

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Fe-M-B ESASLI SERT YÜZEY ALAŞIMLARIN ÇELİK  
YÜZEYİNDE TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE  
OLUŞTURULMASI VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Bülent KILINÇ**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şaduman ŞEN**

**Ocak 2018**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Fe-M-B ESASLI SERT YÜZEY ALAŞIMLARIN ÇELİK  
YÜZEYİNDE TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE  
OLUŞTURULMASI VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Bülent KILINÇ

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 16/ 01 /2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



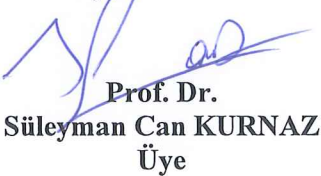
Prof. Dr.  
Cengiz KAYA  
Jüri Başkanı



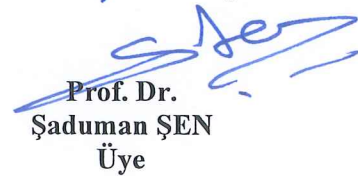
Prof. Dr.  
Figen KAYA  
Üye



Prof. Dr.  
Salim ASLANLAR  
Üye



Prof. Dr.  
Süleyman Can KURNAZ  
Üye



Prof. Dr.  
Şaduman ŞEN  
Üye

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

  
Bülent KILINÇ  
16.01.2018

## TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, araştırmanın tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden değerli danışman hocam Prof. Dr. Şaduman ŞEN'e teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme jürisinde yer alan bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ ve Prof. Dr. Salim ASLANLAR'a teşekkürlerimi sunarım. Fikirleriyle tezin oluşturulmasında büyük katkıları olan değerli hocam Prof. Dr. Uğur ŞEN'e ayrıca lisansüstü eğitimim boyunca beni teşvik eden ve yönlendiren hocalarım Prof. Dr. Şenol YILMAZ ve Yrd. Doç. Dr. Günhan BAYRAK'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Mustafa DURMAZ, Arş. Gör. Eray ABAKAY'a teşekkür ederim.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri, araştırma görevlileri ve laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim. Görev yapmakta olduğum Arifiye Meslek Yüksekokulu yöneticilerine ve bana destek veren saygıdeğer çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen ve bu aşamaya gelmemde en büyük paya sahip olan anneme, rahmetli babama ve kardeşlerime, tez çalışmam boyunca yanımda olan ve çalışmalarımı destekleyen eşim Güneş KILINÇ'a ve bu süreçte sevgilerini hissettiğim çocuklarım Hakan ve Defne'ye teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2014-50-02-013) teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ .....	xvii
ÖZET .....	xix
SUMMARY .....	xx

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
-------------	---

### BÖLÜM 2.

SERT YÜZEY ALAŞIMLAMA / KAPLAMA.....	6
2.1. Giriş.....	6
2.2. Sert Yüzey Alaşım LAMA / Kaplama Malzemeleri.....	7
2.2.1. Çelik esaslı malzemeler .....	14
2.2.1.1. Karbon çelikleri .....	14
2.2.1.2. Düşük alaşım LAMA çelikler.....	14
2.2.1.3. Martenzitik krom çelikleri.....	14
2.2.1.4. Yüksek hız çelikleri.....	15
2.2.1.5. Östenitik paslanmaz çelikler.....	15
2.2.1.6. Östenitik manganlı çelikler.....	16
2.2.1.7. Östenitik krom-manganlı çelikler.....	16
2.2.2. Demir esaslı malzemeler .....	17

2.2.2.1. Östenitik, martenzitik, yüksek kromlu ve kompleks demirler.....	17
2.2.3. Nikel esaslı malzemeler.....	18
2.2.3.1. Nikel alaşımlar.....	18
2.2.3.2. Nikel-molibden-krom-tungsten.....	18
2.2.3.3. Nikel-Krom-bor.....	19
2.2.3.4. Nikel-molibden-demir.....	19
2.2.4. Kobalt esaslı malzemeler.....	19
2.2.5. Bakır esaslı malzemeler.....	20
2.2.6. Yüksek silisyumlu malzemeler.....	20
2.2.7. Tungsten karbür esaslı malzemeler.....	21
2.2.8. Krom-bor pastalar.....	21
2.3. Kaynakla Oluşturulan Sert Yüzey Kaplama Özellikleri.....	22
2.3.1. Kaplama kalınlığı.....	22
2.3.2. Altlığa yapışma.....	22
2.4. Sert Yüzey Kaplama Yöntemleri.....	22
2.4.1. Örtülü elektrot ark kaynağı ile sert yüzey kaplama.....	24
2.4.2. TIG kaynağı ile sert yüzey kaplama.....	25
2.4.2.1. TIG kaynak yöntemi.....	25
2.4.2.2. TIG kaynağı ile sert yüzey kaplama işlemi.....	26
2.4.2.3. TIG kaynak yöntemiyle yapılan sert yüzey alaşımlama çalışmaları.....	28
2.4.3. Plazma transfer ark kaynağı ile sert yüzey kaplama.....	33
2.4.4. Metal inert /aktif gaz (Gazaltı) kaynağı ile sert yüzey kaplama	35
2.4.5. Özlü tel ark kaynağı ile sert yüzey kaplama.....	36
2.4.6. Tozaltı ark kaynağı ile sert yüzey kaplama.....	37
2.4.7. Oksi-gaz kaynağı ile sert yüzey kaplama.....	38
2.4.8. Toz kaynağı ile sert yüzey kaplama.....	39
2.4.9. Lazer ile sert yüzey kaplama.....	40
2.5. Alaşım Seçimi.....	41
2.6. Yöntem Seçimi.....	46
2.6.1. Özellik ve kalite gereksinimleri.....	46

2.6.2. İş parçasının fiziksel karakteristiği.....	48
2.6.3. Ana metalin metalürjik karakteristiği.....	49
2.6.4. Sert yüzey kaplama ürün şekilleri.....	50
2.6.5. Kaynakçı kabiliyeti.....	50
2.6.6. Maliyet.....	51
2.7. Altlık Malzeme Seçimi.....	52
2.7.1. Özel önlem gerektiren altlık malzemeler.....	52
2.7.2. Diğer altlık malzemeler.....	52
2.7.3. Gri dökme demirler.....	53
2.7.4. Beyaz dökme demirler.....	53
2.7.5. Ni- sert dökme demirler.....	53
2.8. Kaynakla Sert Yüzey Alaşım Kaplama Sırasında Karşılaşılan problemler.....	53
2.8.1. Seyrelme etkisi.....	53
2.8.2. Termal gerilmeler .....	56
2.8.3. Altlık malzeme hatalarının etkisi.....	57
2.8.4. Kaynak hataları.....	58
2.8.4.1. Çatlaklar.....	59
2.8.5. Hataların giderilmesi.....	60
2.8.5.1. Çatlaklar.....	60

### BÖLÜM 3.

BORÜRLER .....	62
3.1. Giriş .....	62
3.2. Metal Borürler.....	64
3.3. Demir Borürler.....	66
3.3.1. Demir borürlerin özellikleri .....	67
3.3.2. Demir borürler ile ilgili araştırmalar.....	69
3.4. Niyobyum Borürler.....	71
3.4.1. Niyobyum borürlerin özellikleri.....	72
3.4.2. Niyobyum borürler ile ilgili araştırmalar.....	73
3.5. Vanadyum Borürler.....	73

3.5.1. Vanadyum borürlerin özellikleri.....	75
3.5.2. Vanadyum borürler ile ilgili araştırmalar.....	76
3.6. Titanyum Borürler.....	77
3.6.1. Titanyum borürlerin özellikleri.....	78
3.6.2. Titanyum borürler ile ilgili araştırmalar.....	79

## BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIşMALAR .....	81
4.1. Giriş .....	81
4.2. Kullanılan Hammaddeler ve Altlık Malzeme .....	81
4.3. Alaşım Bileşimi ve Toz Hazırlama.....	83
4.4. Sert Yüzey Alaşımlama İşlemleri.....	87
4.5. Mikroyapı İncelemeleri.....	89
4.5.1. Optik mikroskop (OM) incelemeleri.....	89
4.5.2. SEM ve elementel analiz incelemeleri.....	90
4.6. Faz Analizleri.....	90
4.7. Sertlik Ölçümleri.....	90
4.8. Aşınma Deneyleri.....	91

## BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME.....	95
5.1. Giriş.....	95
5.2. Mikroyapı İncelemeleri ve Faz Analizleri.....	95
5.2.1. Fe-B esaslı alaşımın mikroyapı ve faz analizleri.....	96
5.2.2. Fe-Nb-B esaslı alaşımın mikroyapı ve faz analizleri.....	100
5.2.3. Fe-V-B esaslı alaşımın mikroyapı ve faz analizleri.....	108
5.2.4. Fe-Ti-B esaslı alaşımın mikroyapı ve faz analizleri.....	116
5.3. Sertlik Ölçümleri.....	126
5.3.1. Makro sertlik.....	126
5.3.2. Mikro Sertlik.....	128
5.4. Aşınma Özellikleri.....	132



5.4.1. Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı malzemeler.....	133
5.4.1.1. Sürtünme katsayısı.....	133
5.4.1.2. Aşınma izleri.....	136
5.4.1.3. Aşınma hızı.....	155
5.4.2. Fe-B ve Fe-V-B esaslı malzemeler.....	157
5.4.2.1. Sürtünme katsayısı.....	157
5.4.2.2. Aşınma izleri.....	159
5.4.2.3. Aşınma hızı.....	175
5.4.3. Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı malzemeler.....	177
5.4.1.1. Sürtünme katsayısı.....	177
5.4.2.2. Aşınma izleri.....	179
5.4.3.3. Aşınma hızı.....	195
5.4.4. Fe-B ve Fe-M-B esaslı malzemelerin aşınma özelliklerinin kıyaslanması.....	197
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	199
6.1. Sonuçlar.....	199
6.2. Öneriler.....	202
KAYNAKLAR .....	203
ÖZGEÇMİŞ .....	214

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\alpha$ -demir	: Ferrit (alpha)
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
$\delta$ -demir	: Östenit
EDH	: Elementel dağılım haritası
EDS	: Düşük yoğunluklu lipoprotein
$\gamma$ -demir	: Ferrit (delta)
GMAW	: Gaz metal ark kaynağı
GTA	: Gaz tungsten ark
HRc	: Rockwell sertlik değeri
HV	: Vickers sertlik değeri
ITAB	: Isı tesiri altında kalan bölge
$\mu$	: Sürtünme katsayısı
$\mu\text{m}$	: Mikron
OA	: Oksi asetilen
OM	: Optik mikroskop
PTA	: Plazma transfer ark
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
R	: Aşınma izi yarıçapı (mm)
SAW	: Tozaltı ark kaynağı
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SMAW	: Korumalı metal ark kaynağı
TIG	: Tungsten inert gaz
V	: Hacim kaybı ( $\text{mm}^3$ )
W	: Aşınma hızı ( $\text{mm}^3/\text{m}$ )
XRD	: X-ışını difraksiyonu

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Örtülü elektrot ark kaynak işlemi .....	25
Şekil 2.2. Gaz Tungsten ark (TIG) kaynak işlemi .....	26
Şekil 2.3. Plazma transfer ark kaynağı ile sert yüzey kaplama işleminin şematik gösterimi.....	34
Şekil 2.4. Gazaltı kaynak işlemi .....	35
Şekil 2.5. Lazer kaynağı ile kaplama işleminin şematik gösterimi.....	41
Şekil 2.6. Seyrelmenin Fe-28Cr-4Mo-0.4Mn-4.6C sert kaplama mikroyapısı üzerindeki etkileri .....	47
Şekil 2.7. Katılaşma ve soğuma sırasında kaynak metalinin büzülmesi.....	56
Şekil 2.8. Kaynak dikişi boyunca oluşan kalıntı çatlaklar.....	57
Şekil 3.1. Fe-B ikili denge diyagramı.....	68
Şekil 3.2. Nb-B ikili denge diyagramı.....	72
Şekil 3.3. V-B ikili denge diyagramı.....	75
Şekil 3.4. Ti-B ikili denge diyagramı.....	79
Şekil 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan altlığın şekil ve boyutları.....	82
Şekil 4.2. Deneysel çalışma programı.....	83
Şekil 4.3. Fe-Nb-B 'nin 800°C'deki atomik oranda izotermal denge diyagramı (A) Fe <sub>12</sub> NbB <sub>7</sub> ; (B) Fe <sub>11</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>7</sub> ; (C) Fe <sub>10</sub> Nb <sub>3</sub> B <sub>7</sub> ; (D) Fe <sub>9</sub> Nb <sub>4</sub> B <sub>7</sub> .....	85
Şekil 4.4. Fe-V-B 'nin 800°C'deki atomik oranda izotermal denge diyagramı (A) Fe <sub>12</sub> VB <sub>7</sub> ; (B) Fe <sub>11</sub> V <sub>2</sub> B <sub>7</sub> ; (C) Fe <sub>10</sub> V <sub>3</sub> B <sub>7</sub> ; (D) Fe <sub>8</sub> V <sub>5</sub> B <sub>7</sub> .....	86
Şekil 4.5. Fe-Ti-B 'nin 1000oC'deki atomik oranda izotermal denge diyagramı (A) Fe <sub>12</sub> TiB <sub>7</sub> ; (B) Fe <sub>11</sub> Ti <sub>2</sub> B <sub>7</sub> ; (C) Fe <sub>10</sub> Ti <sub>3</sub> B <sub>7</sub> ; (D) Fe <sub>8</sub> Ti <sub>5</sub> B <sub>7</sub> .....	87
Şekil 4.6. Sert yüzey alaşımlama işleminin akış şeması.....	88
Şekil 4.7. (a) Rockwell (HRC) (b) Vickers sertlik ölçümlerinin şematik gösterimi	91
Şelik 4.8. Aşınma deneylerinde kullanılan ball-on disk aşınma cihazı ve ekipmanları.....	92

Şekil 4.9. Aşınma deneyleri sonrasında elde edilen (a) aşınma profilli, (b) kesit alan grafiği.....	93
Şekil 4.10. Aşınmaya maruz kalan numunenin şematik gösterimi.....	94
Şekil 5.1. Fe-M-B esaslı malzemelerin mikroyapı ve faz analizleri incelemeleri akış şeması.....	96
Şekil 5.2. Fe-B esaslı alaşım tabakasının mikroyapı değişimlerinin sıcaklığa bağlı olarak şematik gösterimi .....	97
Şekil 5.3. Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) optik, (d-f) SEM mikroyapı.....	98
Şekil 5.4. Fe-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliğin x-ışını difraksiyon paterni..	98
Şekil 5.5. Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a)SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları.....	99
Şekil 5.6. Fe-Nb-B esaslı alaşım tabakasının Nb oranına bağlı olarak mikroyapı değişimlerinin şematik gösterimi.....	100
Şekil 5.7. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c) Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub> ; (d-f) Fe <sub>12</sub> NbB <sub>7</sub> ; (g-i) Fe <sub>11</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>7</sub> ; (j-l) Fe <sub>10</sub> Nb <sub>3</sub> B <sub>7</sub> ; (m-o) Fe <sub>9</sub> Nb <sub>4</sub> B <sub>7</sub> .....	102
Şekil 5.8. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının SEM görüntüleri (a-c) Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub> ; (d-f) Fe <sub>12</sub> NbB <sub>7</sub> ; (g-i) Fe <sub>11</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>7</sub> ; (j-l) Fe <sub>10</sub> Nb <sub>3</sub> B <sub>7</sub> ; (m-o) Fe <sub>9</sub> Nb <sub>4</sub> B <sub>7</sub> .....	103
Şekil 5.9. Fe <sub>12</sub> NbB <sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları..	104
Şekil 5.10. Fe <sub>11</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları..	105
Şekil 5.11. Fe <sub>10</sub> Nb <sub>3</sub> B <sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları..	106
Şekil 5.12. Fe <sub>9</sub> Nb <sub>4</sub> B <sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları..	107
Şekil 5.13. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin x-ışınları difraksiyon paterni.....	108

Şekil 5.14. (a) $Fe_{12}VB_7$ ve $Fe_{11}V_2B_7$ (b) $Fe_{10}V_3B_7$ ve $Fe_8V_5B_7$ alaşım tabakaları için V oranına bağlı olarak mikroyapı değişimlerinin şematik gösterimi.....	108
Şekil 5.15. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c) $Fe_{13}B_7$ ; (d-f) $Fe_{12}VB_7$ ; (g-i) $Fe_{11}V_2B_7$ ; (j-l) $Fe_{10}V_3B_7$ ; (m-o) $Fe_8V_5B_7$ .....	110
Şekil 5.16. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının SEM görüntüleri (a-c) $Fe_{13}B_7$ ; (d-f) $Fe_{12}VB_7$ ; (g-i) $Fe_{11}V_2B_7$ ; (j-l) $Fe_{10}V_3B_7$ ; (m-o) $Fe_8V_5B_7$ .....	111
Şekil 5.17. $Fe_{12}VB_7$ numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları..	112
Şekil 5.18. $Fe_{11}V_2B_7$ numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları..	113
Şekil 5.19. $Fe_{10}V_3B_7$ numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları..	114
Şekil 5.20. $Fe_8V_5B_7$ numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları..	115
Şekil 5.21. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin x-ışınları difraksiyon paterni.....	116
Şekil 5.22. Fe-Ti-B esaslı alaşım tabakasının Ti oranına bağlı olarak mikroyapı değişimlerinin şematik gösterimi.....	117
Şekil 5.23. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c) $Fe_{13}B_7$ ; (d-f) $Fe_{12}TiB_7$ ; (g-i) $Fe_{11}Ti_2B_7$ ; (j-l) $Fe_{10}Ti_3B_7$ ; (m-n) $Fe_8Ti_5B_7$ .....	119
Şekil 5.24. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının SEM görüntüleri (a-c) $Fe_{13}B_7$ ; (d-f) $Fe_{12}TiB_7$ ; (g-i) $Fe_{11}Ti_2B_7$ ; (j-l) $Fe_{10}Ti_3B_7$ ; (m-o) $Fe_8Ti_5B_7$ .....	120
Şekil 5.25. $Fe_{12}TiB_7$ numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları..	121
Şekil 5.26. $Fe_{11}Ti_2B_7$ numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları..	122

Şekil 5.27. Fe <sub>10</sub> Ti <sub>3</sub> B <sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-d) EDS analizleri ve (e-h) elementel dağılım haritaları.....	123
Şekil 5.28. Fe <sub>8</sub> Ti <sub>5</sub> B <sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-h) EDS analizleri ve (i-l) elementel dağılım haritaları	124
Şekil 5.29. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin x-ışınları difraksiyon paterni.....	125
Şekil 5.30. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin makro sertlik değerleri.....	127
Şekil 5.31. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin makro sertlik değerleri.....	128
Şekil 5.32. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin makro sertlik değerleri.....	128
Şekil 5.33. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin faz sertlik değerleri	131
Şekil 5.34. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin faz sertlik değerleri.	131
Şekil 5.35. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin faz sertlik değerleri.	132
Şekil 5.36. Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub> sert yüzey alaşım tabakasına ait sürtünme katsayılarının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi.....	134
Şekil 5.37. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait sürtünme katsayılarının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi.....	135
Şekil 5.38. 2,5N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c) Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub> ; (d-f) Fe <sub>12</sub> NbB <sub>7</sub> ; (g-i) Fe <sub>11</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>7</sub> ; (j-l) Fe <sub>10</sub> Nb <sub>3</sub> B <sub>7</sub> ; (m-o) Fe <sub>9</sub> Nb <sub>4</sub> B <sub>7</sub> .....	137
Şekil 5.39. 5N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c) Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub> ; (d-f) Fe <sub>12</sub> NbB <sub>7</sub> ; (g-i) Fe <sub>11</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>7</sub> ; (j-l) Fe <sub>10</sub> Nb <sub>3</sub> B <sub>7</sub> ; (m-o) Fe <sub>9</sub> Nb <sub>4</sub> B <sub>7</sub> .....	138
Şekil 5.40. 10N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c) Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub> ; (d-f) Fe <sub>12</sub> NbB <sub>7</sub> ; (g-i) Fe <sub>11</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>7</sub> ; (j-l) Fe <sub>10</sub> Nb <sub>3</sub> B <sub>7</sub> ; (m-o) Fe <sub>9</sub> Nb <sub>4</sub> B <sub>7</sub> .....	139
Şekil 5.41. 2,5 N yük altında Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bilye ile aşındırılmış Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub> sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri.	140

Şekil 5.42. 5 N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{13}B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri.....	141
Şekil 5.43. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{13}B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri.	142
Şekil 5.44. 2,5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{12}NbB_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri.....	143
Şekil 5.45. 5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{12}NbB_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri.....	144
Şekil 5.46. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{12}NbB_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri.....	145
Şekil 5.47. 2,5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{11}Nb_2B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	146
Şekil 5.48. 5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{11}Nb_2B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri.....	147
Şekil 5.49. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{11}Nb_2B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri.....	148
Şekil 5.50. 2,5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{10}Nb_3B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri.....	149
Şekil 5.51. 5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{10}Nb_3B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	150
Şekil 5.52. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{10}Nb_3B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri.....	151

Şekil 5.53. 2,5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_9Nb_4B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri.....	152
Şekil 5.54. 5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_9Nb_4B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri.....	153
Şekil 5.55. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_9Nb_4B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri.....	154
Şekil 5.56. Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasının yük ve bileşim değişimine bağlı olarak elde edilen aşınma profilleri.....	155
Şekil 5.57. Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızlarının yüke bağlı olarak değişimi.....	156
Şekil 5.58. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait sürtünme katsayılarının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi.....	158
Şekil 5.59. 2,5N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-V-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c) $Fe_{13}B_7$ ; (d- f) $Fe_{12}VB_7$ ; (g-i) $Fe_{11}V_2B_7$ ; (j-l) $Fe_{10}V_3B_7$ ; (m-o) $Fe_8V_5B_7$ .....	160
Şekil 5.60. 5N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-V-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c) $Fe_{13}B_7$ ; (d- f) $Fe_{12}VB_7$ ; (g-i) $Fe_{11}V_2B_7$ ; (j-l) $Fe_{10}V_3B_7$ ; (m-o) $Fe_8V_5B_7$ .....	161
Şekil 5.61. 10N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-V-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c) $Fe_{13}B_7$ ; (d- f) $Fe_{12}VB_7$ ; (g-i) $Fe_{11}V_2B_7$ ; (j-l) $Fe_{10}V_3B_7$ ; (m-o) $Fe_8V_5B_7$ .....	162
Şekil 5.62. 2,5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{12}VB_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	163
Şekil 5.63. 5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{12}VB_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	164



Şekil 5.64. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{12}VB_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri.....	165
Şekil 5.65. 2,5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{11}V_2B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri.....	166
Şekil 5.66. 5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{11}V_2B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri.....	167
Şekil 5.67. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{11}V_2B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	168
Şekil 5.68. 2,5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{10}V_3B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	169
Şekil 5.69. 5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{10}V_3B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	170
Şekil 5.70. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{10}V_3B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	171
Şekil 5.71. 2,5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_8V_5B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	172
Şekil 5.72. 5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_8V_5B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri.....	173
Şekil 5.73. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_8V_5B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	174
Şekil 5.74. Fe-B ve Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasının yük ve bileşim değişimine bağlı olarak elde edilen aşınma profilleri.....	175

Şekil 5.75. Fe-B ve Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızlarının yüke bağlı olarak değişimi.....	176
Şekil 5.76. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait sürtünme katsayılarının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi.....	178
Şekil 5.77. 2,5N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c) $Fe_{13}B_7$ ; (d-f) $Fe_{12}TiB_7$ ; (g-i) $Fe_{11}Ti_2B_7$ ; (j-l) $Fe_{10}Ti_3B_7$ ; (m-o) $Fe_8Ti_5B_7$ .....	180
Şekil 5.78. 5N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c) $Fe_{13}B_7$ ; (d-f) $Fe_{12}TiB_7$ ; (g-i) $Fe_{11}Ti_2B_7$ ; (j-l) $Fe_{10}Ti_3B_7$ ; (m-o) $Fe_8Ti_5B_7$ .....	181
Şekil 5.79. 10N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c) $Fe_{13}B_7$ ; (d-f) $Fe_{12}TiB_7$ ; (g-i) $Fe_{11}Ti_2B_7$ ; (j-l) $Fe_{10}Ti_3B_7$ ; (m-o) $Fe_8Ti_5B_7$ .....	182
Şekil 5.80. 2,5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{12}TiB_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	183
Şekil 5.81. 5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{12}TiB_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri.....	184
Şekil 5.82. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{12}TiB_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	185
Şekil 5.83. 2,5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{11}Ti_2B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri.....	186
Şekil 5.84. 5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{11}Ti_2B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	187
Şekil 5.85. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{11}Ti_2B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	188

Şekil 5.86. 2,5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{10}Ti_3B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	189
Şekil 5.87. 5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{10}Ti_3B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	190
Şekil 5.88. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_{10}Ti_3B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri.....	191
Şekil 5.89. 2,5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_8Ti_5B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri.....	192
Şekil 5.90. 5N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_8Ti_5B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	193
Şekil 5.91. 10N yük altında $Al_2O_3$ bilye ile aşındırılmış $Fe_8Ti_5B_7$ sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri.....	194
Şekil 5.92. Fe-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasının yük ve bileşim değişimine bağlı olarak elde edilen aşınma profilleri.....	195
Şekil 5.93. Fe-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızlarının yüke bağlı olarak değişimi.....	196
Şekil 5.94. FeMB (M: en düşük Nb, V ve Ti oranı) esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının yüke bağlı olarak aşınma hızlarının değişimi.....	198
Şekil 5.95. FeMB (M: en yüksek Nb, V ve Ti oranı) esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının yüke bağlı olarak aşınma hızlarının değişimi.....	198

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kaynak ve ilgili uygulama prosesleri için kullanılan sarf malzemelerinin özeti .....	8
Tablo 2.2. Sert kaplama malzemelerinin sınıflandırılması.....	9
Tablo 2.3. Ark kaynağı yüzey hazırlama işlemleri.....	23
Tablo 2.4. Diğer füzyon ve dövme kaynak işlemleri.....	24
Tablo 2.5. Sert yüzey kaplama prosesleri ve dolgu malzeme ürün şekilleri.....	41
Tablo 2.6. Sert yüzey kaplama alaşımları için malzeme seçimi.....	43
Tablo 3.1. Bor elementinin özellikleri.....	62
Tablo 3.2. Bazı refrakter borürlerin fiziksel özellikleri.....	65
Tablo 3.3. Bazı borürlerin sertlik değerleri ve kristal yapıları.....	66
Tablo 3.4. Demir elementinin özellikleri.....	67
Tablo 3.5. Fe <sub>2</sub> B ve FeB fazlarının özellikleri.....	69
Tablo 3.6. Niyobyum elementinin özellikleri.....	71
Tablo 3.7. Vanadyum elementinin özellikleri.....	74
Tablo 3.8. Titanyum elementinin özellikleri.....	78
Tablo 4.1. Kullanılan tozların bileşimleri (Ağırlıkça).....	81
Tablo 4.2. Altlık malzemenin kimyasal bileşimi.....	82
Tablo 4.3. Fe-M-B (M: Nb,V,Ti) esaslı yüzey alaşımlamaya ait hazırlanan tozların bileşim oranları.....	84
Tablo 4.4. TIG kaynağı kaplama parametreleri.....	89
Tablo 5.1. Sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin makro sertlik değerleri.....	126
Tablo 5.2. Sert yüzey alaşım yapılmış çeliklerin faz sertlik değerleri (HV).....	130
Tablo 5.3. Aşınma test parametreleri.....	133
Tablo 5.4. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının sürtünme katsayısı değerleri.....	134

Tablo 5.5. Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızlarının uygulanan yüke bağlı olarak değişimi.....	156
Tablo 5.6. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının sürtünme katsayısı değerleri.....	157
Tablo 5.7. Fe-B ve Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızlarının uygulanan yüke bağlı olarak değişimi.....	176
Tablo 5.8. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının sürtünme katsayısı değerleri.....	177
Tablo 5.9. Fe-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızlarının uygulanan yüke bağlı olarak değişimi.....	196

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Aşınma, sert yüzey alaşımlama, sertlik, tungsten inert gaz,

Bu çalışmada, Fe-B, Fe-Nb-B, Fe-V-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlarının SAE 1320 çelik altlık yüzeyinde tungsten inert gaz (TIG) kaynak yöntemiyle oluşturulması amaçlanmıştır. Elde edilen sert yüzey alaşım tabakalarının özellikleri incelenmiştir.

Bu amaçla ilk aşamada öğütme ve eleme işlemlerinden geçirilen ferro-bor, ferro-niyobyum, ferro-vanadyum, ferro-titanyum ve saf demir tozları farklı oranlarda bilyeli değirmende 2 saat süreyle döndürülerek karıştırılmıştır. Farklı bileşimlerde hazırlanan toz karışımları basınç altında önceden yüzeyi temizlenmiş çelik altlık üzerine preslenerek, TIG kaynak tekniği ile ergitilerek üretim gerçekleştirilmiştir.

İkinci aşamada ise farklı bileşimlerde ve oranlarda elde edilen Fe-M-B (M: Nb, V ve Ti) esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının; mikroyapı incelemeleri ve faz analizleri ayrıca sertlik ölçümleri (makro ve mikro seviyede) ve aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Fe-M-B (M: Nb, V ve Ti) esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının; mikroyapı incelemelerinde yapının  $\alpha$ -Fe,  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B ötekliği ve Nb, V ve Ti esaslı borülerden oluştuğu görülmüştür. Yapılan faz analizleri sonucunda alaşım tabakalarında  $\alpha$ -Fe, Fe<sub>2</sub>B, FeNbB, VB, V<sub>3</sub>B<sub>4</sub>, Fe<sub>4</sub>V, TiB<sub>2</sub> ve Fe<sub>2</sub>Ti fazlarının varlığı tespit edilmiştir. Elde edilen yüzey alaşımlarının sertliklerinin 42,3-60,7 HRC (makro sertlik) ve 369-4272 Hv (mikrosertlik) arasında değişen değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Farklı yüklerde yapılan aşınma deneyleri sonucunda aşınma hızının  $7,85 \times 10^{-5}$  mm<sup>3</sup>/m değeri ile Fe-Ti-B esaslı alaşımda en düşük değere ulaştığı görülmüştür.

# FORMATION AND EXAMINATION OF Fe-M-B BASED HARD SURFACE ALLOYS PROPERTIES ON STEEL SURFACES BY TIG WELDING METHOD.

## SUMMARY

Keywords: Wear, hardfacing, hardness, tungsten inert gas

In this study, it is aimed to form the Fe-B, Fe-Nb-B, Fe-V-B and Fe-Ti-B based hard surface alloys on SAE 1320 steel substrate surface by tungsten inert gas (TIG) welding method. The properties of the hard surface alloy plates were investigated.

For this purpose, ferro-boron, ferro-niobium, ferro-vanadium, ferro-titanium and pure iron powders which have been subjected to grinding and sieving processes at the first stage were mixed in ball mills for 2 hours at different ratios. Powder mixtures prepared in different compositions were pressed on a steel substrate which had previously been pre-cleaned the surface under pressure, production was carried out melting by TIG welding technique.

In the second stage, the Fe-M-B (M: Nb, V and Ti) based hard surface alloy plates obtained in different compositions and ratios were also performed microstructure analyzes and phase analyzes as well as hardness measurements (at macro and micro level) and wear tests.

In the microstructure studies have shown that structure of Fe-M-B based hard surface alloy plates (M: Nb, V and Ti) consist of  $\alpha$ -Fe,  $\alpha$ -Fe + Fe<sub>2</sub>B eutectic and the Nb, V and Ti based borides. As a result of the phase analysis, the existence of  $\alpha$ -Fe, Fe<sub>2</sub>B, FeNbB, VB, V<sub>3</sub>B<sub>4</sub>, Fe<sub>4</sub>V, TiB<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>Ti phases was determined in alloy plates. The hardnesses of the obtained surface alloys were determined to have values ranging from 42,3-60,7 HRc (macro hardness) and 369-4272 Hv (microhardness). As a result of the wear tests carried out at different loads, it was found that the rate of the wear reached the lowest rate with the  $7,85 \times 10^{-5}$  mm<sup>3</sup>/m values in Fe-Ti-B based alloy.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanoğlu ilk çağlardan günümüze kadar malzemeleri dekoratif açıdan çekici kılmayı ve onlara yeni mühendislik özellikler kazandırmayı amaçlamıştır. Bu sebeple malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirmeye çalışmıştır [1]. Bir malzemenin çevresiyle olan etkileşimi yüzey üzerinden gerçekleşmekte ve bu etkileşimin sonucu olarak malzemeye atfedilen özellikler büyük ölçüde yüzey tarafından belirlenmektedir [2]. Çoğu zaman malzemelerin yüzeyinde, toplam kalınlığının yalnızca % 1-2'sini değiştiren elde edilen özellikler ile performanslarını önemli ölçüde geliştirmek mümkün olmaktadır [3].

Günümüz teknolojisindeki gelişmeler ve artan ihtiyaçlar, özellikle korozyon ve aşınma problemlerine çözüm üretmek için son yıllarda yüzey mühendisliği kavramını ortaya çıkarmış olup endüstriyel alanlarda da geniş uygulama alanı bulmuştur [4,5]. Aslında zamanın başlangıcından, 70'li yılların başlarına kadar insanlık, kavramın farkında olmamasına rağmen, yüzey mühendisliğini geliştirmeye çalışmıştır. Yüzey mühendisliği kavramı, hem teknolojik hem de nihai kullanım için yüzey tabakalarının tasarımında, imalatında, araştırılmasında ve kullanılmasında amaçlanan araştırma ve teknik faaliyetlerin toplam alanını kapsayan bir bilim disiplini olarak kullanılmaktadır [6]. Yüzey işlemleriyle malzemenin sertlik, süneklik, yorulma, sürtünme ve aşınma, oksidasyon ve korozyon, ısıl ve darbesel şok gibi mekanik ve tribolojik özelliklerinin geliştirilmesi mümkündür [4,5]. Özellikle otomobil, petrokimya, gıda işleme, nükleer vb. alanlarda, yüzey özelliklerinin geliştirilmesinin gerekli olduğu uygulamaların listesi sınırsızdır. Bu sebeple son yıllarda, yüzey mühendisliğinin önemi büyük ölçüde artmıştır [3].

Aşınmaya veya korozyona dirençli bir tabaka elde etmek amacıyla uygulanan yüzey işlemlerini, yüzey dönüşüm ve kaplama işlemleri olarak iki sınıfa ayırmak



mümkündür. Yüzey dönüşüm işlemi, yüzeyin içyapısı ve/veya kimyasının değiştirilmesi ile gerçekleştirilirken; yüzey kaplamada ise, metal yüzeyine bir element veya bileşiğin biriktirilerek bir tabaka oluşturulması söz konusudur [7,8].

Karbürleme [9], nitrürleme [10], karbonitrürleme [11] ve borlama [12] gibi yöntemler yüzey dönüşüm işlemlerine ait örnekler olup fiziksel buhar biriktirme (PVD) [13], kimyasal buhar biriktirme (CVD) [14], Sol-gel [15,16] elektrolitik [17] ve ergitme esaslı [18] yöntemler ise kaplama sınıfına ait olan yüzey işlemleridir.

Ergitme esaslı yöntemler içerisinde yer alan yüzey alaşımlama/kaplama, kaynak teknolojisine uygulandığı haliyle, alttaki ana metalin kendisinde bulunmayan bazı istenen özelliklerin yüzeyde bulunması için bir altlık üzerine bir dolgu metalinin biriktirilmesi işlemidir [19]. Bu işlem, tungsten inert gaz (TIG) [20] veya gaz tungsten ark (GTA) [21], plazma transferli ark (PTA) [22] oksiasetlen (OA), gaz metal ark (GMA), korumalı metal ark (SMA) ve toz altı ark (SA) [23] gibi kaynak teknikleri ile gerçekleştirilir.

Bu teknikler arasında yüksek biriktirme oranı, yüksek manevra kabiliyeti büyük ölçekli kullanılabilirlik, düşük maliyet ve çok çeşitli malzemeler ile uyumluluk gibi avantajlarla TIG kaynak tekniği önemli bir yere sahiptir [24-27]. Bu bakımdan TIG kaynak işlemi ile arzu edilen bir bileşime sahip toz ve altlık malzemesinin yüzeyi eş zamanlı olarak ergitilir ve katılma ile ana malzemeye metalürjik olarak bağlanmış bir alaşım tabakası oluşturulur [28]. Yüzey hazırlamanın birkaç türü vardır: sert yüzey alaşımlama (hardfacing), dolgu kaplama (buildup), koruyucu kaplama (weld cladding) ve kademeli kaplama (buttering) [19,29].

Sert yüzey alaşımlama, aşınmayı, abrazyonu, darbeyi, erozyonu, kalkmayı veya kaviteasyonu azaltmak amacıyla uygulanan bir yüzey kaplama biçimidir. Sert yüzey alaşımları oksijen-gaz kaynağı, çeşitli ark kaynak yöntemleri, lazer kaynağı ve termal sprey prosesleri ile biriktirilebilir.

Dolgu kaplama terimi, iş parçasının istenilen boyutlara getirilmesi için kaynak metalinin bir ana metal yüzeyine ilavesi anlamına gelir. Dolgu kaplama alaşımları genel olarak aşınma direncini arttırmak için değil, aşınmış kısmı orijinal boyutlarına geri getirmek veya gerçek sert yüzey kaplama malzemelerinin sonraki katmanları için yeterli desteği sağlamak için tasarlanmıştır.

Koruyucu kaplama, korozyona dirençli bir yüzey sağlamak amacıyla düşük karbonlu veya düşük alaşımlı çelik esaslı metaller üzerine uygulanan nispeten kalın bir metal dolgu tabakasıdır. Koruyucu kaplama, normal olarak, ark kaynağı ile gerçekleştirilir. Bununla birlikte, kaplama katı hal kaynak işlemleri ve vakumlu sert lehimleme yoluyla da gerçekleştirilebilir

Kademeli kaplama, aynı zamanda, bir veya daha fazla sayıda kaynak metalinin, kaynak yapılacak yüzeye veya birleştirme yüzeyine uygulanan bir kaplama yöntemidir. Kademeli kaplamanın birincil amacı bazı metalürjik özellikleri yerine getirmektir. Öncelikle farklı metal esaslı malzemelerin birleştirilmesi için kullanılır [19].

Sert yüzey aşınma malzemeleri, istenen yüksek aşınma direnci sebebiyle çok çeşitli alaşımlar, karbürler ve borürler gibi yüksek sertlik özelliklerine sahip malzemeleri veya bu malzemelerin kombinasyonlarını içerir [30]. Metal borürler, yüksek ergime sıcaklıkları, yüksek sertlik değerleri, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, korozyon direnci, iyi aşınma direnci ve termal şok direnci [31] gibi özellikler nedeniyle sert yüzey aşınma malzemesi olarak ilgi çekicidir. Son yıllarda endüstriyel parçaların sertlik ve aşınma direncini artırmak için bor katkılı sert yüzey alaşımları üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır [32-34].

Demir borürler, seramik malzemelerin yüksek sertlik ve metalik malzemelerin termal ve elektriksel iletkenlik gibi genel özelliklerini bir arada bulunduran bileşiklerdir [35]. İkili denge diyagramına göre, demir ile bor arasında  $Fe_2B$  ve  $FeB$  bileşikleri oluşmaktadır. Demir borür kaplamaların çok düşük aşınma ve yüksek sürtünme gibi

tribolojik özelliklere sahip olması fren malzemeleri olarak kullanışlı olabileceği fikrini desteklemektedir. [20].

Niyobyum borürler, yüksek ergime sıcaklığı, yüksek mukavemet, yüksek termal ve elektrik iletkenliği ve iyi kimyasal kararlılık gibi mükemmel özelliklerine bağlı olarak, yüksek sıcaklık yapısal uygulamaları için potansiyel aday malzemeler olarak bilinir [36,38]. Niyobyum-bor faz diyagramı incelendiğinde,  $Nb_3B_2$ ,  $NbB$ ,  $Nb_5B_6$ ,  $Nb_3B_4$ , ve  $NbB_2$  bileşimler görülmektedir. Bu bileşimler arasında  $NbB_2$  (AlB<sub>2</sub> tipi, Altıgen) yüksek ergime noktasına, yüksek sertliğe, yüksek elektrik iletkenliğine ve süperiletkenlik gibi özelliklere sahip olmasıyla ayrı bir öneme sahiptir [39].

Vanadyum, VB,  $V_2B_3$  vb. gibi kararlı borürler oluşturan elementler olup Zr, Ti ve Cr borürler gibi yüksek ergime sıcaklığına, yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahiptir [40]. V-B ikili faz diyagramına göre,  $V_3B_2$ , VB,  $V_5B_6$ ,  $V_3B_4$ ,  $V_2B_3$  ve  $VB_2$ 'yi içeren altı borür fazı vardır. Yüzey koruma elemanları ve aşınmaya dirençli malzemeler için kullanılan vanadyum borürler, son derece yüksek deşarj kapasitesi nedeniyle alkalın piller için anot malzemesi olarak kullanım için umut vaat etmektedir [41,42].

Titanyum borürler, yüksek ergime noktası, sertlik, aşınma direnci ve elektrik iletkenliği gibi pek çok avantaja sahiptirler. Titanyum-bor ikili faz diyagramında  $TiB$ ,  $Ti_3B_4$  ve  $TiB_2$  gibi bileşikler yer almaktadır [43].  $TiB_2$  yüksek ergime sıcaklığı, düşük yoğunluğu, iyi termal ve kimyasal kararlılığı ve yüksek sertliği nedeniyle demir ve çelik matrisli in-situ ile sentezlenmiş seramik takviyeli kompozitlerde yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur [44]. Titanyum borürlerin potansiyel uygulama alanları, darbe dirençli zırhlar, kesici aletler, aşınmaya dirençli parçalar, tane arındırıcı ve her türlü yüksek sıcaklık yapısal malzemeleri olmak üzere oldukça geniştir. Buna ek olarak, yüksek elektrik iletkenliği titanyum borürlerin elektrik boşaltma işleminde kullanılmasını sağlar. Bu nedenle son yıllarda bu borürler üzerinde daha fazla deneysel ve teorik araştırmalar yapılmaya başlanmıştır [43].

Son dönemlerde, ergitme esaslı yöntemler ile gelişen yüzey alaşımlama çalışmaları da dikkate alınarak, Fe-M-B (M: Nb, V ve Ti) tozlarının TIG kaynağı ile sert yüzey

alaşımın uygulanması sonucunda malzemenin aşınma özelliklerini olumlu şekilde etkileyeceği düşünülmüştür. Bu amaçla düşük karbonlu SAE 1320 çeliğinin, TIG kaynak yöntemiyle yüzey özellikleri değiştirilerek, mikro yapıda oluşacak çeşitli fazların, malzemenin sertliğine, abrasif ve adhesiv aşınma davranışlarına olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada, sanayide yaygın bir kullanım alanına sahip SAE 1320 çelik altlık yüzeyinde, tungsten inert gaz kaynak tekniği kullanılarak Fe-B, Fe-Nb-B, Fe-V-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlarının oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla çelik yüzeyinde elde edilen sert yüzey alaşım tabakasının mikroyapı, faz analizi, sertlik ve aşınma özellikleri incelenmiştir.

Mikroyapı incelemeleri, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM), EDS ve x-ışını elementel dağılım haritaları ile yapılmıştır. Oluşan fazların analizleri, x-ışınları difraktometresi kullanılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Yüzeyde oluşturulan sert alaşım tabakasının sertliği, dış yüzeylerden makro sertlikleri, mikro yapı incelemeleri için hazırlanmış yüzeylerden mikro sertlikleri alınarak gerçekleştirilmiştir. Sert yüzey alaşımlanmış numunelerin aşınma deneyleri, ball on disk metoduyla ASTM G-99 standardına uygun olan tribometre cihazında yapılmıştır. Aşınma deneyleri sonrasında, aşınma profilinden elde edilen ve kesit alan grafiğinden hesaplanan alanlar kullanılarak alaşımlanmış çelikte oluşan aşınma hızı değerleri belirlenmiştir.

## **BÖLÜM 2. SERT YÜZEY ALAŞIMLAMA / KAPLAMA**

### **2.1. Giriş**

Sert yüzey alaşımlama, tarım aletlerinin, maden işletme bileşenlerinin, toprak hazırlama ekipmanlarının ve diğer makine bileşenlerinin yüzey özelliklerini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan bir yüzey kaplama biçimidir [19,45]. Bu işlem, altlık malzemenin süneklik ve tokluğunda belirgin bir kayıp olmaksızın sertliğini ve aşınma direncini arttırmak amacıyla yapılır. Bu yöntemle, bir alaşım yumuşak bir malzeme (genellikle düşük ve orta karbonlu çelikler) yüzeyine çeşitli kaynak teknikleri ile homojen olarak biriktirilir [45].

Sert yüzey alaşımlama için oksiasetilen gaz (OA), gaz tungsten ark (GTA) veya tungsten inert gaz (TIG) kaynağı, toz altı ark (SA) ve plazma transfer ark (PTA) gibi çeşitli kaynak teknikleri kullanılabilir. Bu teknikler arasındaki en önemli farklar; kaynak verimliliği, kaynak plakası seyrelme oranı ve kaynak sarf malzemelerinin üretim maliyetidir [45,46].

Kaynak yöntemleriyle uygulanan sert yüzey alaşımlama, makine parçalarının onarılması için de kullanılabilir. Örneğin; raylar, türbin bıçakları, ekskavatör kepçe dişleri ve maden endüstrisinde kullanılan taşıyıcılar gibi, metalik parçaların yenilenmesi yerine onarımı genellikle daha ucuz ve daha hızlıdır ayrıca yedek parça stoğuna gerek kalmaz. Altta bulunan malzeme daha yüksek tokluğa sahip olmakla birlikte, bir yüzeyin sert olması gerekebilir. Bu gibi durumlarda, zor yüzey katmanını, otomatik kaynak ekipmanı ya da manuel olarak, koşullara ve yapılacak kaynak miktarına bağlı olarak ergitme yoluyla gerçekleştirilen sert yüzey kaplama yaygın bir uygulamadır [47].

Aşınma kontrolü için sert yüzey kaplama uygulamaları, kaya parçalama ve pulverizleme gibi oldukça zorlu abrasif aşınmanın olduğu koşullardan, 0,001 inç'lik aşınmanın kaçınılmaz olduğu kontrol valfleri gibi metalden metale temasla aşınmanın en aza indirildiği uygulamalara kadar geniş bir yelpazede çeşitlenmektedir. Sert yüzey kaplama; haddeleme çekiçleri, kazma aletleri, ekstrüzyon vidaları, kesme makasları, hafriyat makinelerinin parçaları, bilyeli değirmenler ve kırıcı parçaları gibi ortamlarda karşılaşılan abrazif aşınmayı kontrol etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca kontrol valfleri, traktörlerin ve kepçelerin alt parçaları ve yüksek performans mil yatakları gibi yağlanmamış veya çok az yağlanmış, metalden metale kaymalı temasın olduğu durumlarda da kullanılmaktadır. Sert yüzey kaplama ayrıca çamur contaları, sabanlar, gıda endüstrisinde kullanılan bıçaklar, korozif sıvı veya bulamaç taşıyan valf ve pompalarda karşılaşılan korozyon ve aşınmanın aynı anda olduğu durumları kontrol etmek için de kullanılmaktadır. Birçok örnekte, sade karbonlu çelikten veya paslanmaz çelikten yapılmış bölgelerde malzemeler istenen aşınma direncini kendileri sağlayamazlar. Sert kaplama alaşımları orijinal ekipmanın kritik aşınma bölgelerine veya aşınmış parçaların düzeltilmesi esnasında yüzeye uygulanır [19].

## **2.2. Sert Yüzey Alaşımlama / Kaplama Malzemeleri**

Kaynak yüzeyinde kullanılan çoğu malzeme 200 HV'den daha yüksek sertlik değerlerine sahiptir ve bu nedenle genellikle sert kaplama veya sert yüzey kaplama alaşımları olarak adlandırılırlar [30]. Kaynak kaplamaları olarak da adlandırılan geleneksel sert yüzey alaşımlama malzemeleri genel olarak çelikler veya düşük alaşımlı ferro malzemeler, yüksek alaşımlı ferro malzemeler, karbürler, nikel esaslı alaşımlar veya kobalt esaslı alaşımlar olarak sınıflandırılabilirler. Bakır esaslı alaşımların bir kaçı bazen sert kaplama uygulamalarında kullanılmakla beraber çoğu zaman sert yüzey kaplama alaşımları demir, nikel ya da kobalt esaslıdır [19]. Sert yüzey alaşımlama malzemelerinin çeşitliliği nedeniyle bu malzemeleri gruplara ayırmak uygundur. Buna örnek olarak British Steel tarafından geliştirilen Tablo 2.1. ve 2.2.'de verilen sistem gösterilebilir. Bu tablo, sert yüzey alaşımlama malzemelerin bileşimlerini ve en önemli kullanım alanlarını detaylı olarak vermektedir [30].

Tablo 2.1. Kaynak ve ilgili uygulama prosesleri için kullanılan sarf malzemelerinin özeti [30]

Grup	Tür	Kaynak kaplama metodu							Yaklaşık tabaka sertliği /HV
		OA	MMA	MIG	FCA	TIG	SAW	PTA	
A. Ferro alaşımlar	1. Karbon çelikleri	x	x	x		x	x		<250
	2. Düşük alaşımlı çelikler		x	x	x	x	x		250-650
	3. Martenzitik Cr çelikler		x	x	x		x		350-650
	4. Yüksek hız çelikler		x	x			x		600-700
	5. Östenitik paslanmaz çelikler		x	x			x		200/500*
	6. Östenitik Mn çelikler		x	x					200/500*
	7. Östenitik Cr-Mn çelikler		x	x	x		x		200/600*
B. Demirler	1. Östenitik demirler		x	x	x				300-600
	2. Martenzitik demirler		x	x	x				500-750
	3. Yüksek Cr östenitik demirler	x	x	x	x		x	x	500-750
	4. Yüksek Cr martenzitik demirler	x	x	x	x		x		500-750
	5. Yüksek Cr kompleks demirler		x	x	x		x		600-800
	6. Fe-Cr-Co-Ni-Si							x	375-550
C. Nikel alaşımları	1. Nikel		x	x					160
	2. Ni-Cu, Ni-Cu-In		x						130
	3. Ni-Fe		x		x				200
	4. Ni-Mo-Cr-W		x	x		x	x	x	200/500*
	5. Ni-Cr-Si-B (Ayrıca Co + Mo ile)	x		x		x		x	200-750
	6. Ni-Mo-Fe		x					x	200-300
D. Kobalt alaşımları	1. Co-Cr-W düşük alaşım	x	x	x		x	x	x	380-430
	2. Co-Cr-W orta alaşım	x	x	x		x		x	480-550
	3. Co-Cr-W- yüksek alaşım	x	x	x		x		x	600-650
	4. Co-Cr-W-Ni	x				x		x	390-450
	5. Co-Cr-Mo					x		x	300-350
	6. Co-Cr-Mo-Si					x		x	300-700
	7. Co-Cr-W-Ni-Si-B alaşımları							x	400-700
E. Bakır alaşımları	1. Pirinç			x					130
	2. Silisyum bronz			x					80-100
	3. Alüminyum bronz			x					130-140
	4. Kalay bronz			x					40-110
F. Kompozit malzemeler	1. C çelik + karbür	x	x	x					
	2. Ni + silisyum karbür	x							
	3. Cr-B**	x							750-1100

OA= oksiasetlen, MMA= manuel metal ark, MIG= metal inert gaz, FCA= özlü tel ark  
TIG= tungsten inert gaz, SAW= tozaltı ark kaynağı, PTA= plazma transfer ark kaynağı

\* çalışma ile sertleşme

\*\* Yüzey hazırlığı ve daha sonra altlığa ark füzyonu için macun formunda tedarik edilir.

Tablo 2.2. Sert kaplama malzemelerinin sınıflandırılması [30]

Sınıflandırma	Kompozisyon, %											Notlar	Kaplama sertliği, Vickers HV	Kaplama uygun özellikler	Tipik Uygulamalar		
	Fe	C	Cr	Mn	Mo	V	W	Co	Ni	B	Nb					Cu	
Grup	Tür	Karbon	1,3	5													
1	Çelikler	Karbon	1,3	5													
2	Düşük alaşımlı çelikler	Karbon	0,1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
3	Martenzitik krom çelikler	Karbon	0,1	10	x	x	x	x	x	x	x	x					
4	Yüksek hız çelikleri	Karbon	0,3	10	10	5	10	3	20	12	3	3					
5	Östenitik paslanmaz çelikler	Karbon	0,0	17	x	x											

İşlem	Sert, çatlamaz, işlenebilir, düşük aşınma ama iyi darbe direnci, Gaz veya elektrik ark kaynağı ile maksimum dolgu ve tampon tabakaları	Çelik parçaların tamiri, dolgu kaplama, ince tabakalı yüzeylerde alternatif katmanlar
İşlem	Isıl işlem etkisiyle 250-650 kadar	Zimbalar, kalıplar, kazı araçları, dişli çarklar, demiryolu hatları
Özellikler	Özellikler bileşime bağlı: Genelikle martenzitik yapı. Yüksek alaşımlar daha dayanıklı ve yıpranmaya karşı dirençli fakat düşük alaşımlar tokluk ve darbe direnci iyi, genel olarak işlenebilirler, düşük çatlak hassasiyeti kaplama öncesi ve sonrası ısı işlem gerektirebilir	
Isıl işlem	Artan oksidasyon ve korozyon direnci ile sınıf 1/2 üzerine geliştirilmiş aşınma direnci. Orta darbe direnci, yüksek C türleri ile azalır. Ön ısıtmaya ihtiyaç duyabilir	600 ° C'ye kadar metal aşınması için uygundur. Sıcak iş takım uygulamaları için yüksek C türleri uygundur. Kesme bıçakları, değirmen ruloları, silindir boyunları, vinçler, tekerlekler, sıcak iş kalıpları ve zimbalar
600 ° C'ye kadar 600-750 sıcak sertlik	Daha yüksek karbür türleri iyi aşınma direnci sağlar, yüksek sıcaklıklar için uygundur, daha yüksek darbe için düşük karbür türleri kullanılır. Genel olarak öğütülebilir; Makine sertleştirilmesi için uygundur.	Sıcak iş kalıpları, zimbalar, kesme bıçakları, ingot maşa
Mo ve Mn olarak 200, 300 kadar	Kaplanmış olarak 200, 300 kadar	Yumuşak kademeli kaplama tabakası olarak kullanılır, örn. Kırılğan bükülme bölgesinden kaçınmak için yüksek Mn çeliklerini karbon çeligi üzerine kaplarken. Fırın parçaları, kimya tesisleri



Tablo 2.2. (Devamı)

Sınıflandırma Grup	Kompozisyon, %											Notlar	Kaplama sertliği, Vickers HV	Kaplama sertliği, Vickers HV	Kaplama sertliği, Vickers HV	Tipik Uygulamalar
	Fe	C	Cr	Mn	Mo	V	W	Co	Ni	B	Nb					
6	Östenitik manganlı çelikler	Kalan	0,5	x	11	x	x	x	x	x	x	x	Cr, Ni, Mo ve V % 10 kadar	Kaplanmış olarak 200, çalışma sertleşme- sinde 600'e kadar	Sert, darbeye dayanıklı, Ağır darbeler altında sertleşir. Muhtemel karbür gevrekliğini azaltmak için kaynak esnasında gerekli olan esas metal soğurma. Çalışma sıcaklıkları 200 ° C'yi geçmemelidir. Karbon çelik ana metallerde kademeli kaplama olarak tercih edilebilir. Sadece ark kaynak uygulamalarında kullanılır.	Kırıcı ve ekskavatör ekipmanları, demiryolu hatları ve çekiçler
7	Östenitik krom- manganlı çelikler	Kalan	0,3	12	12	x	x	x	x	x	x	Mo, V ve Ni % 4 kadar	Kaplanmış olarak 200, çalışma sertleşme- mesinde 600'e kadar	Sınıf 1/6'ya benzer, ancak yüksek krom, karbür gevrekliğini engeller, bu nedenle karbon çeliklerine kaplanabilir; 200 °C'lik mesinde 600'e kadar	Kırıcı ve ekskavatör ekipmanları, demiryolu hatları ve çekiçler	
2	1 Östenitik demirler	Kalan	4	12	x	x	x	x	x	x	x	Isıl işlem etkisiyle 300- 600	Yüksek aşınma direnci, orta darbe direnci. Öğütülebilir, çatlama için ön ve son ısıtma	Krom demirlerle kademeli kaplama tabakaları. Kıyma ekipmanları, pompa çerçeveleri, çarklar, ekskavatör dişleri		
2	Martenzitik demirler	Kalan	1	1	x	x	x	x	x	x	x	% 25'e kadar gösterilen elementler	Isıl işlem etkisiyle 500- 750	Yüksek abrazyif aşınma direnci, düşük ila orta dereceli darbe direnci (Ni: sert tip). Nb, 400 ° C'ye kadar sıcak koşullarda aşınma direncini geliştirir.	Adhezif aşınma durumlarında konformal temaslar için uygundur. Kazıyıcılar, kepeç pabuçları oluşturan rulolar, kesici aletler	
3	Yüksek kromlu östenitik demirler	Kalan	3	20	x	x	x	x	x	x	x	V, W, Co, Nb, özel yüksek sıcaklık uyg için	Isıl işlem etkisiyle 500- 750	Çok yüksek aşınma direnci, düşük orta-darbe direnci. Çatlama için ön ve son ısıtma işlemi ile Oksidasyon dayanıklılık.	Kürek dişleri, ekran plakaları, ızgaralı çubuklar, kepeç kenarları	
4	Yüksek kromlu martenzitik çelikler	Kalan	2,5	20	2	4,5	30	ma	x	x	x	Isıl işlem etkisiyle 500- 750	Çok yüksek aşınma direnci, düşük darbe. İyi sıcak sertlik ve oksidasyon direnci. Çatlak hassasiyeti; ön ve son ısıtma işlemi ile azaltılır	Bilyalı değirmen kazıyıcılar, sıyrınlar, elekler, çarklar		
5	Yüksek kromlu kompleks demirler	Kalan	2	20	5	40	x	x	x	x	x	Isıl işlem etkisiyle 500- 750; 600 ° C' kadar sıcak sertlik	Düşük darbe dayanımı (Nb ilavesiyle iyileştirilmiş) ile son derece yüksek aşınma direnci. Mo ve Co ile 600 ° C'nin üzerinde iyi oksidasyon direnci ve sıcak sertlik. Çatlama için ön ve son ısıtma işlemi.	Sıcak aşınma uygulamaları, örn. elekler, püskürtücüler, simter tesisleri		

Tablo 2.2. (Devamı)

Sınıflandırma	Kompozisyon, %											Notlar	Kaplama sertliği, Vickers HV	Kaplama uygun özellikler	Tipik Uygulamalar
	Fe	C	Cr	Mn	Mo	V	W	Co	Ni	B	Nb				
3 Nikel alaşımlar	8	2	1						85 min.				160	Daha kalın kesitler için 150-300 °C ön ısıtma gerekebilir. Gerilimi azaltmak için kaplamaya vurmak gerekir. Yavaş soğutma ile aşırı işlenebilir sert dolgu, Ince kesit için uygundur.	3/1, 3/2 ve 3/3 olarak sınıflandırılır. Genel amaç; dökme demirin kaplanması ve üzerine dolgu yapılması. Silindirik bloklar, dışı kutuları, pompa gövdeleri
2 Düşük alaşumlu çelikler	3	0,3	2,5						60	25			130	Daha kalın kesitler için 150-300 °C ön ısıtma gerekebilir. Gerilimi azaltmak için kaplamaya vurmak gerekir. Daha yumuşak ısıyla etkilenen bölge - minimum artık gerilmeler - kolayca işlenebilirlik; 3/1 ve 3/3 arasında dayanım.	
3 Nikel-demir	Kalan	2	1						45				200	Daha kalın kesitler için 150-300 oC ön ısıtma gerekebilir. Gerilimi azaltmak için kaplamaya vurmak gerekir. Yüksek mukavemet ve tokluk. Kolayca işlenebilir	
4 Nikel-molibden-krom-tungsten	6	2,5	30		17		15	12	Kalan				Fe, C, Mo, 250-500 W, Co, Nb maksimum değerlerdir ancak farklılık gösterebilir	Korozyona, erozyona ve sıcak gazlar tarafından oksitlenmeye karşı mükemmel direnç. Sağlam, iyi darbe ve termal şok direnci 500°C'ye kadar sıcak sertlik. Alaşım içeriği ile aşınma direnci artar	Yüksek firm çanı ve hazne keçeleri, valfler, kalıplar, kimya tesisleri
5 Nikel-krom-bor	x	x	5		x		x		Kalan	1	5		Fe, C, Mo, 200-750 Si, toplamda% 10'a kadar	Yüksek sıcaklıklarda abrazyona, erozyona, korozyona ve metalden metale aşınmaya dirençlidir. Additions of W improve high temperature properties	Vanalar, dövme kalıpları, pompa şaftları, kimyasal tesisler
6 Nikel-molibden-demir	5		20		20				Kalan				200-300	Öncelikle, HCl, tuz spreyi ve alkalilerde korozyona dirençli	Pompalar, valfler, kimyasal tesisler

Tablo 2.2. (Devamı)

Grup	Sınıflandırma Tür	Kompozisyon, %										Notlar	Kaplama sertliği, Vickers HV	Kaplama uygun özellikler	Tipik Uygulamalar		
		Fe	C	Cr	Mn	Mo	V	W	Co	Ni	B					Nb	Cu
4	1 Kobalt-krom-tungsten alaşımlar		0.7	25				3	Kalan								
			1.4	32			6										
			1.0	25				7	Kalan								
			1.7	32			10										
3	2 Kobalt-krom-tungsten orta alaşım		1.7	25			11	Kalan									
			3.0	35			20										
			1.2	20			10	Kalan	20								
			2.0	25			15		25								
1	3 Kobalt-krom-tungsten-nikel alaşımlar		1.2	20			10	Kalan	20								
			2.0	25			15		25								
			1.2	20			10	Kalan	20								
			2.0	25			15		25								
1	Bakır alaşımlar		% 40' a kadar Zn, kalan Cu														
			% 4' e kadar Si, kalan Cu														
			silikon														
			bronzları														
3	Bakır alaşımlar		% 8-15' e kadar Al, kalan Cu														
			alüminyum, alüminyum bronzları														
4	Bakır alaşımlar		% 4-12' ye kadar Sn, kalan Cu														
			kalay, fosfor bronzları														

Yüksek sıcaklıklarda aşınmaya erozyona, korozyona ve bu faktörlerin kombinasyonuna karşı dirençlidir. Yüksek sıcaklıkta sertlik muhafaza edilir.

