, L., Jun, L. and Binghong, L. (2014). Microstructure and mechanical properties for TIG welding joint of high boron Fe-Ti-B alloy. *Rare Metal Materials and Engineering*, 43(2), 283–286, [https://doi.org/10.1016/s1875-5372\(14\)60059-x](https://doi.org/10.1016/s1875-5372(14)60059-x)
- [34] Sachajdak, A., Słoma, J. and Szczygieł, I. (2018). Thermal model of the Gas Metal Arc Welding hardfacing process. *Applied Thermal Engineering*, 141, . 378–385, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.05.120>
- [35] Singh, A. and Singh, R. P. (2020). A review of effect of welding parameters on the mechanical properties of weld in submerged arc welding process. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1714–1717, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.361>
- [36] Köse, C. ve Topal, C. (2020). Plazma Ark Kaynağıyla Birleştirilen AISI 410S Ferritik Paslanmaz Çeliğin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Isıl İşlemin Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 201–212, <https://doi.org/10.31590/ejosat.717786>
- [37] Kurtulmuş, M. (2018). Effects of Primary Welding Parameters on FCAW Steel Weld Form. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12, 1-5, [www.ejosat.com](http://www.ejosat.com) ISSN:2148-2683
- [38] Aydın, K. ve Karaağaç, İ. (2019). Lazer Kaynaklı HSLA Sac Malzemelerde Geri Esnemenin Deneysel Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 29–37, <https://doi.org/10.31590/ejosat.611073>
- [39] Civjan, S. A., Guihan, T. and Peterman, K. (2020). Testing of oxyacetylene weld strength. *Journal of Constructional Steel Research*, 168, 105921, <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.105921>
- [40] Karip, E., Aydın, S. and Muratoğlu, M. (2015). A study on hardfacing alloy using Fe-Cr and Fe-B Powders. *Acta Physica Polonica A*, 128(2), 160–163, <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.128.B-160>
- [41] Pashechko, M. I., Dziedzic, K., Mendyk, E. and Jozwik, J. (2017). Chemical and Phase Composition of the Friction Surfaces Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr Hardfacing Coatings. *Journal of Tribology*, 140(2), <https://doi.org/10.1115/1.4037953>

- [42] Pashechko, M. I., Dzedzic, K. and Barszcz, M. (2013). Study of the structure and properties of wear-resistant eutectic Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr coatings. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 52(7–8), 469–476, <https://doi.org/10.1007/s11106-013-9549-z>
- [43] Kirchgaßner, M., Badisch, E. and Franek, F. (2008). Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact. *Wear*, 265(5–6), 772–779, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.01.004>
- [44] Azimi, G. and Shamanian, M. (2010). Effect of silicon content on the microstructure and properties of Fe-Cr-C hardfacing alloys. *J. Mater. Sci.*, 45(3), 842–849, <https://doi.org/10.1007/s10853-009-4008-4>
- [45] Bendikiene, R., Ciuplys, A., Sertvytis, R., Surzhenkov, A., Tkachivski, D., Vilijus, M., Traksmas, R., Antonov, M. and Kulu, P. (2020). Wear behaviour of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni cermet reinforced hardfacings. *Journal Materials Research and Technology*, 9(4), 7068–7078, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.05.042>
- [46] Zhao, X., Chen, J., Zhang, W. and Chen, H. (2023). A study on weld morphology and periodic characteristics evolution of circular oscillating laser beam welding of SUS301L-HT stainless steel. *Optics and Laser Technology*, 159, 109030, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.109030>
- [47] Yang, J., Oliveira, J. P., Li, Y., Tan, C., Gao, C. and Zhao Y. (2022). Laser techniques for dissimilar joining of aluminum alloys to steels: A critical review. *Journal of Materials Processing Tech.*, 301, 117443, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117443>
- [48] Qingrui, L., Qinzhi, H., Yang, X. and Yong, C. (2023). The mechanical, thermodynamic and electronic properties of TM<sub>2</sub>CrB<sub>2</sub> borides with TM=V, Nb, Ta: A first-principles predictions. *Solid State Communications*, 368, 115184, <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2023.115184>
- [49] Setayandeh, S. S., Stansby, J. H., Obbard, E. G., Brand, M. I., Miskovic, D. M., Laws, K. J., Peterson, V. K., Astbury, J. O., Wilson, C. L., Irukuvarghula, S. And Burr, P. A. (2023). A combined DFT and NPD approach to determine the structure and composition of the  $\epsilon$ -phase of tungsten boride. *Acta Materialia*, 259, 119282, <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2023.119282>
- [50] Wang, Y., Li, Z. B., Wang, K. F. and Zhang, G. H. (2021). Preparation of Monophasic Tungsten boride powder from Tungsten and boron carbide. *Ceramics International*, 47, 9543–9550, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.12.088>
- [51] Cai, P., Yang, Z., Shi, L., Chen, L., Zhao, A., Gu, Y. and Qian, Y. (2005). Low temperature synthesis of NbB<sub>2</sub> nanorods by a solid-state reaction route. *Materials Letters*, 59, 3550–3552, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2005.07.051>
- [52] Sairam, K., Sonber, J. K., Murthy, T. S. R. C., Subramanian, C., Fotedar, R. K. and Hubli, R. C. (2014). Reaction spark plasma sintering of niobium diboride. *Int. Journal of Refractory Metal and Hard Materials*, 43, 259–262, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2013.12.011>
- [53] Pazarlıoğlu, S. S. (2006). *Çeliklerin niyobyum borür kaplanması ve özellikleri* [Yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi

- [54] Jianhua, M., Yunle, G., Liang, S., Luyang, C., Zeheng, Y. and Yitai, Q. (2003). Reduction-boronation route to chromium boride (CrB) nanorods. *Chemical Physics Letters*, 381, 194-198, <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2003.09.128>
- [55] Yeh, C. L., Lin, J. Z. and Wang, H. J. (2012). Formation of chromium borides by combustion synthesis involving borothermic and aluminothermic reduction of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . *Ceramics International*, 38, 5691-5697, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.04.013>
- [56] Angın, M. H. (2003). *Ferro Bor ön fizibilite etüdü*. Eti Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü
- [57] Zhang, J., Liu, J., Liao, H., Zeng, M. and Ma, S. (2019). A review on relationship between morphology of boride of Fe-B alloys and the wear / corrosion resistant properties and mechanisms. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 6308–6320, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.004>
- [58] Sorour, A. A., Chromik, R. R. and Brochu, M. (2013). Tribology of a Fe–Cr–B-Based Alloy Coating Fabricated by a Controlled Short-Circuit MIG Welding Process. *Metallography, Microstructure and Analysis*, 2, 223–233, <https://doi.org/10.1007/s13632-013-0081-9>
- [59] Caneda, M. C., Gargarella, P., Riva, R., Kiminami, C. S. and Afonso, T. M. C. (2023). Advanced characterization of bulk alloy and in-situ debris nanoparticles formed during wear of Fe-Nb-B ultrafine eutectic laser cladding coatings. *JMR%T*, 23, 3455-3469, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.01.225>
- [60] Sunol, J. J., Gonzelez, A., Saurina, J., Escoda, L. and Bruna, P. (2004). Thermal and structural characterization of Fe-Nb-B alloys prepared by mechanical alloying. *Materials Science & Engineering A*, 375-377, 874-880, doi:10106/j.msea.2003.10.194
- [61] Yang, X. O., Yin, F., Hu, J., Zhao, M. Liu, Y. and Li, F. (2018). Experimental investigation and thermodynamic calculation of the B-Fe-W ternary system. *Calphad*, 63, 212–219, <https://doi.org/10.1016/j.calphad.2018.10.003>
- [62] Gao, Q., Lu, Z., Jia, L., Wang, Y. and Zhang, Y. (2022). Alloying and mechanical properties of W-Fe-B ternary system. *Journal of Alloys Compounds*, 919, 165574, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.165574>
- [63] Hocaoğlu, R. (2021). *Fe-Mo-Ti-B-C esaslı sert dolgu alaşımlı örtülü elektrotların üretimi ve özelliklerinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi
- [64] Raghavan, V. (1992). *Phase Diagrams of Ternary Iron Alloys*. Indian Institute of Metals.
- [65] Yoshitomi, K., Nakama, Y., Ohtani, H. and Hasebe, M. (2008). Thermodynamic analysis of the Fe-Nb-B ternary system. *ISIJ International*, 48(6), 835-844
- [65] Lentz, J., Röttger, A. And Theisen, W. (2018). Hardness and modules of  $\text{Fe}_2\text{B}$ ,  $\text{Fe}_3(\text{C},\text{B})$ , and  $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$  borides and caboborides in Fe-C-B system. *Materials Characterization*, 135, 192-202, <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2017.11.012>

- [66] Yüksel, N. and Şahin, S. (2014). Wear behavior-microstructure relation of Fe-Cr-C and Fe-Cr-C-B based hardfacing alloys. *Metarial and Design*, 58, 491-498, <https://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.02.032>
- [67] Dasgupta, R., Thakur, R., Yadav, M. S. and Jha, A. K. (1999). High stress abrasive wear behaviour of a hardfacing alloy: effects of some experimental factors. *Wear*, 236, 368-374, PII: S0043-1648(99)00287-2
- [68] Kang, A. S., Cheema, G. S. and Singla, S. (2014). Wear behavior of hardfacing on rotary tiller blades. *Procedia Engineering*, 97, 1442-1451, doi:10.1016/j.proeng.2014.12.426



## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Orhan AKYILDIZ

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji Ve Malzeme Mühnedisliği
- **Yüksek Lisans** : Devam ediyor, Sakarya Üniversitesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2004 yılından itibaren Enka Elektrik Santralleri'nde İşletme Ve Devreye Alma Teknisyeni olarak çalışıyor.

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Akyıldız, O., Kılınç, B. ve Şen, U. (2022, 01-02, Temmuz). FeWBCr Esaslı Sert Yüzey Dolgu Alaşımının İncelenmesi. 6. *Geleceğin Mühendisleri Uluslararası Öğrenci Sempozyumu*, Zonguldak, Türkiye.