Seçim konusunda üretici veya uzman rehberliği gereklidir.

Yüksek sıcaklıklarda aşınmaya erozyona, korozyona ve bu faktörlerin kombinasyonuna karşı dirençlidir. Yüksek sıcaklıkta sertlik muhafaza edilir.

Seçim konusunda üretici veya uzman rehberliği gereklidir.

Adheziyon aşınmaya karşı iyi direnç, anti-sızdırmazlık özellikleri ve kabul edilebilir aşınma direnci. Özellikle rulman uygulamaların yağlanması için tasarlanmıştır.

Rulmanlar, kızaklar, dişliler, miller, pervaneler

Tablo 2.2. (Devamı)

Sınıflandırma	Kompozisyon, %										Notlar	Kaplama sertliği, Vickers HV	Kaplama a uygun özellikler	Tipik Uygulamalar	
	Fe	C	Cr	Mn	Mo	V	W	Co	Ni	B					Nb
6	Sınıflandırma, tungsten karbür parçacık boyutuna göre yapılmıştır														
Tungsten karbür	Normal olarak demir esaslı bir matriste minimum % 40 tungsten karbür olabilir, ancak matris olarak bakır veya kobalt da seçilebilir														
	2- 10 + 20 mesh (-1.77 + 0.745 mm)	-10 + 20 mesh; 10 meshlik bir elekten geçen ama 20 meshlik bir elekten geçmeyen madde anlamındadır.													
	3- 20 + 40 mesh (-0.745 + 0.150 mm)	Parantez içindeki rakamlara karşılık gelen nominal aralık BS410'a uygun elek boyutudur													
	4- 40 + 100 mesh (-0.390 + 0.150 mm)														
	5- 100 mesh (-0.100 mm)														
7	1	80								20		750-850	Macun oluşturmak için uygun bağlayıcıda ince toz boyutu.	Orta abrazif kayma aşınma durumları. Kanallar, seçilmiş bıçak uygulamaları	
Krom-bor macun													Karbon ark veya gaz kaynak teknikleri ile çelik esaslı malzemeye uygulama.		
													Aşınmaya karşı çok dayanıklı yüzeyler, düşük darbeye dayanıklılık		

Parçacıkların boyut aralığına, Sinter tesislerinde yüksek aşınma dispersiyonuna ve matris sertliğine bağlı bölgeleri, ana emme fanı pervaneleri, sinter kırmırlar, vb. olarak yüksek aşınma direnç ve darbe direnci. Kırıntı çekiçler, çeşitli sıyrımlar

## **2.2.1. Çelik esaslı malzemeler**

### **2.2.1.1. Karbon çelikleri**

Kimyasal içeriğinde % 0,5'e kadar karbon ihtiva eden sade karbonlu çelik kaplama malzemeleri, gaz veya ark kaynak yöntemleriyle yaklaşık 240 HV (20 HRC) sertlik değerleri oluşturmak üzere tabaka olarak kaplanırlar. Eğer daha yüksek bir sertlik tabakası istenirse kaplamadan sonra ısıl işleme tabi tutulabilirler. Bu türdeki alaşımların asıl amacı, alev sertleşmesi için gereken bileşenleri oluşturmak ya da daha yumuşak bir ana metal ile sert yüzeyli bir alaşım arasında tampon bir tabaka oluşturmaktır. Bu malzemeler yüksek çekme ve basma mukavemeti, yüksek darbe dayanımı, düşük aşınma direnci, tavlama karşı düşük direnç gibi özelliklere sahip olmakla birlikte; bu malzemelerin maksimum servis sıcaklığı 200°C'dir. Alevle sertleştirme ve tampon tabaka için vites dişlileri gibi sert dolgu uygulamalarında kullanılmaktadırlar.

### **2.2.1.2. Düşük alaşımlı çelikler**

Martenzitik alaşımlı çelikler, bileşime bağlı olarak düşük maliyete ve çok çeşitli özelliklere sahip olan ve en çok kullanılan sert dolgu alaşımlarıdır. Bu çelikler, karbona ek olarak değişen miktarlarda krom, manganez, molibden ve nikelin yanı sıra düşük oranlarda tungsten ve vanadyum gibi elementleri içerirler. Sertlikleri 250-800 HV (20-62 HRC) arasında değişmekle birlikte aşınma ve darbe direnci özelliklerine sahiptirler. Bazı alaşımları ısıl işlemlerle aşınmaya karşı direnci arttırmak için sertleştirilir veya talaşlı imalatta kolay işlenebilmesi için yumuşatılırlar. Tarım aletlerinde, kazı makine bileşenlerinde, kırma makinelerinde, vites dişlilerinde, demiryolu hatlarında ve geçitlerinde kullanılmaktadırlar.

### **2.2.1.3. Martenzitik krom çelikleri**

Yaklaşık %12 krom içeren martenzitik krom çelikleri, düşük alaşımlı çeliklere kıyasla yüksek ısı ve korozyon direncine sahiptir. 300-600°C aralığında metal, iyi aşınma ve

orta derecede darbe direnci özellikleri göstermektedir. Değirmen rulolarında, merdanelerde, vinç tekerleklerinde, sıcak iş takımlarında bu alaşımlar kullanılmaktadır.

#### **2.2.1.4. Yüksek hız çelikleri**

Yüksek hız çelikleri, metalleri yüksek oranlarda kesmek için kullanılan takım çeliğidir ve yumuşamadan 600°C'ye kadar olan sıcaklıklara dayanırlar. Yüksek karbon içeren türleri, iyi aşınma direncine ve orta darbe direncine sahiptir. Düşük karbon içeren türleri daha yüksek darbe direncine sahiptir. Bu çelikler ısı işleme tabi tutularak aşınma direnci için sertleştirilebilir veya kolay işlenebilmesi için yumuşatılabilirler. Kesici aletlerde, sıcak işlerde, külçe maşalarında, zımbalarda ve kesme bıçaklarında bu alaşımlar tercih edilmektedir.

#### **2.2.1.5. Östenitik paslanmaz çelikler**

Paslanmaz çelikler, yüksek korozyon ve ısı direncine sahiptir; ancak en önemli kullanımı karbon veya alaşımlı çeliklere manganlı çelik kaplama işleminden önce kademeli kaplama uygulamasıdır. Kademeli kaplama, manganlı çelik ile karbon veya düşük alaşımlı çelikler arasında, kaplama arayüzeyinde oluşan kırılma fazlarının oluşmasını önler. Östenitik paslanmaz çelikler, bileşime bağlı olarak 450 ile 600°C arasındaki sıcaklıklarda oksidasyona karşı dirençleri iyidir. Oda sıcaklığında sertlik değerleri düşüktür ve bu çelikler aşınma direnci için uygun değildir. Östenitik manganez çeliklerinden daha serttir ama daha düşük darbe direncine sahiptir. Kaplama esnasında sertlikleri yaklaşık olarak 200 HV olmakla birlikte çalışma sertliği 500 HV' e kadar artmaktadır. Kimya tesislerinde, fırın parçalarında, karbon alaşımlı çelikler üzerine manganlı çelik kaplanmadan önce kademeli kaplama tabakası uygulamalarında kullanılmaktadır.

### 2.2.1.6. Östenitik manganlı çelikler

% 12-14 manganez içeren kaynak metali yumuşak (200 HV) olan östenitik bir yapıya sahiptir; ancak ağır darbe altında yüzeyde yaklaşık olarak 600 HV (54HRC) sertlik değerlerine ulaşılır. Yumuşak olan kaplanmış tabaka, düşük gerilmelerde çizilme aşınmasına karşı direnci azdır. Böylece, kaynak metali örneğin, kumlu toprakta kazma yaparken sürekli olarak aşınır. Bununla birlikte, eğer kaya ezici çekiçlerde olduğu gibi darbe söz konusuysa, kaynak metali deforme olur ve yüzeyde sertleşir, çarpmaya karşı daha fazla yüksek direnç sağlar. Bu tür kaplamalar, kaya içeren topraklarda kazma yapmak için kullanıldığında da çalışma sertleşmesi gerçekleşir ve yüzey, toprak parçacıkları tarafından aşınmaya karşı direnç kazanır. 400°C'nin üstünde ısıtıldığında kırılma başlar. Yavaş soğumada gevreklik nedeniyle oksiasetlenen kaynağı ile kaplama işlemi için uygun değildir. Isıyla kırılma direnci % 3-5 nikel veya % 0,5-1,5 molibden ilavesi ile artar. Molibden içeren kaplama tabakası, deformasyona karşı daha fazla direnç sağlayan daha yüksek akma mukavemetine sahiptir. Karbon veya alaşımlı çelik ana metali ile seyrelme, kırılma bir arayüz oluşturur; bu durum paslanmaz çelik bir katmanla kademeli kaplama yapılarak engellenmelidir. Kaya kırıcılarında, pülverize çekiçlerinde, demiryolu hatlarında ve geçitlerinde, kayalık toprak kazıcı teçhizatlarında kullanılırlar.

### 2.2.1.7. Östenitik krom-manganlı çelikler

Östenitik krom-manganlı çelik, östenitik manganlı çelik ile benzer uygulamalarda kullanılır, ancak daha yüksek maliyet olmasına rağmen bazı avantajlara sahiptir. Yüksek alaşım içeriğinden dolayı bu elektrotlar, kırılma bir martenzitik ara yüzey oluşturmadan karbon çeliği ana metaline doğrudan kaynak yapmak için ve ayrıca manganlı çelik parçaları doğrudan karbon çeliğine kaynatmak için kullanılabilir. Yüksek çalışma sertleşme kapasitesine ve son derece yüksek darbe direncine sahip olan bu çelikler, doğrudan düşük alaşımlı veya paslanmaz çeliğe kademeli dolguya gerek kalmadan kaplanabilir. Yüksek krom içeriği nedeniyle, bu çeliklerin kaynak metali bir oksijen alevi ile kesilemez veya delinemez. Kaya kırıcılarında, pülverize

çekiçlerinde, demiryolu hatlarında ve geçitlerinde, kayalık toprak kazıcı teçhizatlarında kullanılırlar [30].

## **2.2.2. Demir esaslı malzemeler**

### **2.2.2.1. Östenitik, martenzitik, yüksek kromlu ve kompleks demirler**

Sıklıkla “krom karbür” tipleri olarak adlandırılan yüksek krom, östenitik, martenzitik ve kompleks demirler yaklaşık %30 krom içerir ve kaplama tabakasının mikroyapısı, kompozisyona bağlı olarak östenit, martenzit veya bunların her ikisinin karışımı olabilen bir matristeki krom karbürlerden oluşur. Bu alaşımlar, krom karbür partikülleri içeren dökme çubuklar veya çelik borular şeklinde imal edilebileceği gibi; flaks tabakasına dahil olan alaşım ilaveli bir krom çelik çekirdek tel olarak da üretilebilir. Bunun yanı sıra yarı otomatik veya tam mekanize kaynak uygulamaları için boru şeklinde özlü tellerin bobinleri de mevcuttur.

Östenitik demirler; yüksek aşınma direnci, orta darbe direnci özelliğine sahiptir ve işlenemezler. Kırma ekipmanları, tuğla, çimento ve kil işleme ekipmanları, çarklar, ekskavatör kovaları ve dişleri gibi uygulama alanları vardır.

Martenzitik demirler; Östenitik demirlerden daha yüksek aşınma direncine, düşük ila orta şiddette darbe direncine sahiptir ve işlenemezler. Kırma gereçleri, tuğla, çimento ve kil işleme ekipmanlarında ve ekskavatör kovalarında kullanılırlar.

Yüksek kromlu östenitik demirler; düşük gerilimlerde yüksek aşınma direnci, düşük ila orta derecede darbe direnci, oksidasyona dayanıklılık ve 450°C' ye kadar sıcak sertlik özellikleri sergilerler. Kumlu topraklarda çalışan tarım makinelerinde ve oluklarda kullanılırlar.

Yüksek krom martenzitik demirler; düşük veya yüksek gerilimler altında yüksek aşınma dayanımı, ana rijit materyal tarafından destekleniyorsa iyi darbe direnci, oksidasyon direnci, ısıl işlem uygulanabilen ve 450°C sıcaklığa kadar sıcak sertlik gibi



özelliklere sahiptir. Bilyeli değirmen kapları, çakıl çarkları, tarama aletleri, maden ocağı ve taş ocağı elekleri, kum püskürtme tesisi gibi yerlerde kullanılırlar.

Yüksek kromlu kompleks demirler; düşük veya yüksek gerilimler altında yüksek aşınma dayanımı, eğer rijit esas materyal tarafından destekleniyorsa iyi darbe direnci ve oksidasyon direnci özelliklerine sahiptir ve 600°C'ye kadar sıcak sertliği muhafaza eder. Sıcak aşınma şartları, ör. sinterleme tesisleri, oluklar, pülverizatörler, ekranlar, çelik değirmen kılavuzlarında kullanılırlar [30].

### **2.2.3. Nikel esaslı malzemeler**

#### **2.2.3.1. Nikel alaşımlar**

Saf nikel, nikel bakır ve nikel-demir alaşımları dökme demirleri kaplamak için tasarlanmıştır. Nikel, yumuşak ve işlenebilir özellikte olup, dökme demir kaplamalarında ve dökme demir üzerine dolgu (kademeli) kaplamalarda kullanılır. Nikel-bakır, yumuşak ve işlenebilir bir alaşımdır ve dökme demirlerin kaplamalarında kullanılır. Nikel-demir ise işlenebilirliği nikel veya nikel-bakırdan daha düşük ancak 150-300°C'lik ön ısıtma ile bu özellik iyileştirilir. Bu alaşımlar, dökme demirin kaplanmasında ve dökme demir üzerine dolgu metal olarak kullanılmasında uygundur.

#### **2.2.3.2. Nikel-molibden-krom-tungsten**

Nikel-molibden-krom-tungsten alaşımları öncelikli olarak korozyona karşı dayanıklı olup, aynı zamanda iyi bir ısı direncine sahiptirler. Bu alaşımlar, iyi korozyon ve ısı direnci, sıcak fırın gazları tarafından taşınan aşındırıcı parçacıkların sebep olduğu erozyona karşı iyi direnç, iyi darbe direnci ve 500°C'ye kadar sıcak sertlik özelliklerine sahiptir. Yüksek fırın çanı ve hazne keçelerinde, sıcak iş takımlarında örneğin kalıp bloklarında kullanılırlar.

### 2.2.3.3. Nikel-Krom-bor

En yaygın nikel esaslı sert kaplama alaşımları, krom, bor ve karbon içerir. Bu alaşımların mikroyapıları, aşınmaya dirençli olan nikel-krom matrisinde bulunan krom karbür ve borürlerden oluşur. 850°C'ye kadar oksidasyon direnci, 500°C'ye kadar sıcak sertlik, buhar, tuzlu su ve tuz spreyi için iyi korozyon direnci ve düşük darbe direnci gibi özelliklere sahiptir. Vanalar, oturma halkaları, vidalı konveyörler, pompa şaftları ve kimyasal tesislerde yaygın kullanım alanına sahiptir.

### 2.2.3.4. Nikel-molibden-demir

Hidroklorik asit, tuz spreyi ve alkalilerle karşı korozyona dayanıklı olan bu alaşımlar, pompalarda, valflerde ve kimyasal madde üretim fabrikalarda kullanılırlar [30].

### 2.2.4. Kobalt esaslı malzemeler

Demir dışı grubunda en yaygın olarak kullanılan sert yüzey alaşımları, Stellite ticari adı altında geliştirilen kobalt-krom-tungsten üçlü sistemidir. Bileşim, alaşımın 600°C'nin üzerindeki servis sıcaklıklarında minimum yumuşama veya deformasyon olan sıcak sertlik ile kullanılabilmesini sağlar. Kromun varlığı, oksitlenme direnci sağlayan birbirine yapışık bir oksit film oluşturur ve bu element, tungsten ile birlikte, karbürlerin çökmesiyle kayda değer derecede ikincil sertleşmeyi sağlar. Stellite alaşımları, erozyon, kavitasyon ve adhezif aşınmaya karşı iyi direnç gösterir ve bu özellikler iyi korozyon direnci ile birleştiğinde, alaşımların farklı aşınma tiplerinin kombine etkilerine karşı dirençli olmasını sağlar. Kobalt-krom-tungsten düşük alaşımları, darbe gerilimleri altında ısı, korozyon ve oksidasyona karşı dayanıklıdır. Benzin ve dizel motorlar için egzoz supapları, sıvı akış kontrol valfleri, sıcak metal işleme aletlerinde kullanılırlar. Kobalt-krom-tungsten orta alaşımlar, düşük alaşımlı türlerine göre daha yüksek aşınma direnci, ancak darbe ve termal şoka karşı daha düşük direnç özellikleri sergiler. Kâğıt yapımında kullanılan bıçaklarda, halı ve kimya endüstrilerinde ve sıvı akış kontrol valflerinde kullanılırlar. Kobalt-krom-tungsten yüksek alaşımlar ise, bu grubun en yüksek aşınma direncine sahip olan sert kaplama

alaşımıdır; ancak düşük şok direnci özelliği gösterir. Pompalar, rulman yüzeyleri ve contalar önemli kullanım alanlarıdır.

Kobalt-krom-tungsten-nikel alaşımları, yüksek sıcaklıklarda yüksek erozyon ve korozyon direnci; ayrıca yüksek termal şok direnci özellikleri gösterirler. Benzinli motorlar için egzoz supaplarında kullanılırlar [30].

### **2.2.5. Bakır esaslı malzemeler**

Bakır alüminyum alaşımları rulmanlarda, korozyona ve aşınmaya dayanıklı yüzeyler için kullanılır. Kalay bronzları rulman yüzeyleri ve bazen de korozyona dayanıklı uygulamalarda kullanılır. Silisyum bronz sadece korozyon direnci için kullanılırken, pirinç ise bazen taşıyıcı yüzeyler için kullanılmaktadır. Pirinçler, düşük sertlik ve düşük aşınma direnci özellikleri sergilediğinden, rulman uygulamaları için sınırlı kullanımı söz konusudur. Silisyum bronzları, iyi korozyon direncine sahiptir ve silikon pirinç üzerine kaplama uygulamalarında kullanılırlar. Alüminyum bronzlar, iyi yatak özelliklerine sahip olup, iyi korozyon direnci sergilerler. Çelik üzerine kaplanan yatak yüzeyleri, kızaklar ve aşınma plakalarında kullanılırlar. Kalay bronzları, iyi yatak alaşımı özelliklerine sahiptir ve çelik kızaklar üzerine yatak yüzeyleri kaplama uygulamalarında kullanılırlar [30].

### **2.2.6. Yüksek silisyumlu malzemeler**

Son zamanlarda, kobalt esaslı alaşımlara alternatif malzemesi olarak düşünülen bazı yeni yüksek silisyumlu paslanmaz çelikler piyasaya sürülmüştür. Bu alaşımlar, benzer anti-sürtünme karakteristiği sergilerler ve kavite erozyonuna karşı eş değer dayanıma sahiptirler. Bu alaşımlardan bazıları genel kullanım bazıları da özel kullanım alanları için geliştirilmiştir (örneğin hidroelektrik türbinlerinde ve nükleer vanalarda). Bazı alaşımlarda 200 serisi (manganez ve azot içeren) östenitik paslanmaz çelikler, bazılarında ise 300 serisi paslanmaz çelikler temel alınmıştır.

Bu yüksek silisyumlu sert kaplama alaşımları; mekanik özellikleri (özellikle yüksek sıcaklıklarda), termal kararlılıkları ve korozyon dayanımları (Bazı sulu ortamlarda daha iyi ve diğer ortamlarda daha kötüdür) açısından geleneksel karbür içeren kobalt esaslı alaşımlardan farklılık gösterirler [19].

### **2.2.7. Tungsten karbür esaslı malzemeler**

Tungsten karbür son derece iyi aşınma direncine sahiptir. Sert kaplama telleri, aslında içerisinde tungsten karbür-çelik oranının yaklaşık 60:40 olduğu, tungsten karbür parçacıklarını ( $WC, W_2C$ ) içeren çelik borulardır. Karbür partikülleri 200 ila 8 mesh (0.002-3 mm) arasında değişir ancak yüzey kaplama telleri servis koşullarına bağlı olarak genellikle farklı mesh aralıklarını, örn. 10/20, 20/30 kapsayabilir. Kaplama için kullanılan teller oksiasetlen kaynağı ile yapılan uygulama için çıplak olurken; ark kaynağı uygulamaları için çıplak veya örtülü olabilir. Teller ayrıca % 80 tungsten karbür içeren sinterlenmiş formda da bulunurlar. Yarı otomatik veya tamamen mekanize kaynak yöntemleri için özlü tel bobinleri de mevcuttur.

Oksiasetlen veya TIG kaynağı ile yapılan kaplama tabakaları çok yüksek aşınma direnci sağlayan erimemiş karbürleri içerir. Ark kaynağı uygulamalarında karbür granüllerin çoğunun erimesiyle, aşınma direncinin biraz daha düşük olduğu homojen bir kaplama tabakası elde edilir.

Oksiasetlen veya tungsten inert gaz (TIG) uygulamaları, kaya oyma aletlerinin kaplanması için kullanılır. Ark kaynak uygulamaları, kum karıştırıcı bıçaklarının, yoğurma değirmeni bıçaklarının ve kömür bıçaklarının kaplanmasında kullanılır [30].

### **2.2.8. Krom-bor pastalar**

Krom borür pastası, çelik altlık malzeme üzerine sürülür ve karbon ark, manuel metal ark (MMA), TIG, metal inert gaz (MIG) veya plazma kaynağı ile kaplama işlemi gerçekleştirilir. Aşırı yüksek aşınma direnci özelliğine sahiptir. Boşaltma oluklarının kaplanmasında kullanılır [30].

### **2.3. Kaynakla Oluşturulan Sert Yüzey Kaplama Özellikleri**

Diğer yüzey kaplama yöntemlerinden kaynak işlemlerini ayıran başlıca temel özellikler şunlardır:

#### **2.3.1. Kaplama kalınlığı**

Sert yüzey alaşımlarının kaynaklı yöntemlerle yüzeye birikimi, kalınlık aralığı olarak diğer yüzey kaplama tekniklerine göre çok iyidir. Sert yüzey alaşım malzemelerin birçoğu için, bazı kısıtlamalar olmak birlikte, genellikle 3-10 mm aralığında kalınlıklarda uygulanabilir. Bu özellik, korumada derinlik gerektiğinde çok önemlidir. Diğer taraftan, gerektiğinde çok ince kaplamalar üreten birkaç kaynak işlemi vardır.

#### **2.3.2. Altlığa yapışma**

Doğru seçilmiş malzemeler ve düzgün çalışan kaynak işlemleri, kaplama ile alt katman arasında termal ve mekanik şoklara ayrılmadan dayanabilen metalürjik bir bağ sağlar. Ergime esaslı kaynak yöntemlerinde, bu durum, kaplama işlemi uygulanırken ince bir altlık katmanı eriterek sağlanır. Diğer proseslerde (sürtünme ve patlayıcı kaplama) bir dövme işlemi ile elde edilir [30].

### **2.4. Sert Yüzey Kaplama Yöntemleri**

Birçok geleneksel kaynak işlemi, mühendislik faaliyetleri çerçevesinde işletmeye getirilen ve belirli koşullar altında yerinde çalışmaların yürütülmesini sağlayan yüzey kaplamaların uygulanması için kullanılır.

Prosesler iki geniş bölüme ayrılmıştır: (a) ark süreçlerini içeren

- Manuel metal ark,
- Tungsten inert gaz,
- Plazma transfer ark,

- Metal inert / aktif gaz,
- Özlü tel ark,
- Tozaltı ark,

(b) sürtünme ve dövme işlemleri dahil olmak üzere diğer prosesleri, içeren

- Oksiasetilen kaynağı,
- Toz kaynağı,
- Lazer kaplama,
- Elektroslag kaynağı,
- Direnç kaynağı,
- Sürtünme yüzey alaşımlama,
- Patlayıcı kaplama.

Proseslerin temel özellikleri Tablo 2.3. ve 2.4.'te özetlenmiştir [30].

Tablo 2.3. Ark kaynağı yüzey hazırlama işlemleri [30]

Proses	Kısaltmalar	Yaklaşık kaplama kalınlığı minimum/mm	Kaplama hızı/kg <sup>-1</sup>	Tek kat seyrelme/%	Tipik kullanımlar
Manuel Metal ark	MMA	3	1-4	15-30	Ağır bölge yüzeylerinde çok katmanlı uygulamalarda
Tunsten inert gaz	TIG, GTA	1,5	≤ 2	5-10	Yüksek kalite, düşük seyrelme
Plazma transfer ark	PTA	2	≤ 10	2-10	Yüksek kalite, en düşük seyrelme
Metal İnert gaz	MIG, GMA	2	3-6	10-30	MMA' dan daha hızlı, koçan kaybı yok, her pozisyonda çalışma mümkün
Özlü tel ark	FCA	2	3-6	15-30	MIG' e benzer, ağırlıklı olarak yüksek abrazyon direnci için demir esaslı alaşımlarda
Tozaltı ark (tel)	SA	3	10-30	15-30	Ağır bölge çalışması: FCAW' dan daha yüksek kalitede kaplama
Tozaltı ark (şerit)	SA	4	10-40	10-25	Korozyon direnci için geniş alanların kaplanması
Tozaltı ark (yığın kaynağı)	SA				SAW tele benzer fakat diğer alaşımlar mümkündür.

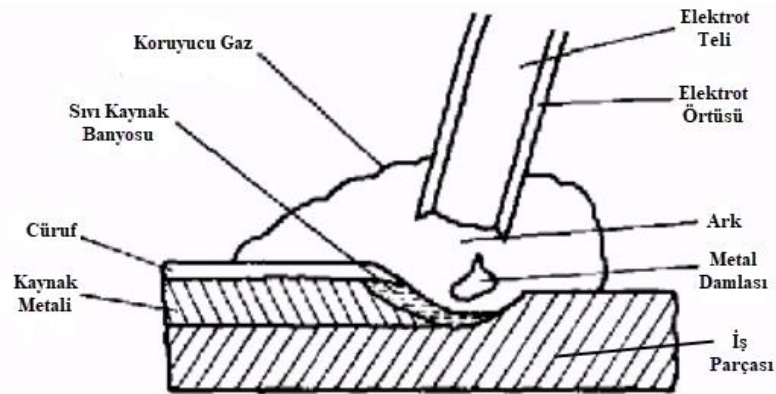
Tablo 2.4. Diğer füzyon ve dövme kaynak işlemleri [30]

Proses	Kısaltmalar	Yaklaşık kaplama kalınlığı minimum/mm	Kaplama hızı/kg <sup>h</sup> <sup>-1</sup>	Tek kat seyrelme/%	Tipik kullanımlar
Oksiasetilen	OA	1,5	≤ 1	1-5	Hafif bölge yüzeylerinde küçük alan kaplamalarda
Toz kaynağı	PW	0,1	0,2-1		Hafif bölge yüzeylerinde küçük alan kaplamalarda
Lazer kaplama		0,25		< 3	Yüksek kalite, düşük seyrelme kaplamalar
Elektroslag kaynağı (şerit)	ESW	4	15-35	5-20	SAW'den daha yüksek biriktirme oranlarına sahip yüksek kaliteli kaplamalar. Sınırlı alaşım aralığı
Sürtünme yüzey alaşımlama				Yok	Dolgu kaplaması, bıçak ağızları
Direnç kaynağı					Polimer, lastik ve kauçuk kalıpların tamiri
Patlayıcı kaplama		0,011		Yok	Düz plaka kaplaması, ör. Gıda tepsileri, depolama tankları

#### 2.4.1. Örtülü elektrot ark kaynağı ile sert yüzey kaplama

Örtülü elektrot ile ark kaynağında, kaynak işlemi için gerekli ısı, elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır. Ark, iş parçası ve ergiyen elektrot arasında oluşur ve bu şekilde ergiyen elektrot kaynak metaline geçer (Şekil 2.1.). Bu esnada, elektrot örtüsü de erir ve aynı zamanda açığa çıkan gaz ark bölgesini korur ve oluşan cüruf kaynak dikişini örterek kaynak bölgesinin korunmasını sağlar. Ayrıca elektrot örtüsüne katılan alaşım elementleri yardımı ile de kaynak dikişinin alaşımlandırılması sağlanarak, istenen özelliklerde kaynak bağlantısı elde etmek mümkündür [48].

Örtülü elektrot ark kaynağı ile sert yüzey kaplamada dolgu malzemesi; arkı oluşturan elektrot tarafından sağlanır. Ayrıca, elektrotun üzerindeki kaplama bileşenleri kaynak şeklini, penetrasyon miktarını, kaynağın soğuma hızını, arkın kararlılığını ve sert kaplama katmanının saflığını etkiler ya da belirler [19]. Düşük maliyetli ekipmana sahip olması ve tüm pozisyonlarda kaplama yapılabilmesi nedeniyle bu yöntem sert yüzey kaplama işleminde en çok kullanılan yöntemdir.



Şekil 2.1. Örtülü elektrot ark kaynak işlemi [48].

Sıkı tolerans için işlenmiş ya da üretilmiş parçaların küçük alanları bütün parçayı distorsiyona uğratmadan sert kaplanabilir. Geniş bir sert yüzey kaplama alaşımı grubuna sahiptir. Özellikle kaplama ekipmanının taşınabilir olması bu yöntem için önemli bir avantajdır. Ancak, saate 0.5-2 kg kaplama oranı ve seyrelme oranının %30-50 değerlerinde oluşu bu yöntemin sınırlayıcı özellikleri arasındadır. Seyrelme oranının yüksek olması, düşük sertlik ve buna bağlı olarak aşınmaya karşı daha az dayanıma sebep olur. Maksimum aşınma özelliklerini elde etmek için iki ya da üç tabakalı kaynak metaline ihtiyaç duyulur. Örtülü elektrotlar ayrıca kaynak tabakasının yüzeyinin üstünde her pasodan sonra temizlenmesi gereken çapak tabakası bırakır [19, 49]. Bu yöntemde yüksek alaşımlı ve paslanmaz çelikler, nikel, kobalt ve bakır esaslı alaşımlar en çok kullanılan kaplama alaşımlarıdır. Tarımsal aletler, cevher ve mineral endüstrisinde kullanılan parçalar ve şaftlar bu yöntemle kaplanan parçalara örnek olarak gösterilebilir [47].

## 2.4.2. TIG kaynağı ile sert yüzey kaplama

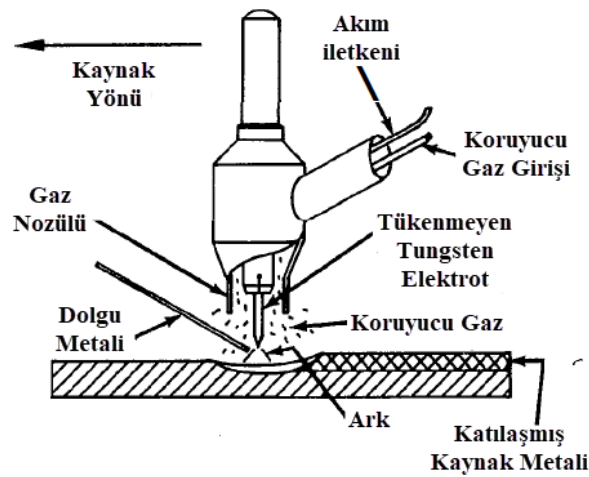
### 2.4.2.1. TIG kaynak yöntemi

HeliArc, tungsten inert gaz (TIG) ve tungsten ark kaynağı olarak da bilinen gaz-tungsten ark (GTA) kaynağı, 1930'lu yılların sonunda magnezyum kaynağına duyulan ihtiyaçtan dolayı geliştirilmiştir. Russell Meredith [50] magnezyumu kaynatmak için soy gaz olan helyum ve tungsten elektrot kullanarak bir kaynak yöntemi geliştirdi. Bu



birleştirme yönteminin geliştirilme amacı, alüminyum ve magnezyum bileşenleri ile uçak inşa etmede kullanılan perçinli birleştirme yönteminin yerini almasıydı. HeliArc kaynağı günümüze kadar pek çok iyileştirme ve isim değişikliği ile devam etmiştir, ancak Meredith'in gösterdiği temel prensiplerde değişiklik olmamıştır [19].

TIG kaynağı, bir tungsten elektrot (tükenmeyen) ile kaynak havuzu arasında bir ark ile ısının olduğu kaynak yöntemidir. İşlem koruyucu gaz ile ve basınç uygulanmadan ilave tel kullanılarak veya kullanılmadan gerçekleştirilir. Şekil 2.2.'de gaz tungsten ark kaynağı süreci gösterilmektedir. TIG kaynağı, üretilen yüksek kaliteli kaynak ve düşük ekipman maliyetleri nedeniyle birçok endüstri için vazgeçilmez bir kaynak yöntemi haline gelmiştir [51].



Şekil 2.2. Gaz Tungsten ark (TIG) kaynak işlemi [51]

#### 2.4.2.2. TIG kaynağı ile sert yüzey kaplama işlemi

TIG kaynağı, tükenmeyen elektrodun kullanıldığı, koruyucu gaz atmosferinde üfleç aracılığıyla iş parçasının üzerinde ergimiş sert kaplama alaşımının oluşturulduğu bir ark kaynağı prosesisidir. Genellikle tükenmeyen elektrot malzemesi olarak toryumlu tungsten tercih edilirken; sert yüzey kaplama için voltaj-amper ayarları düşürülmüş güç kaynakları kullanılır. Tungsten elektrotun sert kaplama tabakasına bulaşmasını asgariye indirmek için, doğru akımlı negatif elektrot kullanılır. Genellikle koruyucu gaz olarak argon kullanıldığı gibi helyum gazı da kullanılabilir. [51].

Özellikle büyük parçalar ya da reaktif metaller için içine girdiğinde elle yapılan TIG kaynağı ile sert yüzey kaplama oksii-asetilen kaynağı ile sert yüzey kaplamaya göre daha kullanışlı bir alternatiftir. TIG kaynağı, titanyumla dengelenmiş paslanmaz çelikler ya da alüminyum içeren nikel esaslı alaşımlar gibi reaktif ana metallerin sert yüzey kaplanmasında tercih edilmektedir. TIG kaynağı ayrıca, karbon girişinin tolere edilmediğı sert yüzey kaplamalarda veya oksii-asetilen alevinin etkisiyle gözenekleşme eğilimi veren dolgu malzemesi içeren uygulamalarda oksii-asetilen kaynağının yerine tercih edilir. TIG kaynağının şiddetli lokalize ısısı genellikle oksii-asetilenden daha fazla metal seyrelmesine sebep olur. Ana metal seyrelmesi üfleç salınımıyla, gereğinden fazla amper kullanmamakla, arkı iş parçasından ziyade sert yüzey kaplaması üstünde odaklayarak asgariye indirilebilir. Ana metal seyrelmesindeki farklılıklara rağmen sert yüzey kaplama biriktirme hızları MIG ve oksii-asetilen kaynak yöntemleriyle kıyaslanabilir değerlerdedir.

TIG kaynağı ile sert yüzey kaplama, torcu basitçe bir titreşimli mekanizmaya tutturarak ve ark bölgesine sert yüzey kaplama dolgu malzemesini besleyecek mekanize bir cihaz kullanarak otomatik olarak uygulanabilir. Tabi ki bu uzun boyutlu dolgu çubuğuna veya kesintisiz tele gerek duymaktadır. Yüksek kaliteli tekrar üretilebilir sert yüzey kaplama tabakaları dolgu metali besleme hızını, üfleç salınımını ve işlem hızını kontrol ederek otomatik TIG kaynağı tarafından üretilebilir. Akım dağılımı kontrolleri, büzülme ve krater çatlaklarını asgariye indirmek amacıyla sert yüzey kaplama tabakasındaki katılşmanın son aşamalarını kontrol etmek için kullanılabilir.

TIG kaynağındaki ark davranışı diğer tükenir elektrotlu ark kaynaklarına göre genellikle daha yumuşak, sessiz ve kaynak sıçramasından daha serbesttir. Ayrı dolgu çubuğunun ya da telinin kullanımı daha iyi tabaka şekil kontrolü sağlar. TIG kaynağı küçük kompleks parçaların sert yüzey kaplamasında daha uygundur ve genellikle diğer sert yüzey kaplama proseslerine göre daha kaliteli kaplamalar üretmektedir [19].

### 2.4.2.3. TIG kaynak yöntemiyle yapılan sert yüzey alaşımlama çalışmaları

Günümüz endüstrisinde önemi her geçen gün artan sert yüzey kaplama işlemi, aşınmaya maruz kalan parçaların bakım ve tamiratının yanı sıra özellikle orijinal parçanın ömrünü artırmak için de imalat aşamasında uygulanmaktadır. Sert yüzey alaşımlarının geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar yüz yılı aşkın bir süredir güncelliğini koruyarak devam etmektedir. Altlık malzemesinin aşınmaya, abrazyona, erozyona ve korozyona karşı dayanım özelliklerini geliştirmek için çok çeşitli kaynak yöntemleri ile sert yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir. TIG kaynak yöntemi ile gerçekleştirilen sert yüzey alaşımlama işlemi, ekonomik olması, kolay uygulanabilmesi ve elde edilen kaplama tabakası yüzey kalitesinin iyi olması sebebiyle tercih edilen bir yöntemdir. Yapılan literatür taramasında, TIG kaynak tekniği kullanılarak gerçekleştirilen sert yüzey kaplamalar ile ilgili çalışmaların bir kısmı incelenmiş ve özetlenmeye çalışılmıştır.

Korkut ve arkadaşları (2002) düşük karbonlu çelik altlık yüzeyinde TIG kaynağı ile Fe, Cr, Si, Mo, C (ağırlıkça 12.5/32/1/3/1 oranlarında) esaslı alaşımlar oluşturmuşlar ve yaşlandırma işleminin, üretilen numunelerin arayüzey bölgesinde mikroyapı oluşumları üzerine etkilerini incelemişlerdir. İşlem parametrelerine bağlı olarak ötektik altı ve ötektik üstü mikroyapılar oluşturulmuş ve arayüzeyde martenzitik ve martenzit + perlitik yapılar elde edilmiştir. Yaşlandırma işleminin (450-550°C), kaplanmış yüzey ve matris alaşım arayüzeyinde mukavemeti arttırdığını tespit etmişlerdir [21].

Eroğlu ve Özdemir (2002) yapmış oldukları çalışmada, ısı kaynağı olarak tungsten inert gaz (TIG) kaynak yöntemini kullanarak SAE 1020 çelik yüzeyini grafit, krom ve yüksek karbonlu ferrokrom tozları ile alaşımlandırılma işlemini gerçekleştirmişleridir. Yüzeye önceden yerleştirilmiş toz kalınlığına ve bileşimine bağlı olarak kaplama tabakasının mikroyapılarını, sertliklerini ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Çelik yüzeyine yerleştirilen tozun kalınlığı ve oranları değiştirilerek on farklı krom, karbon ve krom-karbon bileşikleri elde edilmiştir. En yüksek sertlik ve buna bağlı olarak en yüksek aşınma direnci 8 numaralı numune olan, 2-4 mm kalınlığındaki

yüksek karbonlu ferrokrom tozu ile oluşturulan kaplama tabakasından elde edildiği sonucunu bulmuşlardır. Sonuç olarak TIG kaynağı ile çelik yüzeylerinin alaşımlandırılması etkili olarak gerçekleştirilmiş ve aşınmaya karşı dirençleri arttırılmıştır [52].

Lin ve arkadaşları (2003), TIG kaynak tekniğini kullanarak aşınma performansını arttırmak için gri dökme demir üzerine W-Ni, W-Co ve W-Cu esaslı kaplamalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada toz bileşiminin ve kaplama sonrası yapılan ısı işleminin kaplama tabakasının aşınma direncine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, farklı kompozisyonlar ile üretilen numunelerin kaplama tabakası ve matris arasındaki bağlanma kuvveti de değerlendirilmiştir. Yapılan aşınma testi sonuçlara göre, W (ağırlıkça % 90) ve Ni (ağırlıkça % 10) toz ile oluşturulmuş W-Ni kaplı tabakanın, aşınma performansı açısından, diğer kaplama malzemeleri ile oluşturulan tabakalardan daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. Deneysel sonuçlar, aşınma performansının kaplama yönlendirmesine ve normalleştirme işlemine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Normalleştirme işlemi sadece, kaplama tabakası ve matris arasındaki bağlanma kuvvetini arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda kaplama koşulları altında kaplama tabakasının aşınma performansını da geliştirdiğini tespit etmişlerdir [53].

Buytoz ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmada TIG kaynak yöntemini kullanarak AISI 4340 çeliği üzerine WC tozlarının ergitilmesiyle yüzey alaşımlama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada üç farklı bileşim oranına sahip karışım tozları 0,5 ve 0,3 g/s oranlarında üretilmiş ve buna bağlı olarak sertliklerinde ve aşınma oranlarındaki değişimler incelenmiştir. Kaplamaların mikroyapı incelemelerinde, ötektik ve dendritik katılaşma ile birlikte WC, W<sub>2</sub>C fazları görülmüştür. Üretilen kaplamalarda yapılan sertlik ölçümleri sonucu 950-1000 HV arasında sertlik değerlerinin olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak en yüksek toz oranına ve en düşük üretim hızına sahip olarak üretilen numunede kontrollü katılaşmayla birlikte en düşük aşınma kaybı gözlemlenmiştir. Bu tip kaplamalara uygulanacak ısı işlemlerin (normalizasyon veya gerilim giderme), kaplama mikroyapısına ve buna bağlı olarak kaplamaların mekanik özelliklerine olan etkilerinin incelenebileceğini belirtmişlerdir [54].

Yılmaz (2005), TIG metodu ile düşük karbonlu AISI 1018 çelik altlık üzerine FeCrC, FeCrSi ve WCo alaşım tozlarını kaplamıştır. TIG kaynak metodu ile etkili ve basit olarak üretilen sert kaplama tabakaların kalınlıkları 2-4 mm ve sertlikleri 700 ve 900 HV olarak ölçülmüştür. Çalışmada, işlem parametrelerine ve toz tipine bağlı olarak kaplama tabakasında ötektik altı ve ötektik üstü mikroyapılar elde edilmiştir. FeCrC, FeCrSi ve WCo kaplama yüzeyleri arasında FeCrC tozları ile elde edilen kaplama tabakasında en iyi aşınma direnci görülmüştür [55].

Buytoz ve arkadaşları (2006), yapmış oldukları çalışmada TIG yöntemi ile AISI 4340 çelik yüzeyinde Fe-Cr-C esaslı sert yüzey kaplama tabakası oluşturmuşlardır. Elde edilen numuneler karakterizasyon işlemlerine tabi tutulmuş; yapılan incelemeler sonucunda kaplama mikroyapılarında östenit matris içinde katılaşmış ve dağılmış  $(Cr,Fe)_7C_3$  karbürleri tespit edilmiştir. Ayrıca,  $(Cr,Fe)_7C_3+(\gamma)$  karbürleri de gözlemlenmiştir. Bu yapılara ait sertlik değerleri sırasıyla; 1500-750 HV olarak ölçülmüştür. Sert yüzey kaplanan malzemelerin katılma hızına bağlı olarak elde edilen mikroyapıların uygun bir işlemde geçirilerek, aşınmaya maruz kalan yerlerin yüzey kaplamasında kullanılabileceği belirtilmiştir [56].

Yılmaz ve arkadaşları (2009), AISI 4340 çelik üzerine gaz tungsten ark (GTA) kaynak yöntemi kullanarak ferro-titanyum (Fe-Ti), ferro-bor (FeB), ferro-tungsten (FeW), ferro-krom (FeCr), ferro-vanadyum (FeV) ve ferro-molibden (FeMo) tozları ile titanyum diborür ( $TiB_2$ ) partikül takviyeli demir esaslı kompozit kaplamalar üretmişlerdir. Çalışmada ferro alaşım tozları ile GTA prosesinin kaplama tabakasının mikroyapısına olan etkilerini incelemişlerdir. Bu amaç doğrultusunda üretilen kaplamaların mikroyapıları incelenmiş, faz analizleri yapılmış, sertlikleri alınmış ve son olarak abrasif aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara bağlı olarak en yüksek aşınma direncinin FeTi-FeW-FeB ferro-alaşım tozlarının karışımıyla elde edilen kaplama tabakasında olduğunu göstermişlerdir. Titanyum, tungsten, krom ve bor elementlerinin ferro-alaşımından elde edilmek suretiyle yapılan kaplamaların GTA yöntemiyle oldukça ucuz olarak üretilebileceğini belirtmişlerdir [57].

Tosun (2011), yaptığı çalışmada TIG kaynak yöntemi ile AISI 1010 çeliğinin yüzeyinde Ni/WC esaslı kaplama tabakası oluşturmuş ve toz tabakası kalınlığının ve elektrik akımının mikroyapı üzerinde etkilerini incelemiştir. Bu inceleme sonucunda, deney şartlarının kaplama tabakasının mikroyapısı üzerinde etkili olduğunu belirlemiştir. Akım arttıkça windsmanstten tipi yapılar oluştuğu ve ITAB (ısı tesiri altında kalan bölge)'in genişlediği görülmüştür. Ayrıca kaplama işlemi için kullanılan toz tabakasının kalınlığının artmasıyla ITAB'daki C içeriğinin arttığını tespit etmiştir [58].

Lai ve arkadaşları (2014), Ötektik altı Fe-Cr-C sert yüzey kaplama alaşımını salınım hareketli TIG kaynak yöntemiyle ASTM A36 çelik altlık üzerine kaplamışlar; mikroyapı özelliklerini ve gelişimlerini incelemiştir. Kaplama alaşımında  $\alpha + M_{23}C_6$  karbürünün, primer bir  $\alpha$  fazı ve lamel ötektik bileşimi olarak ortaya çıktığını gözlemlemiştir. Ark ısı etkisinden dolayı, karbür morfolojisi gelişiminin, lamellerin ayrılmasıyla başlayıp, bunu takiben parçalanması, kabalaşması ve nihayetinde solucan benzeri gibi bir yapıya dönüşmesiyle tamamlandığını tespit etmişlerdir. Yaptıkları sertlik ölçümleri sonucunda, en düşük sertliğin füzyon sınırına en yakın bölgede mevcut olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Karbür morfolojisinin gelişimi karbürün parçalanmasını ve kabalaşmasını içeren farklı ITAB' da görülebileceğini; ITAB'ın sertlik performansının hem  $\alpha$  fazının mekanik özellik değişiklikleri hem de karbür morfolojisi değişiklikleri tarafından etkilenebileceğini belirlemiştir. Sertlik dağılımı ve morfoloji farkından dolayı en yüksek aşınma oranının belirli bölgelerde oluşacağı konusunda da tahminde bulunmuşlardır [59].

Chakraborty ve arkadaşları (2014), yaptıkları çalışmada üç nikel esaslı Ni-Cr-B-Si sert yüzey alaşımlarını östenitik paslanmaz çelik üzerine TIG kaynak tekniği ile kaplamışlardır. Elde edilen sert yüzey kaplama tabakalarının mikroyapı, sertlik ve aşınma özelliklerini incelemiştir. Sert yüzey kaplama tabakasının altlık tarafında seyrelmesinin kaplama tabakasına ait mikroyapıyı ve sertliği değiştirdiği ve aşınma direncini düşürdüğü bulunmuştur. Seyrelmenin neden olduğu çökeltinin hacim fraksiyonundaki değişime bağlı olarak seyrelmenin aşınma direncine etkisi, en yüksek alaşım içeriğine sahip alaşım için daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Aşınma izi

üzerinde oluşan oksitlerin bu alaşımlar için farklı olduğu ve çökeltilerin sürtünme katsayıları bu oksit tabakalarından etkilendiği belirlenmiştir [60].

Tez kapsamında yapmış olduğumuz çalışmalarda (2014), Ferro niyobyum, ferro bor ve saf demir tozlarının değişik oranlardaki karışımları ile üç farklı Fe-Nb-B' esaslı alaşım bileşimi oluşturulmuş ve tungsten inert gaz (TIG) kaynak yöntemi kullanılarak AISI 1020 çeliğinin yüzeyinde sert yüzey kaplama tabakası elde edilmiştir. Üretilen sert yüzey kaplama alaşımlarının mikroyapılarının iyi kalitede, kalın ve gözeneksiz bir yapıda olduğu ve çelik matris içerisinde iyi dağılmış borür fazları içeren kompozit yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Faz analizi incelemelerinde  $Fe_2B$ ,  $NbB_2$ ,  $NbFeB$ ,  $Fe_{0,2}Nb_{0,8}$  ve Fe fazlarının varlığı tespit edilmiştir. Yapılan sertlik deneyleri sonucunda borür fazlarına, ötektik kolonilerine, geçiş bölgesine ve çelik altlığa ait sertlik değerleri sırasıyla;  $1689 \pm 85 HV_{0,01}$ ,  $867 \pm 76 HV_{0,01}$ ,  $387 \pm 42 HV_{0,01}$  ve  $181 \pm 7 HV_{0,01}$  olduğu belirlenmiştir [61]. X ışını difraksiyon analizleri, alaşım tabakaların demir borürleri,  $FeNbB$  ve demir fazlarını içerdiğini göstermiştir.

Bir başka çalışmamızda (2015), niyobyum oranın sabit, bor oranın değişken ( $Fe_{(15-x)}Nb_5B_x$  ( $x=3$  ve  $5$ )) olduğu TIG kaynak yöntemi ile üretilen Fe-Nb-B esaslı sert yüzey kaplamalar oluşturulmuş ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Yapılan aşınma testleri alümina bilyeye karşı farklı yüklerde,  $0,1m/sn$  hızında ve 200m mesafede gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri sonucunda bor içeriğinde ve uygulanan yükteki artışın sürtünme katsayısı değerleri üzerindeki önemli bir etkiye sahip olmadığı, buna karşın uygulanan yükteki artışın, alaşım bileşimleri için aşınma hızının artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Aşınma bölgelerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri sonucunda, sürtme aşınması, aşınma çizikleri ve bazı lekelenmiş oksitli bölgelerin olduğu ve sonuç olarak abrazif-oksidatif karakterde bir aşınma mekanizmasının olduğu görülmüştür [62].

Literatürde yapılan tarama sonucunda, TIG kaynak yöntemi ile sert yüzey kaplama işlemi ile ilgili birçok çalışmanın gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu çalışmalarda kullanılan sert yüzey alaşımlama malzemelerin bir kısmı ser-met malzemeler olup, bunlar, bağlayıcı ve sentetik sert seramik karakterli takviye elemanlarını içeren

alaşımlardır. Ancak günümüzdeki çalışmalar genel olarak daha ekonomik ve homojen faz dağılımına sahip, kompozit karakterli ve alaşımın ergitilmesi sırasında ekzotermik reaksiyonlarla gerçekleşen borür ve karbürlerin olduğu in-situ kompozit alaşımlar üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalarda takviye elemanı olarak geçiş metallerinin borür ve karbür esaslı ara yer bileşiklerinin oluşturulması amaçlanmıştır.

Tez kapsamında yapılan çalışmayla, ferro alaşımlar kullanılarak metal (Fe, Nb, V ve Ti) borürlerin olduğu in-situ kompozit sert yüzey alaşımlar düşük karbonlu çelik yüzeyinde üretilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla bileşim oranlarında yapılan değişimlerin sert yüzey alaşım tabakalarına ait mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkileri incelenmiş ve ülkemizde bol miktarda bulunan bor elementinin sanayimiz için kullanılabilir olmasına çalışılmıştır.

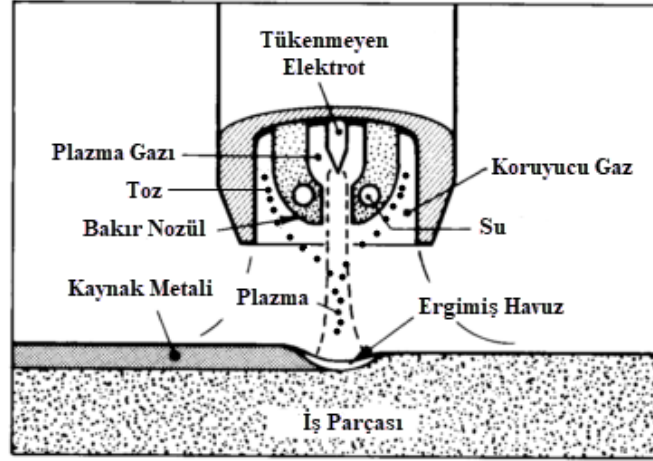
#### **2.4.3. Plazma transfer ark kaynağı ile sert yüzey kaplama**

Plazma ark kaynağı ile sert yüzey kaplama yönteminde, TIG kaynak yöntemindeki gibi tükenmeyen tungsten elektrot ile iş parçası arasında sert kaplama için ana ısı kaynağı olan gaz korumalı ark kullanılmaktadır. Bu yöntemde, ikincil ısı kaynağı olarak plazma kullanılır [19]. Sert yüzey kaplama malzemesi yüksek enerji yoğunluğuna sahip bu plazma içerisine yönlendirilir. Bu yüksek enerji ile derin kaplamalar elde edilmektedir. Bu yöntemde çok yüksek sıcaklıklara çıkmak mümkündür (20000-30000°C). Plazmanın yüksek termal şiddeti tek tabakalı kaplamalarda yüksek biriktirme hızlarına olanak sağlayarak zaman kaybını azaltır [18]. Plazma ark kaynağında sert yüzey kaplama sarf malzemesi olarak çıplak çubuklar ya da teller kullanılmaktadır. Sert yüzey kaplama malzemesi olarak toz kullanıldığında yöntem genellikle plazma transfer ark olarak adlandırılır [19].

Plazma transfer ark yöntemi Şekil 2.3.'te şematik olarak gösterildiği gibi iş parçasının üstünde ergimiş havuz oluşturmak için tozun ark/plazma karışımı akış içerisine verildiği bir kaynak yöntemidir. Nihai tabaka homojen ve yoğundur ve ana metal ile mükemmel metalürjik bağlanmaya sahiptir. Plazmayı oluşturan ve torçtan ergidiği ve ana metale kaynaşarak bağlandığı ark akıntısına yönlendirilen alaşım toz



besleyicisinden plazma üflecine argon gazıyla taşınır. Tungsten elektrodu ve iş parçasını bağlayan doğru akımlı güç kaynağı transfer ark için enerji sağlar [19].



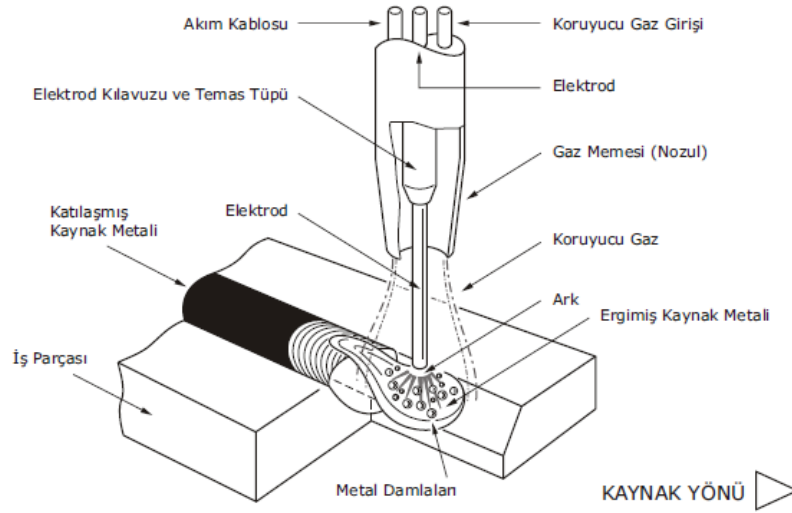
Şekil 2.3. Plazma transfer ark kaynağı ile sert yüzey kaplama işleminin şematik gösterimi [30].

Plazma transfer ark kaynağı ile sert yüzey kaplamanın birçok avantajı vardır. 0,64 mm ile 3,2 mm arasındaki kalınlıkta kaplamalar hızlı bir şekilde tek bir pasoda üretilebilir. Bu teknikle üretilen kaplamalarda seyrelme oranı % 5 ile % 20 arasındadır. Sert yüzey kaplanacak parçanın şeklinde ve boyutlarına bağlı olarak % 95'e yakın toz geri kazanımı ile 4,5 kg/saat'e yakın biriktirme hızına ulaşmak mümkündür.

Plazma transfer ark kaynağı yönteminin bazı dezavantajları; ekipmanın nispeten pahalı olması ve özel takımlar temin edilmediyse silindirik ve düz çizgili parçaların kaplanmasının sınırlı olmasıdır. Argon tüketimi TIG kaynağından biraz daha fazladır. Elektrotun korunması için argon üflecine merkezine üflenmelidir. Ergimiş metali korumak için koruyucu gaza ihtiyaç vardır ve argon ayrıca toz taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Sert kaplanacak büyük parçalarda genellikle ön ısıtmaya ihtiyaç duyulur. Aşırı ön ısıtmalar ve uzun süren sert yüzey kaplama süreleri üflecine aşırı ısınmasına sebep olursa bu plazma ark kaynağı için ciddi bir problem haline gelir [19]. Bu yöntemde en çok kullanılan sert yüzey kaplama alaşımları demir, kobalt ve nikel esaslı alaşımlardır. Uygulama alanları arasında otomotiv, kimya, petrokimya sanayisi, uçak motor parçaları, kontrol valfleri, cam ve seramik kalıpları, plastik ekstrüzyon kalıpları ve çim biçme parçaları sayılabilir [18,49].

#### 2.4.4. Metal inert /aktif gaz (Gazaltı) kaynağı ile sert yüzey kaplama

Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, Şekil 2.4.'te gösterilen, sürekli beslenen ve eriyen bir tel elektrotla iş parçası arasında oluşan ark yoluyla üretilir [63]. Koruyucu gaz olarak argon, helyum gibi inert bir gaz (MIG) veya bunların karışımı ile aktif bir gaz (MAG) kullanılır [64].



Şekil 2.4. Gazaltı kaynak işlemi [63]

Gazaltı ark kaynak yöntemi kullanılarak sert yüzey kaplama işlemi, dolgu malzemesi ile iş parçasının yüzeylerinin karbondioksit, argon ve helyumun tek başına veya bir miktar  $O_2$  ile kombinasyonları gibi koruyucu gazlar ile korunarak tükenir elektrot ile gerçekleştirilir.

Bu yöntem, yarı otomatik sert yüzey kaplamalar için uygundur ve yöntemin çok yönlü oluşu karmaşık şekilli parçaların kaplanmasına imkân vermektedir. Gazaltı ark kaynağında kaplama tabakası her zaman görünür durumdadır; bu da yüksek kaliteli katman elde etmeye yardımcı olur. Gazaltı ark kaynağı ile sert yüzey kaplama işleminde küçük çaptaki sert kaplama dolgu telleri veya elektrotlar kullanılır [19]. Sert kaplama alaşım telinin üretimi zor olduğu için kaplama amaçlı çok sınırlı olarak kullanılmakla birlikte bu yöntem daha çok tamir amaçlı kullanılmaktadır. Bu yöntemde elektrotun sürekliliği ve yöntemin otomasyona uygunluğu nedeniyle

kaplama oranı örtülü elektroda göre daha yüksektir ve geniş parçalar için daha uygundur. Gazaltı ark kaynağı ile sert yüzey kaplama işleminde yaygın olarak kullanılan kaplama alaşımları; yüksek alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, kobalt esaslı alaşımlar, nikel esaslı alaşımlar ve bakır esaslı alaşımlardır [49].

#### **2.4.5. Özlü tel ark kaynağı ile sert yüzey kaplama**

Özlü tel ark kaynağı, arkın elektrotla iş parçası arasında oluştuğu ve gaz veya kendiliğinden bulunan flaksla korunduğu yarı otomatik ya da otomatik bir yöntemdir [19]. Bu kaynak yöntemi gazaltı kaynak yöntemiyle aynı olup; aralarında tek fark kullanılan kaplama elektrotun özlü olmasıdır [49]. Özlü tel elektrotları kesintisiz tel makara ya da boru şeklindeki dolgu malzemesi şeklindedir.

Yüksek alaşımlı dolgu malzemeleri genellikle çekirdeğin içinde bulunan karbon içerikli malzemelerle atmosfer arasında gerçekleşen reaksiyondan türeyen, kendiliğinden oluşan CO<sub>2</sub> gazıyla ya da flüorürlerin buharlaşmasıyla korunur. Düşük alaşımlı dolgu malzemelerinde arkın korunumu çoğu kez oksijen giderici görevi gören magnezyum veya alüminyum eklentileri ve flaksla kuvvetlendirilir.

Düşük ekipman masrafları özlü tel ark kaynağının başlıca avantajlarından biridir. Ne gaz düzenleyici ne de flaksı arka yönlendiren ekipmana ihtiyaç vardır. Bu nedenle özlü tel sert yüzey kaplama yöntemi sadece torç ile kesintisiz teli besleyecek alet gerektiren basit bir yarı otomatik kaynak prosesidir. Çoğu ferro alaşım bu yöntemle kolayca sert kaplanabilmektedir. Dökme demir ve çil dökme demir dikkatlice kaplanmalıdır. Çoğu sert kaplama alaşımları flaks çekirdekli ark kaynağı prosesi ile ön ısıtma yapılmaksızın kaplanabilir ve arktan elementlerin geri kazanımı iyidir. Özlü tel ark kaynağı ile sert kaplama kullanımı kolay bir prosestir ve sıradan bir uygulama için operatörü eğitmek için çok az bir süre yeterlidir.

Ark dengeliliği ve ergitme hızları mükemmeldir. En iyi sert kaplama özellikleri doğru akımda ve elektrot pozitifken alınır. Fakat alternatif akım kaynağıyla da 26'dan 30V'a kadar iyi sonuçlar elde edilebilir. Bu yöntemle yapılan sert kaplamalar örtülü

elektrotlarda yapılan kaplamalarda sağlamlık açısından kıyaslanabilirlerdir ve biriktirme hızları da örtülü elektrotlardan 3-5 kat daha hızlıdır.

Özlu tel ark kaynağının bazı dezavantajları da vardır. Ark inert gaz veya tanecikli flaks örtüsüyle korunduğu için bu proseste önemli ölçüde sıçrama ve biraz porozite beklenebilir. Buna ek olarak, yüksek kaynak akımlarından dolayı bilhassa küçük parçaların sert kaplaması için uygun değildir. Kaynak metalinin boru telden kaplamaya geri kazanımı normalde %80 ve 85'e yakın veya üstündedir. Distorsiyon ve çatlama miktarı diğer ark kaynağı prosesleriyle kıyaslanabilir düzeydedir [19].

#### **2.4.6. Tozaltı ark kaynağı ile sert yüzey kaplama**

Bu kaynak usulünde ark, iş parçası ile bir bobinden gelen çıplak tel elektrot arasında oluşur. Ayrı bir kanaldan gelen silikat ve toprak alkali metalleri ihtiva eden özel bir toz, ark bölgesini atmosferin zararlı etkilerinden korur. Ark, toz ile tamamen kaplanarak tozun altında yanar, gözle görülmez, sıçrama ve kıvılcım oluşumu meydana gelmez. Arkın devamlı olarak toz yığını altında yanması bu yöntemde tozaltı kaynak isminin verilmesine sebep olmuştur [65,66].

Sahip olduğu birçok özellik nedeniyle toz altı kaynağı sert yüzey kaplama için oldukça caziptir. Otomatik bir kaynak yöntemi olduğundan verimli bir işlem için operatör açısından çok yüksek bir beceri gerektirmez. Bu yöntem ile işe bağlı olarak 4,5- 9 kg/saat arasında yüksek biriktirme hızlarına ulaşmak mümkündür. Tozaltı kaynak yöntemi ile minimum taşlama ile temizlenebilen, porozitesiz ve pürüzsüz kaplamalar elde etmek mümkündür. Ayrıca; dolgu malzemesi atmosfere karşı flaks tarafından korunarak arkı tamamen kaplayıp kalkan vazifesi görmektedir.

Tozaltı kaynağının en önemli dezavantajları; genellikle silindirik ya da yassı iş parçalarının sert yüzey kaplanmasının sınırlılığı ve küçük parçaların yüzey sertleştirilmesine uygun olmamasıdır. Yatay uygulama dışındaki diğer sert kaplama uygulamalarında özel flakslara ihtiyaç duyulur. Genel olarak tozaltı kaynak üniteleri oldukça büyüktürler ve sabit hatların üzerine yerleştirilirler. Bu durum onların saha

uygulamaları için kullanımlarını kısıtlar. Flakın kullanımdan önce kuru olarak saklanması zorunludur yoksa depolama bir problem haline gelebilir. Seyrelme nispeten yüksektir ve ana metal ile alaşım oluşturma % 30 seviyesine yaklaşabilir veya aşabilir. Bu nedenle, maksimum aşınma dayanımı için iki veya üç tabaka kaynak metali gerekli olabilir [19].

#### **2.4.7. Oksi-gaz kaynağı ile sert yüzey kaplama**

Oksi-gaz kaynak yöntemi, kaynak için gerekli ısının biri yanıcı, diğeri yakıcı olan gazların yakılmasıyla elde edilen yüksek sıcaklıktaki alev ile sağlanan ve "gaz ergitme kaynağı" olarak da adlandırılan bir kaynak yöntemidir. Yakıcı gaz olarak oksijen kullanılmakla birlikte, yanıcı gaz olarak asetilen, propan, metan ve doğal gaz gibi hidrokarbon bileşikleri kullanılmaktadır [67].

Oksi-gaz kaynağı ile sert yüzey kaplama işleminde, gaz alevinden gelen ısı sert kaplama malzemelerini eritmek için kullanılır. Sert yüzey kaplama işlemi sırasında iş parçası sadece yüzeysel olarak eritilir. Bu yöntem, asetilen gazının yaygın kullanımı nedeniyle oksi-asetilen kaynağı olarak da adlandırılır.

Oksi-gaz kaynağıyla sert yüzey kaplama, toz dâhil olmak üzere bütün sert kaplama ürün şekillerine kolayca uygulanabilen çok yönlü bir yöntemdir. Oksi-gaz kaynağı ekipmanları basittir, ana ekipman masrafları düşüktür ve ekipmanları taşınabilir. Oksi-gaz kaynağı yöntemleri ile genellikle aşınma direnci gerektiren uygulamalar için en uygun yapıdaki mikroyapı ile sert yüzey kaplama katmanları üretilir.

Elle yapılan oksi-gaz kaynağıyla sert yüzey kaplama esnasında, kaynak çubuğu ile üfleç ayrı ayrı yönlendirilirken düzgün kaliteli kaplamalar elde etmek için usta kaynakçıya ihtiyaç duyulur. Bu yöntemin kaplama hızı düşük olup büyük parçaların sert yüzey kaplanmasında kullanımı sınırlıdır.

Oksi-asetilen kaynak yöntemi, kaplanacak bölgenin küçük boyutta olduğu sert yüzey kaplama uygulamaları için iyi sonuç verir. Bu nedenle, saha uygulamalarında kolayca

kullanılabilmektedir; buhar valfleri, otomotiv ve dizel motor valfleri, odun ve plastik için kesici bıçaklar, zincir testere barları, saban demirleri ve tarım aletlerinin sert kaplamasında en iyi sonuç veren yöntemdir [19].

#### **2.4.8. Toz kaynağı ile sert yüzey kaplama**

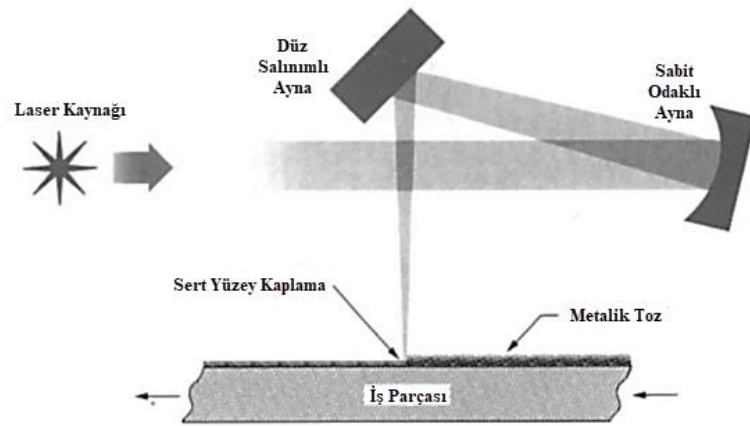
Toz kaynağında kendinden akan bir yüzey oluşturuucu alaşım tozu ihtiva etmek için entegre bir hazneye sahip olan modifiye edilmiş bir oksisasetilen torcu kullanılır. Toz akışı, operatörün kontrolü altında, yanma gazlarının akışına gönderilmekte ve oksisasetilen alevi ile iş parçası yüzeyine iletilmektedir. Bu işlemle normal olarak kullanılan nikel esaslı alaşımlar ince tabaka halinde biriktirilebilir. Sert yüzey kaplama tabakasının altlıkla metalürjik bir bağ oluşturması nedeniyle altlığa mekanik bağlantıyı sağlamak için kum püskürtme işlemi yapılmasına ihtiyaç yoktur ancak; genellikle işlem kolaylığı için yüzeyin temiz olması gereklidir [30]. Bu işlem ile genel oksisasetilen kaplama uygulamasını takip ederek pürüzsüz, ince, yoğun katmanlar elde edilir. Katman kalınlığı toz akış oranıyla ve üflecin hareketiyle kontrol edilir ve katmanda %1'den %5'e kadar seyrelme meydana gelir [19].

Bu kaplama yöntemi, oksisasetilen kaynağı ile yapılan kaplama yöntemine göre kullanımını daha basittir ve geniş bir sertlik aralığı gerektiren ( 20 HRC 'den 60 HRC 'ye ) küçük bölgelerin sert kaplaması veya küçük tamir işlemleri için daha uygundur [19,30]. Ancak, metod, oksisasetilen kaynağı ile aynı dezavantajları paylaşır ve buna ek olarak, sert yüzey kaplama işlemine uygun sarf malzeme çeşitliliği sınırlıdır [30]. Bu yöntemin tipik uygulamaları; tuğla kalıplama ekipmanlarını, çimento endüstrisi için ekipmanları, dökümhaneler için dökme demir parçalarını besleme vidalarını, çekiçli değirmen çekiçlerini içerir [19].

#### 2.4.9. Lazer ile sert yüzey kaplama

Lazer kaplamada, iş parçasındaki bir noktaya odaklanmış, ışın kanalları sistemi aracılığıyla yönlendirilen bir lazer ışını kullanılır, (Şekil 2.5.). Lazerin gücü ve odak noktasının çapı hassas bir şekilde kontrol edilir ve ışın, önceden yerleştirilmiş kaplama malzemesinin ergitilmesi ve katılaşması için iş parçası üzerine çevrilir. Kaplama malzemesi hızla katılaşır ve karbürler, nitrürler, laves fazları vb. gibi mikro yapıların daha düzgün dağılımı ile karakterize edilen ince tanecik boyutu, ince dendrit kolu aralığı mikroyapılarını verir. Seyrelme rutin olarak % 3' ten daha düşük bir seviyeye kadar kontrol edilir ve bu da metalürjik olarak ark kaynak yöntemleri ile üretilenler kaplamalardan daha üstündür. Bu işlemde düşük ısı girdisi nedeniyle iş parçasının distorsiyona uğraması önemsizdir. Biriktirilen kaplamanın genişliği 0.15mm ile 50mm arasında değişebilir ve hemen hemen her boyuttaki parçalara sert yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilebilir. Pasolar yan yana yapılarak istenilen kalınlığa kadar katmanlar oluşturulabilir. Tek geçişte maksimum kalınlık yaklaşık 2mm'dir.

Lazer kaplamaları için kullanılabilen malzemeler arasında gaz atomizasyonu ile üretilmiş küresel tozlar halinde hazırlanan çeşitli nikel alaşımları, kobalt alaşımları ve demir krom alaşımları bulunur [30]. Bunların yanı sıra, kobalt, nikel ve tungsten karbür esaslı sert yüzey kaplama alaşımları lazer sert kaplama için kullanılan klasik sert kaplama malzemeleridir. Geleneksel sert kaplama metotlarında olduğu gibi malzemeler metalden metale temaslı, darbe, erozyon ve aşınma dayanımının arandığı uygulamalarda kullanılmaktadır. Titanyum karbür, Fe-Cr-Ni-B alaşımları alüminyum bronzları ve seramikler diğer lazer sert yüzey kaplama malzemeleridir. Ana metal olarak ise karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel esaslı alaşımlar, alüminyum, dökme demirler ve takım çelikleri kullanılmaktadır [19].



Şekil 2.5. Lazer kaynağı ile kaplama işleminin şematik gösterimi [30]

## 2.5. Alaşım Seçimi

Sert yüzey kaplama alaşım seçimi, öncelikle aşınma ve maliyet unsurları göz önünde bulundurularak yapılır. Ana metal, kaplama prosesi, darbe dayanımı, korozyon, oksidasyon ve termal gereklilikler gibi diğer üretim faktörleri ve çevresel faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Genellikle sert yüzey kaplama prosesi; sert yüzey kaplamaya veya dolgu metali ürün şekline etki eder.

Sert yüzey kaplama alaşımları genellikle; çıplak çubuk, flaks kaplı çubuk, uzun katı teller veya uzunlamasına boru telleri (flaks kaplı olan veya olmayan) veya tozlar şeklinde bulunurlar. En çok uygulanan sert yüzey kaplama prosesleri ve bu proseslerde kullanılan dolgu metali ürün şekilleri Tablo 2.5.' te verilmektedir [19].

Tablo 2.5. Sert yüzey kaplama prosesleri ve dolgu malzeme ürün şekilleri [19]

Sert Yüzey Alaşımlama Kaynak Yöntemleri	Sarf Malzeme/Ürün Şekli
Oksiyakıt / Oksiasetilen (OFW / OAW)	Çıplak dökme veya boru şekilli çubuk
Koruyucu Metal Ark (SMAW)	Kaplanmış katı veya boru şekilli çubuk (çubuk elektrot)
Gaz Tungsten Ark (GTAW)	Çıplak dökme veya boru şekilli çubuk
Gaz Metal Ark (GMAW)	Boru veya düz tel
Özlu tel Açık Ark	Boru tel (Özlu tel)
Tozaltı Ark (SAW)	Boru veya düz tel
Plazma Transfer Ark (PTA)	Toz
Lazer Işını	Toz



Genellikle sert yüzey kaplama alaşımlarının darbe dayanımı karbür içeriği arttıkça azalır. Bunun sonucunda, darbe ve aşınma dayanımının ikisinin birden istendiği durumda ikisinin arasında bir ayarlama yapılmalıdır. Darbe dayanımının çok önemli olduğu uygulamalarda östenitik manganez çelikler dolgu kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Çoğu kez aşınma, kimyasal proseslerde, petrol endüstrisinde veya baca gazı temizleyicilerinde karşılaşıldığı gibi alkali ve asitler tarafından sıvı ortam korozyonu ile birleşir. Demir esaslı sert kaplama alaşımlarının çok azı böyle sıvı ortamlarda yeterli korozyon direncine sahiptir. Sonuç olarak, nikel veya kobalt esaslı sert kaplama alaşımları genellikle korozyon dayanımı ile birlikte aşınma dayanımının da gerekli olduğu durumlarda önerilir. Örneğin, bir gıda tesisinde domates doğramak için kullanılacak bir bıçağın eğer keskin kenarları kobalt esaslı alaşımdan yapıldıysa, takım çeliğinden yapılmış bir bıçaktan kat kat daha fazla uzun ömürlü olur.

Ayrıca, demir esaslı alaşımların oksidasyon ve yüksek sıcaklık korozyon dayanımları da zayıftır. Tipik olarak, borür içeren nikel esaslı alaşımlar oksidasyona karşı koymak için yeterli seviyede krom içermezler. Bu yüzden, Lave fazı ve karbür içeren nikel esaslı alaşımlar veya kobalt esaslı alaşımlar aşınma direncinin oksidasyon veya yüksek sıcaklık korozyonu direnciyle birlikte gerekli olduğu durumlardaki uygulamalar için önerilir.

Bir alaşımların yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruması, aşınma uygulamaları için önemlidir. Martenzitik yapıdaki demir esaslı alaşımlar yüksek sıcaklıklarda sertliklerini kaybederler. Genelde, yüksek sıcaklıklarda bir sert kaplama alaşımlarının mukavemetini koruması, tungsten ve molibden içeriğiyle artar. Yüksek sıcaklık mukavemeti ve aşınma direnci gerektiren uygulamalarda kobalt esaslı alaşımlar veya Lave fazlı alaşımlar önerilir.

Aşınmaya karşı dirençli malzemeler; tipik olarak, özelliklerini büyük ölçüde belirleyen alaşım içeriğinden ve türlerinden yararlanılarak sınıflandırılır. Bu

malzemelerin matrisi içinde istenilen aşım özelliklerine bağlı olarak bir seviyeye sertleştirilmiş sert fazlardan ibaret olan yapıları vardır.

Tablo 2.6.'da belirli avantajları ve kullanım alanları ile birlikte sert kaplama malzemelerinin geniş bir listesini vermektedir. Sert kaplama aşımını seçerken aşağıdaki adımlar izlenmelidir [19].

- Hangi tür aşınma ve çevresel dayanımın gerekli olduğunu belirlemek için servis şartlarının analizi
- Mevcut sert yüzey aşım alternatiflerinin seçimi
- Termal gerilimi ve olası çatlama göz önünde bulundurularak sert kaplama aşımıyla ana metal uyumunun analizi
- Sert kaplanmış bölgelerin alan testi
- Maliyet ve aşınma ömrü göz önünde bulundurularak en uygun olan sert kaplama aşımının seçimi
- Tortu biriktirme hızı, seyrelme miktarı, tortu biriktirme, verim, sarf malzemeler ve proses maliyetiyle birlikte tüm maliyetler göz önünde bulundurularak sert kaplama prosesinin belirlenmesi.

Tablo 2.6. Sert yüzey kaplama aşımları için malzeme seçimi [19]

MALZEME TÜRÜ	AVANTAJLARI	UYGULAMALAR
DÜŞÜK SERTLİK		
Perlitik Çelikler	Düşük maliyet, çatlama dayanıklı	Ölçü boyutlarını restore etmek için yığılma malzemesi olarak veya yüzey kaplama işlemleri için düşük maliyetli altlık malzemesi olarak
Düşük Karbonlu Çelikler	Sert kaplama için mükemmel altlık malzeme	
Östenitik Çelikler	Ağır darbelere karşı dayanıklılık, tokluk	Ağır darbe koşullarında metalden-metale temaslı aşınmalarda
Düşük Aşımli Çelikler	Aşınmış bölgelerin yığılmasında iyi tokluk eldesi	

Tablo 2.6. (Devamı)

Düşük Karbonlu Ni-Cr Paslanmaz çelikler	İyi korozyon direnci	Büyük depoların, nükleer kapların korozyona dayanıklı yüzey işlemlerinde
Yüksek Karbonlu Ni-Cr Paslanmaz çelikler	Oksidasyon ve yüksek sıcaklık korozyonuna dayanıklılık	Fırın parçaları, yüksek sıcaklık sürtünme aşınmasında
%14 Mn, % 1 Mo çelikler	Makul aşınma ve korozyon direnci, pekleşebilirlik	Demiryolu raylarının yığılması
%14 Mn, Cr-Ni çelikler	Yüksek akma dayanımı	Yığma, çatlak onarımı, manganez alaşımlarını veya manganezli düşük karbonlu çeliği birleştirme
Yarı-östenitik Çelikler	Düşük maliyetli çatlama dayanımlı malzemeler	Sert kaplama uygulamaları
Bakır Alaşımları	Sürtünmeli aşınma koşullarında yapışmaya karşı dayanım	Yatak yüzeylerinin yığmasında
ORTA SERTLİK		
Nikel Esaslı Alaşımlar	İyi korozyon dayanımı ve mükemmel sıcak sertlik	Sıcak sertliğin önemli olduğu uygulamalar
Nikel-Krom	Oksidasyon direnci	Korozif aşınma ortamları
Ni-Cr-Mo	Eksoz gazı korozyonu direnci	Kamyon, otobüs ve uçak motorlarının valflerinde
Ni-Cr-Mo-W	Korozyona dayanım özelliği	Yüzey kaplama işlemleri
Ni-Cr-B	Aşınma direnci kadar iyi korozyon dayanımı özelliği	Özellikle petrol sahalarındaki pompalama servisi uygulamalarında
Martenzitik Alaşımlı Demirler	Mükemmel aşınma direnci	Darbenin çok az veya hiç olmadığı durumlarda, abrasif aşınma bulunan ortamlar
Cr-Mo	Hafif darbelere dayanıklı iken aynı zamanda iyi aşınma direnci	Hafif darbeleri veya darbesiz tekrarlı metalden-metale temaslı aşınmaya maruz kalmış makine parçalarının yığmasında
Krom-Tungsten	Yüksek basınç mukavemeti	

Tablo 2.6. (Devamı)

Östenitik alaşımlı demir	Martenzitik alaşımlı demirlerden daha iyi çatlak dayanım özellikleri	Erozyonlu aşınmanın hafif darbeye veya darbesiz bulunduğu ortamlarda
Krom-Molibden	İyi çatlama dayanımı kalitesi	Pompa ve türbin yağmasında
Ni-Cr	Çatlama dayanımı, hafif darbelere dayanıklı	Hafif darbeli ortamdaki erozyonlu aşınmalar için
Martenzitik çelikler	Orta şiddette darbe etkisinde aşınma direnci iyi	Orta kademedeki darbenin olabileceği çeşitli abrasif aşınma uygulamalarında
Düşük karbonlu (%0,3'e kadar)	Uygun maliyet, tokluk	
Orta karbonlu (%0,3 - %0,65)	Orta kademedeki darbeye karşı iyi direnç	
Yüksek karbonlu (%0,65 - %1,7)	İyi aşınma direnci	
<b>YÜKSEK SERTLİK</b>		
Yüksek Kromlu Demirler	Mükemmel erozyon dayanımı özellikleri	Sıcak gazların ve malzemelerin bulunduğu genel kullanımlarda
Östenitik	İyi aşınma dayanımı özellikleri	Kumlu arazide çalışan çiftçilik ve hafriyat aletleri
Martenzitik	Tavlama sonrası tekrar sertleşebilme kabiliyeti	Sıcak erozyonun aşınma problemi olduğu rafinerilerde ve çelik fabrikalarında sert kaplama olarak
Tungsten-Molibden Alaşımları	Yüksek sıcaklıkta sertliği koruma	Kok fırını ve çelik fabrikalarındaki sert kaplamalarda (425°C'den 650°C'ye)
Krom-Tungsten-Kobalt Alaşımları	Yüksek sıcaklık sertliği, mukavemet ve sürtünme direnci özellikleri	Çoğu sert kaplama uygulamalarında, fakat yüksek sıcaklık aşınması ve abrazif aşınmanın bulunduğu ortamlar için en uygundur (>650°C)
Düşük Karbon (%1'e kadar)	İyi oksidasyon direnci, tokluk	
Orta karbonlu (%1,4 C)	Aşınmaya ve oksidasyona karşı direnç	
Yüksek karbon (%2,5 %C)	İyi aşınma direnci, gevreklik	
Tungsten Karbürler	Aşınma direnci özelliği en yüksek olan kaplama	Çok geniş çeşitlilikte şiddetli aşınmaya uğrayan çeşitli malzemelerin sert kaplamalarında

## 2.6. Yöntem Seçimi

Sert yüzey kaplama işleminde kaynak yönteminin seçimi mühendislik uygulamasına bağlı olarak, sert yüzey kaplama alaşımı seçimi kadar önemli olabilir. Servis performansı gereksinimleri sadece sert yüzey kaplama alaşımı seçimini etkilemekle kalmaz ayrıca sert yüzey kaplamada kaynak yöntemi seçiminde de önemli etkiye sahiptir. Sert yüzey kaplama yöntemi seçimine dahil olan diğer teknik faktörler; sert kaplama özellik ve kalite gereksinimleri, iş parçasının fiziksel karakteristiği, ana metalin metalürjik özellikleri, şekli ve ebatları, sert kaplama alaşımının biçimi ve kompozisyonu, mevcut kaynak ekipmanları ve sert yüzey kaplama alaşımları ve kaynakçının kabiliyetidir [19,68]. Son olarak, ekonomik değerlendirmeler ve maliyet nihai yöntem seçiminde önemli olan etkenlerdir.

Sert yüzey kaplama tabiri bazen, dolgu metaliyle bir miktar ana metalin ergimesi ve metalürjik olarak bağlandığı esas kaynak prosesini izah etmek için de kullanılır. Oksi-gaz, ark ve lazer kaynağı gibi metotlar ana metalle sert kaplama malzemesi arasında mükemmel bağlanma ile yoğun ve kalın kaplamaların gerektiği uygulamalarda tercih edilmektedir. Termal sprey kaplamalar, ana metalle sert kaplama malzemesi arasında saf mekanik bağın geçerli olduğu çalışma sırasında minimum distorsiyonla uygulanan ince, sert kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır [19].

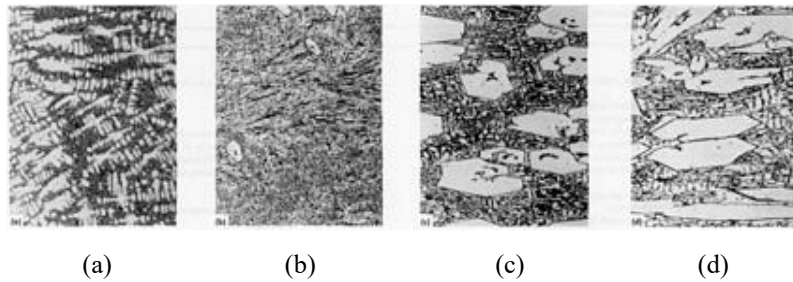
### 2.6.1. Özellik ve kalite gereksinimleri

Kaynak yapılmış sert yüzey kaplama katmanları, esasında katman mikroyapısını etkileyen katılma kinetikleri ve değişken kompozisyonlar tarafından karakterize edilen mini dökümlerdir. Bu sebeple, kaynak yapılmış sert kaplama katmanlarının özellikleri ve kalitesinin, alaşım seçimine olduğu kadar kaynak prosesine ve tekniğine bağlı olması gerekliliği şaşırtıcı değildir.

Oksi-gaz kaynak işlemlerinde karbonun açığa çıkması ve ark kaynak işlemleri sırasında ergiyen maddenin buharlaşması ilave faktörler olmasına rağmen kaynak sırasında bileşimin değişmesi de ana metal seyrelmesinden bağımsız değildir.

Seyrelme; sert kaplama alaşımıyla ana metalin ara-alaşımlanması olayıdır. %10 seyrelme; %10 ana metal ve %90 sert kaplama alaşımı içerdiği anlamına gelir. Aşınma direnci ve sert kaplama alaşımının diğer istenen özelliklerinin genel olarak seyrelme arttıkça düşeceği varsayılmaktadır. Maksimum izin verilebilir seyrelme miktarı belirli servis şartlarına bağlıdır. Bununla birlikte en sert katman eldesi ve seyrelmenin %20 den az olması durumunun kontrolü için kaynak prosesi tekniği seçilmelidir. Daha fazla seyrelme miktarı yığılma kaplamaları için uygundur.

Seyrelme; termal sprej prosesinde sıfırdır ve geleneksel gaz kaynağı proseslerinde düşük olma eğilimindedir. Seyreltim; yaklaşık olarak, plazma ark kaynağı prosesinde %5'den toz altı kaynağında %50'ye kadar değişir ve genellikle ark kaynağı proseslerinde bir problem şeklindedir. Lazer sert kaplama seyreltimi %1'den %10'a kadar değişen küçük değerlerdedir. Yüksek seyrelmeli kaynak prosesleri nispeten birden fazla katmanda uygulanan, nispeten kalın sert kaplamaları gerektiren uygulamalarda tolere edilebilir. Seyrelmenin etkileri, korumalı ark kaynağı (Örtülü elektrot ark kaynağı) kullanılarak düşük karbonlu çelik ana taban üzerine birden fazla tabakada kaplanan yüksek karbonlu beyaz sert kaplama alaşımının üzerinde gösterilmiştir (Şekil 2.6.). Bu özel durumda, birinci tabaka mikroyapısı 55 HRC sertlik göstermiş ve dentridler arası ötektik ile hipoötektik mikroyapısındadır (Şekil 2.6.a). İkinci tabaka yüksek oranlı ötektik matrisiyle ince taneli hiperötektik mikroyapısından oluşmaktadır ve 57 HRC sertliğe sahiptir (Şekil 2.6.b). Üçüncü (Şekil 2.6.c) ve dördüncü (Şekil 2.6.d) tabakalar ötektik matriste primer  $M_7C_3$  karbürlerinden ibaret olup, mikroyapısal olarak birbiriyle eşdeğer durumdadır. Bu tabakalardaki sertlik 60 HRC'den 61 HRC'ye kadar değişir.



Şekil 2.6. Seyrelmenin Fe-28Cr-4Mo-0.4Mn-4.6C sert kaplama mikroyapısı üzerindeki etkileri [19]

Sert kaplama katmanlarının mikroyapıları ve mekanik özellikleri dökümler gibi; seyrelmeye bağlı olduğu gibi katılma kinetiğine de bağlı olarak değişiklik gösterir. Katılma; termal sprey proseslerinin bazılarında genelde neredeyse amorf yapı oluşturacak kadar hızlıdır. Katılma geleneksel kaynak proseslerinde biraz daha yavaş olma eğilimindedir. Genellikle oksijen-gaz kaynağıyla üretilen sert kaplama katmanlarında katılma ark kaynağıyla üretilen sert kaplama katmanlarından daha yavaştır. Katılma hızındaki bu farklılıklar seyrelme ne olursa olsun geniş ölçüde farklı mikroyapılar ve özellikler doğurur. [19].

### **2.6.2. İş parçasının fiziksel karakteristiği**

İş parçasının ağırlığının, boyutunun ve şeklinin sert kaplama yöntemi seçimine önemli bir etkisi vardır. Taşınması zor olan ağır ve büyük iş parçalarını, sert kaplama ekipmanının iş parçasına kolayca taşınabildiği elle ve yarı-otomatik sert kaplama proseslerini kullanarak sert kaplamak uygundur. Portatif ekipmanın hazır halde bulunduğu gaz korumalı metal ark kaynağı ve açık ark kaynağı prosesleri, taşınması zor olan büyük iş parçalarının ulaşılmaz yüzeylerini içeren saha uygulamaları için uygundur.

Sert kaplama yöntemi seçimi daha çok iş parçasının kaynak ekipmanına taşınacak kadar küçük olduğu durumlarda daha önemli hal alır. Termal sprey prosesleri, gaz kaynağı, toz kaynağı, TIG kaynağı, plazma ark kaynağının hepsi iş parçalarının fabrika içi sert kaplaması için uygundur. İnce, doğru yerleştirilmiş sert kaplama katmanları gerektiren küçük iş parçaları için seçenek genellikle termal sprey, gaz kaynağı veya TIG kaynağından yana kullanılır. Büyük miktarlarda küçük iş parçaları en ekonomik şekilde, özel olarak dizayn edilmiş tam otomatik sert kaplama ekipmanı ve işlemi kullanarak kolayca sert kaplanabilir [19].

### 2.6.3. Ana metalin metalürjik karakteristiği

Aşağıda da anlatıldığı gibi termal spreyci sert kaplama proseslerinde ana metal yüzeyinin hazırlanması önemlidir. Bununla birlikte, ana metal kompozisyonunun, ergime sıcaklığı aralığının, termal genişlemenin ve büzülme karakteristiğinin kaynak prosesi seçiminde önemli bir etkisi vardır.

Çelikler genel olarak sert kaplama için altlık olarak uygundur. Düşük alaşımlı ve karbon içerikleri %0,4'e kadar olan orta karbonlu çelikler bütün kaynak yöntemleriyle mükemmel sonuçlar alınarak sert kaplanabilir. Yüksek karbonlu çelikler yine benzer şekilde kolayca sert kaplanabilirler fakat ısı tesiri altındaki bölgedeki zararlı martensitik reaksiyonları en aza indirmek için ön ısıtma gereklidir. Çoğu nikel esaslı alaşımlar ve kolay işlenebilir dereceleri dışında östenitik paslanmaz çelikler ayrıca tüm kaynak işlemleriyle mükemmel sonuçlarla kolayca sert kaplanabilir. Martensitik paslanmaz çelikleri, takım çelikleri, kalıp çelikleri ve dökme demirler ayrıca sert kaplamaya müsaittirler fakat ön ısıtmaya, atlama sıcaklığına, kaynak sonrası ısıtma işlemi daha çok özen göstermek gerekmektedir. Yaşlandırılabilir ana metaller özel sert kaplama problemleri ortaya koymaktadırlar ve genellikle; ön ısıtmaya, atlama sıcaklığına ve kaynak sonrası yapılacak ısıtmaya verilecek dikkatin yanı sıra; kaplama işleminden önce çözündürme veya aşırı yaşlandırma ısıtma işlemine gerek duyarlar.

Sert kaplama kaynak prosesleri; ana metalin ergime sıcaklık aralığının sert kaplama alaşımından yüksek veya en azından eşit olmasını gerektirir. Öte yandan; termal spreyci prosesleri ana metal ergime sıcaklığı avantajına gerek duymaz.

Ana metalin termal genişleme ve büzülme karakteristiği katılma yapısını etkiler. İş parçaları; sert kaplama alaşımlarının kırılmadan kaplanmasına imkan vermek için sık sık üniform olarak nispeten yüksek sıcaklıklara ısıtılmalıdır. Isı girdisi ve ön ısıtma gereksinimlerini direkt olarak etkileyen durumlarda kaynak işlemi seçimi önemlidir.

Sert kaplama malzemesi ile ana metal arasındaki termal genişleme ve büzülme farklılıkları periyodik termal servis şartlarını içeren uygulamalarda önemlidir. Büyük



farklılıklar termal sprey kaplamalarda kayma hatalarına veya kaynak yapılmış kaplamalarda termal yorulma hatasına sebep olabilir. Ana metalle sert kaplama alaşımının arası termal genleşme ve büzülme karakteristiğindeki büyük farklılıkları etkisiz hale getirmek için genellikle tampon tabakalarda kaplanır [19].

#### **2.6.4. Sert yüzey kaplama ürün şekilleri**

Sert kaplama seçimi çoğu zaman ürün şekli tarafından kısıtlanır. Sert kaplama alaşımları genellikle; çıplak dökme çubuklar, örtülü elektrotlar, tel ve toz şeklindedirler. Fakat bütün alaşımlar tüm ürün şekillerinde bulunamazlar.

Hemen hemen tüm sert kaplama alaşımları toz formunda üretilebilir ve çoğu sert kaplama alaşımları çubuk şeklinde üretilebilir. Çubuklar genellikle çıplak dökme demir veya boru şeklindedir. Çıplak dökme çubuk çapları 3,2-8 mm, uzunluk olarak da 250-300 mm arası değişirler. Boru şeklindeki çubuklar düşük alaşımlı kılıf üstüne kaplanmış yüksek alaşımlı toz çekirdeklerinden ibarettir. Boru şeklindeki çubuklar farklı uzunluklarda veya makaraya sarılmış sürekli bobinler şeklinde üretilebilirler. Farklı uzunluklardaki boru çubuklar çıplak dökme çubuklarıyla aynı ölçü aralığında bulunabilirler. Uzun boylu boru çubuklar normalde 1,6-4mm'ye kadar olan çaplarda bulunabilirler. Daha tok ve sünek olan sert kaplama alaşımlarından bazıları katı çekilmiş tek şeklinde üretilebilirler. Gevrek olan sert kaplama alaşımlarından bazıları ekstrüzyon teknikleri kullanılarak katı jel şeklinde üretilebilirler [19].

#### **2.6.5. Kaynakçı kabiliyeti**

Kaynakçı kabiliyeti ile ilgili olan sert kaplama kalite gereksinimlerini göz önünde bulundurmak sert kaplama prosesiyle ilgili olan kalite gereksinimleri kadar önemlidir. Genellikle gaz kaynağı, TIG kaynağı gibi yöntemlerde iyi kaynakçı ustalığı gerektirirken; toz altı kaynağı gibi otomatik kaynak proseslerinde makine ayarlarının daha önceden ayarlandığı varsayılarak minimum operatör kabiliyeti gerektiği söylenebilir. Termal sprey ve benzer toz kaynatma prosesleri genelde orta derecede kaynakçı kabiliyeti gerektirir.

Elle TIG kaynağı türbin kanatçıklarının zincirleme kilit bölgeleri gibi nispeten küçük alanlarda yüksek kalitede kaplamalar elde etmek için kullanılabilir. Bu uygulamada ince tabakalar %10 kadar düşük seyreltimde kaplanabilir fakat kaynak işleminin yakından takip edilmesi ve yüksek kaynakçı kabiliyeti gerektirmektedir. Buna karşılık, hafriyat ve madencilik ekipmanları nispeten daha deneyimsiz kaynakçılar tarafından yeterli seviyede sert kaplanabilir. Prosesin seçimi genellikle maksimum kaplama hızına dayalıdır: yüksek seyreltim hızı arasına kaplamanın servis için uygunluğu belirgin bir şekilde etkiler [19].

### 2.6.6. Maliyet

Maliyet nihai olarak sert kaplama prosesi seçimini belirleyen faktördür. Sert kaplama maliyetleri; çalışma, malzeme ve bazı durumlarda yeni ekipman maliyetlerinden ibarettir. Taşıma masrafları da ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışma masrafları öncelikler kaynakçı beceri düzeyine ve prosesin sert kaplama hızlarına bağlıdır ancak yüzey hazırlama ve bitirme işlemleri ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır. Kaplama hızı genelde elle sert kaplama proseslerinde en düşüktür. Önemli ölçüde daha yüksek sert kaplama hızları otomatik ark kaynaklı sert kaplama prosesleriyle mümkündür. 27 kg/sa gibi yüksek kaplama hızları tozla veya çoklu telle ve toz altı kaynaklı sert kaplama prosesleriyle mümkündür fakat seyreltim çok yüksektir. Sert kaplama için uygun bir kaynak yöntemi; en yüksek kaplama hızına ulaşırken aynı zamanda seyreltimi kısıtlama kabiliyetine sahip olmalıdır.

Sert kaplama maliyetleri hammaddelerin geçerli fiyatlarına ve ürün şeklinde bağlıdır. Hammadde maliyetleri, tungsten-kobalt, nikel esaslı sert kaplama alaşımlarında ağır basan masraflar, demir esaslı sert kaplama malzemelerinde ürün şekli hakim olan masraftır. Genellikle boru şeklindeki çubuklar ve teller en az pahalı olan sert kaplama ürün şekilleridir. Aksine, katı tel en pahalı sert kaplama ürün şeklidir. Dökme çubuk ve tozlar maliyet bakımından orta derecededir. Tozlar, toz boyutu gerekliliğine bağlı olarak dökme çubuklardan daha ucuzlardır. Fakat iş parçasının üstünde biriktirilen sert kaplama sarf malzemesinin hızını ölçerek biriktirme verimliliğine bakıldığında, toz

sarf malzemeleri kullanılan sert kaplama prosesleri genellikle dökme çubuk kullanılarak uygulanan sert kaplama proseslerinden daha düşüktür [19].

## **2.7. Altlık Malzeme Seçimi**

### **2.7.1. Özel önlem gerektiren altlık malzemeler**

Bazı çelikler yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında çatlayabilir; Örneğin % 11-14 manganez içeren çelikler yalnızca, aralıklı kaynak veya su soğutma ile düşük sıcaklıklarda tutulmalıdır. Bazı yüksek alaşımlı paslanmaz çelikler, kaynak yapıldığında gevrek sigma fazı oluşturabilirken, bazı Ni-Cr çeliklerin temper gevrekliğinde veya sünek-gevrek dönüşüm sıcaklığında bir azalma hassasiyeti olabilir.

### **2.7.2. Diğer altlık malzemeler**

Altlık malzemesi olarak kullanılan çok çeşitli mühendislik metalleri ve alaşımları vardır. Servis ömrünün geliştirilmesi için kaynaklı bir kaplamanın uygulanma olasılığını dikkate alırken sorulması gereken ilk soru; çok daha düşük kaynak maliyetine sahip olan daha ucuz bir altlık malzemesinin, mevcut altlığın yerini alıp almayacağıdır. Mevcut malzeme dikkate alınması gerekiyorsa, kaynak ile yüzey alaşımlamayı zorlayacak veya imkansız hale getirebilecek özellikler listelenmiştir:

- Ergime noktası yüzey kaplama alaşımından daha düşük;
- Serbest kesme özellikleri;
- Kolay oksitlenmiş element içeriği, ör. Al, Cu, yüksek Si;
- Sert ve/veya kırılğan bir çelik;
- Kaynak için stabilize edilmemiş bir paslanmaz çelik;
- Tasarlanmış bir katkı olarak azot içeren bir çelik.

### **2.7.3. Gri dökme demirler**

Dökme demirin ergime noktası, çelikten daha düşüktür ve bu durum, altlığı eritmeden ve kaplama tabakasını seyreltmeden kaplanabilen sert yüzey alaşımlarını sınırlar. Diğer sorunlar, kaynak gerilmelerinin sebep olduğu altlığın çatlama riskini içerir. Bileşime bağlı olarak daha kırılğan olan sertleşmiş ITAB (Isı tesiri altında kalan bölge) gelişebilir ve çekme dayanımını düşürür. Döküm kusurlarının varlığı nedeniyle sorunlar artar. Oksi-asetilen kaynak yöntemi, seyreilmeyi kontrol etmek için en iyi şartları sunar, ancak bir dökme demir kaynağı flaksı kullanılması gerekli olabilir.

### **2.7.4. Beyaz dökme demirler**

Beyaz dökme demirler son derece kırılğandır ve kaynak yöntemleri ile sert yüzey alaşımlandırılması önerilmez.

### **2.7.5. Ni-sert dökme demirler**

Bu dökme demirlerin yüzeylerinin kaynak ile kaplanması zordur; ancak sert yüzey alaşım altında, nikel gibi sünek bir malzemenin yüksek dereceli ön ısıtma ve çok yavaş soğutma oranı ile kademeli kaplanması bazı çalışmalarda gerçekleştirilmiştir [30].

## **2.8. Kaynakla Sert Yüzey Alaşım Kaplama Sırasında Karşılaşılan problemler**

### **2.8.1. Seyrelme etkisi**

Kaynak ile elde edilen kaplamaların bir özelliği de altlık ile kuvvetli bir bağ oluşturması ve bunu sağlamak için gereken sıcaklığın daima altlığın bir miktar erimesine yol açmasıdır. Kaynaklı tabakanın ve altlığın birbirine karışması kaçınılmazdır, ancak karışımın miktarı, malzemeler ve kaynak parametreleri tarafından belirlenir [30].

Seyrelme, kaynak malzemesinin kimyasal kompozisyonunun ana metal (malzeme) ile karışması sonucu kaynak alaşımının ve yapısının değişmesi anlamını taşır [68]. Bu karışımın sonucu olarak, kaplama malzemesinin özellikleri ve performansı değişebilir. Yüzey kaplamasında aşırı seyrelmeden kaçınılmalıdır. Bu durumda seyrelme, ne kadar tolere edilebilir ve nasıl kontrol edilebilir sorusu ortaya çıkar.

Ark yüzey kaplama işlemleri için elektrotlar veya tel çubuk halinde tedarik edilen, çelik yüzeylerde biriktirilen birçok demir esaslı yüzey kaplama alaşımları, belirtilen işlemler ve önerilen kaynak parametreleri ile uygulandıklarında tipik kaynak metal bileşimleri ile tanımlanır. Hem altlık hem de kaplama tabakası demir esaslı alaşımlar olduğundan, sarf malzemesinin bileşimi, seyrelme miktarını belirleyebilir ve arzu edilen kaynak kompozisyonu ve özelliklerini sağlayabilir.

Yüzey alaşımı demir esaslı değilse de, örneğin nikel veya kobalt esaslı bir alaşım ve bileşime katılarak demirin aşınmaya karşı direnç özelliklerini etkilediği biliniyorsa, alaşım tasarımcısı, en iyi sonuçları elde etmek için seyrelmenin mümkün olduğunca düşük tutulmasını önermelidir. Bunun başarılmasının çeşitli yolları vardır:

- Oksi-asetilen alevi gibi düşük enerjili bir ısı kaynağı ile kobalt esaslı alaşımlarla daha önce bahsedilen sert lehim kaynak yöntemleri kullanılarak, seyrelmeyi % 5'in altında tutmak mümkündür.
- Silisyum ve bor içeren alaşımlar da oksii-asetilen ile benzer seviyelerde seyrelme ile kaplanır.
- Daha yüksek bir biriktirme oranı gerekiyorsa, PTAW (plazma transferli ark kaynağı) işlemi kullanılabilir ve oksii-asetilen kaynağına benzer seyrelme seviyeleri tek pasolu kaplamalarda elde edilebilir.

Çeşitli enine kesit bileşenlerinin kaynağı esnasında sıcaklık önemli ölçüde yükselebilir. Pek çok uygulama için % 10' dan daha az seyrelmenin rakamsal olarak gerçekçi olduğunu düşünmek normaldir. Gaz metal ark kaynağı (GMAW) ve toz altı

ark kaynak (SAW) tekniklerinde olduğu gibi doğrudan ark proseslerinde tek katlı pasolar ile bu seyrelme oranını elde etmek daha zordur, ancak üst üste binen pasolar kullanılarak negatif kutuplama ve uygun olan diğer kaynak parametreleri ile % 15 veya daha düşük seyrelme oranları elde edilebilir. Eğer bundan daha düşük rakamlar gerekiyorsa, iki pasolu kaplamalar düşünülmelidir.

Bir yüzey kaplama alaşımının altlıktan demirle seyrelmesinden başka, diğer elementler de aynı kaynaktan kaplama tabakasına gelebilir. Örneğin, maksimum korozyon direnci için düşük karbon içeriğine sahip östenitik çelik yüzey kaplama malzemesi, altlıktan karbon alarak olumsuz bir şekilde etkilenebilir.

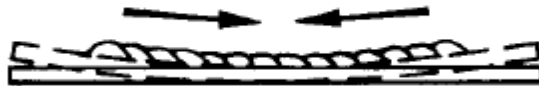
Kaplama alaşımı ve altlık arasındaki seyrelme bazen istenmeyen özelliklere neden olabilir. Bu, östenitik manganez çeliğinin yüzey alaşımlandırılmasında, kaplama tabakası olarak sert bir yüzeye neden olan bir malzeme ile iyi gösterilmiştir. Karşılıklı difüzyon, kaplama alaşımının Mn çeliği ile karışmasına neden olur, bu yüzden Mn içeriğinin azalması, kaplamaya yakın bölgede altlığı kırılgan hale getirir. Bir Mn çeliğiyle karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin yüzey alaşımlandırılmasında da benzer bir etki oluşur. Bu örnekte, kaplamada kırılgan bir tabaka oluşmuştur. Her iki durumda da, östenitik paslanmaz çelikten bir tampon ya da kademeli kaplama tabakası kullanılarak karşılıklı difüzyon önenebilir. Alternatif olarak, eğer uygun tedbirler alınırsa % 12 Cr ve sadece % 3 Mn ihtiva eden çalışmayla sertleştirilmiş çubuklar, kırılgan bir tabaka oluşturmadan kaplanabilir. Kompozisyonda bazı değişiklikler olsa bile östenitik yapıyı korumak şartı ile diğer modifikasyonlar da kullanılabilir.

Tablo 2.4.' te verilen seyrelme rakamları, yukarıda belirtilen proses çeşitliliği nedeniyle bir aralık göstermektedir. MIG ve SAW gibi doğrudan ark süreçlerinde, seyrelme, kaplama oranını da düzenleyen kaynak akımı tarafından etkilenir. Bu nedenle, kullanılacak süreç ve parametrelerin belirlenmesinde bu faktörlerin birlikte düşünülmesi gerekir [30].

### 2.8.2. Termal gerilmeler

Termal gerilmeler, kaynak tabakasının katılaşması ve soğuması sırasında sert yüzey kaplanmış bileşenin büzülmesine ve distorsiyona uğramasına neden olabilir. Bu problem kaynak yüzeyinde, üretim kaynağından daha yaygındır; çünkü nötr eksenin her iki yanından kaynak olarak kaynak gerilmelerini dengeleme şansı azdır. Üç temel faktör vardır:

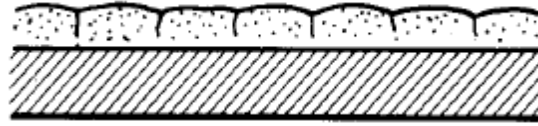
- Kaynak metali, katılaşma ve soğuma sırasında, altlık malzemesinden oldukça yüksek bir sıcaklıkta bulunduğundan daha fazla büzülür. Büzülme, iş parçasının oda sıcaklığına soğutulmasında yaklaşık % 2'dir ve bu durum, iş parçasını kaynak işlemi yönünde bir yay şeklinde eğme eğilimindedir (Şekil 2.7.).
- Kaynak işlemine komşu ve bitişik metaller, farklı genleşme ve büzülme derecelerine uğrarlar. Bu sorun en çok ince kesitli malzemelerde görülmektedir. Kaynak bölgesine yakın metal ısınır ve genleşmeye başlar. Isınan metal, kaynak bölgesinden daha soğuk olan daha güçlü metal tarafından tutulduğunda, yalnızca kaynak bölgesi etrafında bükülme yoluyla hareket edebilir. Soğuma çevrimi sırasında bu hareket tamamen tersine çevrilmeyecek ve iş parçası kalıcı olarak bozulmaya devam edecektir. Alternatif olarak daha sıcak olan metal plastik deformasyona uğrayabilir ve soğumaya devam etmezse tekrar esnemeyecek ve bu nedenle valf yuvasının dağılması gibi distorsiyona neden olacaktır.
- Sıcaklık farklılıklarının yanı sıra yüzey kaplama alaşımının ve alt tabakanın genleşme ve büzülme katsayılarında farklılıklar olacaktır. Birçok yüzey kaplama alaşımında bu nispeten önemsizdir; ancak Ni ve Co esaslı alaşımlar, dökme demirler ve tungsten karbürlerin önemli bir yüzdesini içeren malzemeler için önemli bir faktör olabilir [30].



Şekil 2.7. Katılaşma ve soğuma sırasında kaynak metalinin büzülmesi [30].

Çoğu zaman distorsiyon, özellikle de yukarıda ele alınan ilk maddeye göre, parçanın tutturulması suretiyle hareketi engellenebilir. Bu, parçayı sağlam bir desteğe sıkıştırarak veya punta kaynak yaparak gerçekleştirilebilir. Kıрма çeneleri gibi düz parçalar için, arka arkaya iki parça sıkıştırılabilir veya kaynak ile puntalanabilir ve her birine dönüşümlü olarak sert yüzey uygulanır.

Sert alaşımlar kullanarak yapılan yüzey alaşımlamada eğer böyle bir sınırlama kullanılırsa (Şekil 2.8.), kaplama tabakasında çatlama meydana gelebilir. Eğer böyle bir çatlama tolere edilemezse, yüksek bir ön ısıtma ağır şekilde sıkıştırılmış parçalarda çatlama önleyebilir. Sıcaklıklar, ark kaynağı için 400°C'ye ve gaz kaynak yüzey alaşımlaması için 650°C'ye kadar olabilmektedir. Yumuşak kademeli (tampon) bir tabakanın kullanılması, örtü ile altlık arasındaki gerilimi azaltabilir. Sert alaşımların çok tabakalı kaplamaları, bazen çatlakların yayılmasını önlemek için yumuşak sünek metallerin alternatif tabakalarıyla yapılır. Korozyona dayanıklı ara bir katman, sert aşınmaya dirençli bir üst kaplamadaki çatlaklardan geçmesi durumunda alt tabakanın korozyonunu da engelleyebilir.



Şekil 2.8. Kaynak dikişi boyunca oluşan kalıntı çatlaklar [30]

### 2.8.3. Altlık malzeme hatalarının etkisi

Altlık malzemesinde bulunan hataların varlığı muhtemelen kaynaklı sert yüzey alaşımların kalitesini etkiler. Bu hataların önemi, bitmiş iş parçası için istenen kalite standartlarına bağlıdır.

Kimyasal ve petrol tesisi, enerji santralleri ve ısı motorları da dahil olmak üzere kritik ekipman yerlerinde kullanılan parçaların servis ömrünü uzatmak için çok pasolu yüzey oluşturma çalışmaları yapılır. Bu uygulamalar için standartlar yüksektir ve işleme/taşıma bittikten sonra, kaplamalardaki kusurlardan kurtulmak için inceleme yapılır.



Altlıktan kaynaklı, kaplamalardaki hataların iki önemli nedeni şöyledir:

- Alt tabakadaki süreksizlikler, örneğin, gözenekler veya çatlaklar,
- İnküzyonlar, örneğin, dökümlerde kalıp malzemesi, cüruf parçacıkları / kalıntı, kükürt segregasyonlar.

Yüzeyin dikkatli muayene edilmesi, bitmiş parçanın kalitesinin uygun bir seviyede olduğunu gösterir. Parça penetrasyon muayenesi ile kaynak yapılmadan önce parçanın işlenmiş yüzeyinde süreksizlikler tespit edilmelidir. Hataların, daha büyük bir boşluğun devamı olmadığını doğrulamak için taşlanmalıdır. İnküzyonların tamamen ortadan kaldırılması için taşlanmalı ve oluşan boşluklar kaynak ile altlığa uygun sarf bir malzeme kullanılarak doldurulmalı ve sonrasında çevresindeki yüzeye aynı hizada getirilmelidir [30].

#### **2.8.4. Kaynak hataları**

Kaynakla yapılan kaplamalar endüstride ve çok farklı koşullarda yaygın olarak kullanılmaktadır, bu nedenle kalite gereksinimleri de farklıdır. En yüksek kalite, eğitilmiş, nitelikli ve deneyimli bir iş gücünü gerektirir, böylece dayanımın gerekli olduğu durumlarda yüzey kaplama, farklı koşullar altında başarılı bir şekilde gerçekleştirilir.

Çalışmanın yapıldığı şartname, yalnızca kullanılacak kaplama prosedürünü ve alınması gereken önlemleri değil, aynı zamanda yapılması gereken testleri ve kabul edilebilecek standartları tanımlamalıdır. Muayene sırasında bitmiş parçalar bu standartları karşılamayı başaramazlarsa, düzeltilebilecek arızaları ve izin verilen düzeltme prosedürlerini tanımlamak esastır. Muayene çizelgesi, işin çeşitli aşamalarında, boşlukların temizliği, boyutsal toleranslara bağlılık, ardışık kaplama tabakaları arasındaki cürufları, tabaka kalınlığı, gibi proses içi denetimleri içerebilir.

Kaynak işleminden sonra kum püskürtme ile oksitleri gidermek muayeneyi kolaylaştırır. Kaba talaş işleme sonrasında kum püskürtme, gözenekli alanları açığa çıkartabileceği için kaplama tabakasının sağlamlığını belirlemede önemlidir.

Kaplama tabakası, çatlaklar, gözenekler, küçük delikler ve düzeltilmesi gerekebilecek inklüzyonlar için dikkatli bir şekilde incelenmelidir. Görsel inceleme, boya nüfuz ettirici muayene yöntemleri ile desteklenebilir. Bir kaynaklı yüzey üzerinde kullanıldığında, boya nüfuz ettirici muayene testlerin yorumlanmasına dikkat edilmesi gerekir. Bu aşamada sertlik, radyografi veya ultrasonik muayene gibi ilave testler yapılabilir. Yüzeydeki çatlama, son işlemden sonra sert kaplamanın yanlış zımparalanması nedeniyle olabileceğinden, boya penetrant testleri boyutsal kontrollerden sonra tekrarlanmalıdır.

Sert yüzey kaplama muayene testinin sonuçları, kullanılan tekniklere ve operatöre ait beceri ve eğitime bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu nedenle, teknikler ayrıntılı olarak belirlenmeli ve zaman zaman denetlenmelidir. Her iş için bir kabul standardı belirtilmelidir.

#### **2.8.4.1. Çatlaklar**

Büzülme çatlakları; Büzülme çatlakları, genellikle çıplak gözle görülmektedir ve bileşenin performansını olumsuz olarak etkileyebilir. Maksimum aşınma direnci sağlayacak daha sert yüzey malzemelerinde, bu tür çatlaklar (kalıntı çatlaklar) kilitli çekme gerilmelerini serbest bırakmaya teşvik edilebilir. Böyle bir çatlama, nihai olarak, kaplamanın ana metalden kopma riskine yol açabilir, ITAB' ın sertleşmeni önleyerek, altlıkla yeterli bir bağlanma elde edilebilir. Bununla birlikte, çatlaklar şu durumlarda normalde tolere edilemez:

- Valflerin sızdırmazlık yüzeyleri, mekanik koltuk halkaları, baskı ruloları, vb .;
- Akış kontrol valfleri gibi erozyona maruz kalan yüzeyler;
- Aşınma ve aşınma direnci sağlamak üzere tasarlanmış yüzeyler;
- Hizmet halindeki ağır yorulma gerilmelerine maruz kalan yüzeyler;

- Plastik ekstrüzyon gibi daha sonraki parçaları bozabilecek herhangi bir proses malzemesini almaması gereken yüzeyler.

Taşlama çatlakları: Taşlama çatlakları genellikle çok sıgıdır; ancak mekanik veya termal gerilme altında uzayabildikleri için büzülme çatlağı olarak muamele edilmelidir.

Yüzey altı çatlaklar; Kaplama tabakası metalden kalkarsa, bölgeler hafif mekanik basınç altında veya nispeten küçük bir yüzey sıcaklığı değişiminde parçalanabilir veya tahrip olabilir. Bu nedenle bu parçalar kabul edilmemeli veya tamir edilmemelidir. Durum hatalı prosesten kaynaklanıyorsa ve nedeni tespit edilebiliyorsa, kaplama tabakası yeniden işleme başlamadan önce talaş kaldırma veya taşlama ile kaldırılmalı ve sorunun tekrarlanması önlenmelidir [30].

## **2.8.5. Hataların giderilmesi**

### **2.8.5.1. Çatlaklar:**

Herhangi bir türde çatlamanın kabul edilemez olduğu uygulamalar için, bazen aşağıdaki koşullar sağlanırsa tüm kaplama tabakasını çıkarmak ve tekrar yapmak mümkündür:

- Çatlamanın nedeni bilinir ve tekrar oluşumu önlenebilir;
- İş parçasının kaplanmamış alanlarında yeterli işleme toleransları varsa;
- Hatalı tabakanın çıkarılmasından sonra parça, kaynak gerilmelerini gidermek ve sert bir ITAB gibi herhangi bir kabul edilemez metalurjik yapıların düzeltilmesi için ısıl işlem yapılırsa;
- Sorunlu tabakayı kaldırmak ve temizlenmek için talaş kaldırma işleminden kaynaklanan kalınlık artışı, kırılmamış altlık malzemesi, tasarım ve kullanım açısından kabul edilebilir ve çatlama sorununun tekrarlamasına muhtemel değilse;

- Yeni hazırlanan işlenmemiş parça, boya penetrant testi ile kontrol edilip, tüm hatalardan arındırılmışsa;

Oluşturulduktan sonra, bazı malzemelerdeki taşlama çatlakları, başlangıçta yüzeysel olmasına rağmen, daha fazla malzeme kaldırma işlemi gerçekleşirse daha derin bir şekilde yayılır, bu nedenle, yeniden kaynak yapılmadan önce bazen tamamını temizlemek gerekli olabilir. Bölgesel olarak işlenmemiş parçaya nüfuz eden herhangi bir hata, kaynak alevinin deliğin tabanına erişebilmesi için açık bir girinti verecek şekilde kazınmalıdır. Hata, daha sonra yeniden kaplanmadan önce test edilebilir, gerilimler giderilebilir, yeniden üretilebilir ve kaynatılabilir. Yüzey alaşımını asla altlığa nüfuz eden oyukları doldurmak için kullanmayın, çünkü sert kaplama tabakası kalınlığındaki bölgesel değişiklikler daha fazla çatlaklara neden olabilir. Bunun yerine altlık ile uyumlu, sünek, sertleşmeyen dolgu malzemesiyle kullanılmalı ve sonrasında yüzey alaşımlama yapılmalıdır. Hatayı tamamen gidermek için kazımadan sert kaplama tabakasındaki veya altlıktaki çatlakları onarmaya çalışmayın; kaynak ısı hatanın daha da derinleşmesine neden olabilir [30].

## BÖLÜM 3. BORÜRLER

### 3.1. Giriş

Bor, periyodik tabloda B simgesi ile gösterilen, kökeni Buraq/Baurach (Arapça) ve Burah (Farsça) kelimelerinden gelen [69], atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Özellikleri Tablo 3.1.'de verilen bor elementi, periyodik cetvelin 3A grubunda yer alır ve temel hal elektron konfigürasyonu  $1s^2 2s^2 2p^1$  dir [70-72].

Tablo 3.1. Bor elementinin özellikleri [70,73]

Özellik	Değeri
Atom Numarası	5
Atom Ağırlığı	10,81 ± 0,005
Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	2,46
İyon Yarıçapı (Å°)	0,23
Elektronegativite (Pauling)	2,04
Ergime Noktası (°C)	2190 ± 20
Kaynama Noktası (°C)	3660
Vickers Sertlik (HV)	5000
Mohs Sertliği (Elmas-15)	11

Tarihte ilk olarak 4000 yıl önce Tibet göllerinden elde edilen, borun en çok kullanılan türü olan boraks minerali, Sümerler, Etiler, Babilliler, Mısırlılar gibi birçok eski medeniyette; altın ve gümüş işçiliğinin yanı sıra tıpta, metalurji işlerinde ve daha birçok alanda kullanılmıştır [71,72]. Elementel bor; ilk defa 1808 yılında Gay-Lussac ve Jacques Thenard ile Sir Humphry Davy tarafından bor oksitin potasyum ile ısıtılmasıyla elde edilmiştir [69]. Ancak, %99 saflıktaki ilk kristalize bor 1909 yılında elde edilebilmiştir [73].

Bor, yerkabuğunda boratlar ve borasilikatlar halinde bulunan 51. yaygın elementtir. Dünya genelinde 150' den fazla mineralin bileşiminde yer almasına rağmen, oksijene karşı ilgisi nedeniyle doğada serbest olarak değil, oksijenle bağlanmış bileşikler halinde bulunur. Bor, yeryüzünde toprakta, kayalarda ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir [74].

Bor, nihai kullanım alanı olan sektörlerde çoğunlukla bor kimyasalları şeklinde tüketildiği gibi yoğunlaştırılmış bor ürünleri olarak doğrudan da tüketilebilmektedir. Bor ürünleri; cam sanayii, seramik ve polimerik malzemeler, tarım, kimya ve deterjan sektörü, metalürji, otomotiv ve enerji sektörü, elektronik ve iletişim sektörü, nanoteknolojiler, uzay ve hava araçları, askeri araçlar, nükleer uygulamalar, yakıtlar ve inşaat gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Ancak, 2015 yılında tüketilen bor ürünlerinin %84'ü cam (yalıtım tipi cam elyafı, tekstil tipi cam elyafı, borosilikat cam ve panel cam), seramik-frit, tarım ve temizlik sektörlerinde yoğunlaşmıştır [75].

Bor, elektronegatiflikleri 1.8 den 2.2 değerleri arasında uzanan farklı metal ve ametal arasında yer alan yarımetal bir elementtir. Bor, periyodik cetvelde birçok elementle bir araya gelerek bileşikler oluşturmaktadır. Borürler, genellikle sert, inert, intermetalik karakterde olan metal veya ametal bor bileşikleri sınıfında tanımlanırlar [76].

Borürlerin çoğu, kuvvetli kovalent bağ yapısına sahiptir ve oldukça yüksek ergime sıcaklığı ve yüksek elastisite modülü değerleri sergilemektedir [77,78]. Bu yararlı özellikleri nedeniyle son yıllarda borürlere olan ilgi artmıştır. Özellikle, yeni uygulamalara yönelik çalışma alanlarında intermetalik borürler heyecan vericidir. Metal borürler özel atomik bileşimleri ile kimyasal olarak sıralanmış yapılardır. Bugüne kadar 150 farklı kimyasal faz indekslenmiştir. Bu fazların büyük bir çoğunluğu geçiş metalleri ve yarı metaller ile oluşan bileşiklerdir [76].

Geçiş metal borürleri, yüksek ergime noktaları, yüksek sertlik ve yüksek elektrik iletkenliği olan malzemelerdir ve çeşitli seramik ve metaller, kaplama malzemeleri, elektron emitörleri ve katalizörler için yararlı olacağı düşünülmektedir [79].

### 3.2. Metal Borürler

Bor, ikili ve daha fazla bileşik oluşturmak için çok sayıda metal ve yarı metallerle bir araya geldiğinde borür olarak adlandırılır. Birçok ikili borür, özellikle geçiş metallerin diborürleri yüksek ergime sıcaklığına sahiptir. Bu sebeple yüksek sıcaklık malzemeleri olarak silikatlar, karbürler ve nitrürler ile beraber sert metal refrakter bileşikleri olarak sınıflandırılmaktadır [31].

Borürler ısıya dayanıklı ve kimyasal olarak inert olmaları nedeniyle teknolojik olarak ilgi çekicidir. Ayrıca birçok borür bileşikleri yararlı fiziksel özelliklere sahiptir; örnek olarak bazı lantanum heksaborürler mükemmel termiyonik yayıcılarıdır. Bu özellikleri sebebiyle modern endüstrinin bazı özel alanlarında metal borürler kullanılmaktadır [80].

Metal borürlerin stokiyometri sayıları benzersiz olmakla birlikte; Metal:bor oranı 5:1 ile 1:66 arasında değişen en az 24 farklı metal borür bileşiği bilinmektedir. Ancak; En yaygın olanları monoborürler (MB), diborürler (MB<sub>2</sub>), tetraborürler (MB<sub>4</sub>), heksaborürler (MB<sub>6</sub>), dodekaborürler (MB<sub>12</sub>) ve hektoborürler (MB<sub>66</sub>)'dir. Metal:bor oranı arttıkça bor-bor bağlarının oluşma eğiliminin de artış gösterdiği gözlenmiştir. Metal borürlerin en önemli karakteristik özellikleri; yüksek sertlik değerleri, yüksek ergime sıcaklıkları, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, korozyon direnci, iyi aşınma direnci ve termal şok direncidir. En yaygın ve tipik metal borürlerin bazı fiziksel özellikleri Tablo 3.2.'de verilmiştir. Yüksek sıcaklık değerlerinde en kararlı diborürler 3000 °C üzerindeki ergime sıcaklıkları ile zirkonyum, titanyum ve hafniyum diborürlerdir.

Genellikle en yüksek ergime sıcaklığına sahip olan metal borürler (MB<sub>n</sub>, n ≥ 2) borca zengin olanlardır. Ancak, metalce zengin olan borürlerin ergime sıcaklığı ise yapısında bulunan metalin ergime sıcaklığından daha düşüktür. Birçok borür, kesme ve öğütme aletlerinde malzeme olarak kullanılan WC ve α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ten daha serttir [31].

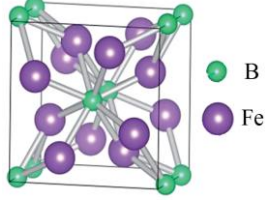
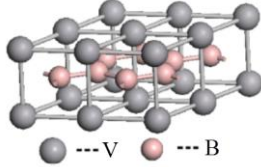
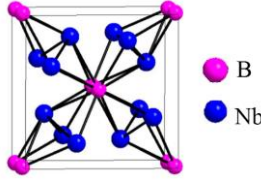
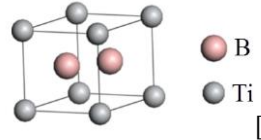
Tablo 3.2. Bazı refrakter borürlerin fiziksel özellikleri [7,31,77,81-84],

Matris Malzemesi	Borür	Yoğunluk $\rho$ , $10^3 \text{ kg/m}^3$	Ergime Sıcaklığı, K	Sertlik, HV
Fe	FeB	7,15	1820	1900-2100
	Fe <sub>2</sub> B	7,32	1663	1800-2000
Nb	NbB <sub>2</sub>	7,21	3270	2200
	NbB <sub>4</sub>	-	-	-
Ti	TiB	-	~2173	2500
	TiB <sub>2</sub>	4,52	3470	3370
V	VB <sub>2</sub>	5,10	2670	2397
Zr	ZrB <sub>2</sub>	6,10	3313	2250
Hf	HfB <sub>2</sub>	11,20	3650	2900
W	W <sub>2</sub> B <sub>5</sub>	13,10	2470	2600
Ni	NiB	7,39	1325	-
	Ni <sub>2</sub> B	-	-	1500
Re	ReB	-	2373	2700-2900
	ReB <sub>2</sub>	-	-	4894
Ta	Ta <sub>2</sub> B	-	-	2500
	TaB <sub>2</sub>	12,60	3370	2560
Cr	CrB <sub>2</sub>	5,20	2170	1897
	CoB	7,32	1535	1850
Co	Co <sub>2</sub> B	-	-	1500-1600
	Co <sub>4</sub> B	-	-	700-800
	Mo <sub>2</sub> B	-	2273	1660
Mo	MoB <sub>2</sub>	-	~2373	2330
	Mo <sub>2</sub> B <sub>5</sub>	7,48	2370	2400-2700

Borürlerin elektriksel özellikleri: Be, Ca, Eu, Mg, Al ve Si'nin, bazı fazları MB<sub>6</sub>, MB<sub>12</sub> ve MB<sub>66</sub> yapıları, yarı iletkenlik; TiB<sub>2</sub>, ZrB<sub>2</sub> ve geçiş metal borürleri çoğunluğu, metalik iletkenlik; NbB<sub>2</sub>, YB<sub>6</sub> ve ZrB<sub>12</sub>, süper iletkenlik özellikleri sergilemektedirler. Buna ek olarak, başta LaB<sub>6</sub> olmak üzere lantanit ve aktinit borürler (YB<sub>6</sub>, ThB<sub>6</sub>, GdB<sub>6</sub> vb.) yüksek sıcaklıkta, bilinen en iyi elektron yayıcılarıdır. Metal borürlerin çoğunluğu renklidir: Örnek olarak, ZrB<sub>12</sub> pembe, GdB<sub>6</sub> mavi, LaB<sub>6</sub> mor, ThB<sub>6</sub> ise kırmızıdır [31]. Tez çalışmasından elde edilen borürlerin genel özellikleri Tablo 3.3.'te verilmiş olup; aşağıda detaylandırılmıştır.



Tablo 3.3. Bazı borürlerin sertlik değerleri ve kristal yapıları

Borür	Sertlik, HV	Kristal Yapı
$\text{Fe}_2\text{B}$	1900-2100	 [85]
$\text{VB}_2$	2397	 [86]
$\text{NbB}_2$	2200	 [87]
$\text{TiB}_2$	3370	 [43]

### 3.3. Demir Borürler

Demir, simgesi Fe, atom numarası 26 olan dünya yüzeyinde en yaygın dördüncü mineral ve yerkabuğunda en çok bulunan metaldir. Ayrıca yeryüzünde birim maliyeti en düşük olan ve bazı bileşimlerde bulunmak suretiyle sanayide kullanılmaya en elverişli bir elementtir [88].

Dünyanın medeniyet tarihinde yeni bir devir açan demir, toplumların ekonomik ve sosyal gelişmelerinde en büyük katkısı olan elementlerden ve endüstrinin temel girdilerinden biridir. M.Ö 4000 yıllarından bu yana kullanıldığı bilinen demir yurdumuzda çok eskiden beri bilinen madenlerin başında gelmektedir [89,90]. İlk defa 1735 yılında İngiltere'de kok kömürü ile demir eritilmiş ve sonraki yıllarda demir sanayi hızlı bir şekilde gelişmeye başlamıştır [91].

Demir % 5,4 'lük bir bolluk ortalamasıyla yer kabuğunun O, Si ve Al'dan sonra dördüncü yaygın elementidir. Öte yandan kayaçlardaki dağılımı ise çok değişkendir. Demir elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.4.'te verilmiştir [92].

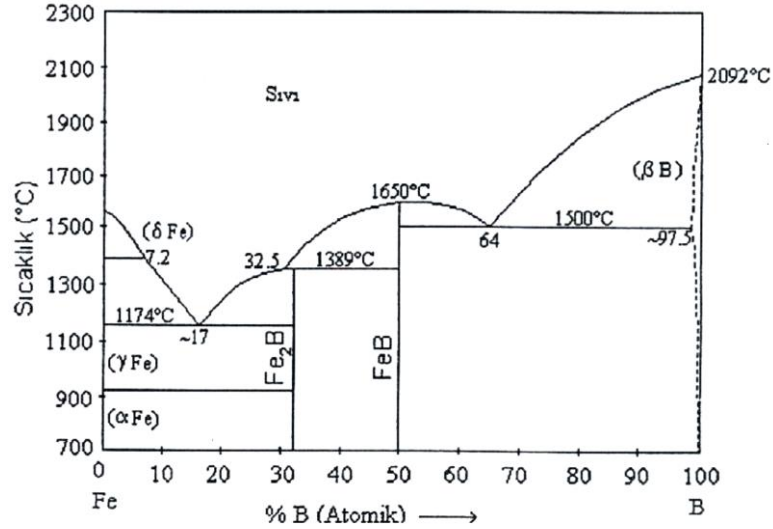
Tablo 3. 4. Demir elementinin özellikleri [92]

Özellik	Değeri
Atom Numarası	26
Atom Ağırlığı	55,85
Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	7.85
İyon Yarıçapı (°A)	Fe+2 : 0,86; Fe+3 :0,73
Elektronegativite (Pauling)	Fe+2 : 6,18; Fe+3 : 1,9
Ergime Noktası (°C)	1535
Kaynama Noktası (°C)	2735
Elektrik İletkenliği (1/Ωm)	12,25
Isı iletkenliği (W/mK)	11.9

### 3.3.1. Demir borürlerin özellikleri

Bor elementi,  $\alpha$ -Fe'de atom çapına bağlı olarak hem arayer hem de yer alan konumunda bulunabilmektedir. Fe-B sisteminde bor'un atom çapının demir'in atom çapından %27 oranında daha küçük olması, demir ile katı eriyik yapma imkânı sağlamaktadır. Demir alaşımlarında bor elementinin arayer ve yer alan katı eriyikleri yapabilecekleri iç sürtünme deneyleri ile belirlenmektedir. Bor difüzyonu için gerekli aktivasyon enerjisi 62 kcal/mol olarak tespit edilmiştir [93].

Bor sıcaklığa bağlı olarak katı haldeki demir içinde %0,1-0,15 arasında çözünmektedir. Şekil 3.1.'de yer alan, Demir-bor ikili faz diyagramı incelendiğinde, metaller arası FeB ve Fe<sub>2</sub>B olan iki bileşik görülmektedir. FeB ortorombik, Fe<sub>2</sub>B ise tetragonal kristal yapısına sahiptir. Fe<sub>2</sub>B'nin bileşiminde %9, FeB'nin bileşiminde ise %16 bor bulunur. İkili denge diyagramına göre, %9-16 arasında bor içeren alaşımın faz yapısında Fe<sub>2</sub>B ve FeB kristalleri bulunurken, %16'dan fazla bor içeren alaşımda ise FeB ve B kristalleri bulunmaktadır [94].



Şekil 3.1. Fe-B ikili denge diyagramı [7, 69, 73, 95]

Ferro bor; çeliklerin, dökme demirlerin, sürekli manyetik malzemelerin ve amorf metallerin üretiminde kullanılır. Dünyada üretilen ferro borun yarısından daha fazlası çelik üretiminde kullanılmaktadır. Fırından potaya alınan sıvı çeliğin içine ferro bor ilave etmekle çeliğin kompozisyonuna bor katılması sağlanır. [94]. Alaşımli ve alaşımsız çeliklerin sertliğini arttırmak amacıyla ferro bor 1930' lu yıllardan beri kullanılmaktadır. Çeliğe % 0,003-0,004 miktarlarında bor ilavesi ile sertlik artırılabilir [94, 96]. Demir borürler, metallerin termal ve elektriksel iletkenlik ve seramiklerin yüksek sertlik gibi genel özelliklerini bir arada bulunduran bileşiklerdir [97].

Fe-B ikili denge diyagramının  $\alpha$ -Fe fazına yakın bölgesi, son 50 yıl içerisinde birçok kez değişikliğe uğramıştır. Ancak yapılan son çalışmalarda, borun  $\alpha$ -Fe ve  $\gamma$ -Fe fazları içerisinde %0,5 B (a/o) kadar çözüldüğü tespit edilmiştir.  $\delta$ -Fe fazı içerisindeki çözünürlüğü ise tam olarak tespit edilememiştir. Denge diyagramından demir ile bor arasında Fe<sub>2</sub>B (% ağırlıkça 8,83 B) ve FeB (% ağırlıkça 16,23 B) bileşikleri oluşmaktadır. Ötektik reaksiyon bor iyon difüzyonunun hakim olduğu  $\gamma$ -Fe tane sınırlarında ve/veya Fe<sub>2</sub>B, Fe<sub>3</sub>(C,B) 'de başlamaktadır. Ötektiğin yapısı ve özellikleri, bileşimin yanında sıvı tabakanın soğuma hızına da bağlıdır. Yüksek soğuma hızında ince mikroyapı, yüksek sertlik ve tokluk elde edilmektedir. İncelemeler sonucunda, Fe<sub>2</sub>B fazının ergime sıcaklığının 1389-1410 °C arasında ve FeB fazının ise 1540-1657 °C arasında yer aldığı görülmektedir. Fe<sub>2</sub>B, peritektik reaksiyon sonucu 1407 °C' de

oluşmaktadır [7,69,98]. Tablo 3.5.'te Fe<sub>2</sub>B ve FeB fazlarının tipik özellikleri verilmektedir.

Tablo 3. 5. Fe<sub>2</sub>B ve FeB fazlarının özellikleri[7,69,73,83, 98].

Özellik	Fe <sub>2</sub> B	FeB
Kristal Yapı	Hacim Merkezli Tetragonal	Ortorombik
Latis Parametresi (Å)	a=5,099, c=4,240	a=4,053, b=5,495, c=2,946
Bor içeriği (% Ağırlıkça)	8,83	16,23
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	7,43	6,75
Oluşum Entalpisi (ΔH) (kJ/mol)	-71,13 (298 K) -77,82 (1000 K)	-71,13 (298 K) -72,96 (1000 K)
Gibbs Serbest Enerjisi (kJ/mol)	-71,75 (298 K) -68,19 (1000 K)	-69,47 (298 K) -68,05 (1000 K)
Ergime Sıcaklığı (°C)	1389-1410	1540-1657
Termal Genleşme Katsayısı (10 <sup>-6</sup> /K)	7,65 (200-600 °C) 9,20 (100-800 °C)	23 (200-600 °C)
Termal İletkenlik (W/m.K) (20 °C)	30,1	12,0
Elektriksel Direnç (10 <sup>-6</sup> Ω.cm)	38	80
Elastisite Modülü (GPa)	284	343
Mikrosertlik (GPa)	18-20	19-21

### 3.3.2. Demir borürler ile ilgili araştırmalar

Galvanetto ve arkadaşları (2006), vakum plazma püskürtme yöntemiyle AISI 1040 çelik üzerine demir borür kaplama işlemini gerçekleştirmişler ve elde edilen kaplama tabakalarının tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Biri saf Fe<sub>2</sub>B tozu, diğeri FeB içeriğinin artırıldığı ve α – Fe içeriğinin azaltıldığı FeB + α – Fe' nin karıştırıldığı tozları kullanarak iki farklı tip kaplama tabakası elde etmişlerdir. Yapılan aşınma deneyleri sonucunda Fe<sub>2</sub>B tipi kaplamaların aşınma dirençlerinin yüksek olduğu, yüksek bağlanma yüklerinde ve düşük kayma hızlarında iyi sonuç verdiğini ve bu şartlarda kullanılabilceğini, FeB tipi kaplamaların ise düşük yüklerde ve hızlarda kullanılabilceğini göstermişlerdir [99].

Eroğlu (2009), yapmış olduğu çalışmada örtüsünde farklı oranlarda bor içeriğine sahip elektrotlar üreterek koruyucu metal ark kaynak yöntemiyle düşük karbonlu elik (SAE 1020) zerinde sert yüzey kaplama tabakası elde etmiş ve elektrot örtüsünde bulunan bor içeriğinin, kaplamaların mikroyapılarına ve sertliklerine olan etkilerini incelemiştir. Bu amaç için kaplama tabakasında bor içeriği sırasıyla % ağırlıkça 2.4, 4.3 ve 7.2 olacak şekilde  farklı numune üretmiş ve sonrasında kaplama tabakaların mikroyapısal analizlerini, x- ışınları analizlerini ve mikro sertlik ölçümlerini gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak kaplama tabakası mikroyapısının bor içeriğine göre değiştiğini, bor oranının artmasıyla kaplama tabakasında hiptektikten hiper tektiğe doğru Fe<sub>2</sub>B borürleri ve az oranda Fe<sub>2</sub>B-martenzit ötektik yapıların oluştuğunu göstermiştir. Ayrıca kaplama tabakası içerisinde bulunan bor oranının artmasıyla, mikro sertlik değerlerinin arttığını tespit etmiş ve en sert kaplamanın hipertektik bor içeriğinde elde edildiğini belirlemiştir. Ötektik ve hipertektik bor içeriği için geçiş bölgesinde sertlik değerlerinin kademeli olarak düştüğünü gözlemiş, bu durumun borür tabakasının altlığa iyi bir şekilde bağlanması için bir avantaj olduğunu belirtmiştir [100].

Amushahi ve arkadaşları (2010), ark püskürtme ve gaz metal ark kaynak teknikleri ile St 52 elik yüzeyine ticari olarak üretilen % 6,1 - 9,5 bor içeriğine sahip zl bir tel kullanarak kaplama işlemlerini gerçekleştirmişler ve elde edilen kaplama tabakaların morfoloji ve mekanik özeliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, ark püskürtme yöntemiyle elde edilen kaplamaların homojen, laminer bir morfolojiden oluştuğunu, gaz metal ark ile üretilen kaplamalarda Fe<sub>2</sub>B, α – Fe ve FeB fazlarının bulunduğunu ve altlıkla iyi bir metalürjik bağlanmanın olduğunu göstermişlerdir. Her iki yöntemde de üretilen kaplama tabakalarında yüksek oranda demir borür ve ötektik yapıların bulunduğunu tespit etmişlerdir. Kaplama tabakalarında elde edilen bu fazların 1600 HV' i aşan sertlik değerlerine ulaştığını belirlemişlerdir [95].

### 3.4. Niyobyum Borürler

Niyobyum (Nb), periyodik cetvelin VB grubunda yer alan, atom numarası 41 olan, gri renkli metal bir elementtir. A.B.D.’de columbium (Cb simgesi) adıyla da bilinen niobyuma bu adı, 1949 yılında Uluslararası Kimya Birliği (International Union of Chemistry) vermiştir. Niyobyum metali 1801 yılında Charles Hatchett tarafından keşfedilmiştir. Nb, tantala benzeyen metalik bir element olup niobit (columbit ya da tantalit) cevherinden çıkartılır. Onu tantaldan ayırıp ilk kez niyobyum diye adlandıran Alman kimyacı Heinrich Rose (1795–1864) olmuştur [101]. Niyobyum elementinin özellikleri Tablo 2.6.’de verilmektedir.

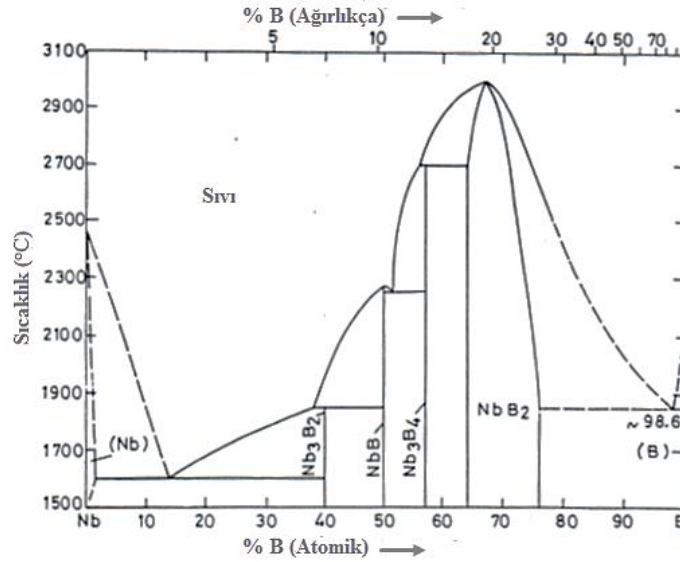
Tablo 3.6. Niyobyum elementinin özellikleri [101-103]

Özellik	Değeri
Atom Numarası	41
Atom Ağırlığı	92,906
Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	8.570
Erime noktası (°C)	2477
Kaynama noktası (°C)	4744
Molar hacmi (ml/mol)	10.83
Mineral Sertliği	6.0
Isı iletkenliği (W cm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0.537
Özgül ısı (J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0.265
Buharlaşma Entalpisi (kJ mol <sup>-1</sup> )	690
Atomlaşma Entalpisi (kJ mol <sup>-1</sup> )	733
İyon Yarıçapı (pm)	146
Elektronegativite (Pauling)	1.6

Niyobyum, yüksek sıcaklıklarda sünek ve yumuşak bir metaldir. Niyobyum ve Niyobyum alaşımları yüksek ergime noktalarına, yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemete ve iyi korozyon direncine sahip olması nedeniyle havacılık endüstrisinde geniş uygulama alanı bulmuştur [104]. Bununla birlikte; başta roket ve jet motorları olmak üzere, nükleer reaktörler, sodyum buharı ile çalışan otoyol ışılandırma sistemleri ve kimyasal proseslerin yapılmakta olduğu çeşitli korozyona karşı dayanım gerektiren alanlarda kullanılmaktadırlar [105]. Ayrıca mükemmel korozyon direncine sahip olduğu için implant uygulamalarında da kullanılmaktadır [106].

### 3.4.1. Niyobyum borürlerin özellikleri

Niyobyum borürler; yüksek ergime sıcaklığı, mukavemet, elektrik ve termal iletkenlik özelliklerine sahip olduklarından dolayı, yüksek sıcaklıklarda yapısal uygulamalar için potansiyel bir aday olarak kabul edilirler. Niyobyum-bor faz diyagramı Şekil 3.2.'de gösterilmektedir. Bu diyagram niyobyum ve borun aralarında 5 farklı bileşim oluşturan oranlarını göstermektedir. Bu bileşimler;  $Nb_3B_2$ ,  $NbB$ ,  $Nb_5B_6$ ,  $Nb_3B_4$  ve  $NbB_2$ ' dir. Tüm bu niyobyum borür bileşikleri içerisinde  $NbB_2$  ayrı bir yere ve öneme sahiptir.  $1900^\circ C$  sıcaklığın üzerinde bulunan yüzde bor bileşimi içerisinde, yaklaşık olarak  $NbB_2$  fazı %64-%72 arasında homojen olarak değişen bir dağılıma sahiptir [107].



Şekil 3.2. Nb-B ikili denge diyagramı [108]

Son yıllarda yapılan çalışmalarda 39 K sıcaklıkta  $MgB_2$ 'nin süper iletkenlik özelliğinin keşfedilmesi ile değişik metal- $B_2$  (diborür ( $M=Al, Be, Nb, Mo, Ta, Ti, Hf, V$  ve  $Cr$ )) bileşikleri hakkında yeni uygulamalar gerekli hale gelmiştir [38]. Bu nedenle metal borürler yeniden incelenmeye başlanmıştır. Özellikle  $AlB_2$ - tipi bir yapıya sahip olan geçiş metal diborürlerin süper iletkenlikleri hem teorik hem de deneysel olarak çalışılmıştır [109]. Bu diborürler arasında, farklı  $NbxB$ 'lerin 8K sıcaklıkta kimyasal bileşimlerinin yanma sentezlemesi neticesinde süper iletken fazlar elde edilmiştir [38]. Elde edilen bulgular sonucunda, eşsiz süper iletkenlik özellikleri sebebiyle  $NbB_2$  ve diğer bileşikler, önemli hale gelmiştir [79].

### 3.4.2. Niyobyum borürler ile ilgili araştırmalar

Bir önceki bölümde anlatılan ve tez kapsamında yapmış olduğumuz çalışmalarda TIG yöntemi ile ferro niyobyum, ferro bor ve saf demir tozları kullanılarak Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakaları elde edilmiştir. Üretilen sert yüzey alaşımlarının mikroyapı ve faz analizi incelemeleri sonucunda, alaşım tabakasının iyi kalitede, kalın ve gözeneksiz bir yapıda olduğu gözlemlenmiş, yapı içerisinde  $Fe_2B$ ,  $NbB_2$ ,  $FeNbB$ ,  $Fe_{0,2}Nb_{0,8}$  ve Fe fazlarının varlığı tespit edilmiştir. Yapılan sertlik deneyleri sonucunda borür fazlarına, ötektik kolonilerine, geçiş bölgesine ve çelik altlığına ait sertlik değerleri sırasıyla;  $1689 \pm 85 HV_{0.01}$ ,  $867 \pm 76 HV_{0.01}$ ,  $387 \pm 42 HV_{0.01}$  ve  $181 \pm 7 HV_{0.01}$  olduğu belirlenmiştir [61].

Bir başka çalışmamızda ise, niyobyum oranının sabit, bor oranının değişken ( $Fe_{(15-x)}Nb_5B_x$  ( $x=3$  ve  $5$ )) olduğu TIG kaynak yöntemi ile üretilen Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakaları oluşturulmuş ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Yapılan aşınma testleri sonucunda uygulanan yükteki artışın, alaşım bileşimleri için aşınma hızının artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Aşınma bölgelerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri sonucunda, sürtme aşınması, aşınma çizikleri ve bazı lekelenmiş oksitli bölgelerin olduğu ve sonuç olarak abrazif-oksidatif karakterde bir aşınma mekanizmasının olduğu görülmüştür [62].

### 3.5. Vanadyum Borürler

Vanadyum, ilk olarak Andrés Manuel Del Rio tarafından 1801 yılında vanadinit ( $Pb_5(VO_4)_3Cl$ ) cevherinden keşfedilmiştir [31,110]. Ancak Rio bu minerale, farklı tuzlarının renklerinden etkilenerek erythronium (Yunanca "kırmızı") adını vermiştir. Ancak bir süre sonra "erythronium" ile kromun aslında aynı element oldukları tespit edilmiş ve 1831 yılında İsveç'li bilim insanı Nils Gabriel Sefström, vanadyumun keşfedilmemiş bir element olduğunu ispatlayarak, ona İskandinav güzellik ve bereket tanrıçası Vanadis'in adını vermiştir [110].



Periyodik tablonun VB grubunda bulunan vanadyum, yükseltgenme basamağı 0 ile +5 arasında değişen, kolay yükseltgenmeyen, korozyona dayanıklı ve çelik gri renkte bir geçiş metalidir. Vanadyum, doğada metalik halde bulunmayıp, 65 farklı mineralin içerisinde vanadyum bileşikleri halinde bulunan bir elementtir. Doğal veya sentetik bileşiklerinde en yaygın yükseltgenme basamakları +2, +3, +4 ve +5'tir. Alaşım oluşturma kabiliyeti ve sertlikleri nedeniyle vanadyum, makinelerde ve araçlarda bulunan sert çelik (ferrovanadyum gibi) malzemelerin üretiminde kullanılır.

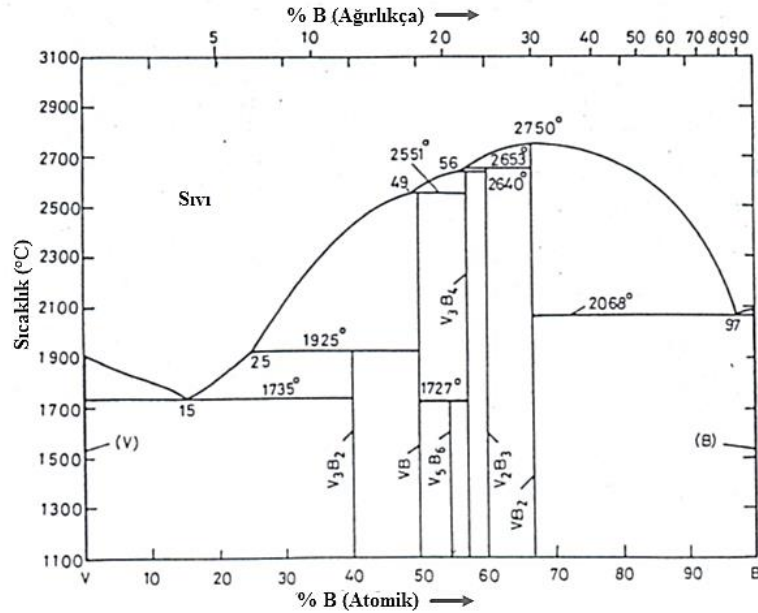
Vanadyum veya vanadyum bileşikleri, demir dışı alaşımların ve çeliklerin üretimi, plastik oluşumu için naftalinin ftalik anhidrite dönüştürülmesi ve katalizör olarak sülfürik asit üretimi, renklendirici maddelerde, fotoğraf basımında, sarı pigmentlerde, yarı iletkenlerin imalatı ve seramik üretimi gibi endüstriyel alanlarda kullanılır. Saf vanadyum, 300°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, oksijen, azot ve karbon ile kolaylıkla reaksiyona girdiğinden, endüstriyel amaçlı uygulamalarda nadiren tercih edilir. Vanadyum elementinin büyük çoğunluğu, ferrovanadyum olarak veya yüksek karbonlu çeliklerin üretiminde vanadyum karbür olarak kullanılır. Vanadyum bileşiklerinin çeliğe ilave edilmesi çeliğin işlenebilirliğini (genleşebilme, yassılaşılabilmek, dövülebilme gibi özellikler), sertliğini ve yorulma direncini artırır. Demir içermeyen vanadyum alaşımları, havacılık ve uzay teknolojisinin geliştirilmesiyle beraber nükleer enerji alanlarında kullanılmaktadır [110]. Tablo 3.7.'de vanadyum elementinin özellikleri verilmektedir.

Tablo 3.7. Vanadyum elementinin özellikleri [31].

Özellik	Değeri
Atom Numarası	23
Atom Ağırlığı	50,9415
Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	6,11
Ergime noktası (°C)	1910
Kaynama noktası (°C)	3407
Mineral Sertliği	6.7
Isı iletkenliği (100°C de)( J cm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	0.31
Özgül ısı (25°C de)( J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	24,35
Atom Yarıçapı (pm)	134
Elektronegativite (Pauling)	1.63

### 3.5.1. Vanadyum borürlerin özellikleri

IVB ve VB grubu geçiş metallerin borürleri, örneğin  $TiB_2$ ,  $ZrB_2$ ,  $VB_2$  ve  $TaB_2$ , aşırı yüksek sıcaklık seramikleri olarak bilinirler. Yüksek ergime sıcaklıklarının yanı sıra, yüksek sertlik, yüksek elektriksel ve termal iletkenlik, iyi kimyasal kararlılık, iyi aşınma direnci ve mükemmel korozyon direnci özellikleriyle benzersiz kombinasyona sahiptirler. Şekil 3.3.'te gösterilen V-B ikili faz diyagramına göre,  $V_3B_2$ , VB,  $V_5B_6$ ,  $V_3B_4$ ,  $V_2B_3$  ve  $VB_2$ 'yi içeren altı borür fazı bulunmaktadır. Yüzey koruma elemanları ve aşınmaya dirençli malzemeler için kullanılan vanadyum borürler, son derece yüksek deşarj kapasitesi nedeniyle alkalın piller için anot malzemesi olarak kullanım için umut vaat etmektedir. Vanadyum borürlerin hazırlanması, yüksek enerjili bir çalkalayıcı bilyeli değirmende elementel vanadyumun bor ile doğrudan kombinasyonu veya bir triarc ocağında vanadyum oksitin ( $V_2O_3$ ) boratermik indirgenmesi ve vanadyum klorid ile  $MgB_2$ ,  $NaBH_4$  veya  $LiBH_4$  arasındaki katı hal tepkimesi de dahil olmak üzere çeşitli işlem yollarıyla gerçekleştirilir [41,42]. Vanadyum borürlerin üretiminde umut verici bir alternatif olarak da, kendiliğinden yayılım gösteren yüksek sıcaklık sentezi (SHS) önemli bir potansiyele sahiptir [41].



Şekil 3.3. V-B ikili denge diyagramı [108]

Vanadyum, VB, V<sub>2</sub>B<sub>3</sub>, vb. gibi kararlı fazları oluşturan güçlü bir borür yapıcı elementtir. Bu bileşik, Zr, Ti, Cr ve diğer geçiş metallerinin borürleri gibi yüksek ergime sıcaklığına, düşük özgül ağırlığa, yüksek kimyasal kararlılığa, iyi aşınma direncine, iyi elektriksel ve termal iletkenliğine sahiptir. [40,86]. Bu önemli özelliklerinden dolayı, vanadyum borürler, pek çok alanda gelecek vadeden uygulamalara sahiptir. Örneğin, yüksek sıcaklık malzemeleri, yüzey koruma malzemeleri ve aşınmaya dirençli malzemeler olarak kullanılmışlardır ve anodik alkalın yük depolama malzemeleri olarak da kullanılabilirler [86]. Örneğin, kristalin VB<sub>2</sub>, benzinin hacimsel enerji yoğunluğunu bile aşan 3300 mAhg<sup>-1</sup> den daha yüksek deşarj kapasiteleri göstermiştir [111].

### 3.5.2. Vanadyum borürler ile ilgili araştırmalar

Abakay ve ark. (2014) yapmış oldukları çalışmada, TIG kaynak yöntemi ile AISI 1020 çeliği üzerine ferro bor, ferro vanadyum ve saf demir tozları kullanarak Fe-V-B esaslı sert yüzey tabakası elde etmişleridir. Bor oranının sabit olduğu üç farklı bileşim ile elde edilen Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasının, mikroyapı incelemeleri, faz analizleri, sertlik ve aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda sert alaşım tabakasında, Fe<sub>4</sub>V, Fe<sub>2</sub>B ve VB fazlarının varlığı tespit edilmiş ve alaşım bileşimindeki vanadyum içeriğinin artmasıyla yapıda oluşan borür fazlarının artmasına neden olduğu belirlenmiştir. Borür fazlarının sertliğinin 1621±20HV<sub>0.01</sub> değerinde olduğu ölçülmüştür. Aşınma testinde uygulanan yük artışı, tüm alaşım bileşimleri için aşınma hızının artmasına ve alaşım bileşimindeki vanadyum içeriğinin artmasıyla da uygulanan yüke bağlı olarak aşınma hızının azalmasına neden olduğu görülmüştür. Aşınma bölgelerinden alınan SEM görüntüleri ve EDS analizleri sonucunda, aşınma mekanizmasının abrazif ve oksidadif olduğu tespit edilmiştir [112].

Tez kapsamında yapmış olduğumuz çalışmada, Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakası TIG kaynak yöntemi ile üretilmiş; mikroyapı, faz analizi, sertlik ve aşınma davranışı incelenmiştir. Yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda sert yüzey alaşım tabakasının düzgün, gözenek içermeyen, altlıkla metalürjik olarak bağlanmış oldukça kalın bir tabakanın olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sert yüzey alaşım tabakalarında

$Fe_4V$ ,  $Fe_2B$  ve VB fazları tespit edilmiş ve borür fazların sertlikleri  $1687\pm 42 HV_{0.01}$  olarak ölçülmüştür. Yapılan aşınma testleri sonucunda uygulanan yükteki artışın, aşınma hızının artmasına neden olduğu tespit edilmiş ve abrazif-oksidatif karakterde bir aşınma mekanizmasının olduğu görülmüştür [113].

### 3.6. Titanyum Borürler

Titanyum, sembolü Ti olan 22 atom numaralı, parlak gümüş gri renkli kimyasal bir elementtir. Titanyum, periyodik tablonun 4. grubunun bir üyesidir. İki adet 4s ve iki adet 3d valans elektronuna sahip olan bir geçiş elementidir. Elektronik konfigürasyonu  $1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^2 4s^2$  şeklindedir [31].

Titanyum yer kabuğunda %0.6 oranla alüminyum, demir ve magnezyumdan sonra en çok bulunan metaldir. Doğada genellikle rutil ( $TiO_2$ ) ya da ilmenit ( $FeTiO_3$ ) formunda bulunan bu element, 1789 da William McGregor tarafından İngiltere’ de oksit formunda keşfedilmiştir [114,115]. %98-99’ luk saf titanyum ilk olarak 1910 yılında Hunter tarafından elde edilmiştir [115].

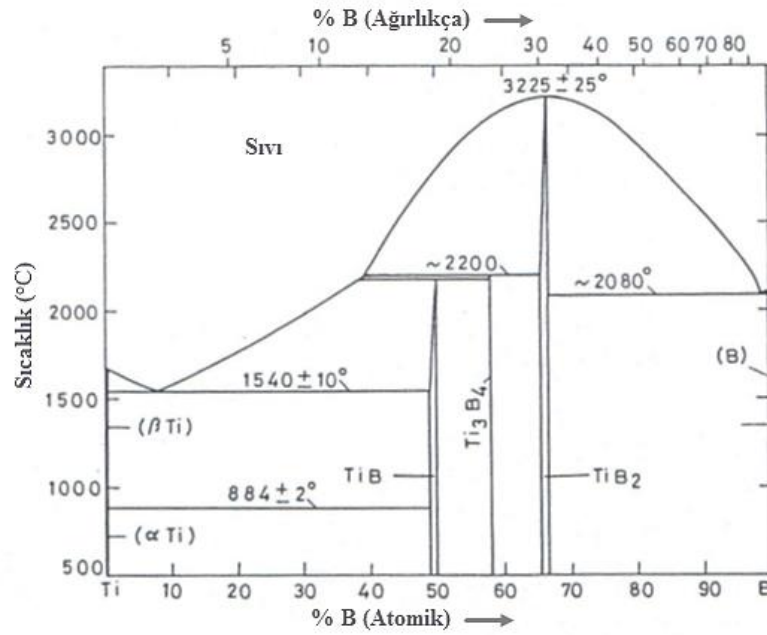
Titanyum endüstrisinin hızlı büyümesinin sebebi, bu metalin sahip olduğu yüksek spesifik mukavemet ve iyi korozyon direncidir. Çeliğin yaklaşık %55’i kadar yoğunluğa sahip titanyum alaşımları, havacılıkta, hem gövde hem de jet motor bileşenleri de dahil olmak üzere, düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklığa kadar ve büyük yükler altında geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Titanyumun korozyon direnci, dengeli, koruyucu bir oksit tabakasının oluşumuna dayanır. Bu pasifleştirici davranış, metali kimyasal işleme ekipmanlarından cerrahi implantlara ve protez cihazlarına kadar bir çok alanda faydalı kılmaktadır [116]. Titanyum metaline ait genel özellikler Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3. 8. Titanyum elementinin özellikleri [113].

Özellik	Değeri
Atom Numarası	22
Atom Ağırlığı	47,9
Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	4,51
Kristal Yapısı	<882.5°C SPH >882.5°C HMK
Elastisite Modülü (Gpa)	120
Ergime Noktası (°C)	1670
Isıl İletkenlik (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	11.4 (oda sıcaklığında)
Elektrik İletkenliği	%3 (bakıra göre)

### 3.6.1. Titanyum borürlerin özellikleri

Hekzagonal AlB<sub>2</sub> yapısına (boşluk grubu: P6 / mmm) sahip olan birçok geçiş metal diborürleri MB<sub>2</sub> (M: geçiş metal atomu), yüksek ergime sıcaklığı, yüksek sertlik, yüksek elektriksel ve termal iletkenlik gibi üstün özellikleri ile birçok farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Örneğin, TiB<sub>2</sub> sıklıkla çelik gibi çeşitli kompozit malzemelerde takviye olarak kullanılmıştır. TiB<sub>2</sub>, çok düşük difüzyon katsayısı nedeniyle çok büyük ölçekli entegre (LSI) devrelerde elektromigrasyonu önleme amaçlı difüzyon bariyerleri uygulamalarında da düşünülmüştür. [117]. Şekil 3.6.'da gösterilen Ti-B ikili faz diyagramına göre, TiB, Ti<sub>3</sub>B<sub>4</sub> ve TiB<sub>2</sub>' yi içeren üç borür fazı bulunmaktadır. TiB ve TiB<sub>2</sub> intermetalik bileşikler olup yapıları ve ergime mekanizmaları iyi belirlenmiştir. Ti<sub>3</sub>B<sub>4</sub> ise sıvı eriyikten sadece dar bir sıcaklık aralığında oluşan bir fazdır [118].



Şekil 3.4. Ti-B ikili denge diyagramı [108]

Titanyum borürler, yüksek ergime noktası, sertlik, aşınma direnci ve elektrik iletkenliği gibi pek çok avantaja sahiptirler. Titanyum borürlerin potansiyel uygulama alanları, darbe dirençli zırhlar, kesici aletler, aşınmaya dirençli parçalar, tane arındırıcı ve her türlü yüksek sıcaklık yapısal malzemeleri olmak üzere oldukça geniştir. Buna ek olarak, yüksek elektrik iletkenliği titanyum borürlerin elektrik boşaltma işleminde kullanılmasını sağlar. Bu nedenle son yıllarda bu borürler üzerinde daha fazla deneysel ve teorik araştırmalar yapılmaya başlanmıştır [43].

### 3.6.2. Titanyum borürler ile ilgili araştırmalar

Wang ve ark. (2008), in-situ TiC-TiB<sub>2</sub> partikülleri ile güçlendirilmiş çelik matris kompozit kaplamaları, bağlayıcı malzemeler olarak farklı kütle oranlarında Fe ve Ti+B<sub>4</sub>C tozları ile argon ark kaynak tekniği kullanarak üretmişler ve üretilen kaplamaların mikroyapı, mikro sertlik ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda, kaplamada bulunan ana fazların TiC, TiB<sub>2</sub> ve α-Fe olduğunu ve kompozit kaplama ile alt tabaka arasında mükemmel metalurjik bağ oluştuğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, kaplamanın üniform, sürekli ve hemen hemen kusursuz olduğu, takviye parçacıkların üretilen kaplamada dağıtılmış bir şekilde yayıldığını

gözlemlenmişlerdir. Kaplama içerisinde dağılmış durumda olan  $TiC+TiB_2$  içeriğinin artmasıyla, normal atmosfer koşullarında ve oda sıcaklığında kaplamanın mikro sertlik ve aşınma direncinin geliştiğini belirlemişlerdir [44].

Yılmaz ve ark. (2009) yapmış oldukları çalışmada, AISI 4340 çelik altlık üzerinde gaz tungsten ark (GTA) kaynağı ile Fe-Ti, Fe-Cr, Fe-W, Fe-B alaşımları ve  $B_2O_3$  tozları kullanarak, in-situ sentezlenmiş  $TiB_2$  takviyeli Fe esaslı kaplamalar imal etmişler ve işlem parametrelerin kaplama üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Yapılan incelemelerde, kaplama yüzeyinde ferrit ( $\alpha$ ) fazında primer dendritler ve kompleks  $TiB_2$ ,  $Fe_2B$  borürleri tespit edilmiş ve kaplanmış yüzeyin veya arayüz mikroyapılarının özellikle bor ve titanyum konsantrasyonunun dağılımı ile oluştuğu gözlemlenmiştir. Elde edilen kaplamalarda yapılan sertlik ölçümleri sonucunda  $Fe_2B$  fazının sertlik değerleri 1100-1700 HV arasında,  $TiB_2$  fazının sertlik değerleri 2300-3300 HV arasında tespit edilmiş ve kaplama yüzeyine ait sertlik ölçümleri sonucunda 44,1-53,7 arasında HRC sertlik değerlerine ulaşılmıştır. FeW-FeCr- $B_2O_3$ -Al-FeTi karışımı ile üretilen kaplama numunesinde en yüksek sertlik değeri ve en düşük aşınma direnci elde edilmiştir [119].

Darabara ve ark. (2009), plazma transfer ark (PTA) kaynak tekniği kullanarak düz bir çelik yüzeyine  $Fe_2B-TiB_2$  takviyeli metal matrisli kompozit (MMC) sert yüzey tabakası elde etmişlerdir. Bu işlem için bor içeriği artırılarak beş farklı toz bileşimi elde edilmiş ve sert yüzey alaşım tabakaları bu tozlardan üretilmiştir. Üretilen sert yüzey alaşım tabakalarının mikroyapıları incelenmiş, faz analizleri yapılmış ve sertlikleri ölçülmüştür. Sonuç olarak bor içeriğinin artırılması, sert demir borür parçacıklarının,  $Fe_2B$ 'nin varlığına bağlı olarak, mikro sertlikte bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir [120].

## BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Giriş

Bu çalışmanın amacı, TIG kaynak yöntemiyle düşük karbon oranına sahip çelik yüzeylerin üzerine, sert borür fazları oluşturmak suretiyle, sert yüzey alaşım tabakalarının oluşturulmasıdır. Bu amaçla farklı bileşimlerde ve oranlarda elde edilen Fe-M-B (M: Nb, V ve Ti) esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının; mikro yapı özellikleri, faz analizleri, sertlikleri ve aşınma özellikleri, optik mikroskop, mikro sertlik cihazı, x-ışınları difraktometresi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve ball-on-disk aşınma cihazları kullanılarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda altlık malzeme SAE 1320 olacak şekilde seçilmiş ve benzer şartlarda, farklı oranlarda hazırlanan Fe-B, Fe-Nb-B, Fe-V-B, Fe-Ti-B esaslı tozlarla sert yüzey alaşım tabakaları oluşturularak; çelik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

### 4.2. Kullanılan Hammaddeler ve Altlık Malzeme

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, ferro-bor, ferro-niyobyum, ferro-vanadyum, ferro-titanyum ve ASC100.29 kodlu saf demir tozu kullanılmış olup; borür esaslı sert yüzey alaşımların oluşturulması için kullanılan tozların bileşimleri Tablo 4.1.'de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Kullanılan tozların bileşimleri (Ağırlıkça)

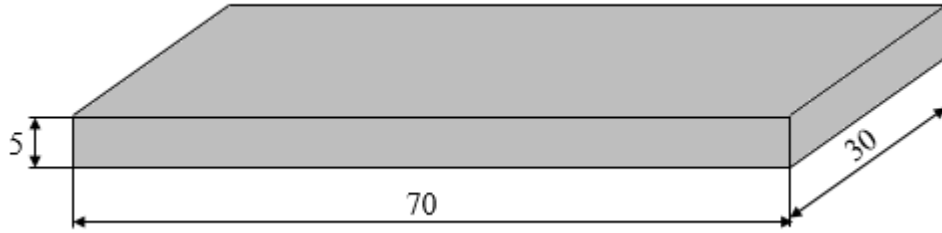
Tozlar	%Fe	%B	%Nb	%V	%Ti	%C	%Al
Ferro-bor	82	18	-	-	-	-	-
Ferro-niyobyum	33,35	-	65	-	-	0,15	1,5
Ferro-vanadyum	33,5	-	-	66,5	-	-	-
Ferro-titanyum	25,22	-	-	-	70,95	0,126	3,69
Saf demir	100	-	-	-	-	-	-



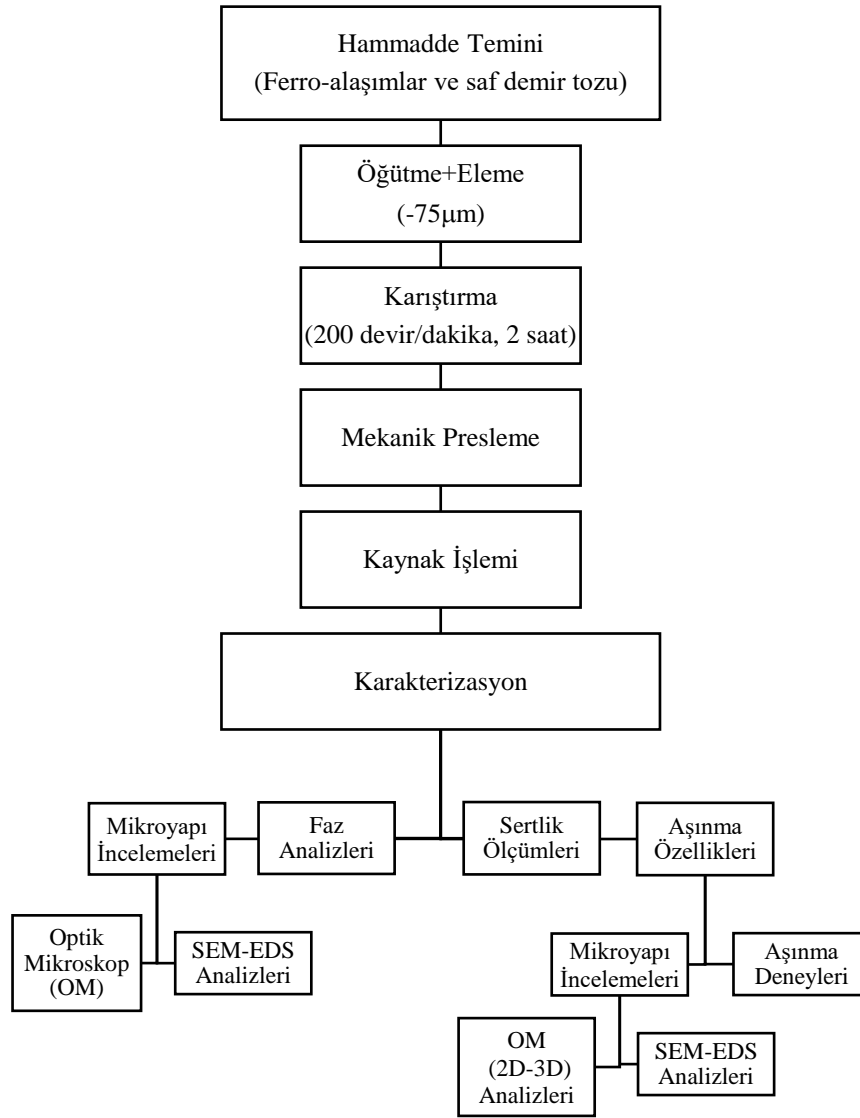
Sert yüzey alaşımlama işlemi için altlık malzeme olarak, sanayide yaygın bir kullanım alanına sahip yapı çeliklerinden olan SAE 1320 kullanılmıştır. Bu çelik türünün seçiminde, yaygın kullanım, düşük aşınma direnci ve düşük korozyon dayanımı önemli bir etkindir. Altlık malzeme olarak kullanılan çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 4.2.'de belirtilmiştir. Şekil 4.1.'de verilen ve deneylerde kullanılan altlıklar 20x60x5 mm boyutlarında kesilerek yüzeyleri Bosch PWS 700-115 marka avuç taşlama makinası ile temizlenmiştir. Hazırlanan bu numunelerin yüzeyleri, sert yüzey alaşımlama işlemi için yağ, pas ve kir tabakasından arındırılmıştır. Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinde izlenen işlem adımları şematik olarak Şekil 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Altlık malzemenin kimyasal bileşimi

	% C	% Cr	% Mn	% Si	% P	% S	% Ni	% Mo	% Fe
Kons.	0,183	0,0208	1,37	0,204	0,0177	0,0018	0,062	0,0056	98



Şekil 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan altlığın şekil ve boyutları



Şekil 4.2. Deneysel çalışma programı

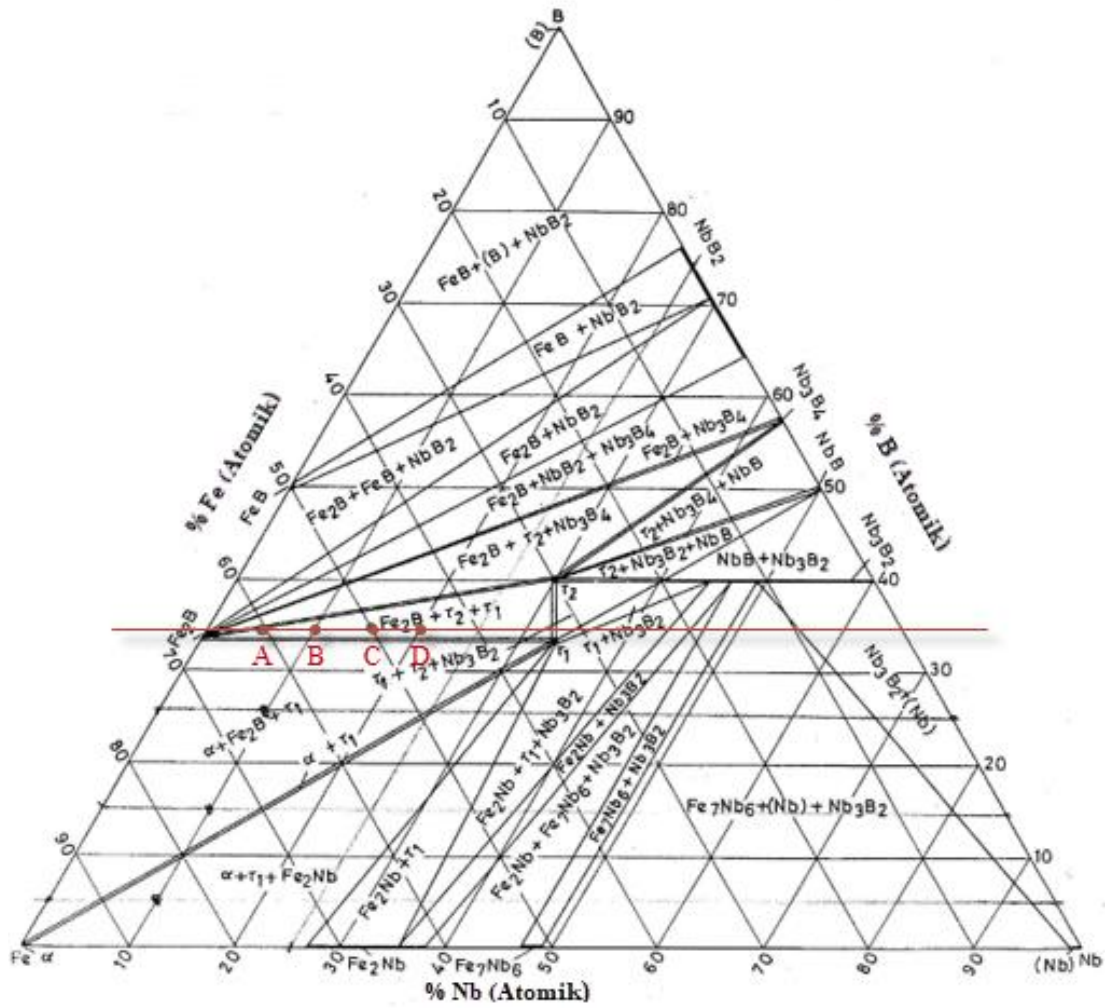
### 4.3. Alaşım Bileşimi ve Toz Hazırlama

Kayaç halinde bulunan ve Tablo 4.1.'de bileşimleri verilen ferro-bor, ferro-niyobyum, ferro-vanadyum ve ferro-titanyum malzemeler kırma işleminin ardından Retch marka halkalı değirmende 75 µm elek altı olacak şekilde öğütülmüştür. Saf demir tozu ise öğütme işlemine tabi tutulmadan 75 µm elek altı boyutuna getirilmiştir. Hazırlanan tozlar Fe-B, Fe-Nb-B, Fe-V-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımları oluşturmak amacıyla Tablo 4.3.'te verilen bileşim oranları belirlenip karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

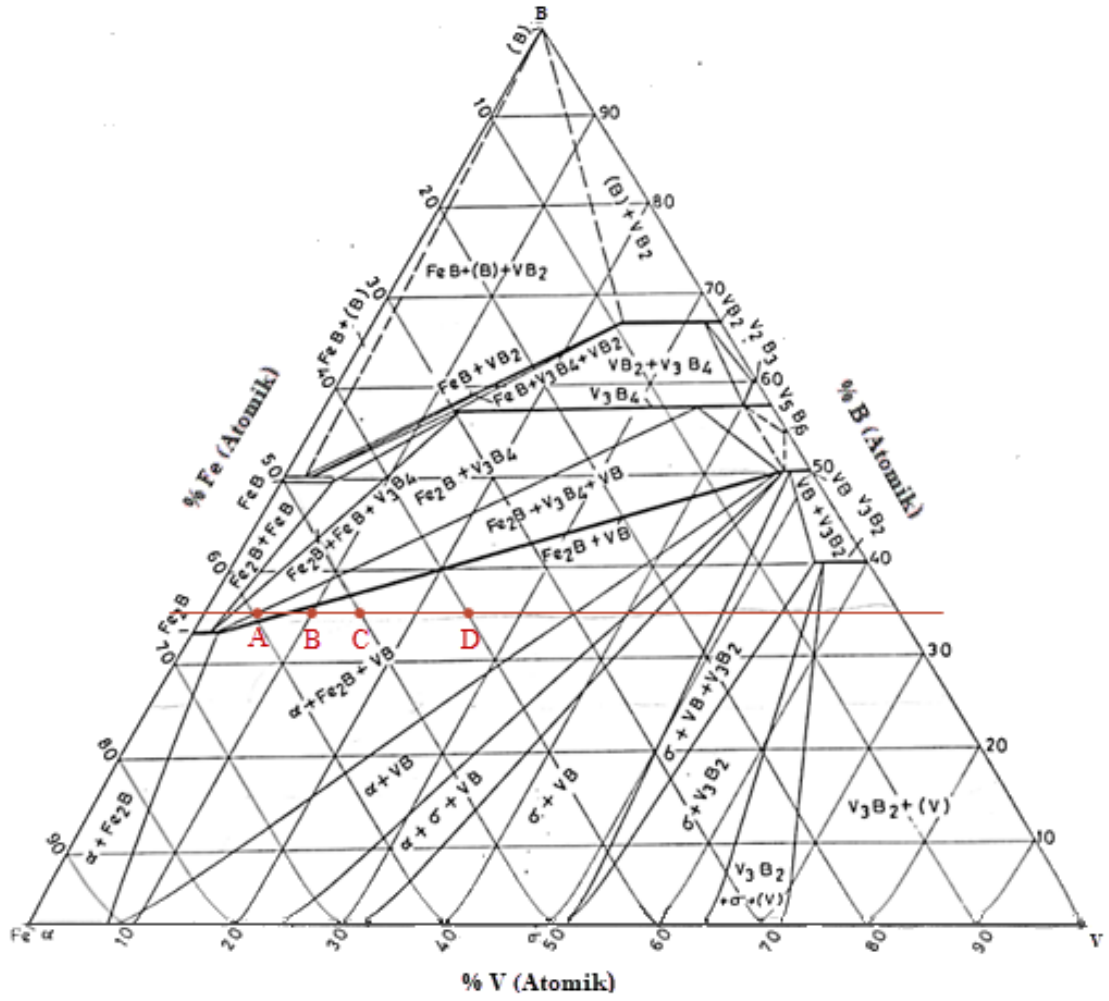
Tablo 4.3. Fe-M-B (M: Nb,V,Ti) esaslı yüzey alaşımlamaya ait hazırlanan tozların bileşim oranları

		Element Yüzdesi (atomik )				
Metal Alaşımı	Bileşimler	Fe	Nb	V	Ti	B
Fe-B Esaslı	Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub>	65	-	-	-	35
	Fe <sub>12</sub> NbB <sub>7</sub>	60	5	-	-	35
Fe-Nb-B Esaslı	Fe <sub>11</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	55	10	-	-	35
	Fe <sub>10</sub> Nb <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	50	15	-	-	35
	Fe <sub>9</sub> Nb <sub>4</sub> B <sub>7</sub>	45	20	-	-	35
	Fe <sub>12</sub> VB <sub>7</sub>	60	-	5	-	35
Fe-V-B Esaslı	Fe <sub>11</sub> V <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	55	-	10	-	35
	Fe <sub>10</sub> V <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	50	-	15	-	35
	Fe <sub>8</sub> V <sub>5</sub> B <sub>7</sub>	40	-	25	-	35
	Fe <sub>12</sub> TiB <sub>7</sub>	60	-	-	5	35
Fe-Ti-B Esaslı	Fe <sub>11</sub> Ti <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	55	-	-	10	35
	Fe <sub>10</sub> Ti <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	50	-	-	15	35
	Fe <sub>8</sub> Ti <sub>5</sub> B <sub>7</sub>	40	-	-	25	35

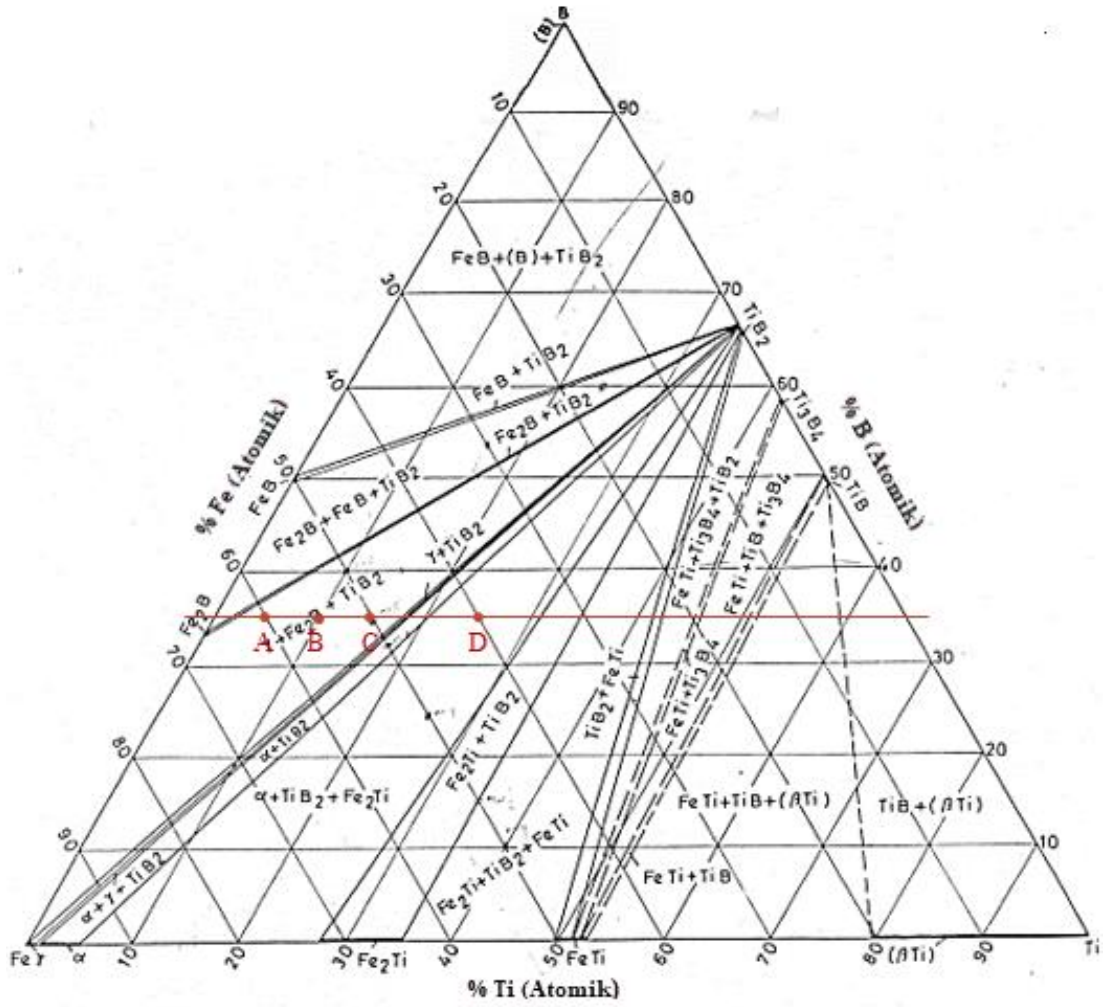
Bileşim oranlarının tespitinde Şekil 4.3.-4.5.'te verilen denge diyagramları esas alınmıştır. Hazırlanan tozlar homojen bileşim dağılımı sağlamak amacıyla bilyeli değirmende 200 dev/dk hızda 2 saat süreyle öğütme ve karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Karıştırma işleminde toz/bilye oranı 1/3 olarak seçilmiş olup, 7 mm çapında çelik bilyeler kullanılmıştır. Karıştırma işlemleri öncesinde kaplar ve bilyeler saf alkol ile iyice temizlenmiştir.



Şekil 4.3. Fe-Nb-B 'nin 800°C'deki atomik oranda izotermal denge diyagramı (A)  $\text{Fe}_{12}\text{Nb}_7\text{B}_7$ ; (B)  $\text{Fe}_{11}\text{Nb}_2\text{B}_7$ ; (C)  $\text{Fe}_{10}\text{Nb}_3\text{B}_7$ ; (D)  $\text{Fe}_9\text{Nb}_4\text{B}_7$  [108]



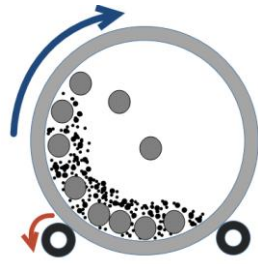
Şekil 4.4. Fe-V-B 'nin 800°C'deki atomik oranda izotermal denge diyagramı (A)  $\text{Fe}_{12}\text{VB}_7$ ; (B)  $\text{Fe}_{11}\text{V}_2\text{B}_7$ ; (C)  $\text{Fe}_{10}\text{V}_3\text{B}_7$ ; (D)  $\text{Fe}_8\text{V}_5\text{B}_7$  [108]



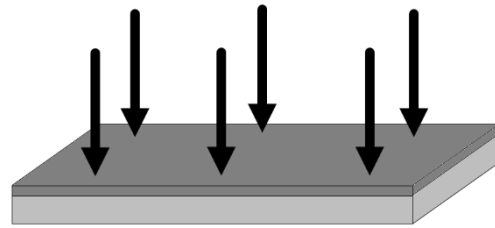
Şekil 4.5. Fe-Ti-B 'nin 1000°C'deki atomik oranda izotermal denge diyagramı (A)  $Fe_{12}Ti_7B_7$ ; (B)  $Fe_{11}Ti_2B_7$ ; (C)  $Fe_{10}Ti_3B_7$ ; (D)  $Fe_8Ti_3B_7$  [108]

#### 4.4. Sert Yüzey Alaşım İlemleri

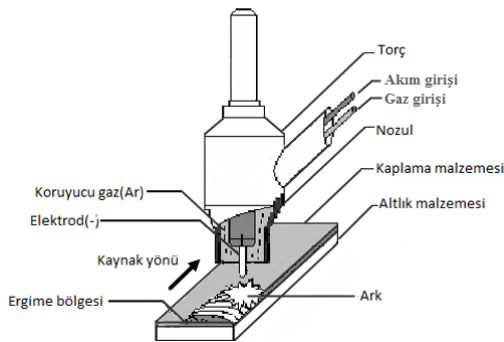
Fe-M-B esaslı sert yüzey alaşım işlemleri üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama toz hazırlama işlemleri olup, bir önceki bölümde detaylı olarak anlatılmıştır. İkinci aşama tozların altlık malzemeler üzerinde oluşturulmasıdır. Üçüncü aşama ise altlık yüzeylerinde sert yüzey alaşımın oluşturulmasıdır. Sert yüzey alaşım kaplama işleminin akış şeması Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



Toz Karışımının Bilyeli Değirmende Karıştırılması



Altık Üzerine Tozun Preslenmesi



Sert Yüzey Alaşımlama İşlemi



Sert Yüzey Alaşımlama Sonrası Numune

Şekil 4.6. Sert yüzey alaşımlama işleminin akış şeması

Tablo 4.3.'te bileşim oranları verilen toz karışımları yüzeyleri hazırlanmış olan altık malzemeler üzerine yaklaşık 2-3 mm kalınlığında konularak kaynak işlemleri öncesinde hidrolik pres yardımıyla 100 MPa basınç altında preslenmiştir. Böylelikle TIG kaynak işlemi esnasında gaz basıncının neden olduğu olumsuzluklar ortadan kaldırılmıştır.

Çelik altlıklar üzerinde preslenerek oluşturulan Fe-M-B esaslı karışım tozları Tungsten İner Gaz (TIG) kaynak yöntemi ile ergitilerek yüzeyde alaşım oluşturulmaya çalışılmıştır. Sert yüzey alaşım kaplama işlemleri Magmaweld ID 220T AC/DC Pulse marka TIG invertör kaynak makinesi ile gerçekleştirilmiştir. İşlem sonrası numuneler açık atmosferde soğumaya bırakılarak, kaynak sırasında oluşan tufal ve çapakların temizlenmesi için kumlama işlemine tabi tutulmuştur. İşlem sırasında uygulanan kaynak parametreleri Tablo 4.4.' te görülmektedir.

Tablo 4.4. TIG kaynağı kaplama parametreleri

Parametre	Değer
Elektrot	WT20 ThO <sub>2</sub>
Elektrot çapı (mm)	2,4
Açı (derece)	70
Gerilim (V)	20
Akım (A)	110-180
Isı girdisi (kJ/cm)	12,3-20,2
Koruyucu Gaz	Ar (%99,9 Ar)
Gaz akış hızı (L/dk)	12
Üretim hızı (cm/sn)	1,16

Isı girdisi  $Q = \eta \cdot U \cdot I / (V \cdot 1000)$  (kJ/cm); U: gerilim(V), I: akım (A), V: üretim hızı (cm/sn),  $\eta$ =verimlilik katsayısı (TIG yöntemi için =0,65) [121]

#### 4.5. Mikroyapı İncelemeleri

TIG kaynak yöntemi ile Fe-M-B esaslı yüzey alaşım kaplanmış numuneler, mikro yapı incelemeleri için uygun boyutlarda kaynak doğrultusuna dik kesilerek bakalite alınmışlardır. Numuneler 60, 120, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 grid'lik zımparalarla metalografik olarak hazırlanarak, inceleme öncesinde 1  $\mu\text{m}$ 'luk Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pasta ile parlatma işlemine tabi tutulmuş ve %3 Nital çözeltisi ile dağlanmış. Yüzeyde oluşturulan Fe-M-B esaslı alaşımın optik mikroskop ve SEM-EDS incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

##### 4.5.1. Optik mikroskop (OM) incelemeleri

Metalografik olarak hazırlanan Fe-M-B esaslı yüzey alaşımlanmış numunelerin optik mikroyapı incelemeleri Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı incelemeleri kaplama tabakası, arayüzey ve matris olmak üzere üç farklı bölgeyi içermekte olup, dağlama ile elde edilen renk farkından dolayı detaylandırılmıştır.



#### 4.5.2. SEM ve elementel analiz İncelemeleri

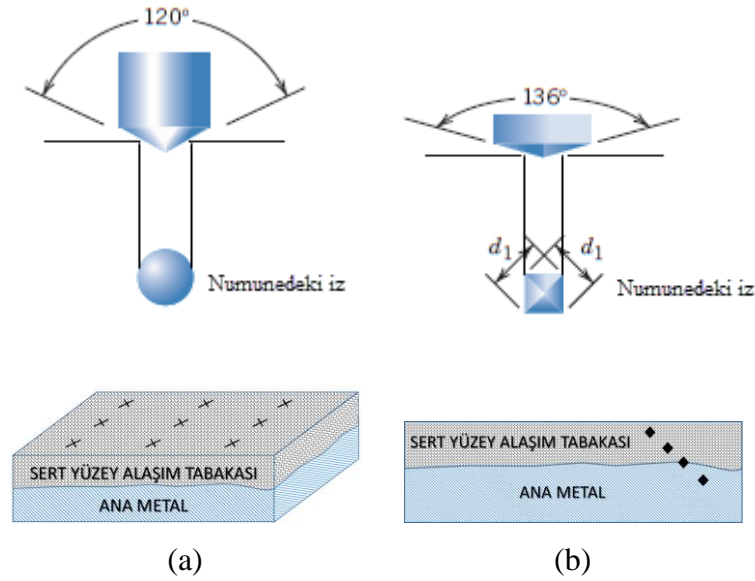
Yüzey alaşım tabakalarının mikroyapı görüntülerinin elde edilmesinde, JEOL JSM – 6060 LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Kaplama tabakasının belirli bölgelerinden elementel analiz değerlerinin belirlenmesi, taramalı elektron mikroskobuna (SEM) kombine edilmiş EDS (Electron Dispersive Spectroscopy) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yüzeylerin analizleri x-ışını elementel dağılım haritaları ile yapılmıştır.

#### 4.6. Faz Analizleri

Yüzeylerinde Fe-M-B (M: Nb, V, Ti) esaslı alaşımların üretildiği numunelerin faz analizleri RIGAKU D/MAX/2200/PC marka x-ışınları difraktometresi kullanılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Analizler sırasında  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 1,5408 \text{ \AA}$ ) radyasyonu kullanılmıştır. Numunelerden elde edilen x-ışınları difraksiyon paternlerinden, hazır programlar kullanılarak mevcut fazlar tespit edilmiştir. Bu amaçla, X'pert Highscore ve MDI Jade 6 analiz programları kullanılmıştır. Faz analizleri sırasında programların kendi veri bankasındaki seçenekleri daha iyi değerlendirebilmesi için, analizi yapılmış numunenin içinde bulunabilecek fazlara ait elementler bir girdi olarak programa verilir. Programlar bu veriler ışığı altında, kendi veri bankasını inceleyerek numune için en uygun fazların ne olabileceğinin bir listesini verir. Bu liste içerisinden elde edilen difraksiyon paternleri ile en uygun eşleştirme gerçekleştirilmek suretiyle çözüme gidilir.

#### 4.7. Sertlik Ölçümleri

TIG yöntemi ile alaşımlanmış numunelerin yüzeyinde elde edilen sert yüzey alaşım tabakalarının sertlik ölçümleri Şekil 4.7.'de şematik olarak gösterildiği gibi, dış yüzeylerden makro sertlikleri, mikro yapı incelemeleri için hazırlanmış yüzeylerden mikro sertlikleri alınarak gerçekleştirilmiştir. Alaşım tabakalarının dış yüzeylerinden ölçülen sertlikler, Rockwell (C skala) Bulut marka sertlik test cihazı ile 150 kg yük altında üç ayrı bölgeden ölçülerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.7. (a) Rockwell (HRc) (b) Vickers sertlik ölçümlerinin şematik gösterimi [122]

Mikro sertlik ölçümleri ise alaşım tabakası içinde bulunan fazların, arayüzeylerin ve matrisin sertlikleri ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Sert yüzey alaşım tabakalarının, arayüzeylerin ve matrisin sertlik dağılımları Future-Tech FM 700 marka mikrosertlik test cihazı yardımıyla Vickers sertlik ucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasında uygulanacak yük, çatlak oluşturmayacak şekilde ve meydana gelen izin köşegenlerinin kolayca görülebileceği bir uzunlukta olması dikkate alınarak deneme ile belirlenmiş, numunelere 10 sn süreyle 5, 10 ve 25 gr yükler uygulanmıştır. Faz sertlikleri için ölçümler her numunenin farklı renklerde görülen ve farklı fazlar olduğu düşünülen bölgelerinden en az 3 kez ölçülerek gerçekleştirilmiş ve daha sonra aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır.

#### 4.8. Aşınma Deneyleri

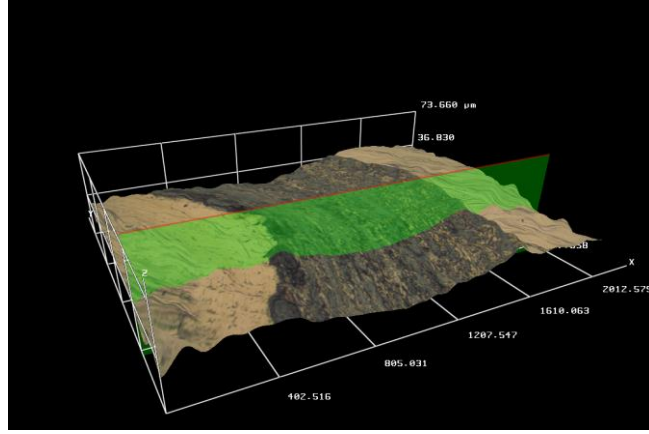
Tablo 4.2.'de bileşim oranları verilen ve TIG kaynak yöntemi ile alaşımlanan çeliklerin yüzeyleri aşınma deneyi öncesinde metalografik olarak hazırlanmıştır. Bu amaçla alaşımlanmış yüzeylere 60, 120, 240, 400, 600, 800 ve 1000 gritlik zımparalarla kaba parlatma işlemi uygulanmıştır. Sert yüzey kaplanan numunelerin aşınma deneyleri, ASTM G-99 standardına uygun olan tribometre cihazında (Şekil 4.8.) yapılmıştır. Deneyler Ball-On Disk metoduyla, 10 mm çapında, 2720 HV<sub>0,05</sub> [123] sertlik değerinde alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) bilyeler kullanılarak; 2,5N, 5N ve 10N yükler

altında 200 m mesafede ve 0,1 m/s hızda,  $65\pm 5$  nem oranına ve  $21\pm 3$  °C sıcaklığa sahip açık atmosferde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında TRDWearPro (TRD mühendislik tarafından geliştirilen) programı yardımıyla sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Farklı bileşimlere sahip sert yüzey kaplanmış çeliklerin sürtünme katsayısı eğrileri kayma mesafesine bağlı olarak çıkarılmıştır.

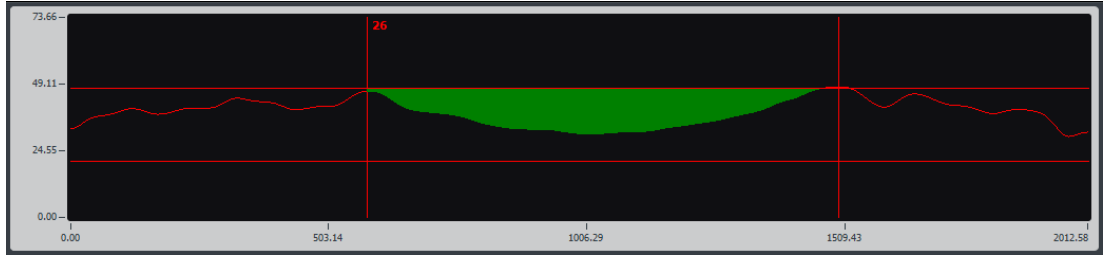


Şekil 4.8. Aşınma deneylerinde kullanılan ball-on disk aşınma cihazı ve ekipmanları

Aşınma deneyleri sonrasında aşındırıcı bilyede ve yüzey alaşımlanmış çelikte oluşan aşınma izleri iki ve üç boyutlu (Huvitz marka) optik mikroskoplar ile incelenmiştir. Aşınma deneyleri sonrasında alaşımlanmış çeliklerin yüzeyinde oluşan ve üç boyutlu optik mikroskop yardımıyla belirlenen aşınma profilleri Şekil 4.9.a'da gösterilmektedir. Bu profillerden elde edilen kesit alan grafiğinden (Şekil 4.9.b) hesaplanan alanlar kullanılarak alaşımlanmış çelikte oluşan hacim kayıpları eşitlik 4.1. yardımıyla hesaplanmış ve sonrasında aşınma hızı değerleri eşitlik 4.2. yardımıyla belirlenmiştir. Aşınma hızının hesaplanmasında kullanılan eşitliklere ait kavramlar Şekil 4.10.'da gösterilmiştir. Ölçümler aşınma izinin farklı bölgelerinden alınan profiller yardımıyla yapılarak, ortalama değerleri hesaplanmıştır.



(a)



(b)

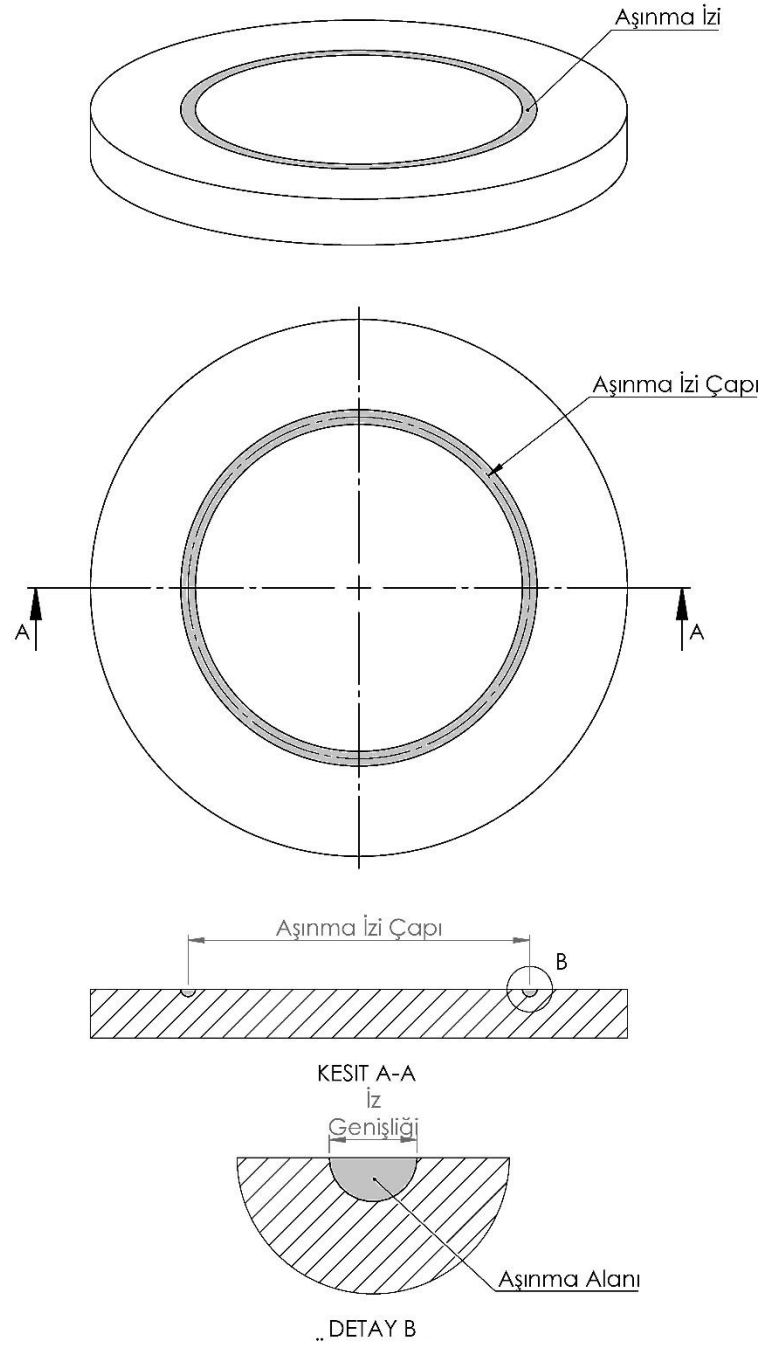
Şekil 4.9. Aşınma deneyleri sonrasında elde edilen (a) aşınma profili, (b) kesit alan grafiği

$$V = 2\pi RS \quad (4.1)$$

Burada  $V$ =hacim kaybını,  $R$ =aşınma izi yarıçapını ve  $S$ =aşınma alanını göstermektedir.

$$W = \frac{V}{\text{Toplam yol}} \quad (4.2)$$

Burada  $W$ =aşınma hızını ifade etmektedir [124,125].



Şekil 4.10. Aşınmaya maruz kalan numunenin şematik gösterimi

## **BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME**

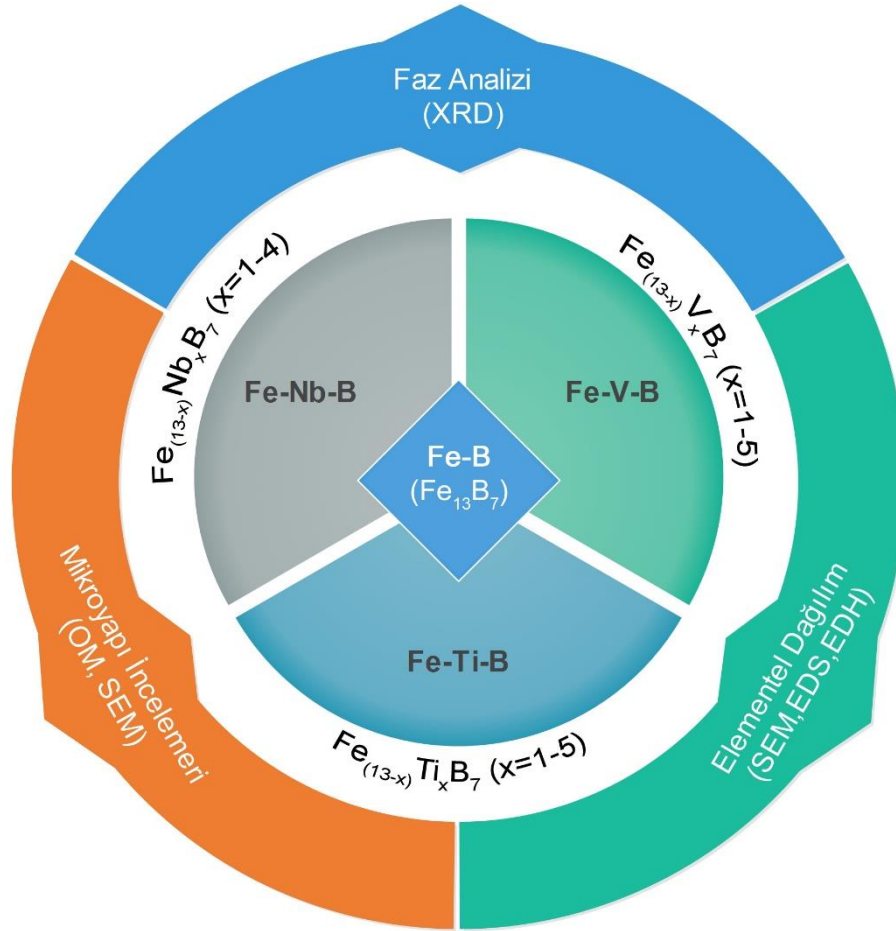
### **5.1. Giriş**

Bu çalışmada Fe-B, Fe-Nb-B, Fe-V-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlarının tungsten inert gaz (TIG) kaynağı ile SAE 1320 çelik altlık yüzeylerinde üretimi gerçekleştirilerek karakterizasyonları yapılmıştır. Bu amaçla mikroyapı incelemeleri ve faz analizleri ayrıca sertlik ölçümleri (mikro ve makro seviyede) ve aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

### **5.2. Mikroyapı İncelemeleri ve Faz Analizleri**

Yüzeyde oluşan alaşımların mikroyapı (optik-SEM) ve faz analizleri (XRD, SEM-EDS, elementel dağılım haritası) her malzeme grubunun kendi bünyesinde ve karşılaştırmalı olarak yapılmış olup, karakterizasyon incelemeleri Şekil 5.1.'de verilen şema esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

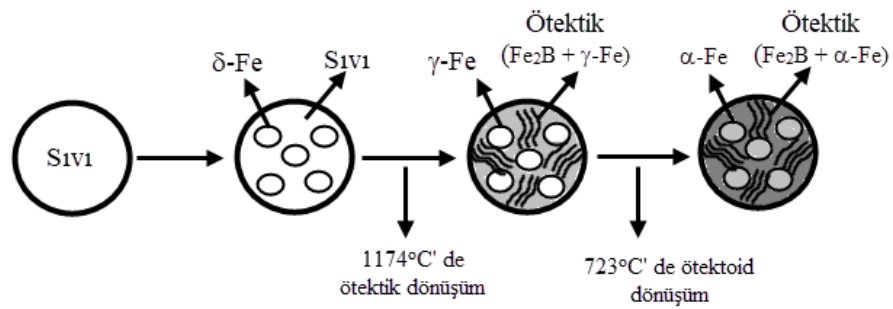
Genel olarak yüzeyde oluşan alaşımların mikroyapı incelemeleri sonucunda, altlık üzerinde ergimiş bölge olarak görülen sert kaplanmış tabakanın kalınlığının yaklaşık 2-3 mm arasında olduğu ve altlıkla iyi bir bağlanma sergilediği görülmektedir. Oldukça kalın bu kaplama tabakasının porozitesiz ve düzgün bir yüzey topoğrafyasına sahip olduğu belirlenmiştir. İncelenen mikroyapılarda sert yüzey, ara yüzey ve altlık gibi üç farklı katmandan oluşan bir yapı açık bir şekilde ayırt edilebilmekte olup bunlar: ötektik matris içerisinde dağılmış borür fazları olduğu düşünülen sert yüzey, ara yüzey ve altlıktır (matris). Mikroyapı ve faz analizleri her alaşım için aşağıda detaylandırılmıştır.



Şekil 5.1. Fe-M-B esaslı malzemelerin mikroyapı ve faz analizleri incelemeleri akış şeması

### 5.2.1. Fe-B esaslı alaşımın mikroyapı ve faz analizleri

Bu çalışmada sert yüzey alaşımlama amacıyla  $Fe_{(13-x)}M_xB_7$  ( $0 \leq x \leq 5$ ) (M: Nb, V ve Ti) bileşimine sahip dolgu alaşımları kullanılmıştır. Kullanılan alaşımların bileşimleri Tablo 4.3.'te verilmiştir. Yüzey alaşımlama işlemi, belirlenen oranlarda/bileşimlerde hazırlanan dolgu alaşımlarının SAE 1320 altlık malzeme üzerine tungsten inert gaz (TIG) kaynak tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Genel olarak  $Fe_{(13-x)}M_xB_7$  alaşımları ile yüzey alaşımlama işlemine tabi tutulan numunelerin mikroyapısal dönüşümlerinin şematik gösterimleri Şekil 5.2.'de görülmektedir. TIG kaynağı ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlama işleminde, kaynakçının dolgu alaşımı ile matris arasında iyi bütünlüğün sağlanması için altlık malzemeyi de dolgu alaşımı ile birlikte bir miktar ergitmesi gerekmektedir. Bu işlem aslında seçilen sert dolgu alaşımının kimyasal bileşiminin seyrelmesine sebep olmaktadır.

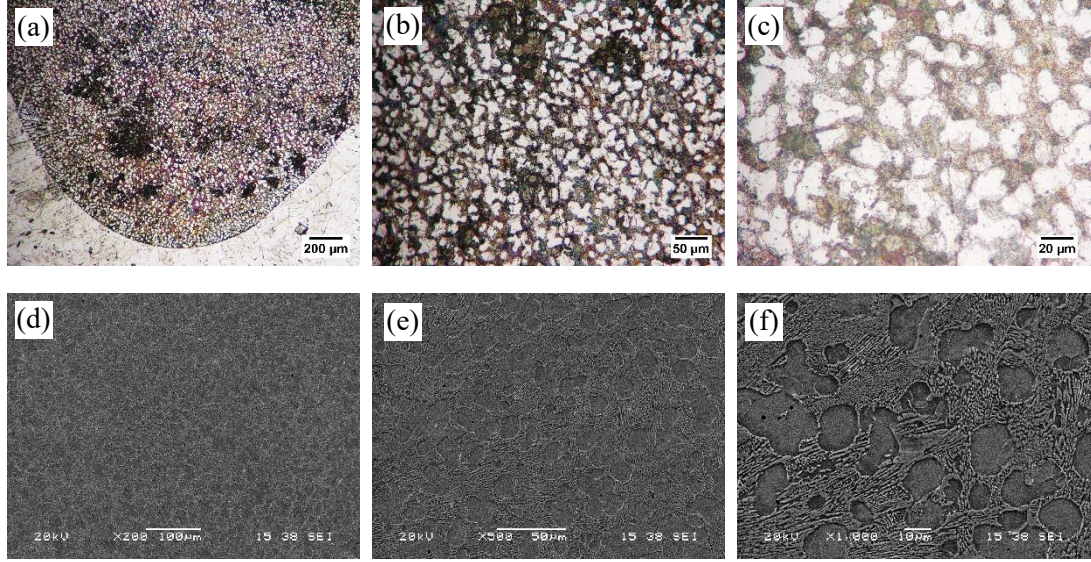


Şekil 5.2. Fe-B esaslı alaşım tabakasının mikroyapı değişimlerinin sıcaklığa bağlı olarak şematik gösterimi [100]

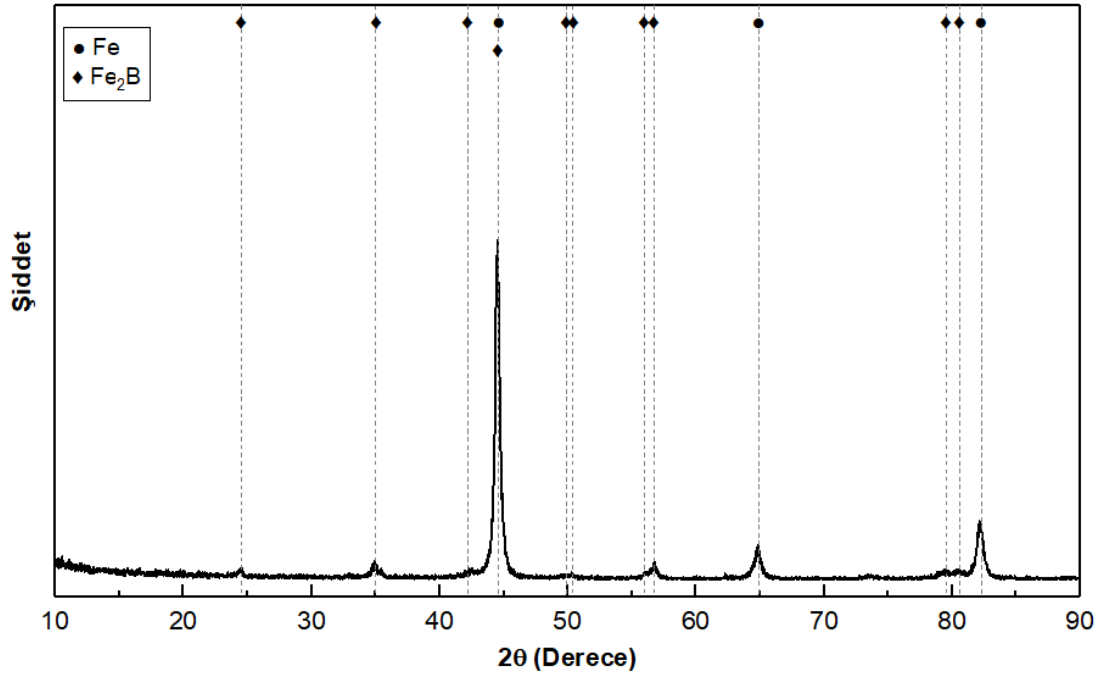
Çelik yüzeyinde oluşturulan Fe-B esaslı alaşımın ( $Fe_{13}B_7$ ) mikroyapı görüntüleri Şekil 5.3.'te verilmiştir. Şekil 5.3.a-c incelendiğinde ötektik öncesi primer ferrit ( $\alpha$ -Fe) masif fazıyla birlikte ötektik ( $\alpha+Fe_2B$ ) fazlarının/yapılarının birlikte görüldüğü tespit edilmiştir. Eroğlu [100], yapmış olduğu çalışmada, Fe-B esaslı dolgu alaşımlarını ötektik altı ve ötektik üstü alaşımlar olacak şekilde seçmiş ve katılma yapılarını incelemiştir. Ötektik altı yapıların katılmasında, öncelikle  $\delta$ -Fe fazının sıvı faz içerisinde çekirdeklenerek büyüdüğünü, 1174 °C'de yapının primer ferrit ( $\gamma$ -Fe) masif fazıyla birlikte ötektik ( $\gamma+Fe_2B$ ) yapıya dönüştüğünü belirtmektedir. Düşen sıcaklıkla birlikte sistemde yer alan  $\gamma$ -Fe fazının 910 °C'nin altında  $\alpha$ -Fe fazına dönüşerek, ötektik öncesi primer ferrit ( $\alpha$ -Fe) masif fazıyla birlikte ötektik ( $\alpha+Fe_2B$ ) fazlarının/yapılarının oluştuğunu belirtmektedir. Yine Fe-B denge diyagramı incelendiğinde (Şekil 3.1.), ötektik altı bileşimler için katılma senaryosunun Eroğlu'nun açıklamalarıyla benzer olacağı da görülmektedir. Seçilen Fe-B dolgu alaşımı atomik olarak  $Fe_{13}B_7$  olacak şekilde seçilmesine rağmen matris fazının, ergiyerek dolgu alaşımını seyreltmesi neticesinde, ötektik altı bileşimlerin olacağı bir seviyeye gelmesine sebep olmuştur. Bu durum, Şekil 5.3.a-c'de açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 5.3.d-f'de SEM mikroyapı incelemelerinde de optik mikroyapılarla benzer durumun söz konusu olduğu açıkça görülmektedir. Burada da primer ferrit ve ötektik mikroyapının varlığı görülmektedir. Şekil 5.5.  $Fe_{13}B_7$  esaslı yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsünü (b-e), EDS analizlerini ve (f-i) elementel dağılım haritalarını göstermektedir. Şekil 5.5.a-e incelendiğinde primer ferrit olarak belirtilen fazda B piklerinin olmadığı, ötektik yapıdan alınan EDS analizlerinde ise B piklerinin varlığı açık bir şekilde görülmektedir. Buradan da



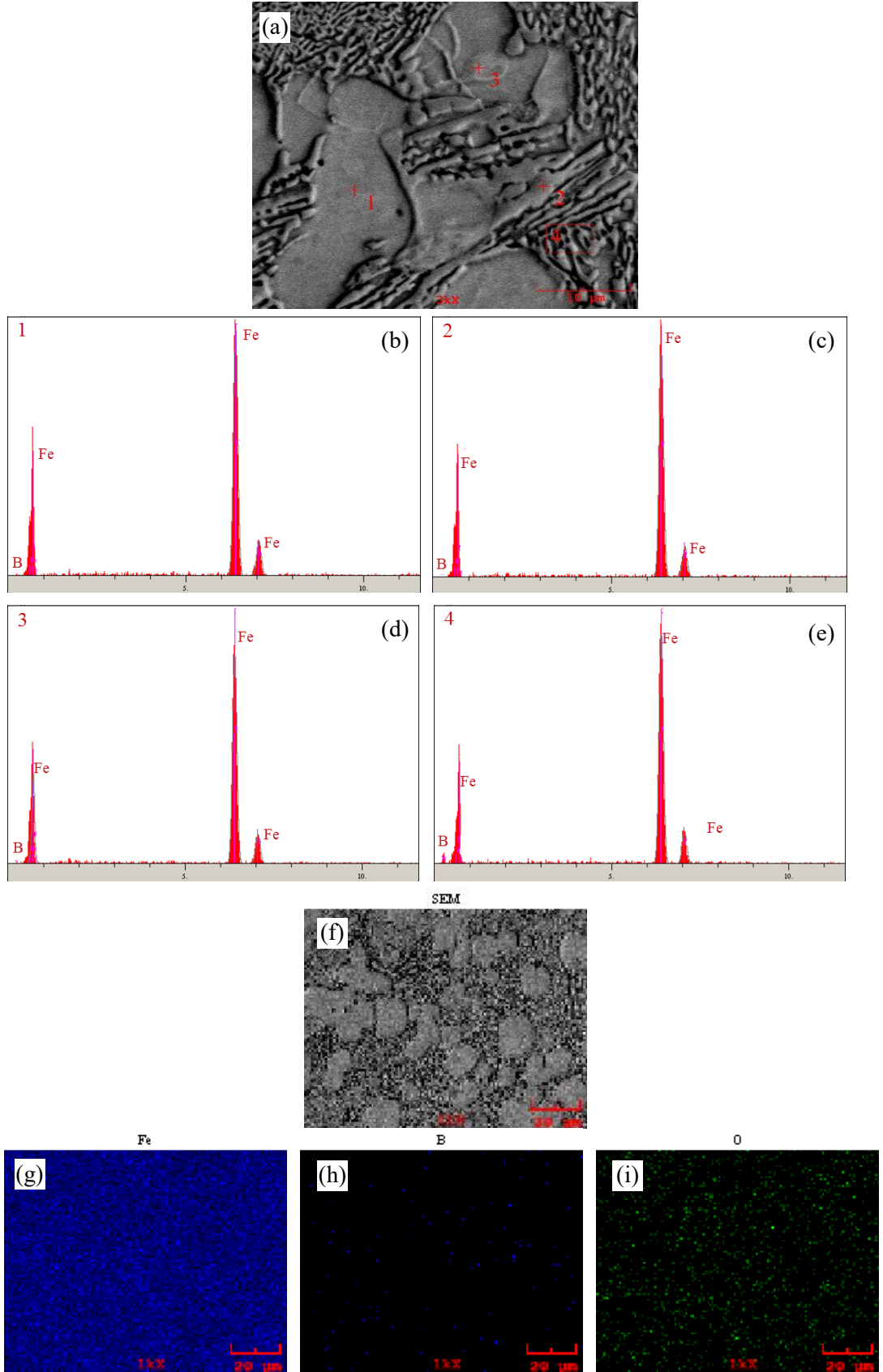
anlaşılacağı üzere beyaz blok fazların primer ferrit olduğu, ötektik yapının ise EDS analizlerinden de anlaşılacağı üzere  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B fazlarından oluştuğu fikrini desteklemektedir. Çelik yüzeyinde oluşturulan Fe<sub>13</sub>B<sub>7</sub> esaslı alaşımın x ışını difraksiyon analizi sonucunda Fe<sub>2</sub>B fazından oluştuğu belirlenmiş olup difraksiyon paterni Şekil 5.4.'de gösterilmiştir



Şekil 5.3. Fe<sub>13</sub>B<sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) optik, (d-f) SEM mikroyapı görüntüleri



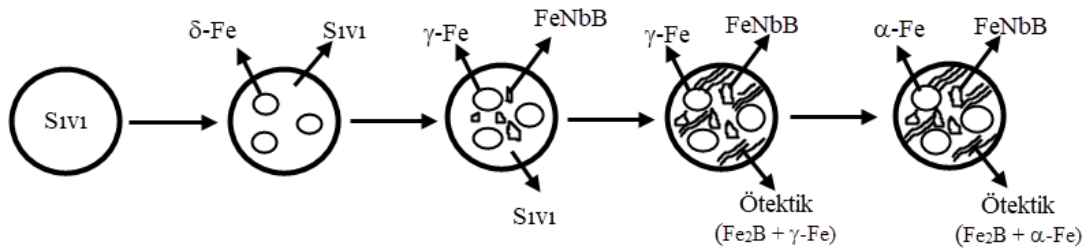
Şekil 5.4. Fe-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliğin x-ışını difraksiyon paterni



Şekil 5.5.  $\text{Fe}_{13}\text{B}_7$  numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları

### 5.2.2. Fe-Nb-B esaslı alaşımların mikroyapı ve faz analizleri

Fe-Nb-B esaslı tabakanın bulunduğu bölgede genel yapının dendritik karakterde olduğu, hatta niyobyum oranının artışına bağlı olarak dendritik yapının arttığı da görülmüştür. Yapıda borür olduğu düşünülen açık gri renkteki küresel şekilli taneciklerin tane sınırlarında ve tane içlerinde yer aldığı ayrıca bazı bölgelerde özellikle geçiş bölgesine yakın yerlerde tanelerin arasında ötektik oluşumların bulunduğu belirlenmiştir. Genel olarak  $Fe_{(13-x)}Nb_xB_7$  alaşımları ile yüzey alaşımlama işlemine tabi tutulan numunelerin mikroyapısal dönüşümlerinin şematik gösterimleri Şekil 5.6.'da görülmektedir.



Şekil 5.6. Fe-Nb-B esaslı alaşım tabakasının Nb oranına bağlı olarak mikroyapı değişimlerinin şematik gösterimi

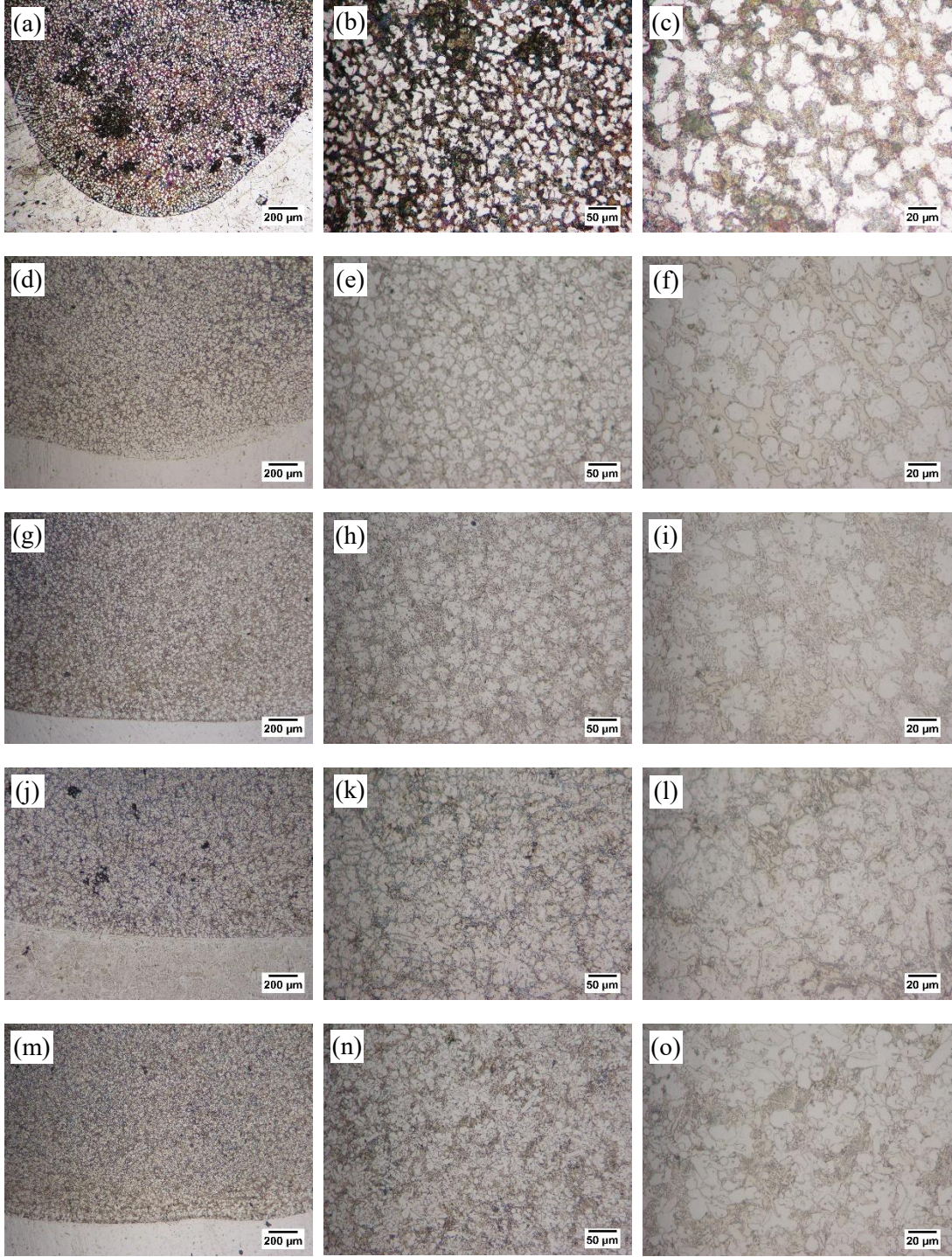
$Fe_{(13-x)}Nb_xB_7$  ( $1 \leq x \leq 4$ ) alaşımlarının optik (Şekil 5.7.d-o) ve SEM mikroyapıları (Şekil 5.8.d-o) incelendiğinde Fe-B ötektik alaşımlarında görülen primer ferrit + ötektik yapısının değişerek masif  $Fe_2B$  ve  $FeNbB$  fazlarını oluşturduğu ve  $\alpha$ -Fe fazlarının tane sınırlarında öncelikle  $Fe_2B$  blok fazlarının oluşumuna yol açtığı ve ötektik morfolojinin azaldığı, buna karşılık masif  $FeNbB$  fazının daha açık renkte küçük adacıklar şeklinde poligonal olarak (altıgen görünümlü) katıldığı saptanmıştır. Nb oranının artması ve Fe oranının azalmasına bağlı olarak  $FeNbB$  fazının miktarının arttığı poligonal yapının belirginleştiği ve  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$  ötektik yapısının varlığını korumakla birlikte daha çok  $Fe_2B$  blok fazlarına dönüştüğü saptanmıştır.

Yapılan incelemelerde EDS analizleri (Şekil 5.9.-5.12.) beyaz renkli poligonal yapılı fazların Fe, Nb ve B elementlerini içerdiğini, buna karşılık gri renkli kısmi ötektik yapı içeren blok fazların ise Fe, B ve çok düşük miktarlarda Nb elementlerinin varlığını göstermektedir. EDS analizlerinden de anlaşılacağı üzere beyaz poligonal yapıların

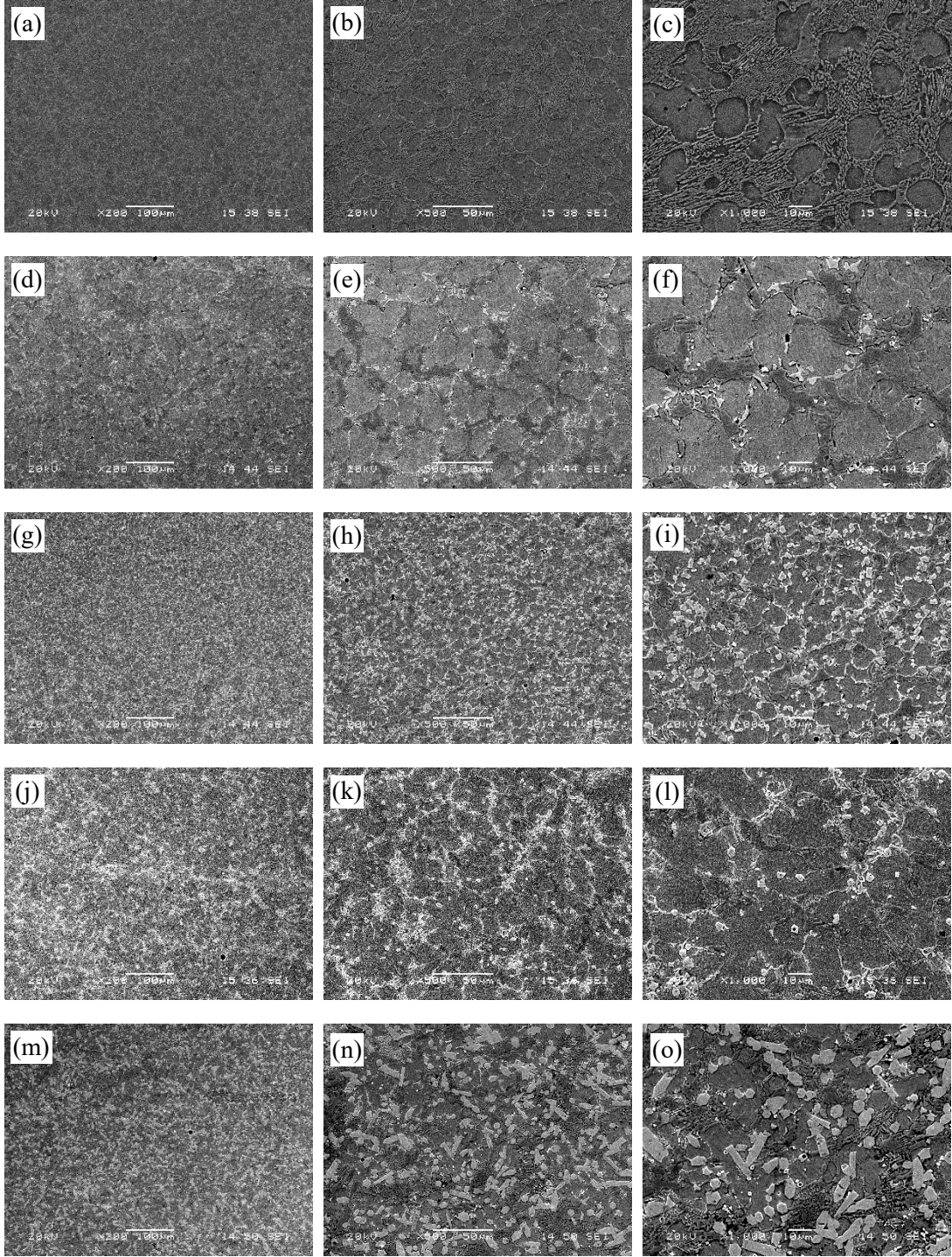
üçlü borür fazı, buna karşılık gri renkli tane sınırlarında oluşan kısmi ötektik yapının Fe-B elementlerinden oluşan ikili borür fazı olduğu fikri desteklenmektedir.

Fe-Nb-B denge diyagramı (Şekil 4.2.) incelendiğinde, üzerinde çalışılan kimyasal bileşimdeki dolgu alaşımının ve altlık malzemedan gelen Fe miktarıyla seyredildiği de göz önünde tutulduğunda yapının  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B+FeNbB fazlarından oluşabileceği görülmektedir. Şekil 5.13.'te yer alan x ışınları difraksiyon analizleri de bu fikri desteklemekte ve yapının  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B+FeNbB fazlarından oluştuğu görülmektedir. Yine Nb miktarının artışıyla FeNbB fazının miktarının arttığı, Fe<sub>2</sub>B miktarının azaldığı ve blok yapı yerine tekrar ötektik yapının oluşumunu destekleyerek  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B ötektiğinin belirginleştiği de gözlemlenmiştir.

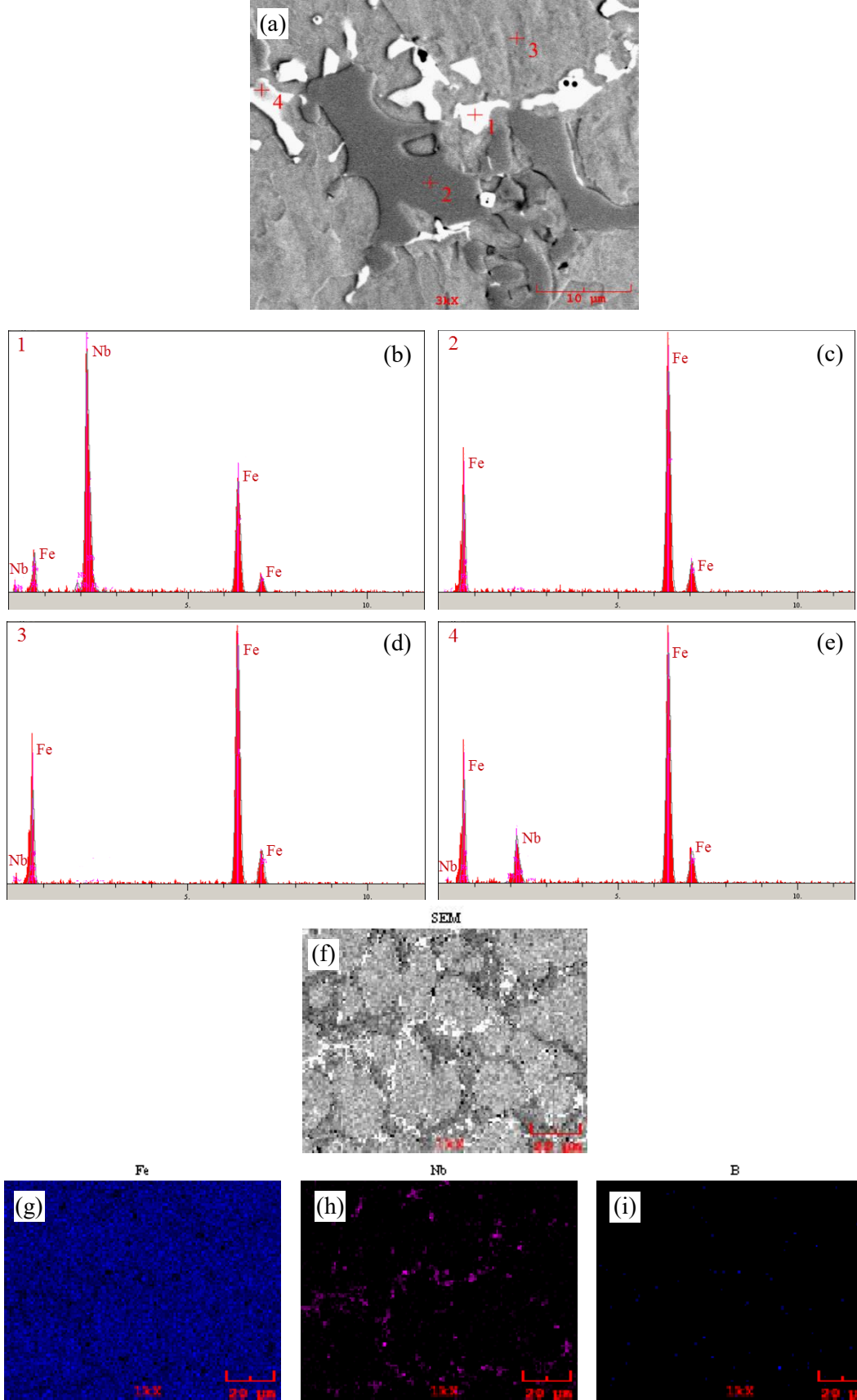
Yoshitomi ve ark. [126] tarafından yapılan bir çalışmada, 1200°C sıcaklığa kadar  $\delta$ -Fe ve akabinde  $\gamma$ -Fe dönüşümlerinin tamamlandığı ve 1200°C'nin altında Fe<sub>2</sub>B ve FeNbB fazlarının oluştuğu belirtilmektedir. Sıcaklığın düşüşüne bağlı olarak  $\delta$ -Fe önce  $\gamma$ -Fe'e sonrasında  $\alpha$ -Fe'e dönüşmektedir.  $\delta$ -Fe çekirdeklenip büyürken çözebileceği miktarların üzerinde bulunan Nb ve B elementleri ara yüzeyde toplanmakta ve oluşum serbest enerjilerine bağlı olarak öncelikle FeNbB fazının oluştuğu ve arta kalan fazla bor elementinin de Fe<sub>2</sub>B fazını oluşturduğu düşünülmektedir. Burada itici güç olarak 1200°C sıcaklıkta FeNbB fazı için oluşum serbest enerjisinin -166.338 j/mol değerinde olduğunu, aynı sıcaklık değeri için Fe<sub>2</sub>B fazının oluşum serbest enerjisinin -76.025 j/mol değerine sahip olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere öncelikle oluşacak faz FeNbB fazıdır. Arta kalan bor, sonrasında Fe<sub>2</sub>B fazını oluşturmaktadır. Bu oluşumda bor miktarının değişimine bağlı olarak ötektik katılaşma ile  $\delta$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B yapısını bir birini takip edecek şekilde ortaya çıkarmaktadır. Nb miktarı arttıkça serbest bor miktarı azalmakta ve blok Fe<sub>2</sub>B fazı yerine ötektik morfoloji daha belirgin olarak gelişmektedir. Sıcaklığın düşüşüyle  $\delta$ -Fe önce  $\gamma$ -Fe'e ve sonrasında da  $\alpha$ -Fe'e dönüşmektedir.



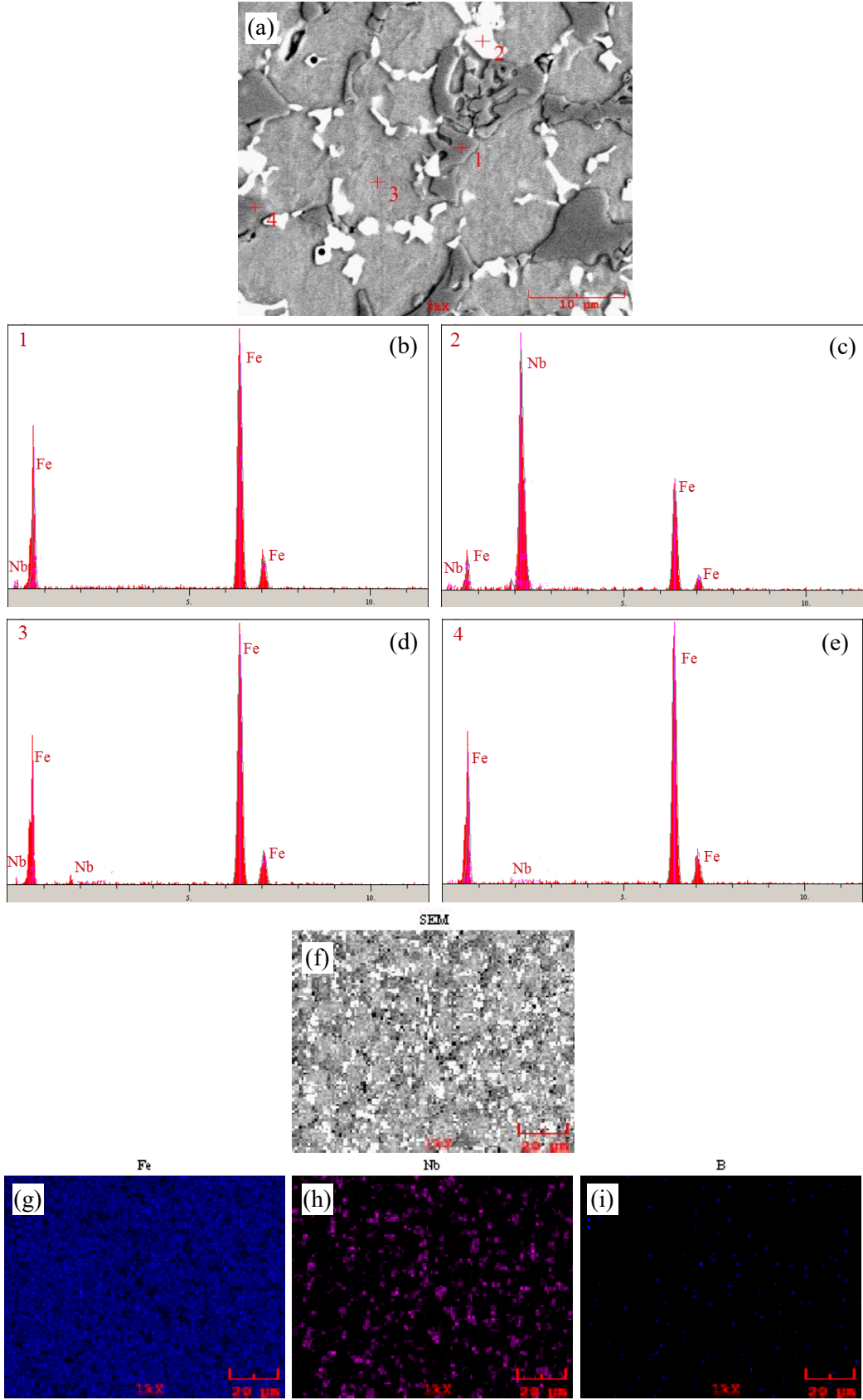
Şekil 5.7. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}NbB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}Nb_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}Nb_3B_7$ ; (m-o)  $Fe_9Nb_4B_7$



Şekil 5.8. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının SEM görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}NbB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}Nb_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}Nb_3B_7$ ; (m-o)  $Fe_9Nb_4B_7$

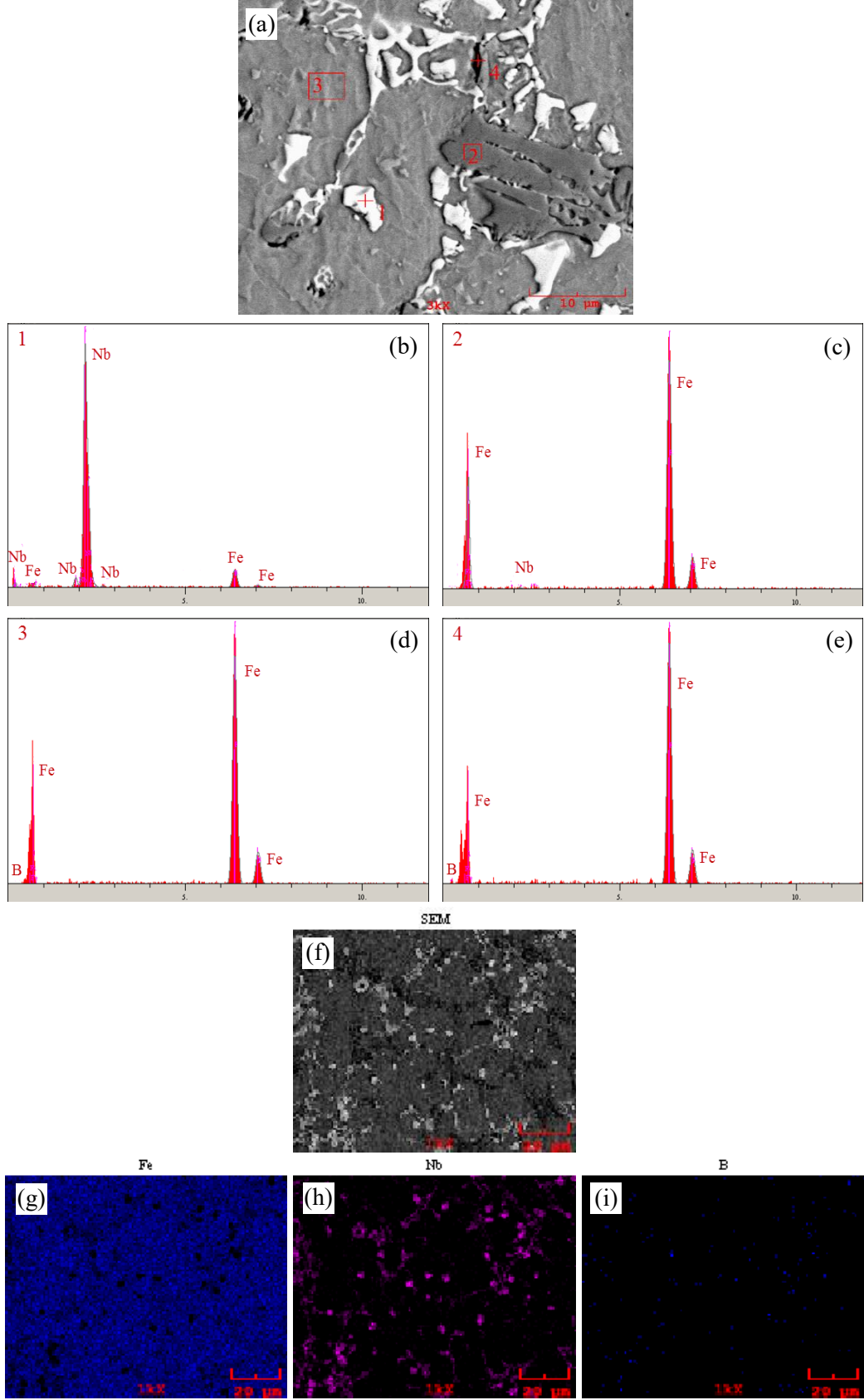


Şekil 5.9. Fe<sub>12</sub>NbB<sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları

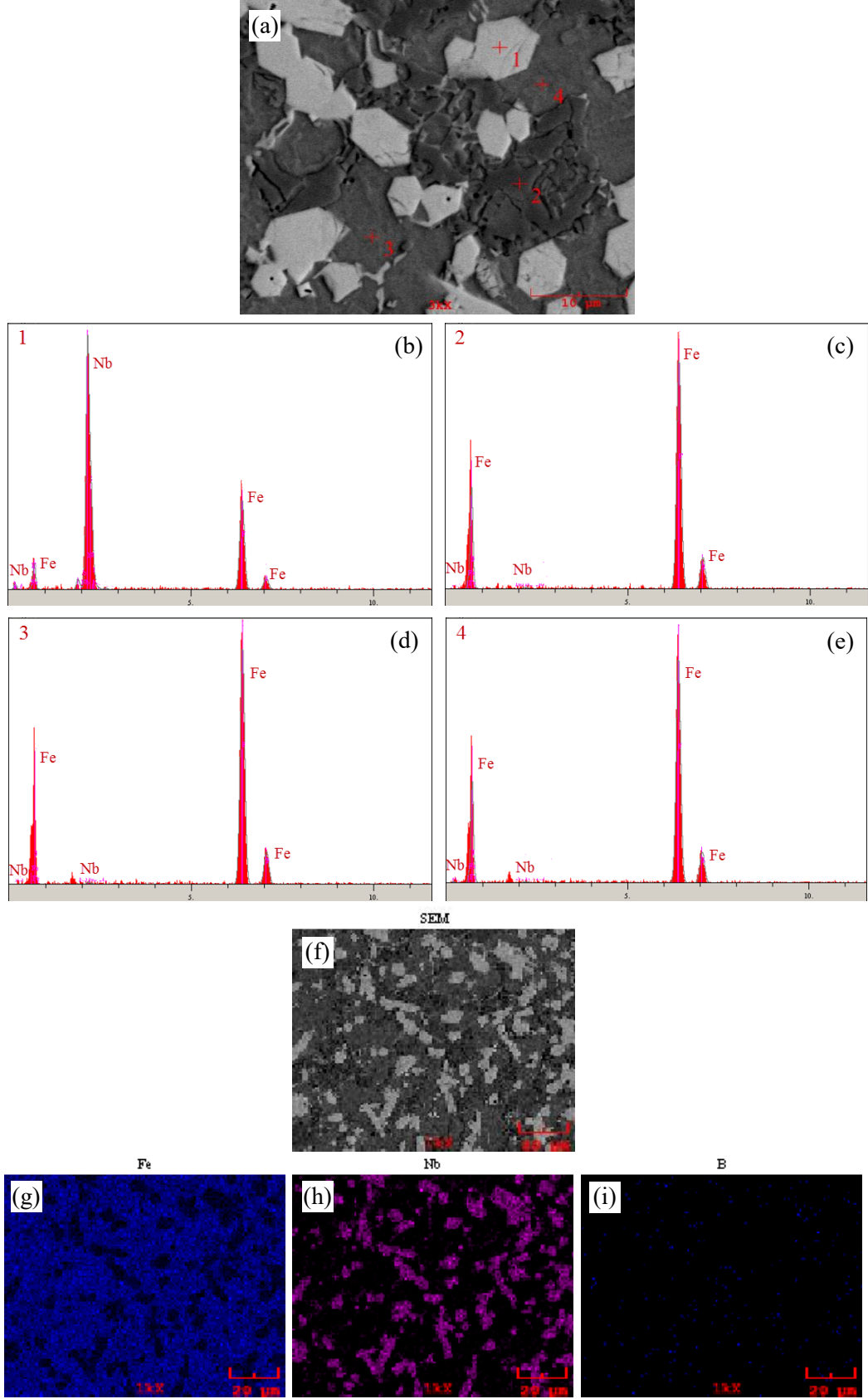


Şekil 5.10.  $\text{Fe}_{11}\text{Nb}_2\text{B}_7$  numunesine ait sert yüzey alایش tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları

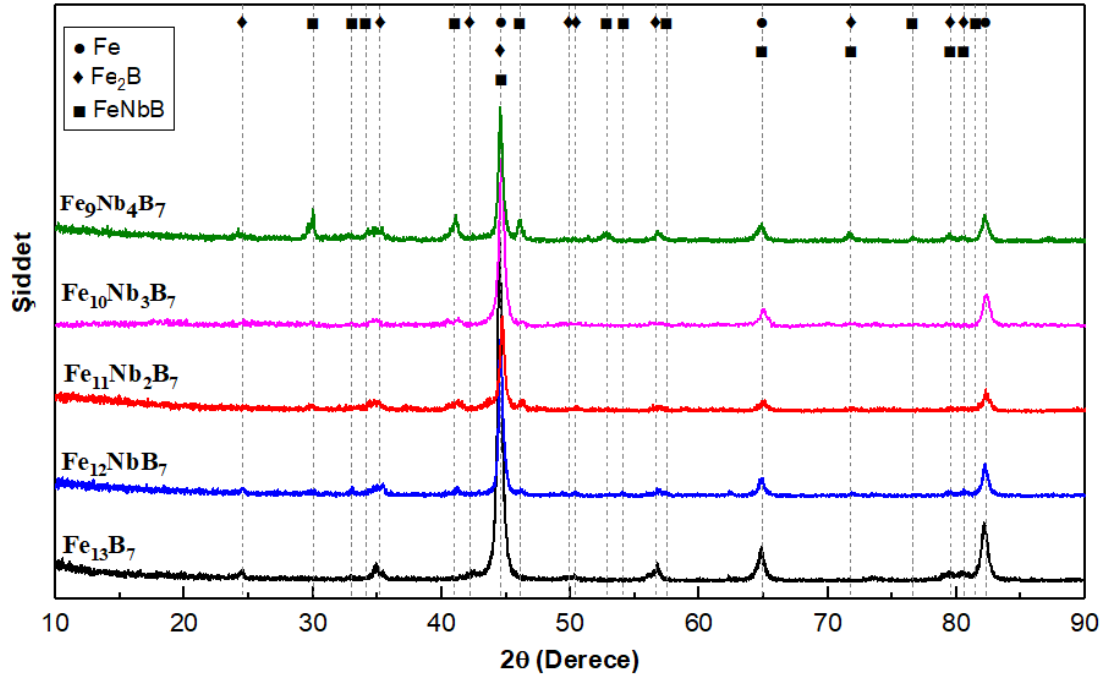




Şekil 5.11.  $\text{Fe}_{10}\text{Nb}_3\text{B}_7$  numunesine ait sert yüzey alایش tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları

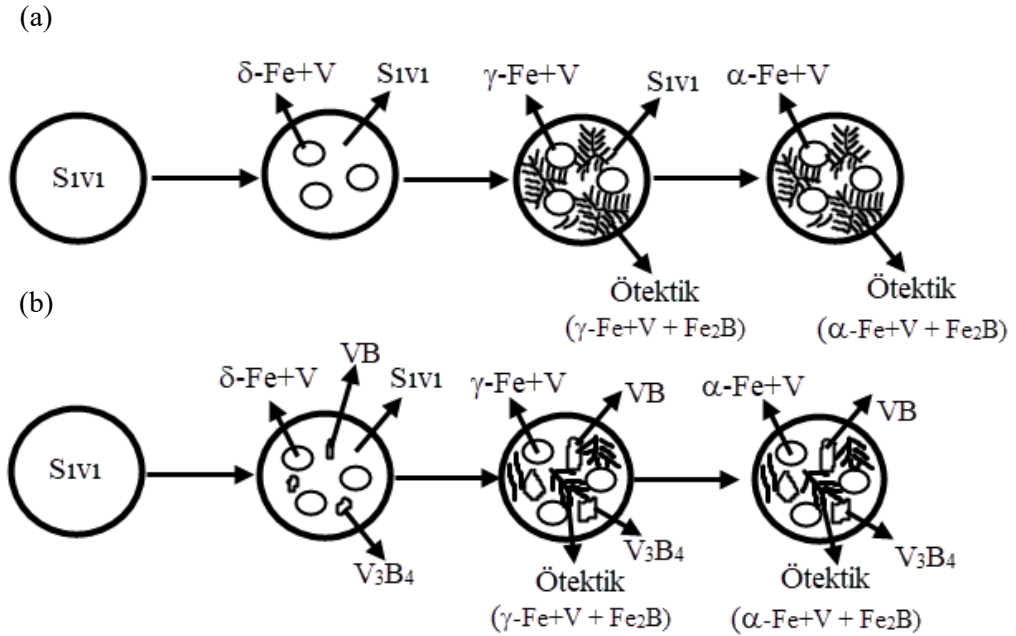


Şekil 5.12. Fe<sub>9</sub>Nb<sub>4</sub>B<sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alایش tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları



Şekil 5.13. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin x-ışınları difraksiyon paterni

### 5.2.3. Fe-V-B Esaslı Alaşımların Mikroyapı ve Faz Analizleri



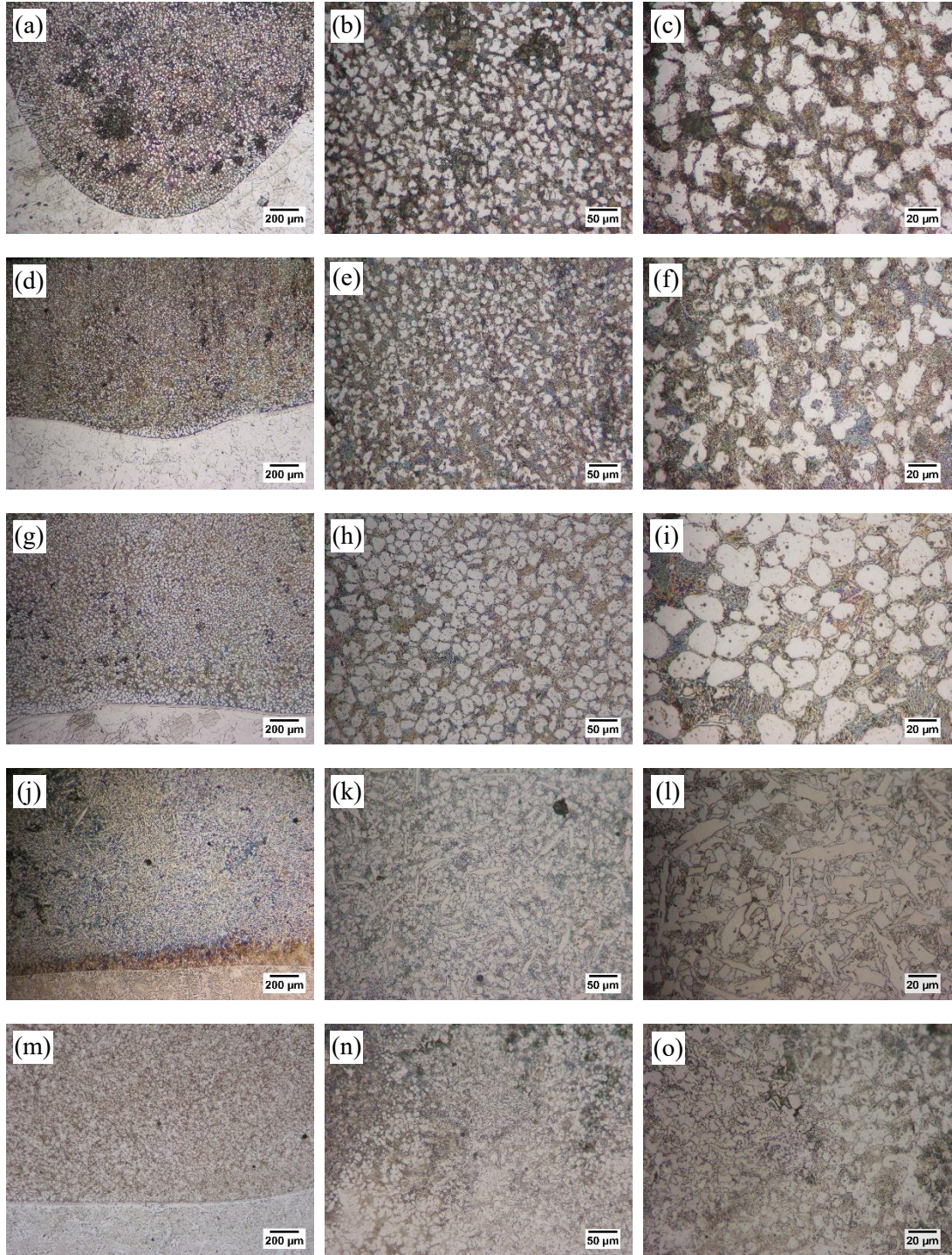
Şekil 5.14. (a)  $Fe_{12}VB_7$  ve  $Fe_{11}V_2B_7$  (b)  $Fe_{10}V_3B_7$  ve  $Fe_8V_5B_7$  alaşım tabakaları için V oranına bağlı olarak mikroyapı değişimlerinin şematik gösterimi

Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabaka bölgelerinde V miktarının %5 ve %10 olduğu bileşimlerde mikroyapının, primer  $\alpha$ -Fe ve  $Fe_2B$  fazının  $\alpha$ -Fe ile birlikte ötektik olarak bulunduğu görülmektedir. Ancak V katkısının %15 ve %25 seviyelerine ulaştığı durumda mikroyapının, VB blok fazı ile birlikte ötektik formda  $\alpha$ -Fe'in ve  $Fe_2B$  fazlarının bulunduğu belirlenmiştir.  $Fe_{(13-x)}V_xB_7$  sert yüzey alaşım tabakalarının genel olarak mikroyapısal dönüşümlerinin şematik gösterimleri Şekil 5.14.'te görülmektedir.

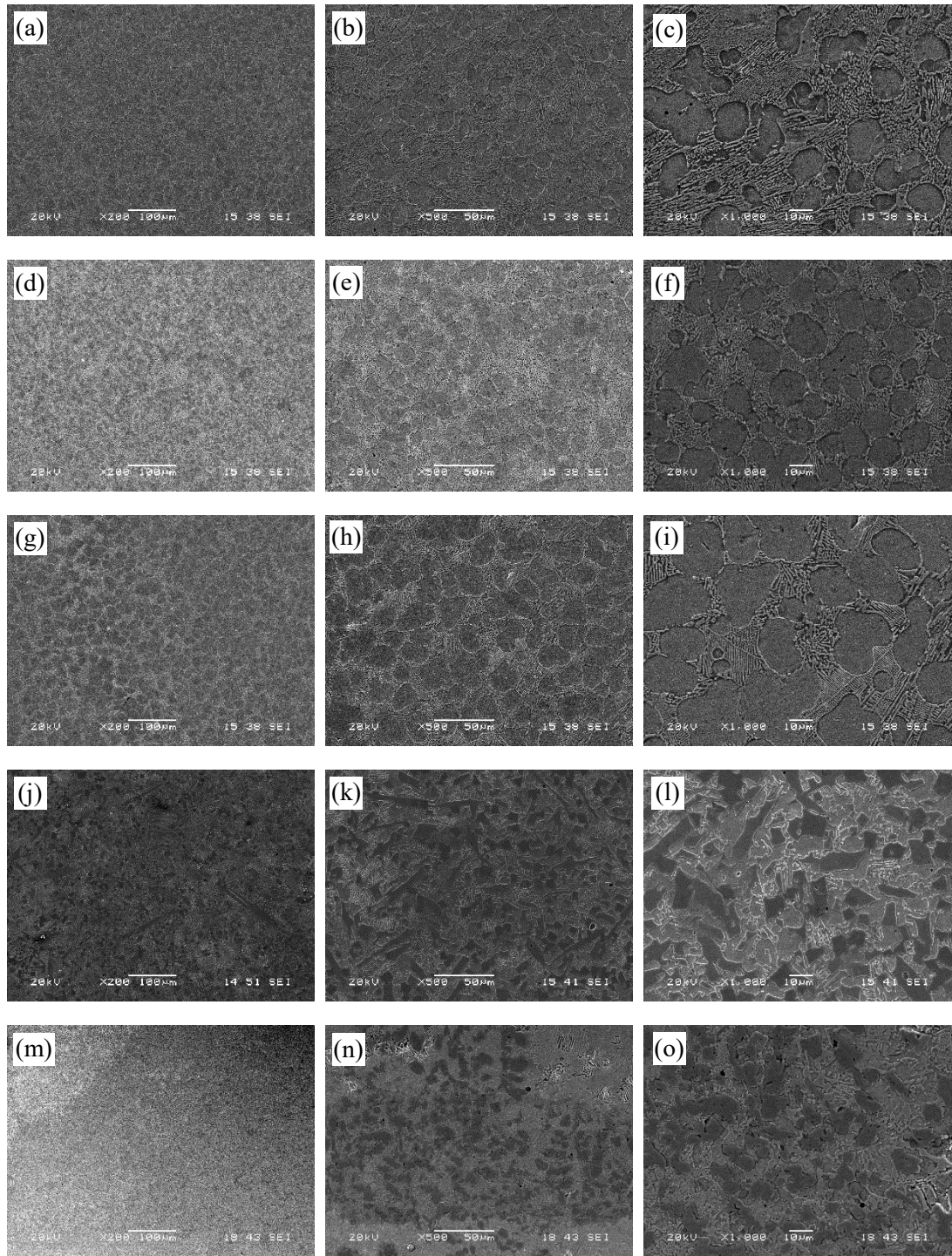
$Fe_{(13-x)}V_xB_7$  ( $1 \leq x \leq 5$ ) alaşımlarının yapılan optik (Şekil 5.15. d-o) ve SEM mikroyapı (Şekil 5.16. d-o) incelemeleri neticesinde, öncelikle primer  $\alpha$ -Fe'nin oluştuğu ve sonrasında  $Fe_2B$  fazının  $\alpha$ -Fe ile birlikte ötektik formda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Hem  $\alpha$ -Fe içerisinde hem de  $Fe_2B$  içerisinde vanadyumun bir miktar çözüldüğü de görülmüştür. Ancak vanadyum miktarı atomik olarak %15 seviyesine ulaştığında, öncelikle ergime sıcaklığı en yüksek faz olarak VB blok formda oluştuğu, sonrasında ötektik formda  $\alpha$ -Fe'in ve  $Fe_2B$  fazlarının oluşumunu devam ettirdiği düşünülmektedir.

Fe-V-B denge diyagramı incelendiğinde belirlenen bileşimlerin demir yüzdelerinin ergitme sırasında altlık malzemeden gelen Fe ile seyreltiği de dikkate alınırsa bu düşüncenin olabirlik ihtimali de artmaktadır. Yapılan EDS analiz sonuçları ve elementel dağılım haritaları (Şekil 5.17.-5.20.) da bu fikri destekler niteliktedir.

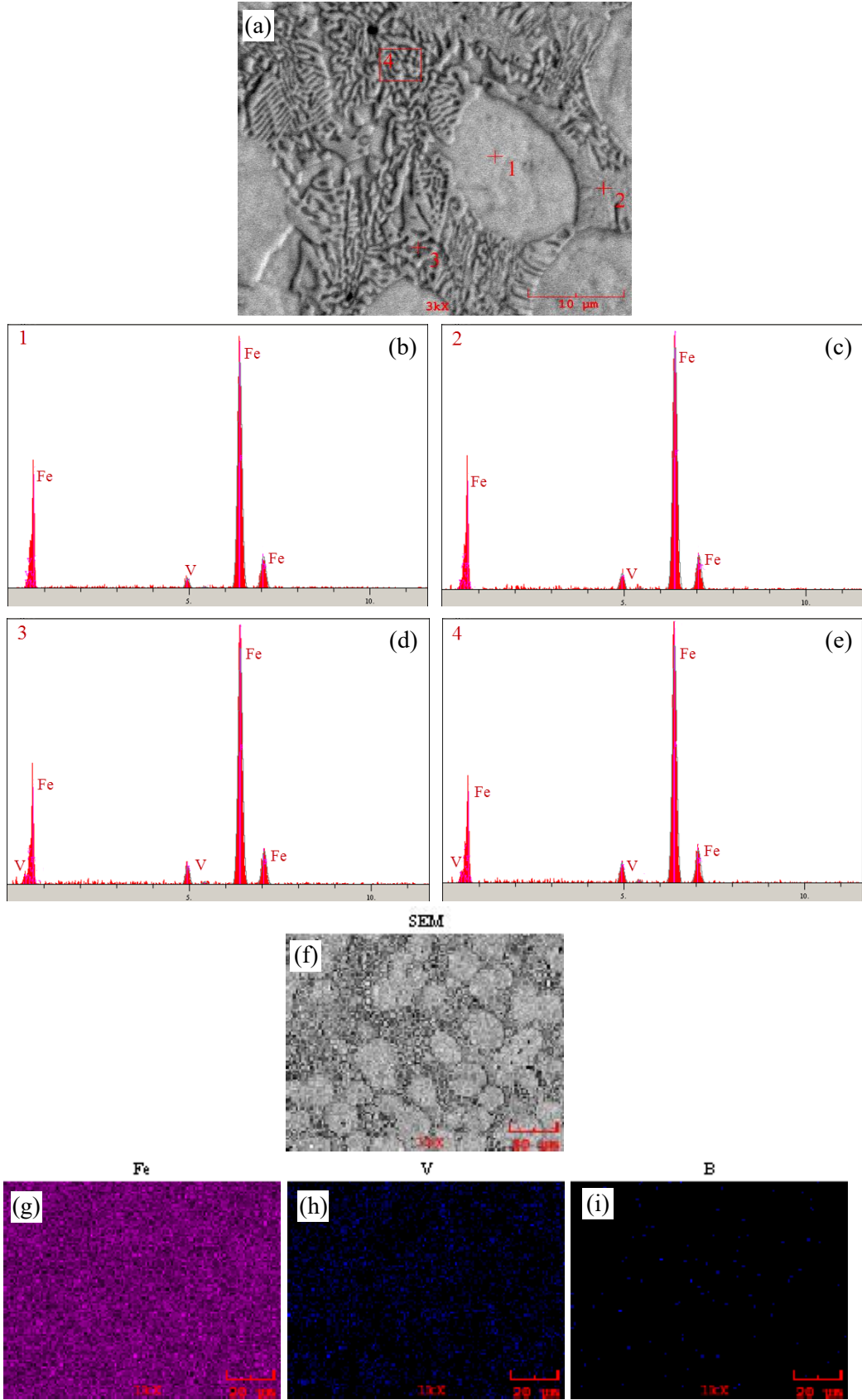
Sonuç olarak V miktarı %15'ler seviyesine kadar VB fazının oluşması için yeterli gelmemekte ya da mikroyapı değişiminin sınırlı kalmasına sebep olmaktadır. Ancak vanadyum artışıyla beraber VB fazı öncelikle oluşmakta, bunu  $\alpha$ - $Fe_2B$  oluşumu takip etmektedir. Bununla birlikte primer  $\alpha$ -Fe'in varlığı da yer yer gözlemlenmektedir. Şekil 5.21.'de yer alan x ışınları difraksiyon analizleri de bu fikri desteklemekte ve yapının  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$ +VB+ $V_3B_4$ + $Fe_4V$  fazlarından oluştuğu görülmektedir.



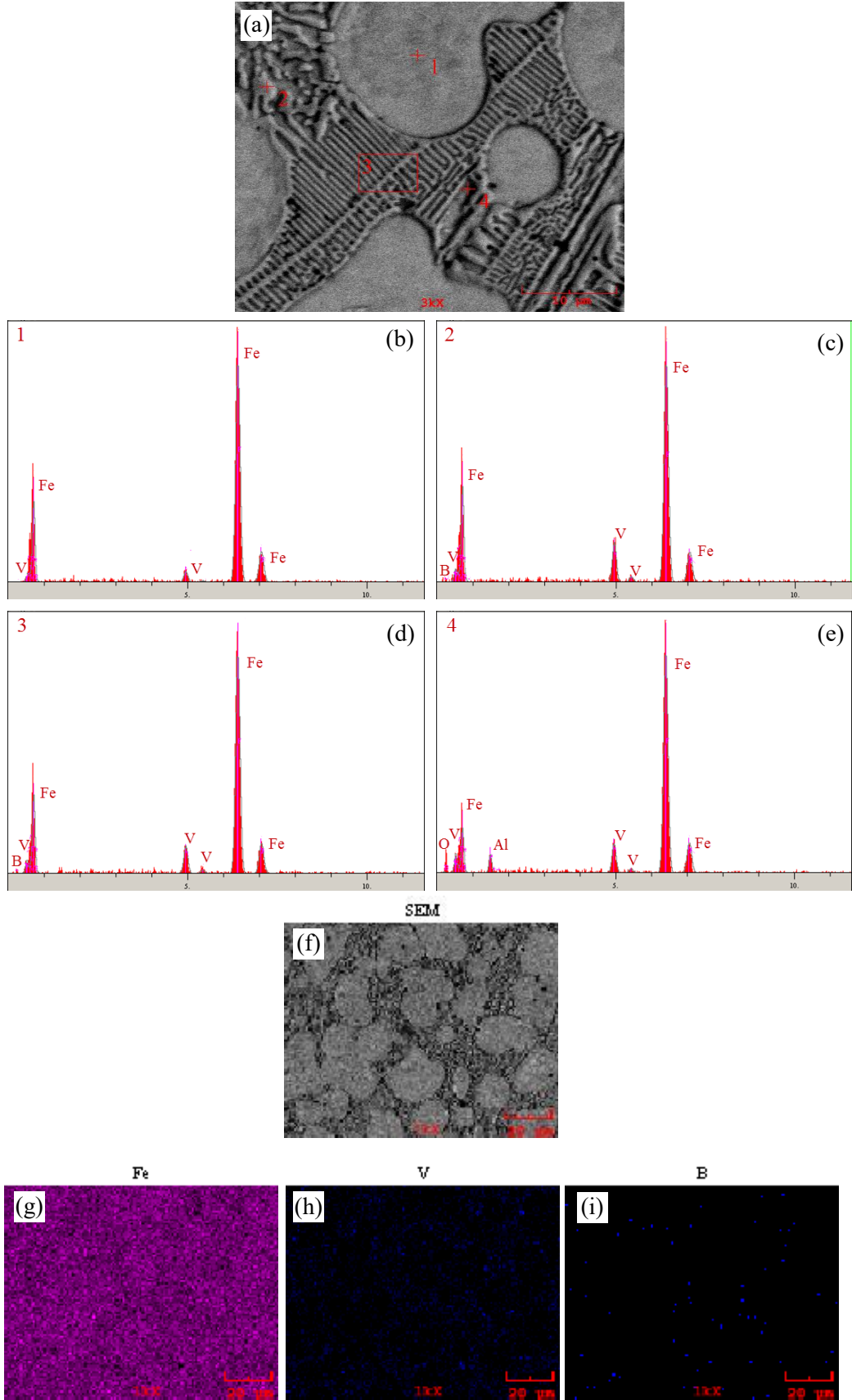
Şekil 5.15. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}VB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}V_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}V_3B_7$ ; (m-o)  $Fe_8V_5B_7$



Şekil 5.16. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının SEM görüntüleri (a-c)  $\text{Fe}_{13}\text{B}_7$ ; (d-f)  $\text{Fe}_{12}\text{VB}_7$ ; (g-i)  $\text{Fe}_{11}\text{V}_2\text{B}_7$ ; (j-l)  $\text{Fe}_{10}\text{V}_3\text{B}_7$ ; (m-o)  $\text{Fe}_8\text{V}_5\text{B}_7$

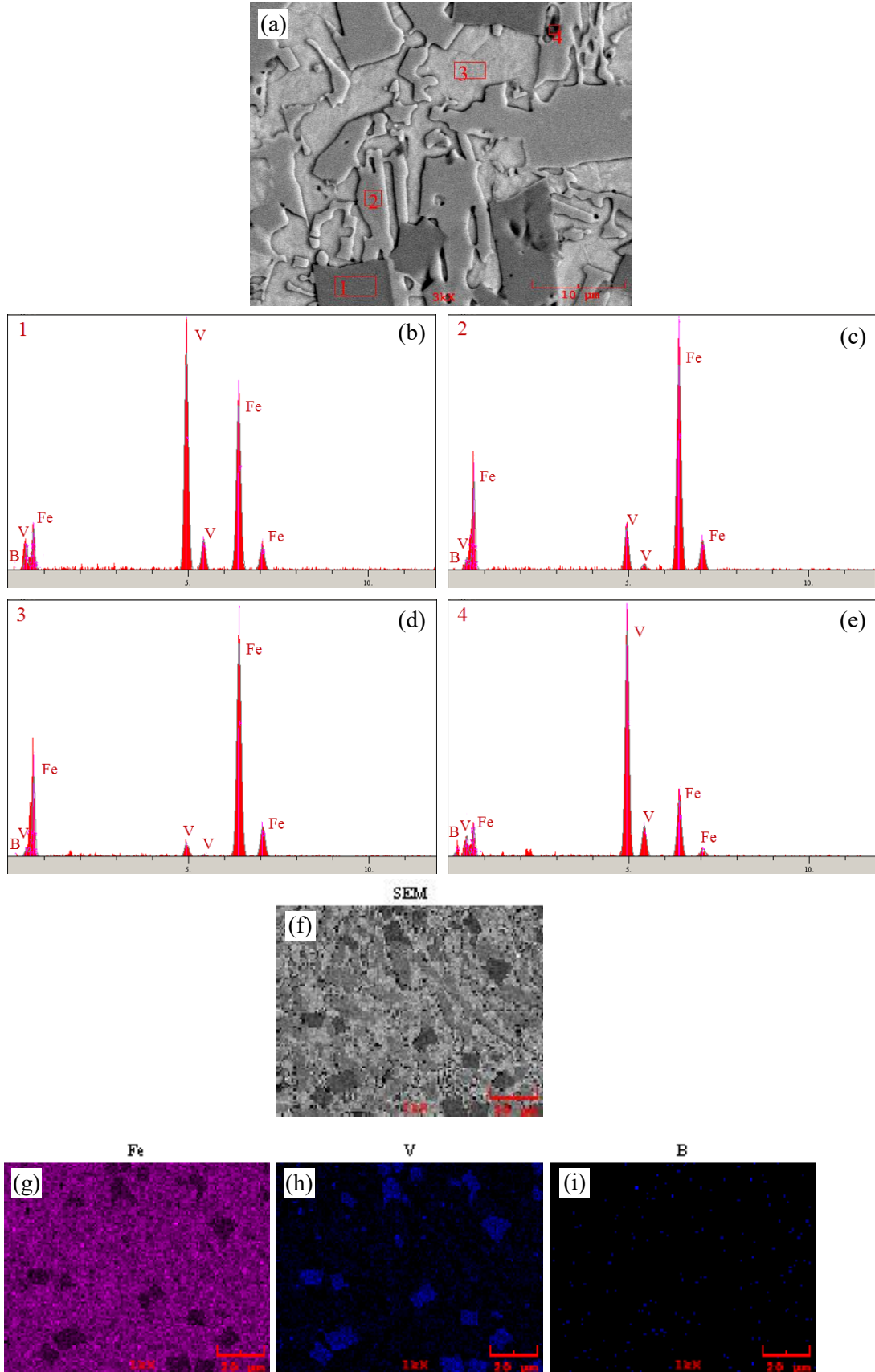


Şekil 5.17. Fe<sub>12</sub>VB<sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları

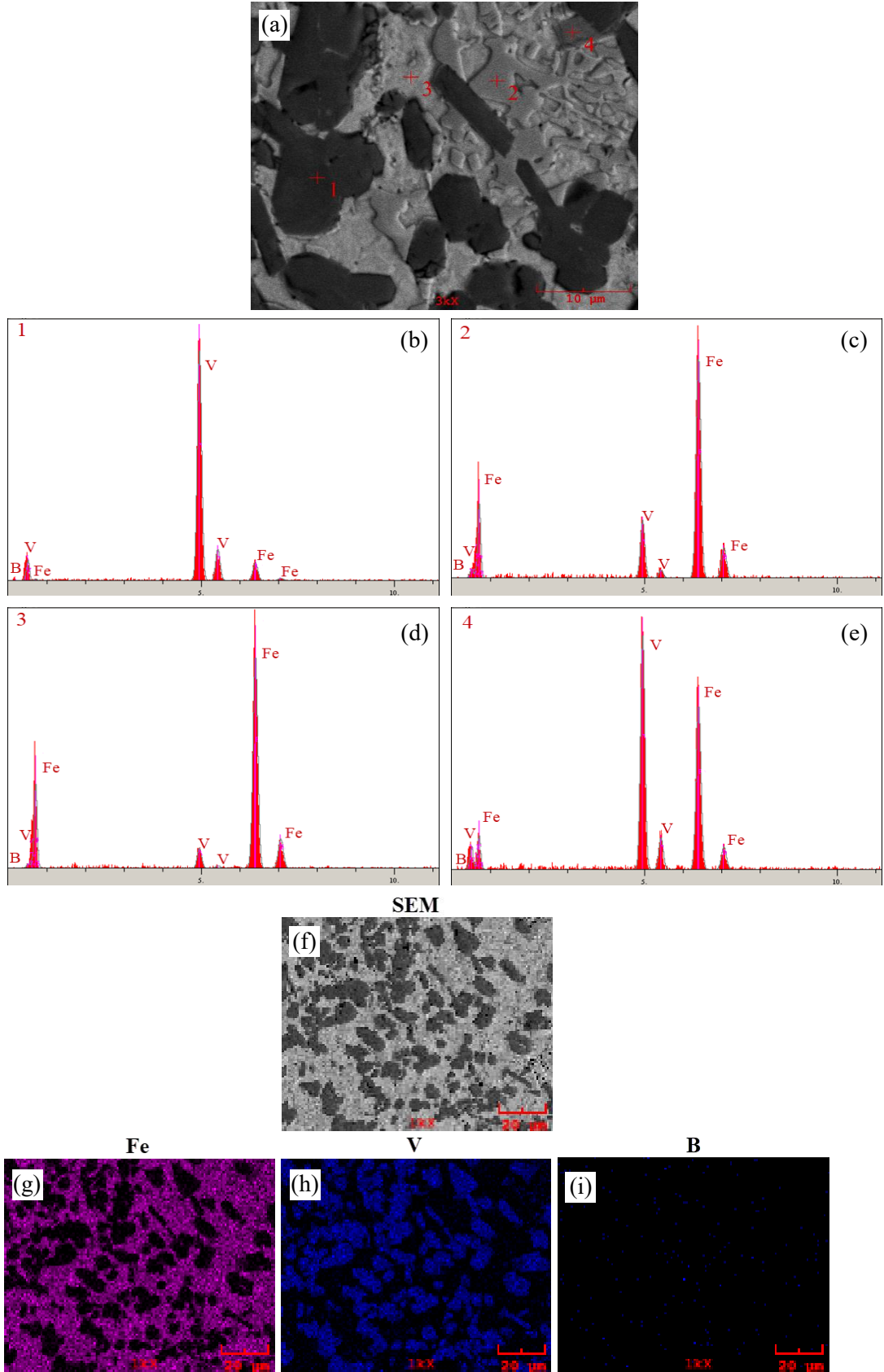


Şekil 5.18.  $\text{Fe}_{11}\text{V}_2\text{B}_7$  numunesine ait sert yüzey alایشım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları

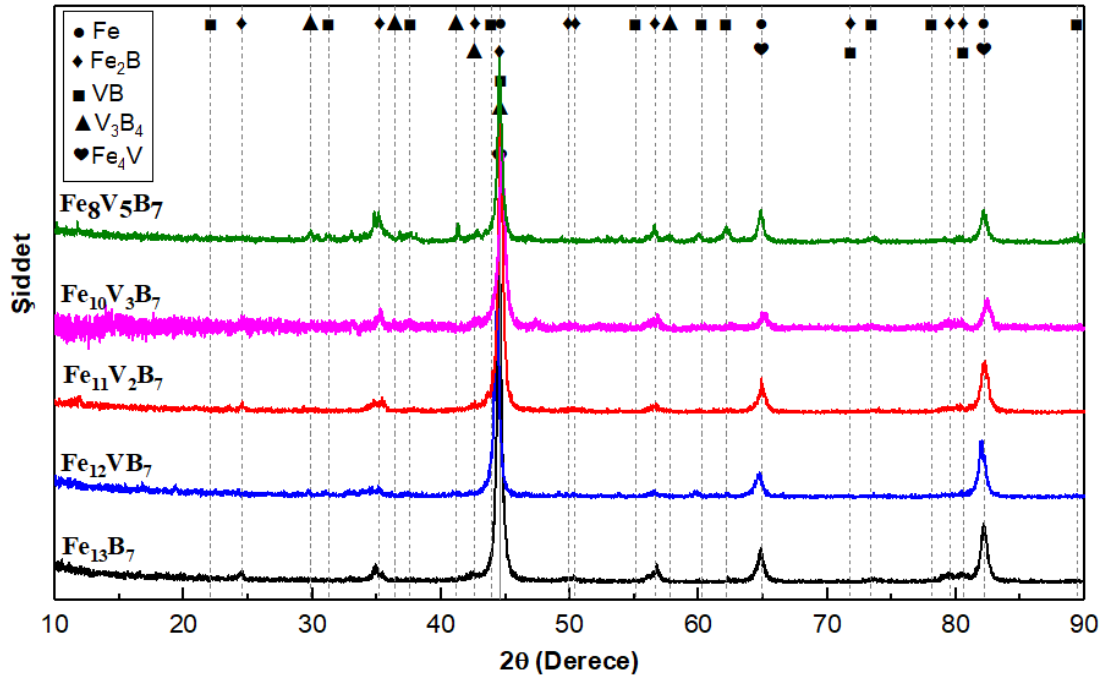




Şekil 5.19.  $\text{Fe}_{10}\text{V}_3\text{B}_7$  numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları



Şekil 5.20. Fe<sub>8</sub>V<sub>5</sub>B<sub>7</sub> numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları

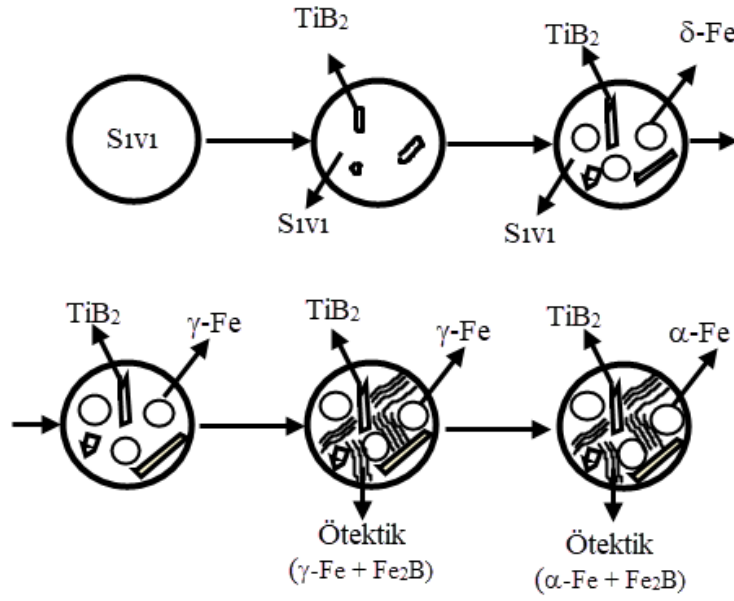


Şekil 5.21. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin x-ışınları difraksiyon paterni

#### 5.2.4. Fe-Ti-B Esaslı Alaşımların Mikroyapı ve Faz Analizleri

$Fe_{(13-x)}Ti_xB_7$  sert yüzey alaşım tabakalarına ait mikroyapısal dönüşümlerin şematik gösterimleri Şekil 5.22.'de görülmektedir. Ti miktarının %5 olduğu bileşimde yapının masif primer  $\alpha$ -Fe fazları arasında ötektik morfolojiye sahip  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$  ötektik yapısı ve ayrıca homojen dağılmış eş eksenli  $TiB_2$  fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir. Ancak Ti miktarının %10 seviyelerine çıkmasıyla eş eksenli  $TiB_2$  yapısının çubuksu ve uzun keskin köşeli faz oluşumları şeklinde karşımıza çıktığı görülmektedir.

Fe-B alaşımının yukarıda da bahsedildiği üzere ötektik altı bir mikroyapıya sahip olduğu ve primer masif  $\alpha$ -Fe yanında  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$  den oluşan bir ötektik yapı içerdiği görülmektedir.  $Fe_{(13-x)}Ti_xB_7$  ( $1 \leq x \leq 5$ ) alaşımlarının Optik (Şekil 5.23.d-o) ve SEM mikroyapı (Şekil 5.24.d-o) incelemelerinde masif primer alfa fazlarının varlığı ve bunların arasında  $\alpha$ -Fe ile  $Fe_2B$  fazlarının ötektik yapısı görülmektedir. Ayrıca mikroyapı incelemelerinde alaşıma atomik oranında % 5 Ti ilave edildiğinde yaklaşık 2-4 mikron boyutlarında homojen dağılmış (özellikle tane sınırlarında) masif siyah renkli  $TiB_2$  fazlarının oluştuğu görülmektedir (Şekil 5.24.d-f).



Şekil 5.22. Fe-Ti-B esaslı alaşım tabakasının Ti oranına bağlı olarak mikroyapı değişimlerinin şematik gösterimi

Yapılan EDS analizleri (Şekil 5.25.-5.28.) sonucunda siyah renkli eş eksenli yapıların Ti ve B elementlerini içerdiği, blok masif gri renkli fazların Fe’i içerdiği görülmektedir. Buradan da anlaşıldığı üzere blok gri renkli fazların  $\alpha$ -Fe yapısında olduğu siyah renkli eş eksenli dağılmış fazların ise  $TiB_2$  fazı olduğu düşünülmektedir. Masif  $\alpha$ -Fe fazları arasında yer alan ötektik yapı incelendiğinde EDS analizlerinden  $\alpha$ -Fe ve  $Fe_2B$  fazlarından oluştuğu düşünülmektedir. X-ışınları difraksiyon analizleri (Şekil 5.29.) sistemin  $\alpha$ -Fe,  $Fe_2B$  ve  $TiB_2$  fazlarının yanısıra  $Fe_2Ti$  ve bir miktar oksit fazları içerdiğini göstermektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere sistem masif primer  $\alpha$ -Fe fazları arasında ötektik morfolojiye sahip  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$  ötektik yapısı ve ayrıca homojen dağılmış eş eksenli  $TiB_2$  fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir.

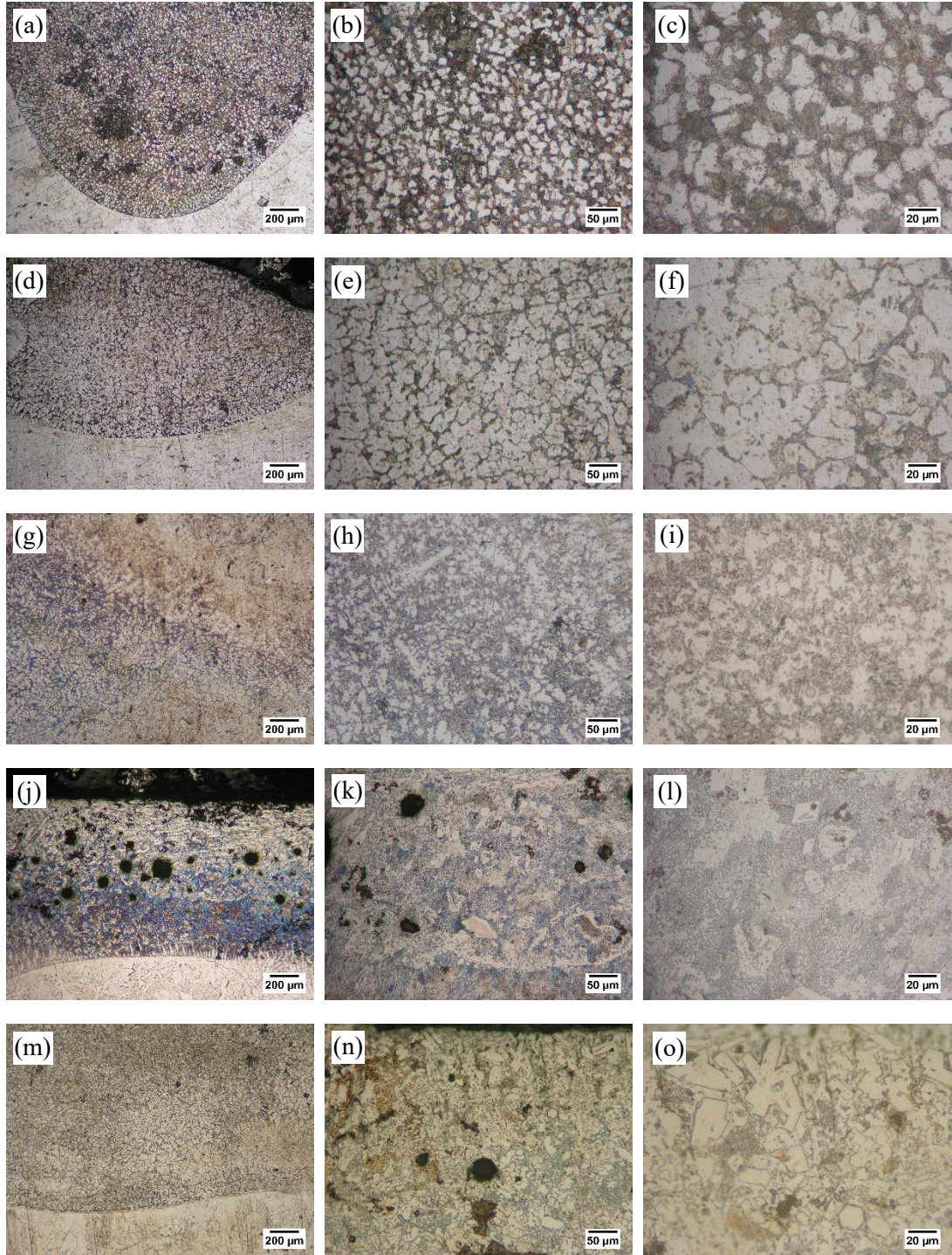
Zdziobek ve ark. [127] tarafından yapılan çalışma incelendiğinde % 5 Ti ve % 35 B atomik oranda Fe-Ti-B alaşımında katılma sırasında öncelikle  $TiB_2$  fazlarının oluştuğu sonra bu fazların etrafında  $\delta$ -Fe fazının katıldığı, sıcaklık düşüşüne bağlı olarak  $\delta$ -Fe’in  $\gamma$ -Fe’e dönüştüğü ve daha düşük sıcaklığa inildikçe kalan sıvının  $\gamma$ -Fe+ $Fe_2B$  ötektik yapısı oluşturduğu görülmektedir. Çelik yüzeyinde oluşturulan  $Fe_{(13-x)}Ti_xB_7$  ( $1 \leq x \leq 5$ ) esaslı alaşımların mikroyapı incelemelerinde Ti miktarı arttırıldıkça sistemde oluşan  $TiB_2$  fazının da arttığı görülmektedir. Fe-Ti-B üçlü denge diyagramı (Şekil 4.4.) incelendiğinde bu beklenen bir durumdur. Ancak mikroyapı

incelemelerinde homojen dağılım gösteren eş eksenli  $TiB_2$  yapısının, Ti miktarının %10 seviyelerine çıkmasıyla birlikte eş eksenli yapının yanında çubuksu ve uzun keskin köşeli faz oluşumları şeklinde karşımıza çıktığı görülmektedir. Burada primer  $\alpha$ -Fe fazının görülmediği buna karşılık  $TiB_2$  fazının etrafını tamamen ötektik yapının ( $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$ ) çevrelediği görülmektedir. Yine mikroyapıda ötektik yapı haricinde  $Fe_2B$  blok fazlarının kısmi varlığı da tespit edilmiştir.

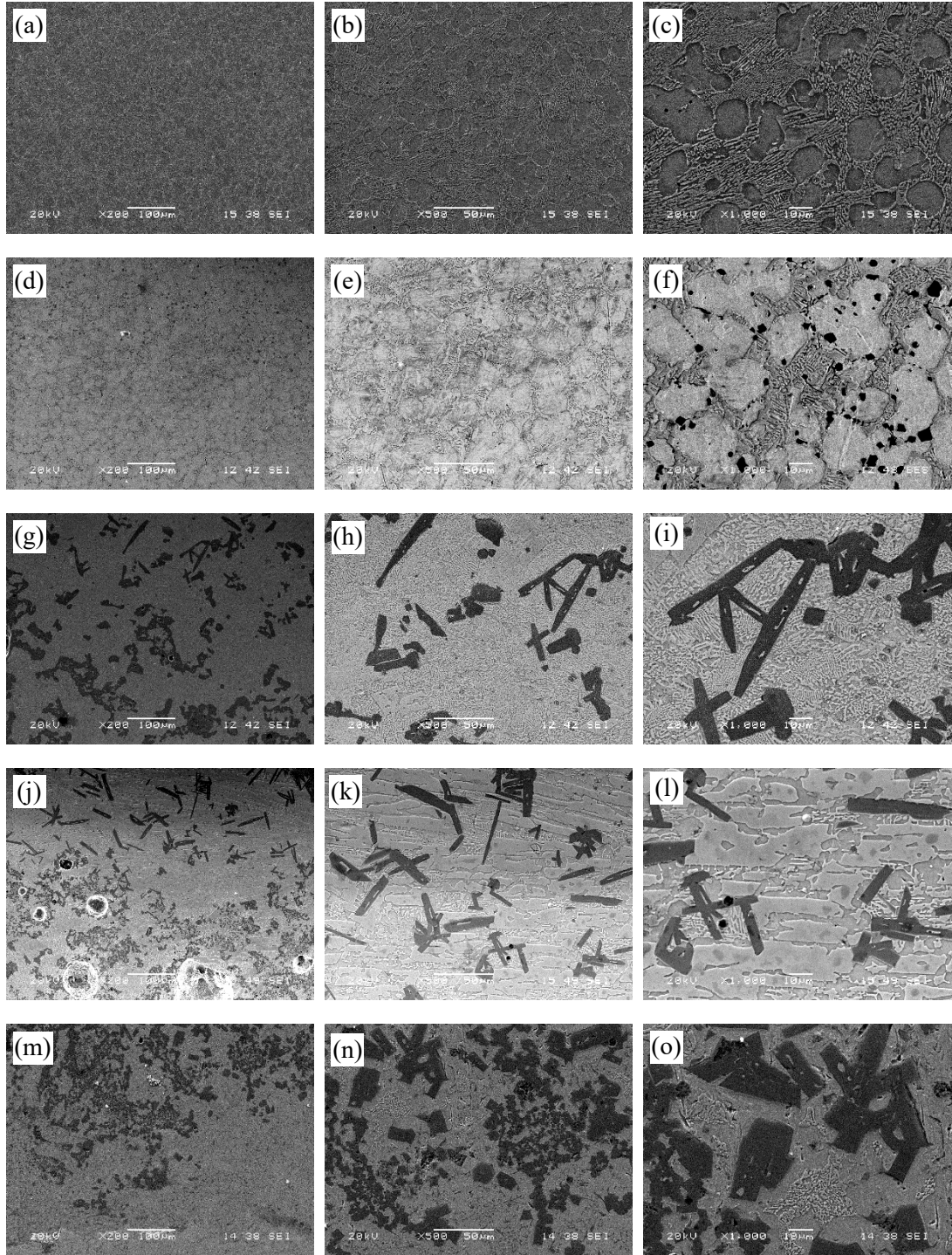
Üçlü denge diyagramından da görüldüğü üzere Ti miktarının artması  $Fe_2B$ ' nin azalmasına ve  $TiB_2$  fazının artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca sıcaklığa bağlı olarak  $\alpha$ -Fe ya da  $\gamma$ -Fe katı eriyiği bu fazların yanında yer almaktadır. Unutulmaması gereken bir durum ise TIG kaynağında ergitme sırasında her zaman yüzeyde oluşan alaşıma matrisden bir miktar demirin karışacağı ve bunun sistemde bulunması gereken katı eriyikteki Fe miktarını arttıracak olmasıdır.

Ti miktarı atomik olarak % 15 seviyelerine çıktığında oluşan  $TiB_2$  faz miktarı artış göstermekte ve ötektik yapı ( $\alpha$ + $Fe_2B$ ) azalırken primer  $\alpha$ -Fe, masif faz olarak artmaktadır. Fe-Ti-B denge diyagramı incelendiğinde bu beklenen bir durumdur. Ancak Ti miktarı % 15 ten % 25 seviyelerine çıktığında  $TiB_2$  bir miktar daha artış gösterirken  $Fe_2B$  yerine  $Fe_2Ti$  fazı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca primer  $\alpha$ -Fe fazı da sistemde yer almaktadır. Yine yapı incelendiğinde ötektik morfoloji mikroyapıda küçük adacıklar şeklinde kendini göstermektedir.

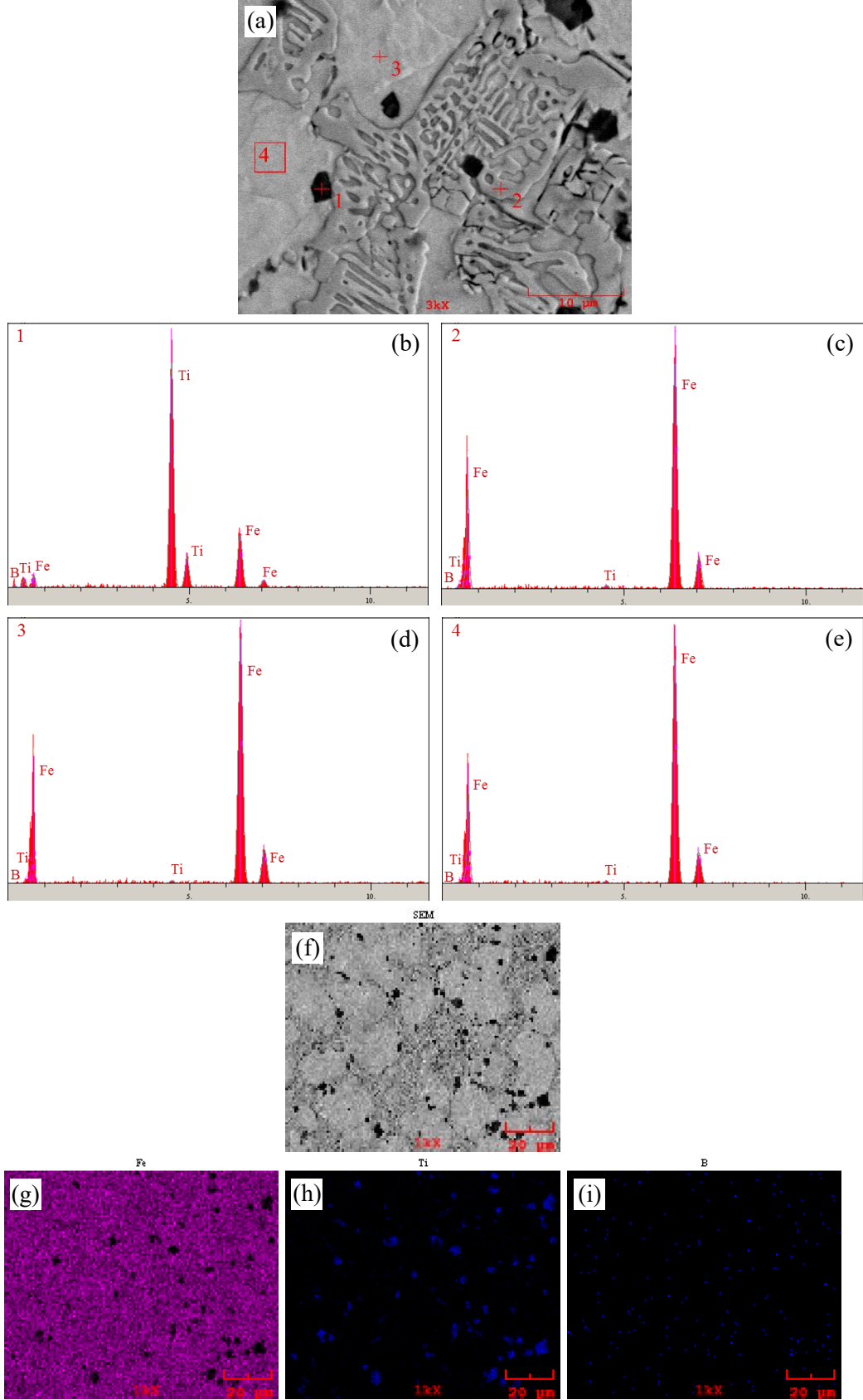
Sistem ergime ve hızlı katılaşma işlemlerini içermesi sebebiyle, denge diyagramında olması gereken  $\alpha$ -Fe + $TiB_2$ +  $Fe_2Ti$  fazlarının yanında  $\alpha$ + $Fe_2B$  ötektik adacıklarını az da olsa içermektedir. Genel olarak Ti oranı arttıkça  $TiB_2$  fazı artarken  $Fe_2B$  faz oranı azalmakta ve titanyumun çok yüksek oranlara çıkması durumunda ise  $Fe_2Ti$  fazı ortaya çıkmaktadır. Bu durum, Fe-Ti-B denge diyagramı ile uyumlu olup Zdziobek ve ark. [127] çalışmasıyla da benzerlik göstermektedir.



Şekil 5.23. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}TiB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}Ti_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}Ti_3B_7$ ; (m-n)  $Fe_8Ti_5B_7$

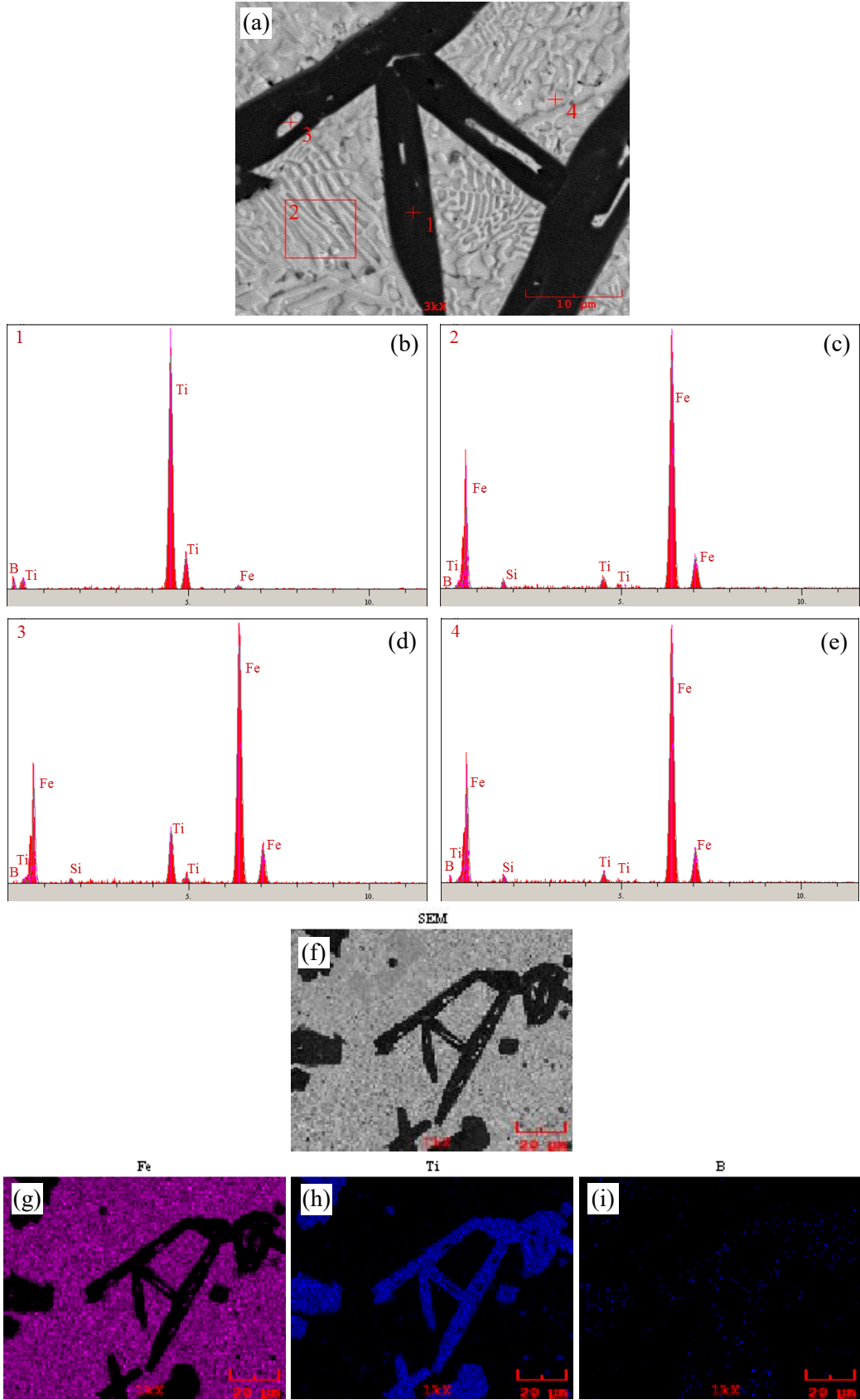


Şekil 5.241. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının SEM görüntüleri (a-c)  $\text{Fe}_{13}\text{B}_7$ ; (d-f)  $\text{Fe}_{12}\text{TiB}_7$ ; (g-i)  $\text{Fe}_{11}\text{Ti}_2\text{B}_7$ ; (j-l)  $\text{Fe}_{10}\text{Ti}_3\text{B}_7$ ; (m-o)  $\text{Fe}_8\text{Ti}_5\text{B}_7$

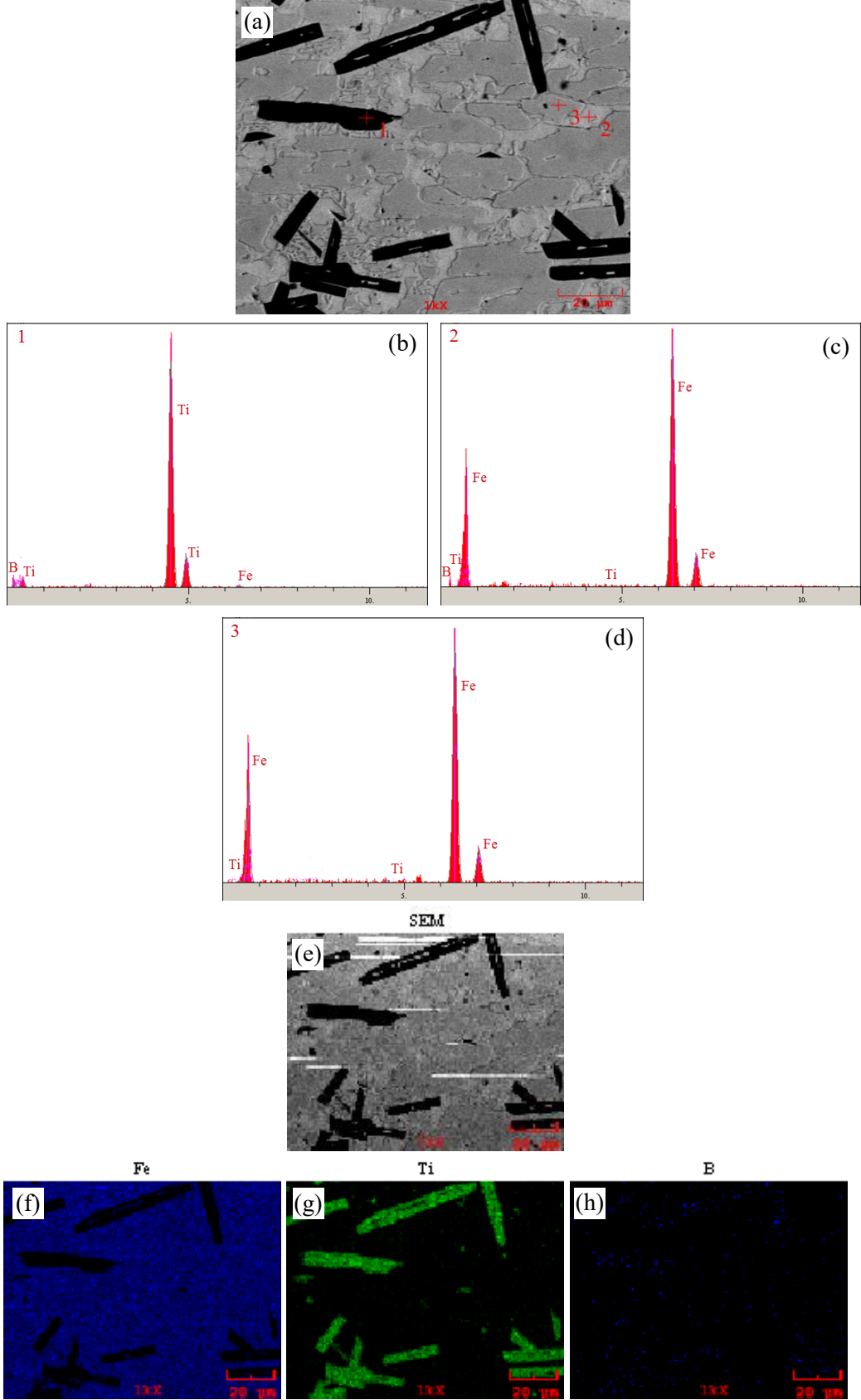


Şekil 5.25.  $\text{Fe}_{12}\text{TiB}_7$  numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları

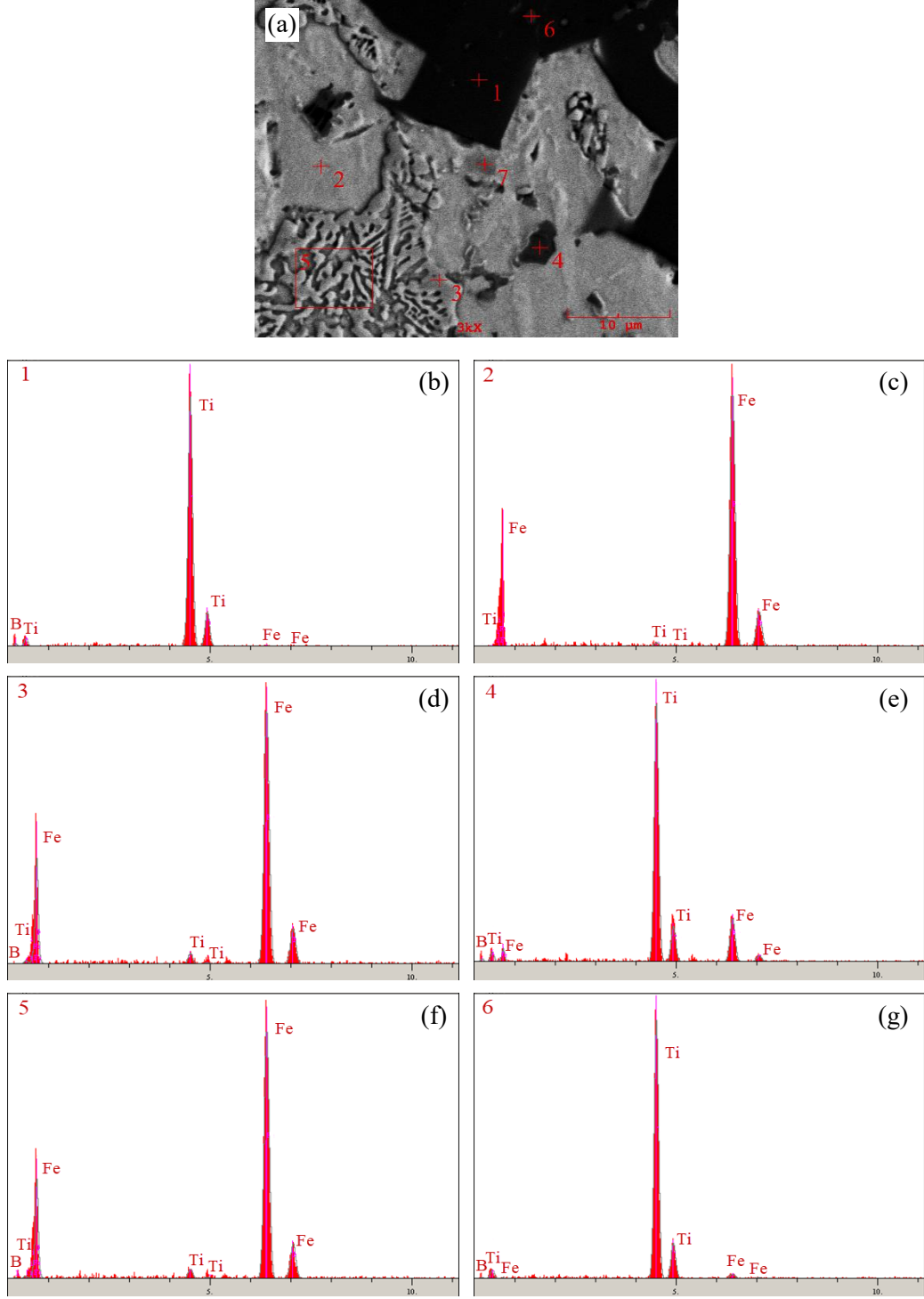




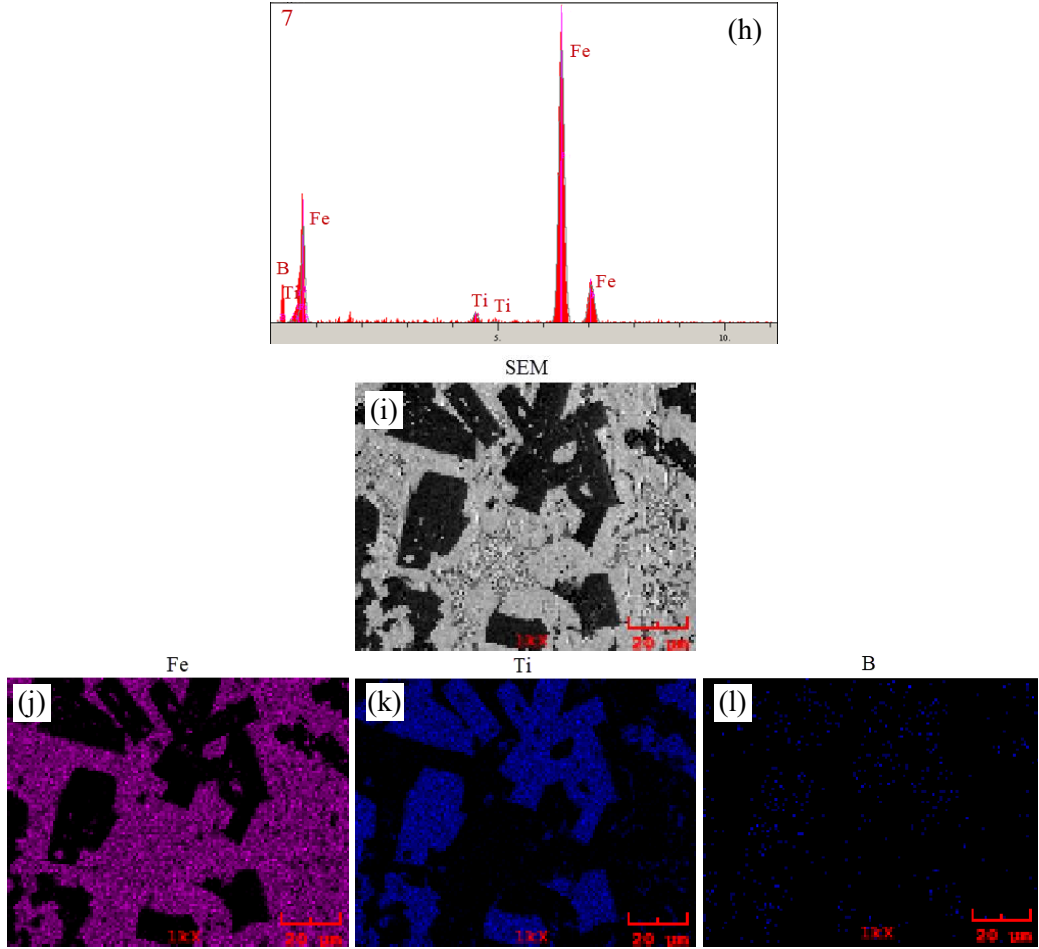
Şekil 5.26.  $\text{Fe}_{11}\text{Ti}_2\text{B}_7$  numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-e) EDS analizleri ve (f-i) elementel dağılım haritaları



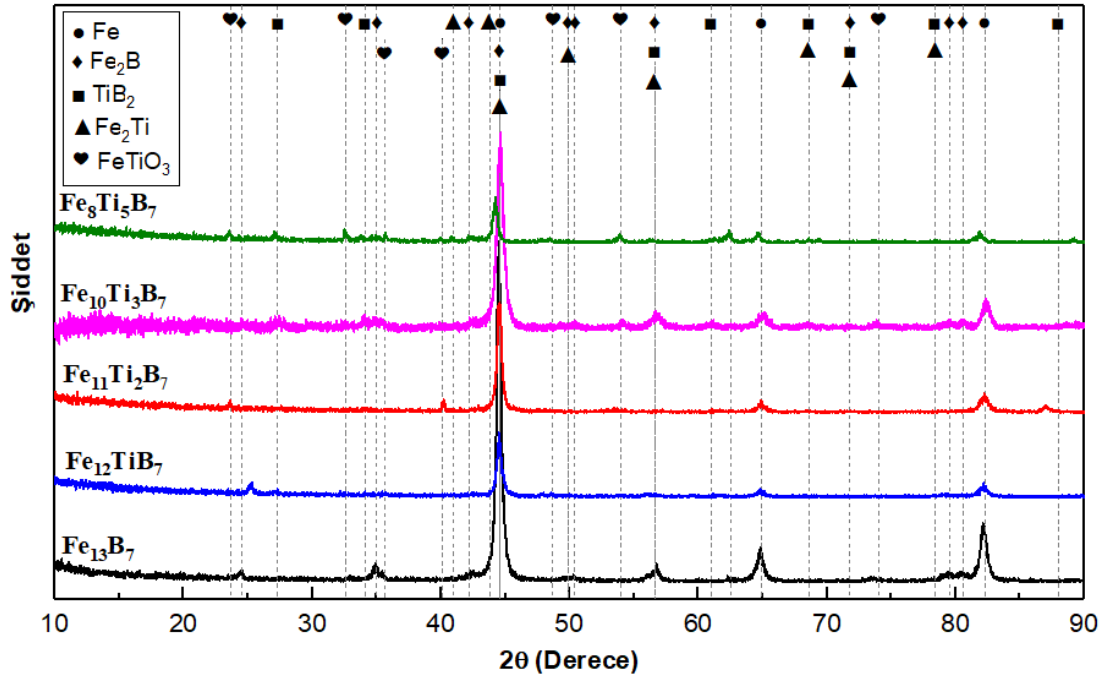
Şekil 5.27.  $\text{Fe}_{10}\text{Ti}_3\text{B}_7$  numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-d) EDS analizleri ve (e-h) elementel dağılım haritaları



Şekil 5.28.  $Fe_8Ti_5B_7$  numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü, (b-h) EDS analizleri ve (i-l) elementel dağılım haritaları



Şekil 5.28. (Devamı)



Şekil 5.29. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin x-ışınları difraksiyon paterni

### 5.3. Sertlik Ölçümleri

#### 5.3.1. Makro sertlik

TIG kaynağı ile çelik yüzeylerinde oluşturulan Fe-B, Fe-Nb-B, Fe-V-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlarının 150 kg yük altında yapılan makro sertlik ölçümleri sonucunda elde edilen yüzey sertlik değerleri Tablo 5.1’de verilmektedir.

Tablo 5.1. Sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin makro sertlik değerleri

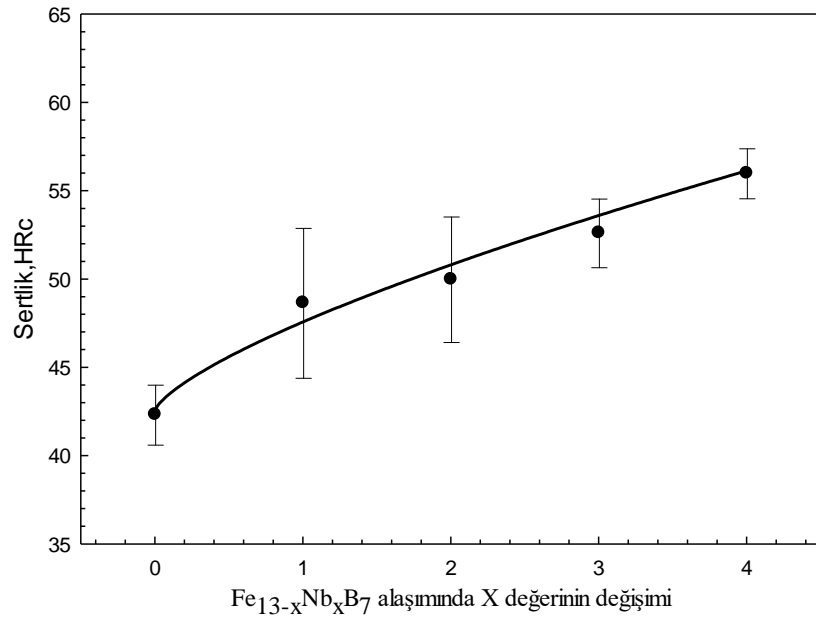
Makro Yüzey Sertlik Değerleri (HRc)					
Fe-Nb-B		Fe-V-B		Fe-Ti-B	
Bileşim	Sertlik, HRc	Bileşim	Sertlik, HRc	Bileşim	Sertlik, HRc
Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub>	42,3 ± 1,7	Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub>	42,3 ± 1,7	Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub>	42,3 ± 1,7
Fe <sub>12</sub> NbB <sub>7</sub>	48,7 ± 4,2	Fe <sub>12</sub> VB <sub>7</sub>	48,3 ± 4,1	Fe <sub>12</sub> TiB <sub>7</sub>	46,3 ± 4,1
Fe <sub>11</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	50,0 ± 3,6	Fe <sub>11</sub> V <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	49,7 ± 4,5	Fe <sub>11</sub> Ti <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	48,3 ± 4,9
Fe <sub>10</sub> Nb <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	52,6 ± 1,9	Fe <sub>10</sub> V <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	57,2 ± 3,6	Fe <sub>10</sub> Ti <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	52,3 ± 5,6
Fe <sub>9</sub> Nb <sub>4</sub> B <sub>7</sub>	56,0 ± 1,4	Fe <sub>8</sub> V <sub>5</sub> B <sub>7</sub>	60,7 ± 3,2	Fe <sub>8</sub> Ti <sub>5</sub> B <sub>7</sub>	57,2 ± 5,1

Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda, Fe-B esaslı sert yüzey alaşım tabaka yüzeyinden alınan HRc sertlik değeri 42,3±1,7 olarak tespit edilmiştir. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının yüzey sertlik değerleri 48,7±4,2-56,0±1,4 HRc arasında değişmektedir. Bu grup malzemeler için en yüksek sertlik değeri Fe<sub>9</sub>Nb<sub>4</sub>B<sub>7</sub> bileşiminde gözlemlenmiş olup, 56,0±1,4 HRc’dir. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının yüzey sertlik değerleri 48,3±4,1-60,7±3,2 HRc arasında değişmekle birlikte; en yüksek sertlik değeri Fe<sub>10</sub>V<sub>5</sub>B<sub>7</sub> bileşiminde tespit edilmiştir. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının yüzey sertlik değerleri ise 46,3±4,1-57,2±5,1 HRc arasında değişmekte olup, en yüksek sertlik değeri Fe<sub>8</sub>Ti<sub>5</sub>B<sub>7</sub> bileşimine sahip numunede belirlenmiştir.

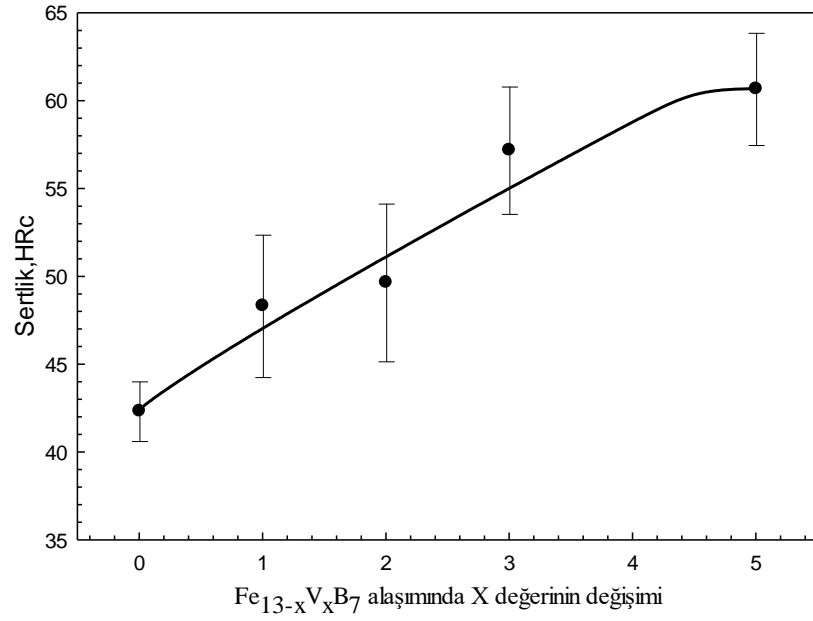
Yapılan testler sonucunda en yüksek yüzey sertlik değerinin Fe<sub>10</sub>V<sub>5</sub>B<sub>7</sub> bileşimine ait numuneden elde edildiği görülmüştür. Yüzeyde oluşan sert alaşımların ölçülen makro sertlik değerleri, mikroyapıya bağlı olarak genellikle matris (ötektik yapı) yapının sahip olduğu değeri yansıttığından dolayı Nb, V, Ti artışına bağlı olarak yükselmektedir. Aynı şekilde oluşan ötektik yapı karakteri ( $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B) değişmektedir. Bu sebeple özellikle vanadyum esaslı alaşımlarda farklılık

görülmektedir. Fazlar arasındaki mesafe artmaktadır. Bu durumun Fe-V-B esaslı numunelerin makro sertlik değerlerinin diğerlerine göre az da olsa daha yüksek çıkmasının sebebi olduğu düşünülmektedir.

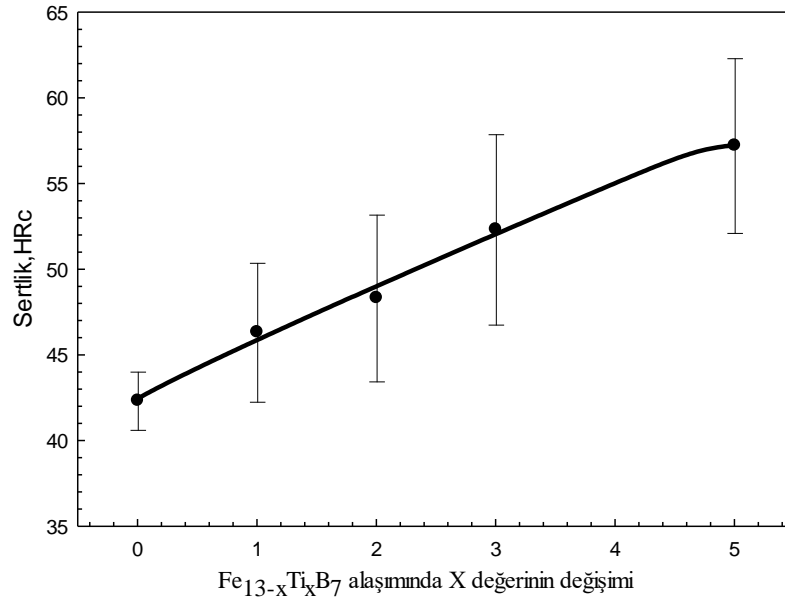
Şekil 5.30.-5.32.'de sert yüzey alaşımlanmış numunelerin yüzeylerinden ölçülen HRC sertlik değerleri gösterilmektedir. Şekillerde görülen makro sertlik eğrileri incelendiğinde, katkı element oranlarındaki artışla birlikte sertlik değerlerinde artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu durumun niyobyum, vanadyum ve titanyum borür fazlarının yoğunluklarındaki artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle ölçülen faz sertlik değerlerinde demir borür fazlarına ait sertliklerin diğer fazlara göre düşük olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, sert yüzey alaşımlanmış numunelerin yüzey sertlik değerlerinin altlık malzemenin yüzey sertlik değerlerine göre arttığı görülmüştür.



Şekil 5.30. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin makro sertlik değerleri



Şekil 5.31. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin makro sertlik değerleri



Şekil 5.32. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış çeliklerin makro sertlik değerleri

### 5.3.2. Mikro sertlik

TIG kaynağı ile çelik yüzeylerinde oluşturulan Fe-B, Fe-Nb-B, Fe-V-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımların ara kesit yüzeylerinden FUTURE TECH FM 700 marka sertlik cihazında Vickers sertlik ucu kullanılarak 5, 10 ve 25 gr yük altında yapılan mikrosertlik ölçümleri sonucunda elde edilen faz sertlik değerleri Tablo 5.2. ve Şekil

5.33-5.35.'te verilmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda altlık malzemenin (SAE 1320 çeliği) sertlik değeri  $185 \pm 9$  HV<sub>0.01</sub> olarak tespit edilmiştir.

Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda, Fe-B esaslı sert yüzey alaşımlarında demir borür fazlarının sertlik değeri  $1901 \pm 127$  HV<sub>0.01</sub>, ötektik yapıya ( $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B) ait sertliği  $897 \pm 82$  HV<sub>0.01</sub> ve ara faz (geçiş zonu) bölgesinin sertliği  $369 \pm 76$  HV<sub>0.01</sub> olarak tespit edilmiştir. Fe<sub>2</sub>B fazının sertliği 1100-2000 HV değerleri arasında değişmektedir [7,69, 119]. Ölçülen sertlik değerleri literatürde yapılan çalışmalardaki verilerle uyum içerisindedir.

TIG kaynağı ile çelik yüzeyinde oluşan Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasında bulunan borür fazlarının sertlik değerleri  $1759 \pm 162$ - $2035 \pm 67$  HV<sub>0.01</sub> arasında değişmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda Nb oranındaki artışla birlikte sertlik değerlerinde önemli ölçüde bir değişiklik görülmemiştir. Sert yüzey alaşım tabakasında bulunan ötektik yapıya ait sertlik değerleri  $892 \pm 89$ - $1041 \pm 182$  HV<sub>0.01</sub> arasında değişmektedir. Bu fazlar için en yüksek sertlik değeri Fe<sub>11</sub>Nb<sub>2</sub>B<sub>7</sub> alaşımında gözlemlenmiştir. Sert yüzey alaşımlarda bulunan ara faz (geçiş zonu) bölgesinden alınan sertlik değerleri ise  $369 \pm 76$ - $548 \pm 158$  HV<sub>0.01</sub> arasında değişmektedir. Yine bu bölge için en yüksek sertlik değeri Fe<sub>11</sub>Nb<sub>2</sub>B<sub>7</sub> alaşımında elde edilmiştir.

Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasında bulunan vanadyum borür fazının sertlik değerleri  $2828 \pm 383$ - $3082 \pm 299$  HV<sub>0.01</sub> arasında değişmektedir. Bu faz için en yüksek sertlik değeri Fe<sub>10</sub>V<sub>3</sub>B<sub>7</sub> alaşımında elde edilmiştir. Yapılan literatür incelemeleri sonucunda vanadyum borür fazının sertlik değerleri 2200-3700 HV arasında değişmektedir [128]. Ölçülen sertlik değerlerinin literatürle uyumlu olması EDS ve X ışınları difraksiyon analizleri sonucunda elde edilen bulguların doğruluğunu teyit etmektedir. Sert yüzey alaşım tabakasında yer alan ötektik yapılara ait sertlik değerleri  $1254 \pm 57$ - $819 \pm 77$  HV<sub>0.01</sub> arasında değişmekte olup en yüksek sertlik değeri Fe<sub>10</sub>V<sub>3</sub>B<sub>7</sub> alaşımında gözlemlenmiştir. Aynı şekilde tabakada yer alan ara faz bölgesinin sertliği  $431 \pm 27$ - $605 \pm 82$  HV<sub>0.01</sub> olarak belirlenmiştir.

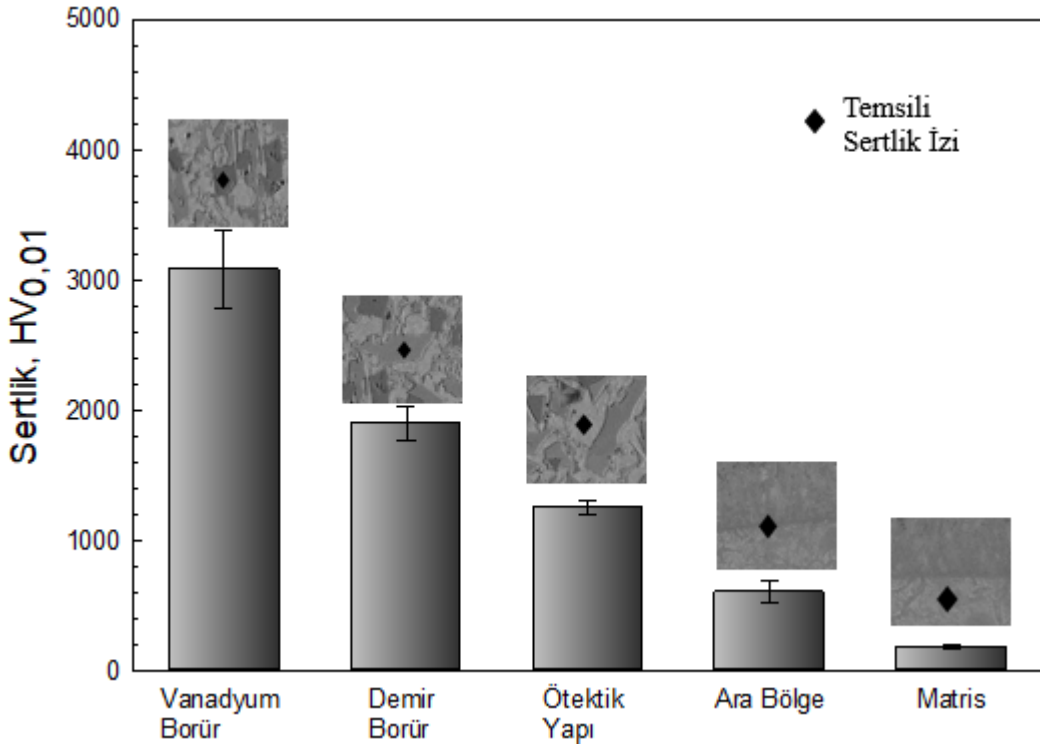
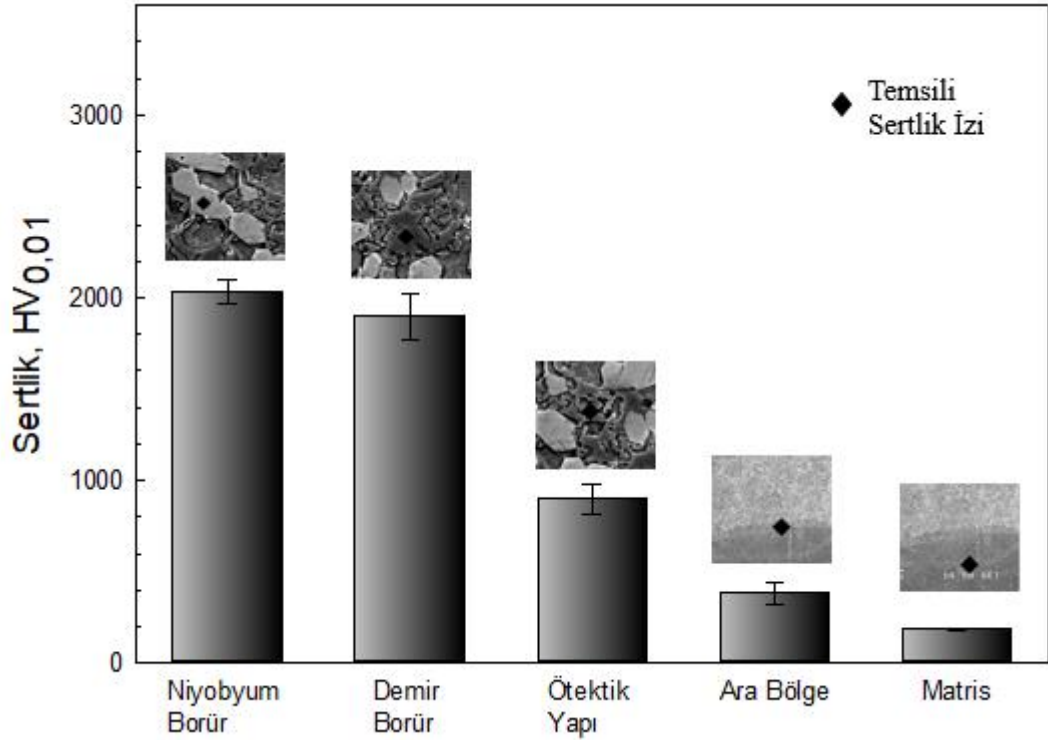


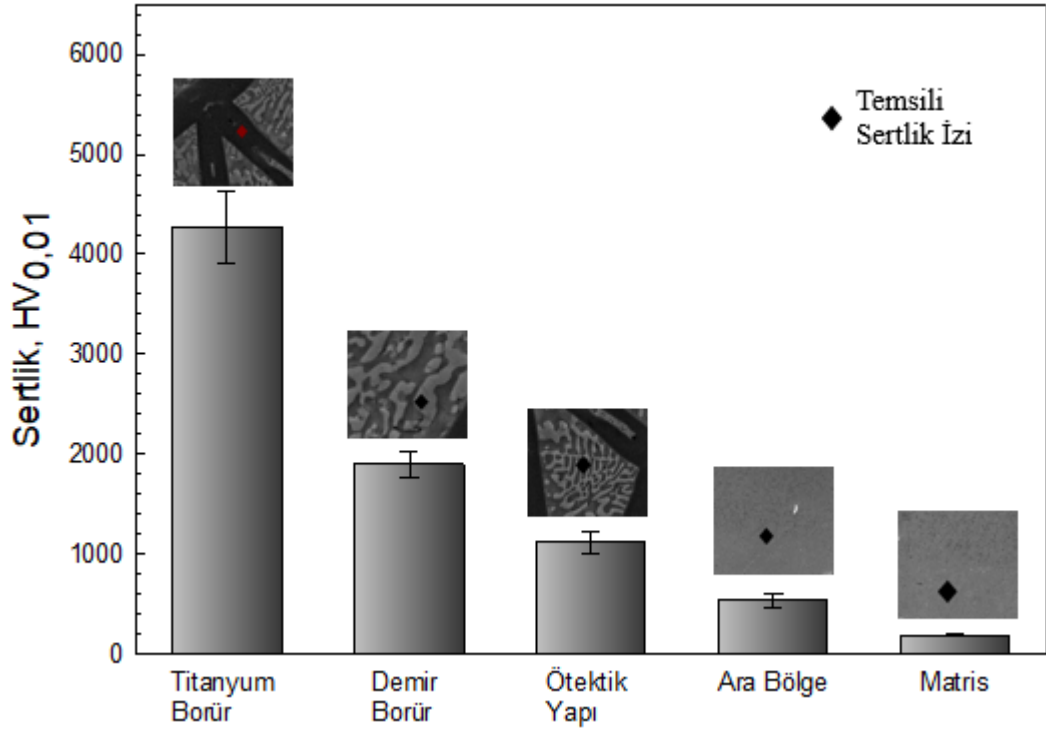
Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış yüzey tabakasında bulunan titanyum borür fazlarının sertlik değerleri  $3804 \pm 2291$ - $4272 \pm 241$  HV<sub>0.01</sub> arasında değişmektedir. Bu faz için en yüksek sertlik değeri Fe<sub>11</sub>Ti<sub>2</sub>B<sub>7</sub> ve Fe<sub>8</sub>Ti<sub>5</sub>B<sub>7</sub> bileşimlerinde gözlemlenmiştir. Yapılan literatür incelemeleri sonucunda titanyum borür fazlarının sertlik değerleri 2300-3930 HV [43,57,119] arasında değişmektedir. Ölçülen sertlik değerlerinin bu çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan EDS ve X ışınları difraksiyon analizleri sonucunda bu sert yapıların titanyum borür fazları olabileceği düşünülmektedir. Sert yüzey alaşım tabakalarında bulunan ötektik yapılara ait sertlik değerleri  $1054 \pm 92$ - $1148 \pm 43$  HV<sub>0.01</sub> arasında değişmektedir. Bu faz için en yüksek sertlik değeri Fe<sub>11</sub>Ti<sub>2</sub>B<sub>7</sub> alaşımından elde edilmiştir. Arafaz bölgesinden alınan sertlik değerleri ise  $484 \pm 12$ - $537 \pm 76$  HV<sub>0.01</sub> arasında değişmekte olup en yüksek sertlik değeri Fe<sub>10</sub>Ti<sub>3</sub>B<sub>7</sub> alaşımında tespit edilmiştir.

Tablo 5.2.Sert yüzey alaşım yapılmış çeliklerin faz sertlik değerleri (HV)

Bileşim	Metal Borür	Ötektik Yapı	Ara faz (Geçiş Zonu)	
Fe-Nb-B Esaslı Numune	Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub>	1901±127	897±82	369±76
	Fe <sub>12</sub> NbB <sub>7</sub>	1881±105	887±114	414±46
	Fe <sub>11</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	1980±36	1041±182	548±158
	Fe <sub>10</sub> Nb <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	1759±162	892±89	384±60
	Fe <sub>9</sub> Nb <sub>4</sub> B <sub>7</sub>	2035±67	911±128	408±47
Fe-V-B Esaslı Numune	Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub>	1901±127	897±82	369±76
	Fe <sub>12</sub> VB <sub>7</sub>	2913±131	1028±129	438±29
	Fe <sub>11</sub> V <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	2828±383	819±77	431±27
	Fe <sub>10</sub> V <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	2921±202	1254±57	605±82
	Fe <sub>8</sub> V <sub>5</sub> B <sub>7</sub>	3082±299	836±85	454±52
Fe-Ti-B Esaslı Numune	Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub>	1901±127	897±82	369±76
	Fe <sub>12</sub> TiB <sub>7</sub>	3804±291	1148±43	525±45
	Fe <sub>11</sub> Ti <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	4272±362	1116±114	486±78
	Fe <sub>10</sub> Ti <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	3938±242	1112±165	537±76
	Fe <sub>8</sub> Ti <sub>5</sub> B <sub>7</sub>	4220±241	1054±92	484±12
AISI 1320		185±9		

Not: Fe-B esaslı alaşımlarda borür fazı olarak Fe<sub>2</sub>B, FeNbB esaslı alaşımlarda borür fazı olarak FeNbB, FeVB esaslı alaşımlarda VB ve FeTiB esaslı alaşımlarda TiB<sub>2</sub> fazlarının sertlikleri ölçülmüştür.





#### 5.4. Aşınma Özellikleri

Aşınma deneyleri ASTM G-99 standardına uygun olan tribometre cihazında Ball-On Disk metoduyla, 10 mm çapında alümina ( $Al_2O_3$ ) bilyeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri 2,5N, 5N ve 10N yükler altında 200 m mesafede, 0,1 m/s hızda gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerindeki sürtünme katsayıları tribometre cihazına bağlı yük sensörleri ile bilgisayar ortamında elde edilmiştir. Aşınma deneyleri sonrasında oluşan aşınma izlerinin mikroyapıları, NIKON ECLIPSE L150 marka optik mikroskop ile incelenmiştir. Ayrıca aşınan numunelerin SEM ve elementel analiz incelemeleri yapılmıştır. Aşınma parametreleri Tablo 5.3.'te verilmektedir.

Tablo 5.3. Aşınma test parametreleri

Parametreler	Değerler
Uygulanan yük (N)	2,5; 5; 10
Hız (m/s)	0,1
Ortam	Açık atmosfer
Sıcaklık (°C)	21 ± 3
Rutubet (%)	65 ± 5
Aşındırıcı bilye	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Aşındırıcı bilye çapı (mm)	10
Kayma mesafesi (m)	200

#### 5.4.1. Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı malzemeler

##### 5.4.1.1. Sürtünme katsayısı

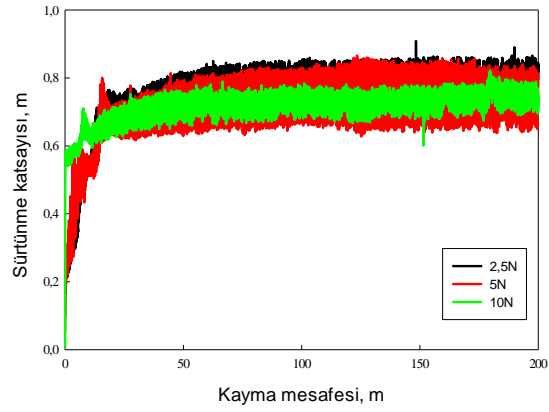
Yüzeyine Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşımlama yapılan çeliklerin aşınma yüküne bağlı olarak kayma mesafesine göre yanıl kuvvetlerden faydalanılarak belirlenen sürtünme katsayısı değışimleri sırasıyla, Şekil 5.36.-5.37.'de verilmektedir.

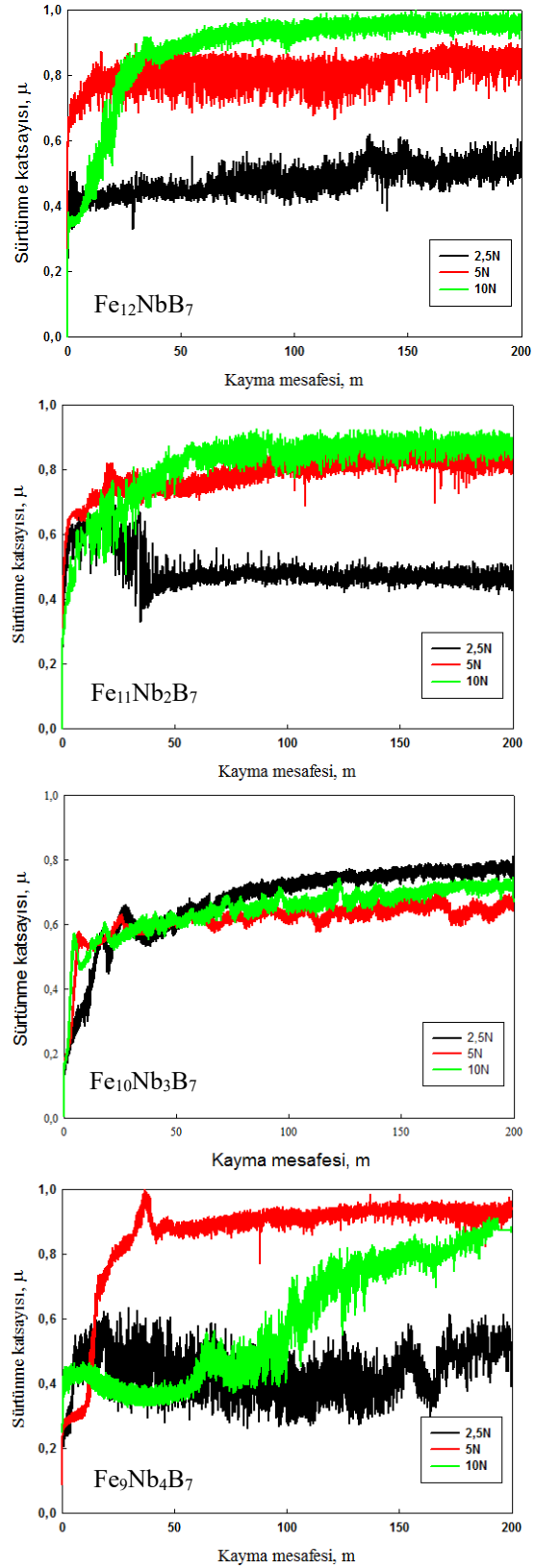
Farklı yüklerde yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı değeri Tablo 5.4.'te verilmektedir. Bu sonuçlara göre ölçülen sürtünme katsayısı değeri Fe-B esaslı sert yüzey alaşım tabakası için 0,660-0,771 arasında, Fe-Nb-B esaslı sert yüzey kaplama için 0,462-0,920 arasında değışmektedir.

Bu sonuçlardan sürtünme katsayısı değeri Fe<sub>13</sub>B<sub>7</sub> bileşimi için yüke bağlı olarak düştüğü; Fe-Nb-B esaslı yüzey alaşım tabakalarının sürtünme katsayısı değeri ise yük ve Nb oranının artışına bağlı olarak artış gösterdiği ancak bu artışın yüksek yüklerde parabolik (azalan eğimde) bir davranış sergilediği belirlenmiştir. Alaşım tabakası kompozit karakter ( $\alpha$ -Fe matris, borürler; Fe<sub>2</sub>B, FeNbB ve  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B ötektik yapı) sergilediği için aşınma sırasında yük ve Nb oranına bağlı olarak sürtünme katsayısı değeri değışiklikler göstermektedir. Bu durum yapıdan kaynaklandığı gibi aşınma karakterinden de (abrazif ve oksidatif) etkilenmektedir.

Tablo 5.4. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaişım tabakalarının sürtünme katsayısı değerleri

Numune	Uygulanan Y¼k (N)		
	2,5	5	10
Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub>	0,771±0,048	0,727±0,013	0,660±0,039
Fe <sub>12</sub> NbB <sub>7</sub>	0,462±0,051	0,829±0,012	0,919±0,070
Fe <sub>11</sub> Nb <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	0,530±0,083	0,789±0,035	0,805±0,053
Fe <sub>10</sub> Nb <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	0,721±0,053	0,633±0,025	0,665±0,045
Fe <sub>9</sub> Nb <sub>4</sub> B <sub>7</sub>	0,473±0,016	0,920±0,017	0,624±0,161

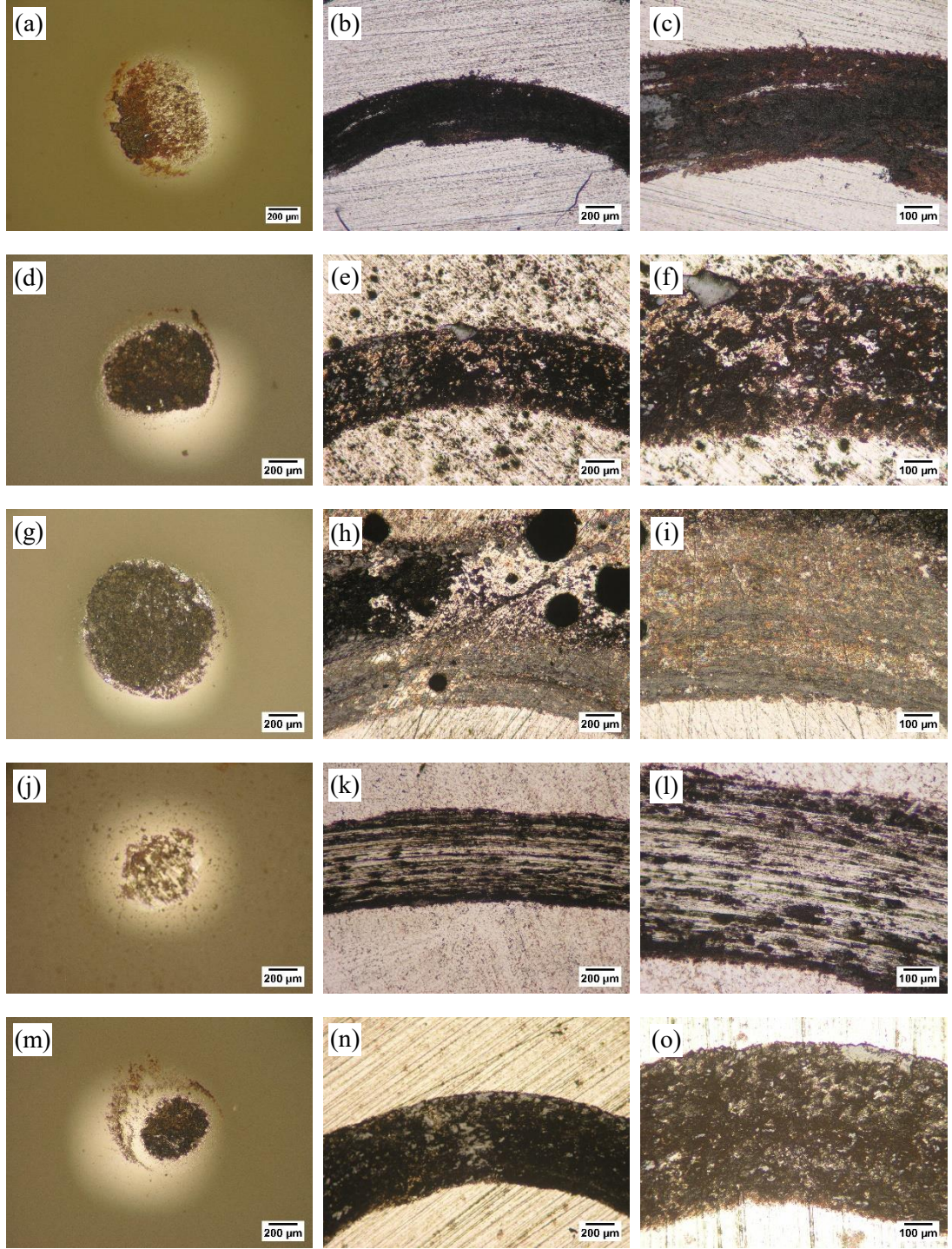
Şekil 5.36. Fe<sub>13</sub>B<sub>7</sub> sert yüzey alaişım tabakasına ait sürtünme katsayılarının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi



Şekil 5.37. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait sürtünme katsayılarının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi

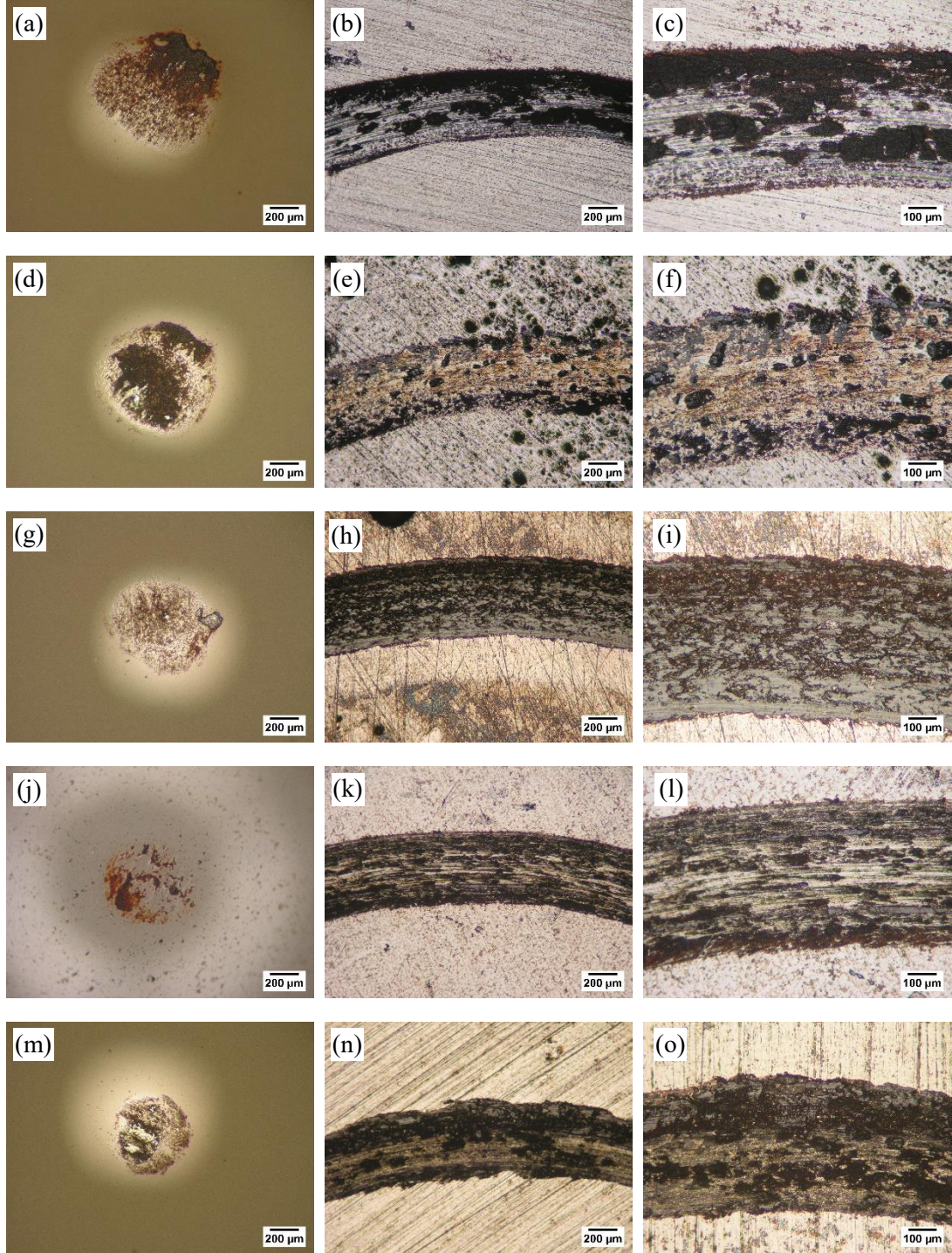
#### 5.4.1.2. Aşınma izleri

Şekil 5.38.-5.40.' da, Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait alümina bilyeye karşı, 0,1m/s hızında, 2,5N, 5N ve 10N yükler altında yapılan aşınma deneyleri sonrasında alaşımlanmış çeliklerde ve bilyelerde oluşan aşınma izleri gösterilmektedir. Sert yüzey alaşım tabakasında oluşan aşınma izlerinin SEM görüntüleri ve EDS analizleri ise Şekil 5.41.-5.55'te verilmektedir. Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış tabakaların mikroyapıları incelendiğinde, yükün artışı ile birlikte iz genişliklerinin ve buna bağlı olarak aşınma oranlarının arttığı görülmektedir. Fe<sub>13</sub>B<sub>7</sub> sert yüzey alaşım tabakasına ait aşınma izlerinden alınan SEM görüntüleri (Şekil 5.41.-5.43.) incelendiğinde, aşınma bölgesinde abrazyon çizgilerinin varlığıyla birlikte, aşınan ürünlerin sürtünmeye bağlı olarak oksitlenip çukur bölgelerde biriktiği ve alaşım tabakası üzerinde sıvandığı görülmektedir. Bu bölgeden alınan EDS analizleri (Şekil 5.41.-5.43.), sıvanan yerlerin oksijen içeriğinin fazla olduğunu, buna bağlı olarak aşınmanın abrazyon yanında oksidatif karakterde olduğunu göstermektedir. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarında, Nb miktarının artışı ile birlikte mikroyapı içerisinde sert borür fazlarının (Fe<sub>2</sub>B, FeNbB) arttığı buna bağlı olarak aşınma iz genişliklerinin azaldığı görülmektedir. Bunun sonucu olarak SEM görüntüleri (Şekil 5.44.-5.55.) incelendiğinde, Nb ilavesinin armasıyla birlikte abrazyon karakterli aşınmanın azaldığı görülmekle birlikte, EDS analizleri (Şekil 5.44.-5.55.) sonucunda oksidatif aşınmanın varlığı tespit edilmektedir.

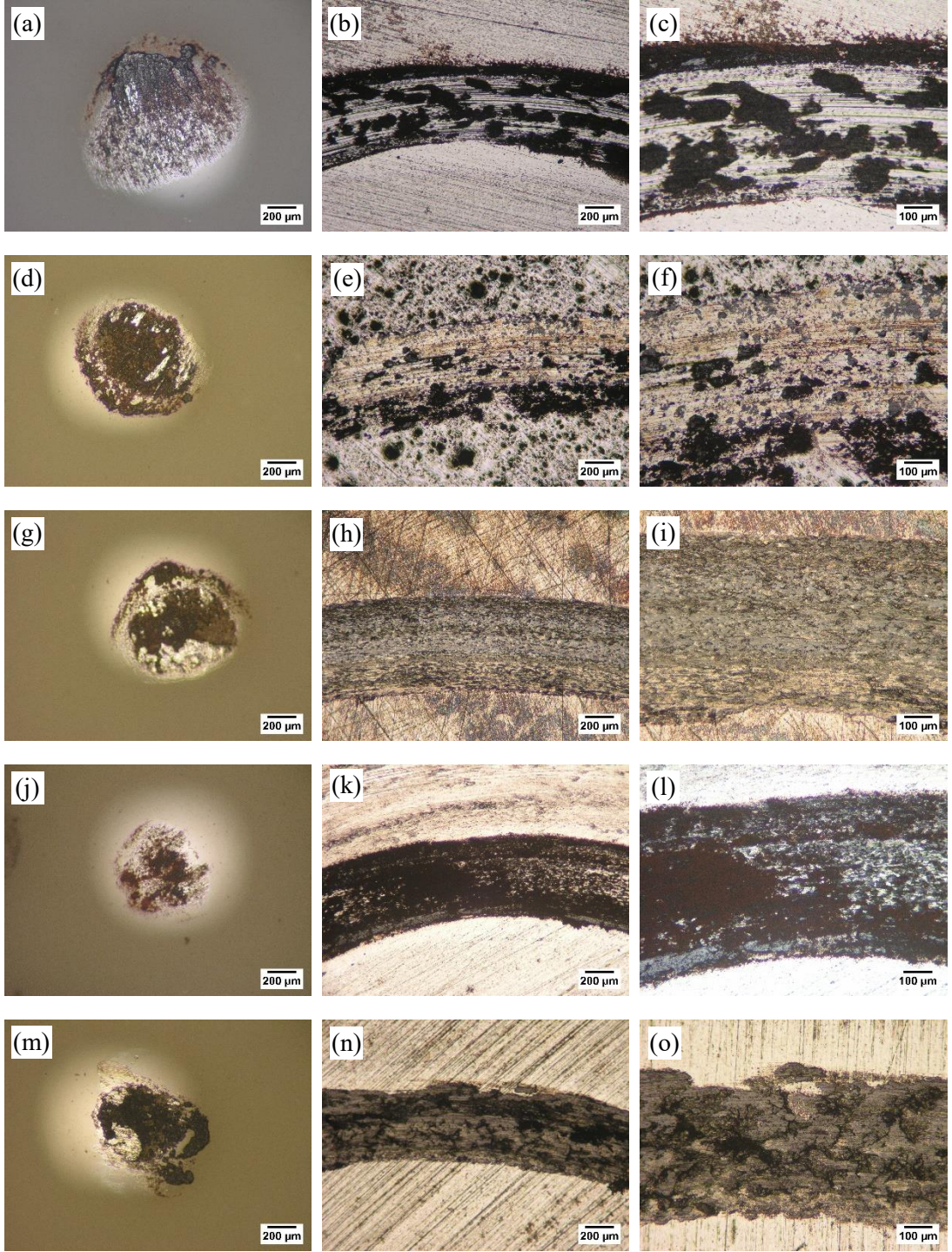


Şekil 5.38. 2,5N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}NbB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}Nb_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}Nb_3B_7$ ; (m-o)  $Fe_9Nb_4B_7$

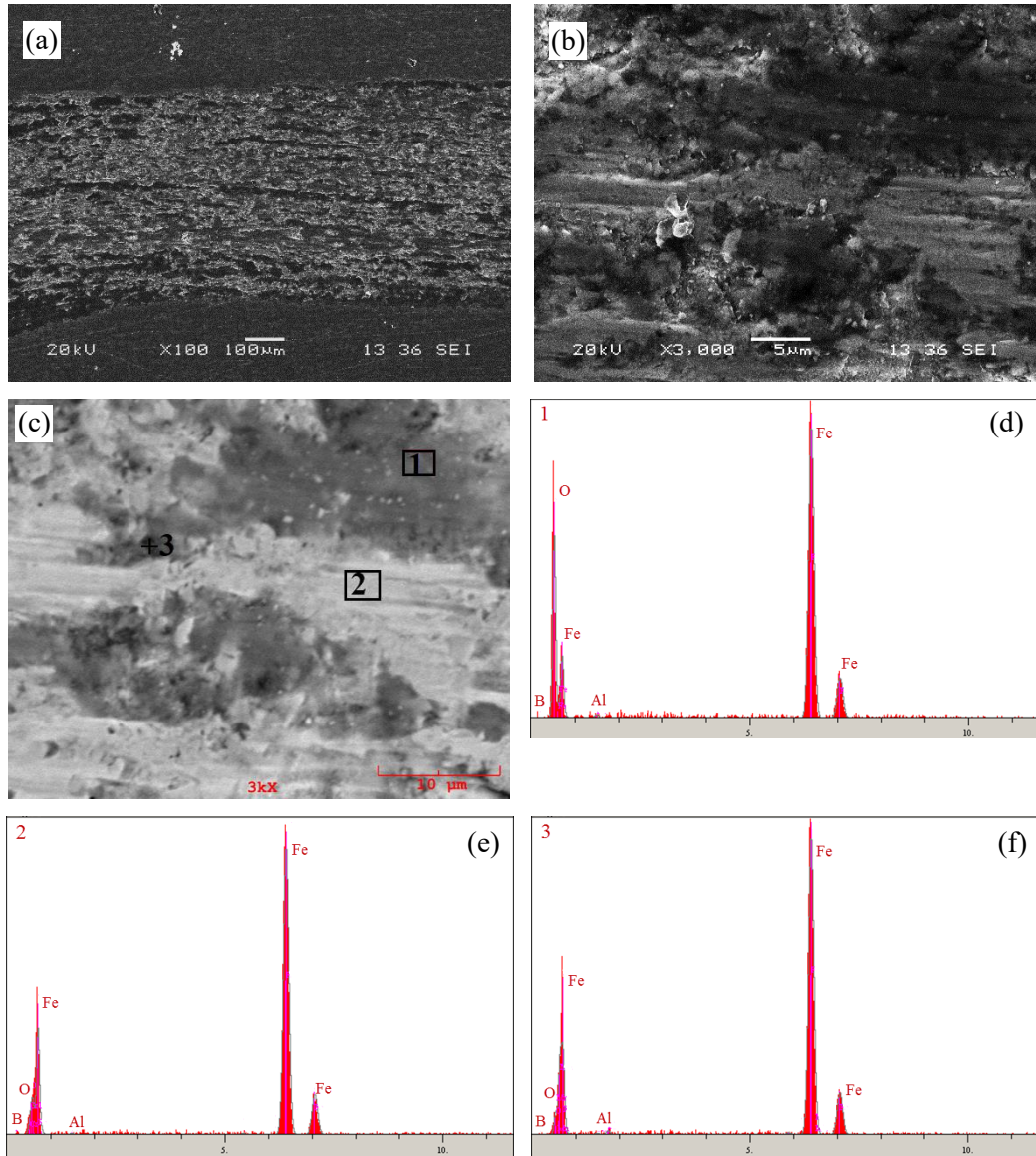




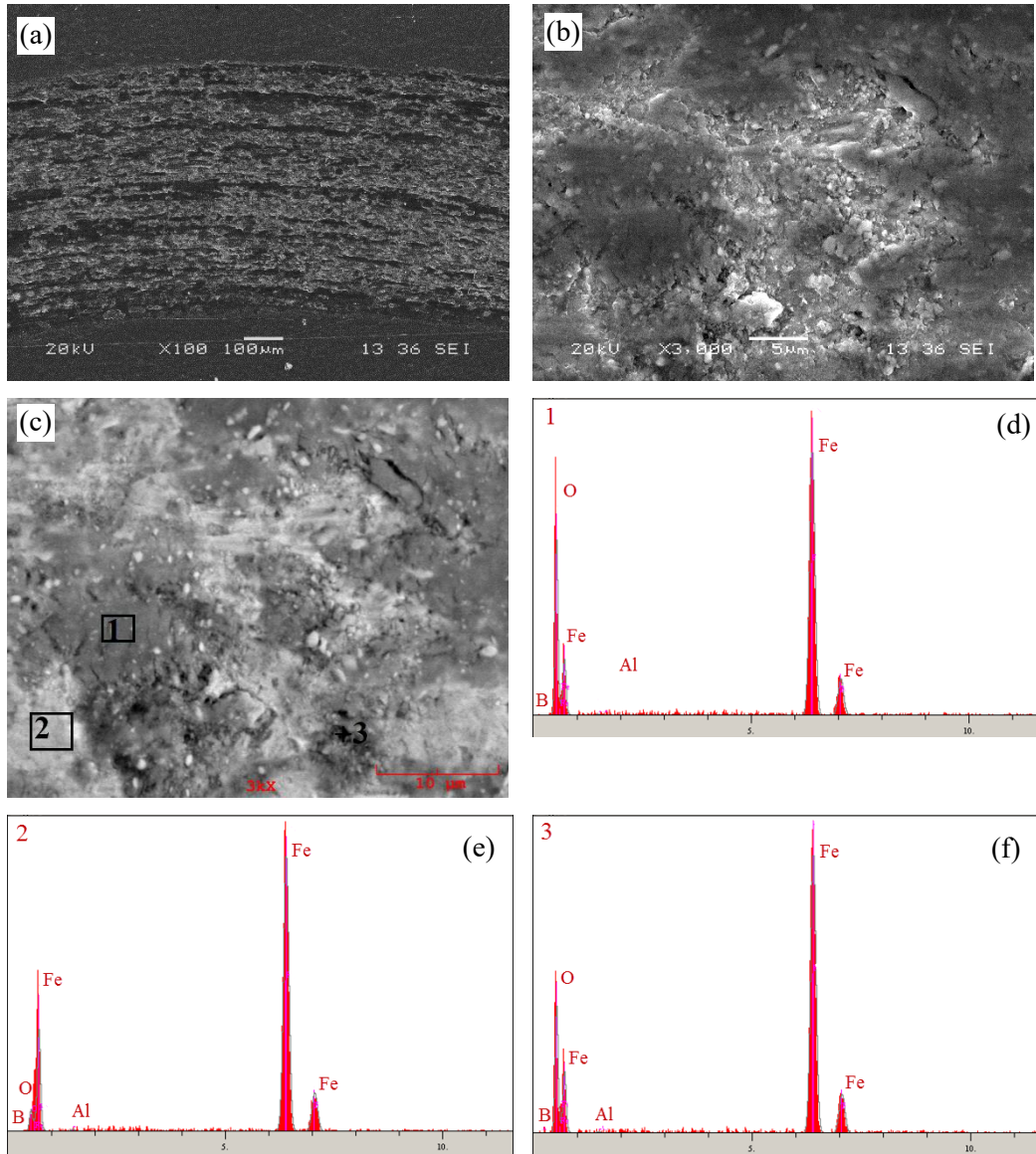
Şekil 5.39. 5N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}NbB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}Nb_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}Nb_3B_7$ ; (m-o)  $Fe_9Nb_4B_7$



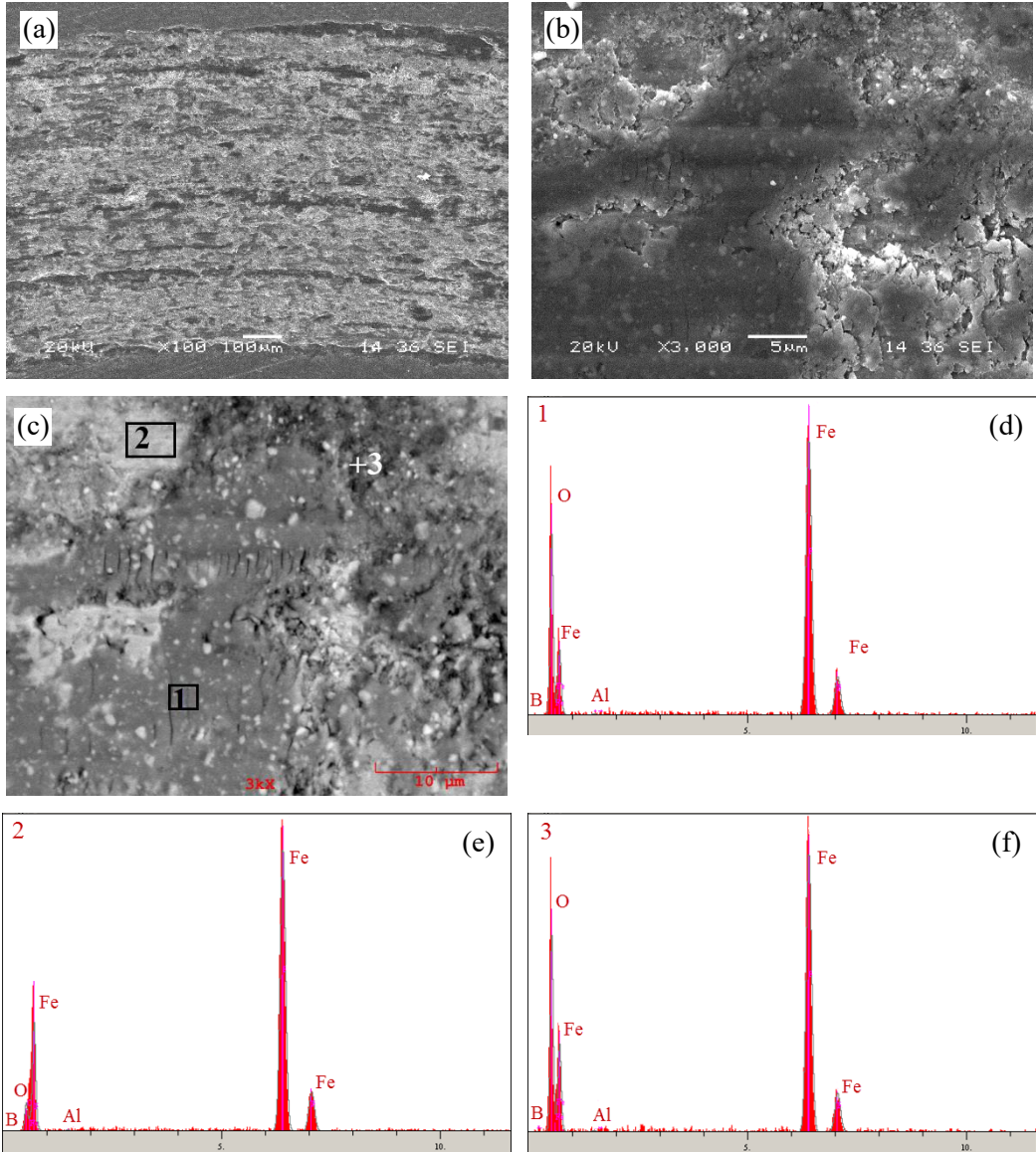
Şekil 5.40. 10N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}NbB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}Nb_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}Nb_3B_7$ ; (m-o)  $Fe_9Nb_4B_7$



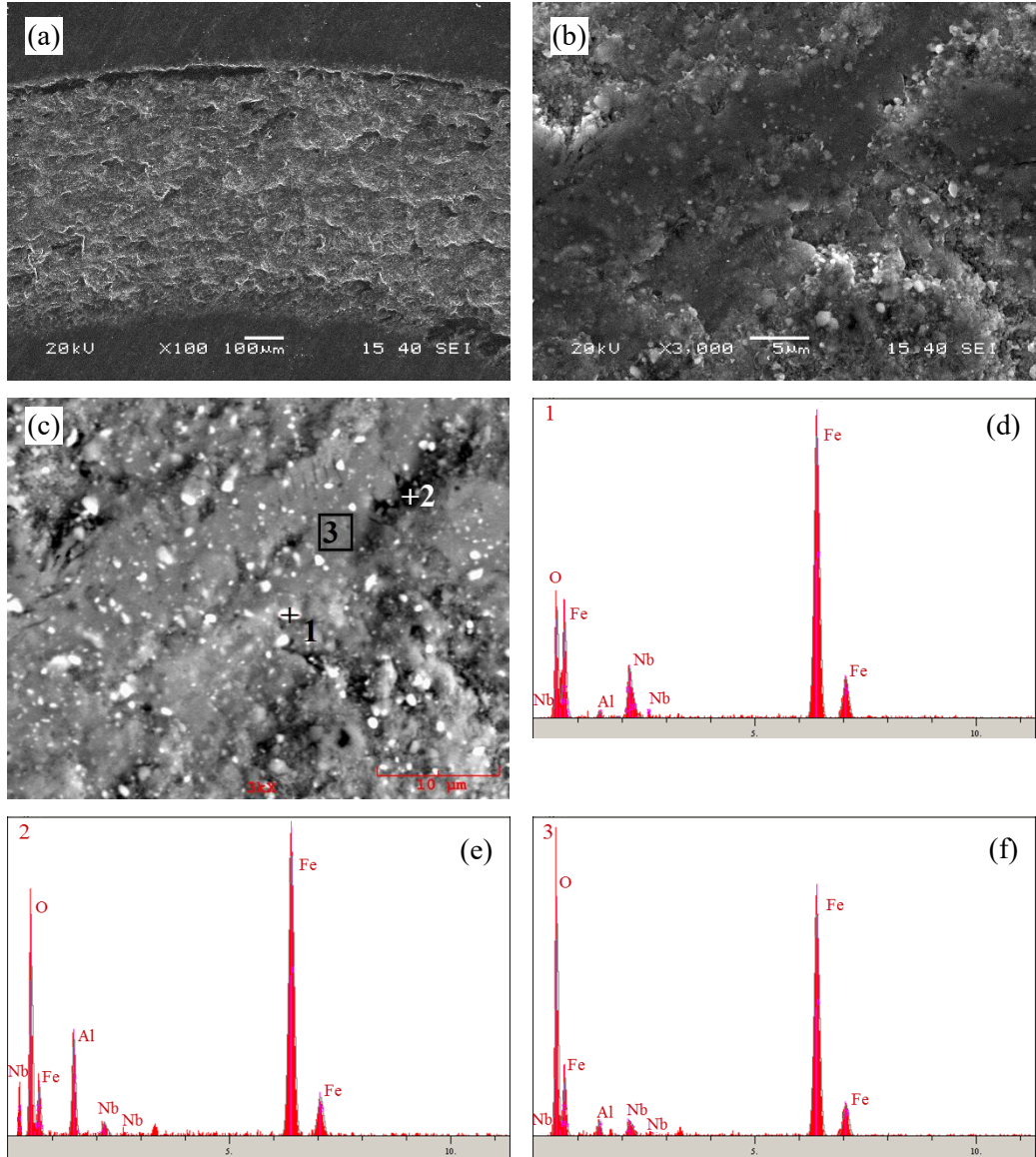
Şekil 5.41. 2,5 N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{13}\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri



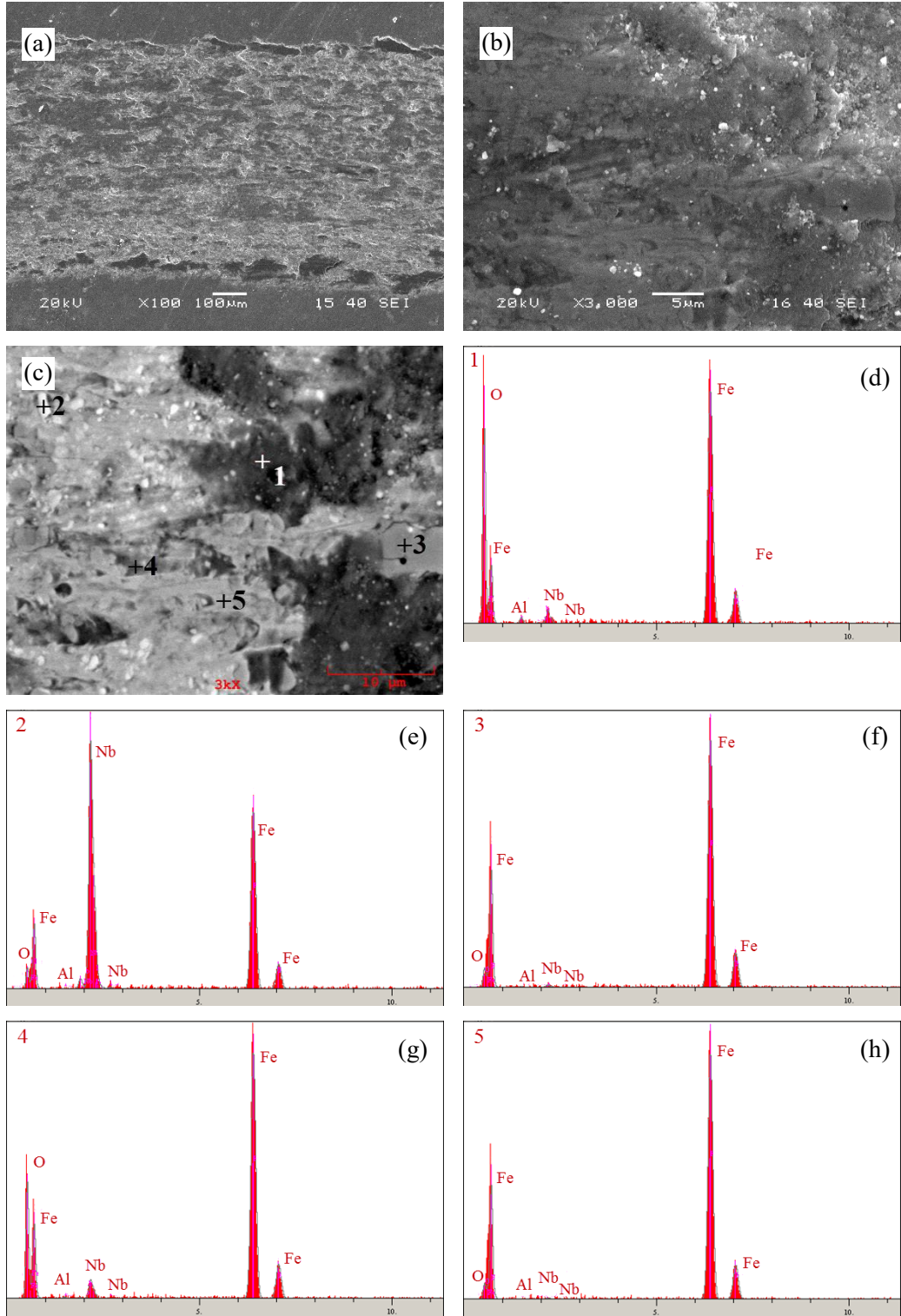
Şekil 5.42. 5 N yük altında  $Al_2O_3$  bilye ile aşındırılmış  $Fe_{13}B_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri



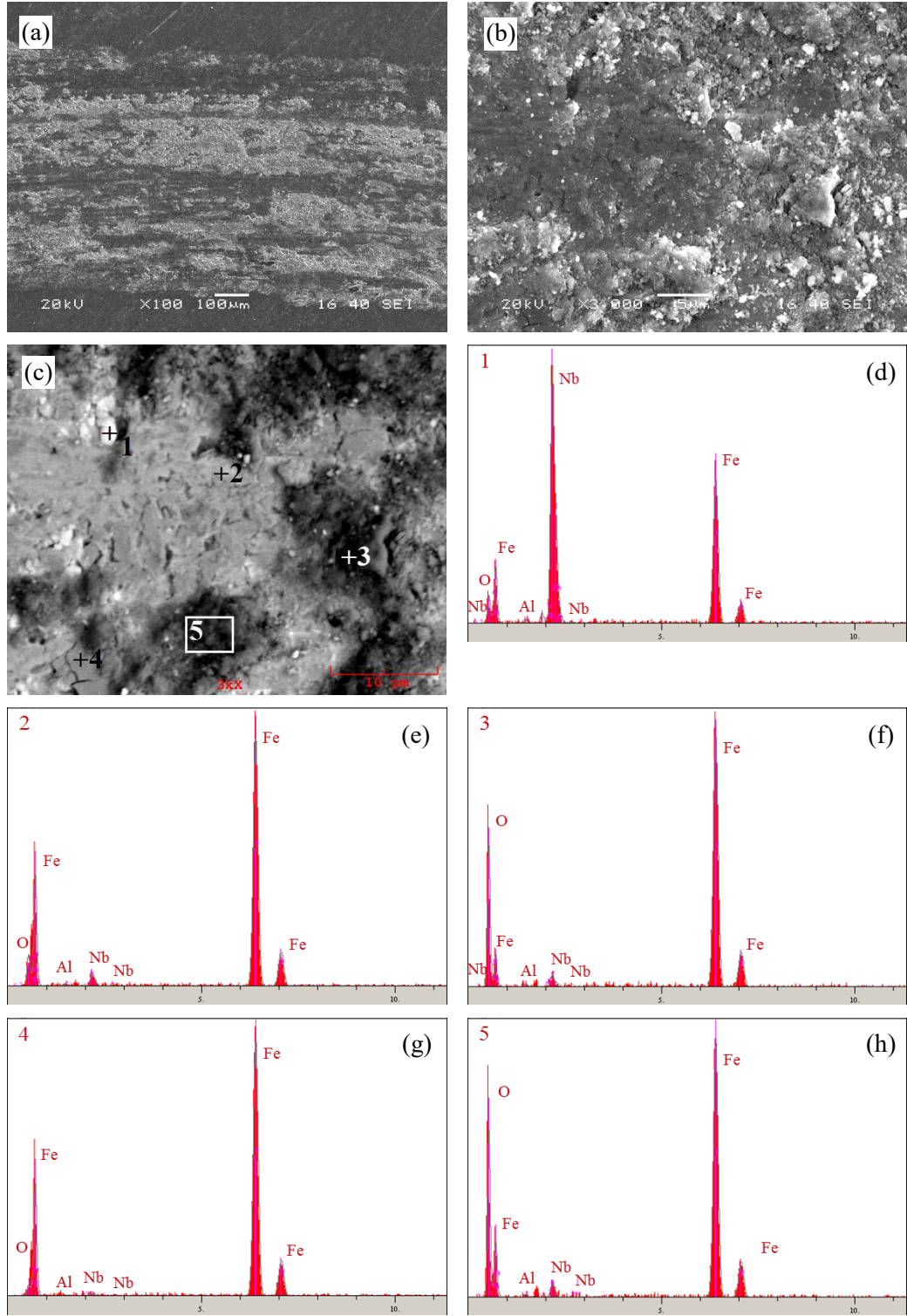
Şekil 5.43. 10N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{13}\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri



Şekil 5.44. 2,5N yük altında  $Al_2O_3$  bilye ile aşındırılmış  $Fe_{12}NbB_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri

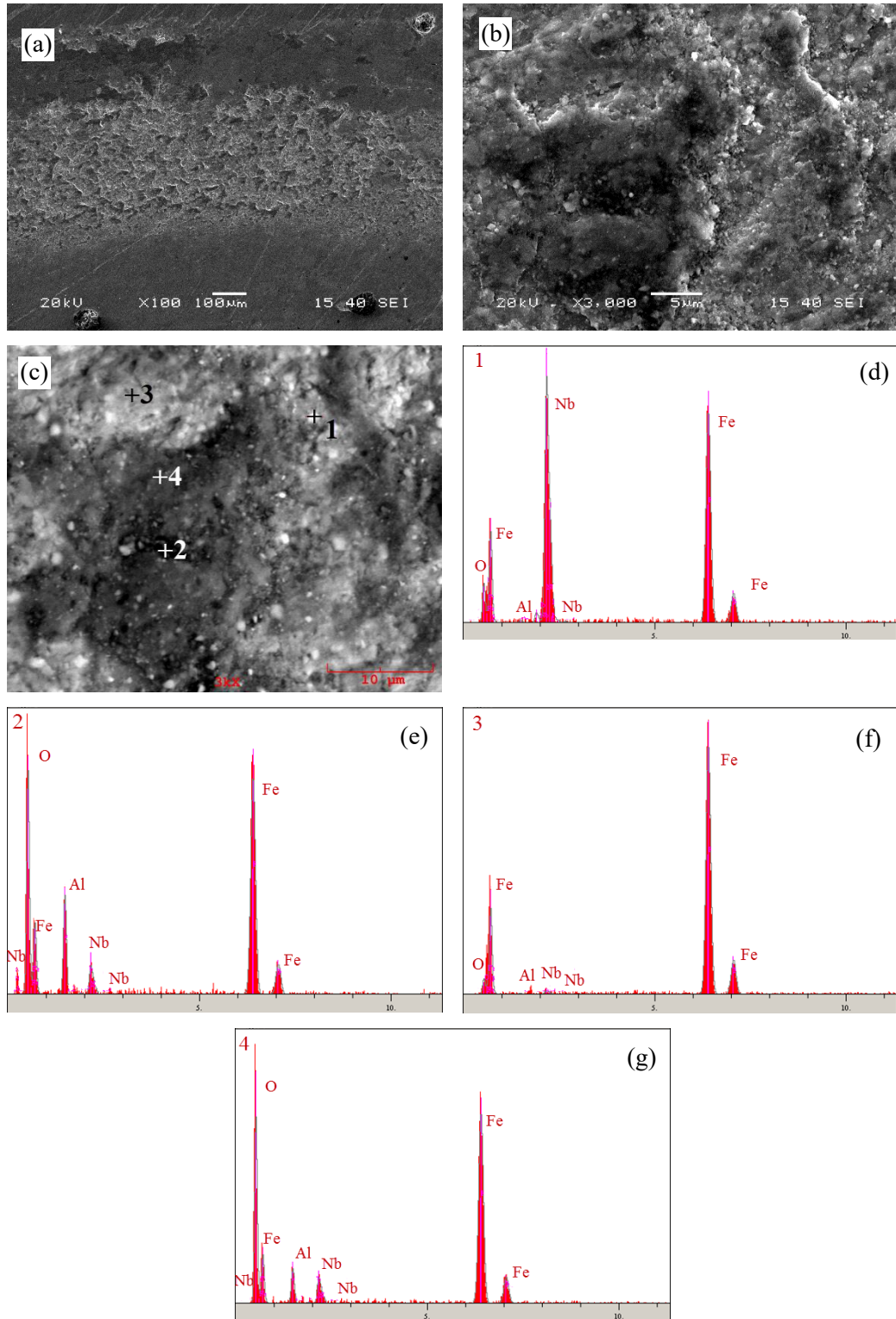


Şekil 5.45. 5N yük altında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılmış Fe<sub>12</sub>NbB<sub>7</sub> sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri

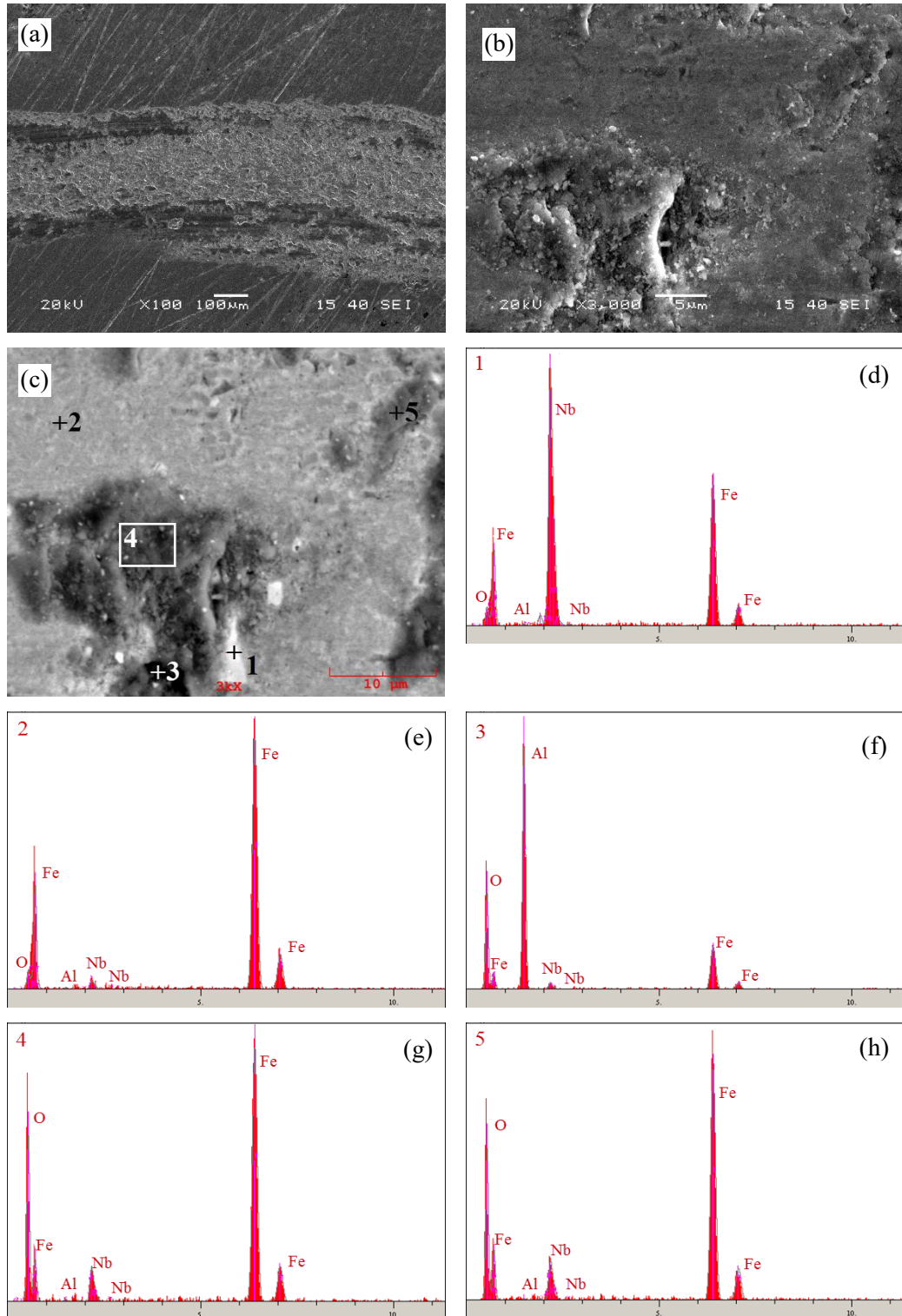


Şekil 5.46. 10N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{12}\text{NbB}_7$  sert yüzey alایش tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri

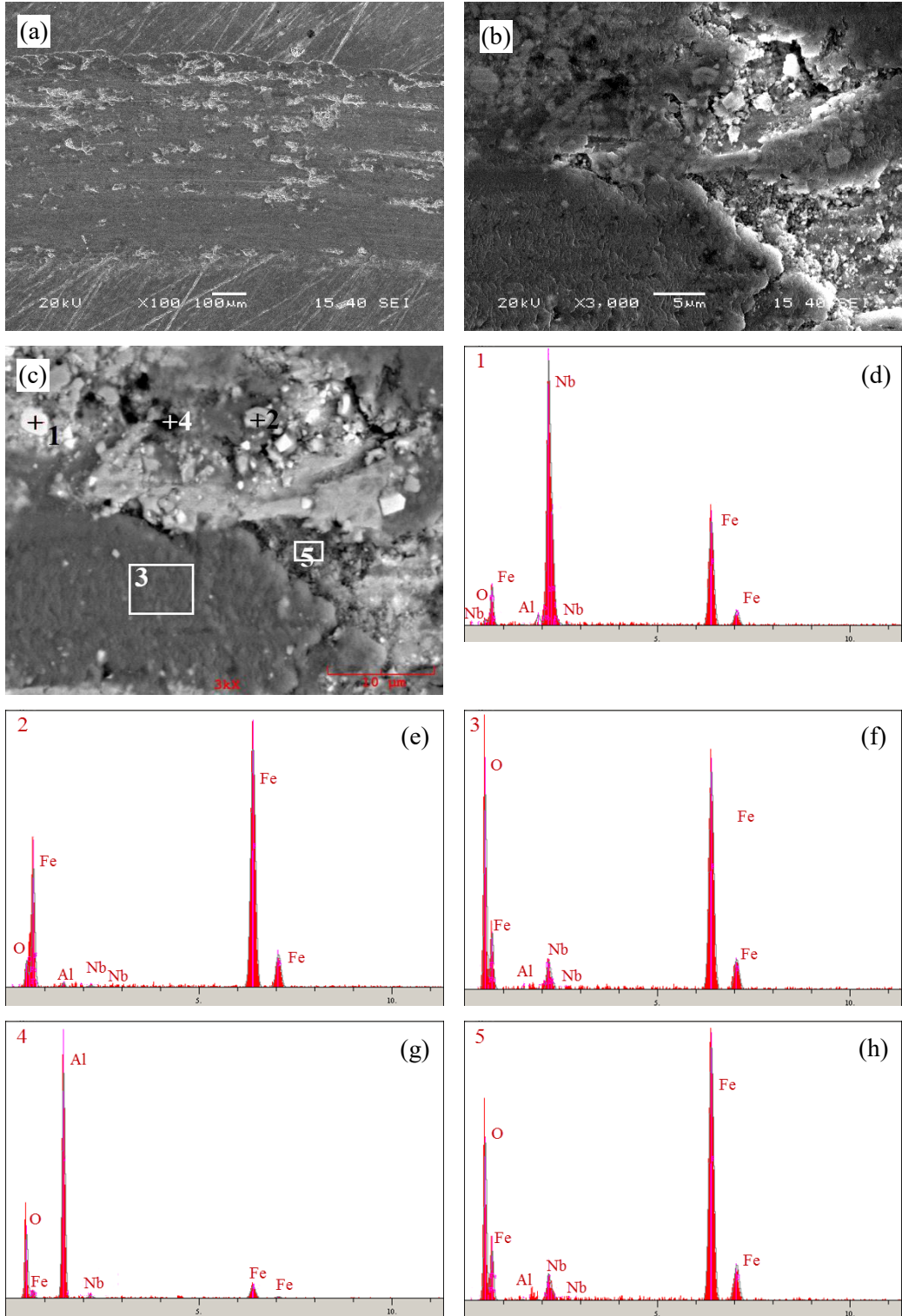




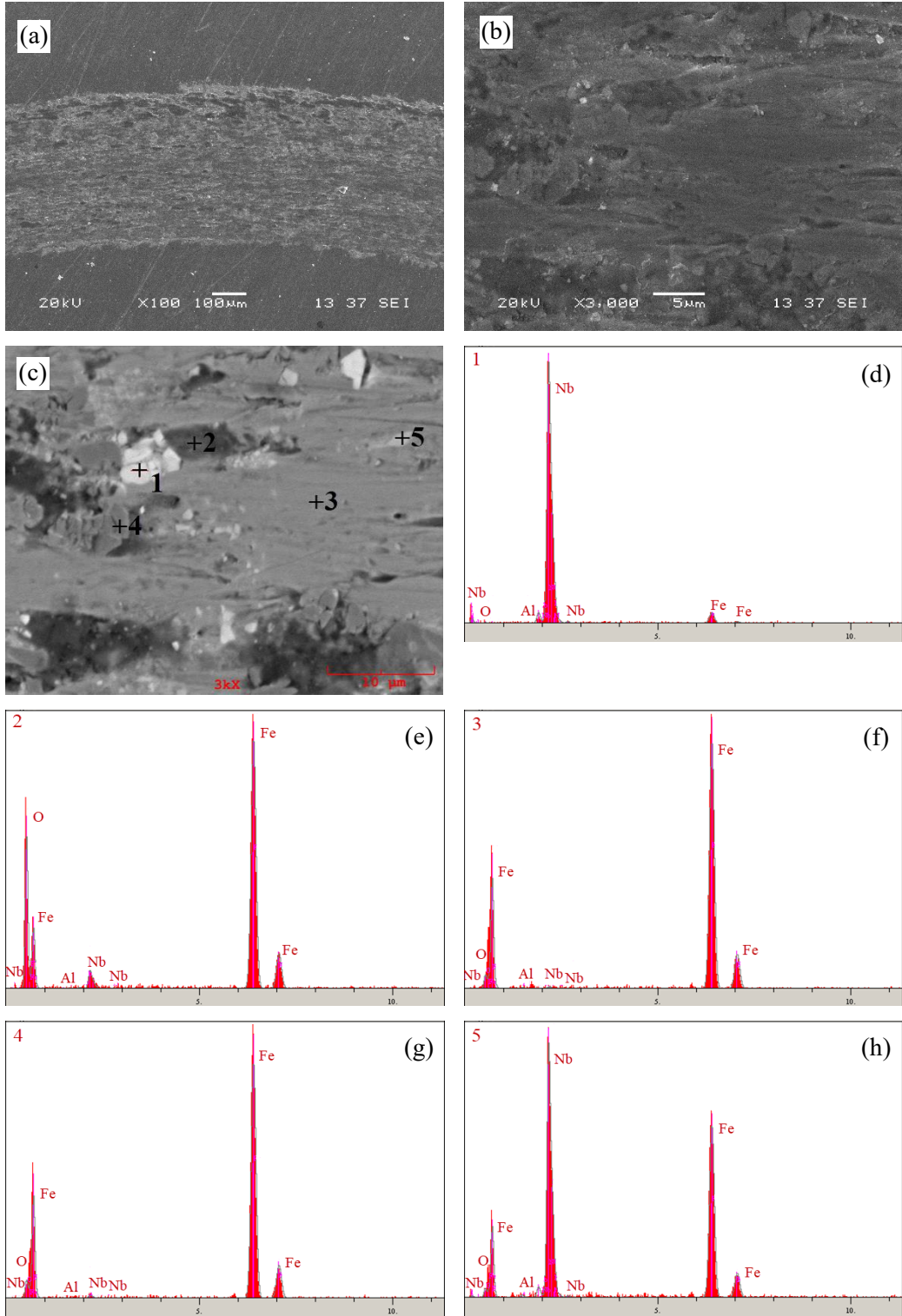
Şekil 5.47. 2,5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{11}\text{Nb}_2\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri



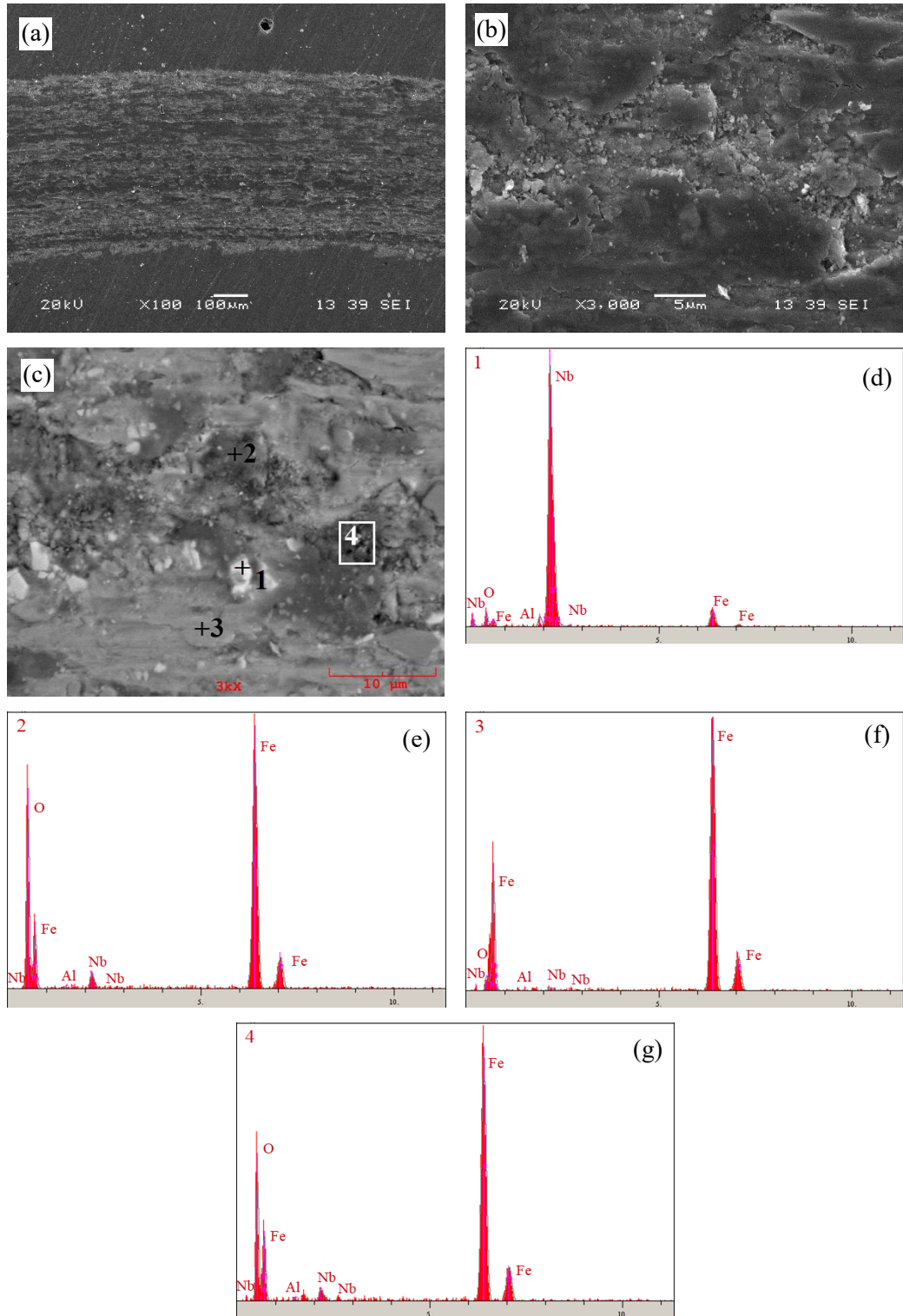
Şekil 5.48. 5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{11}\text{Nb}_2\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri



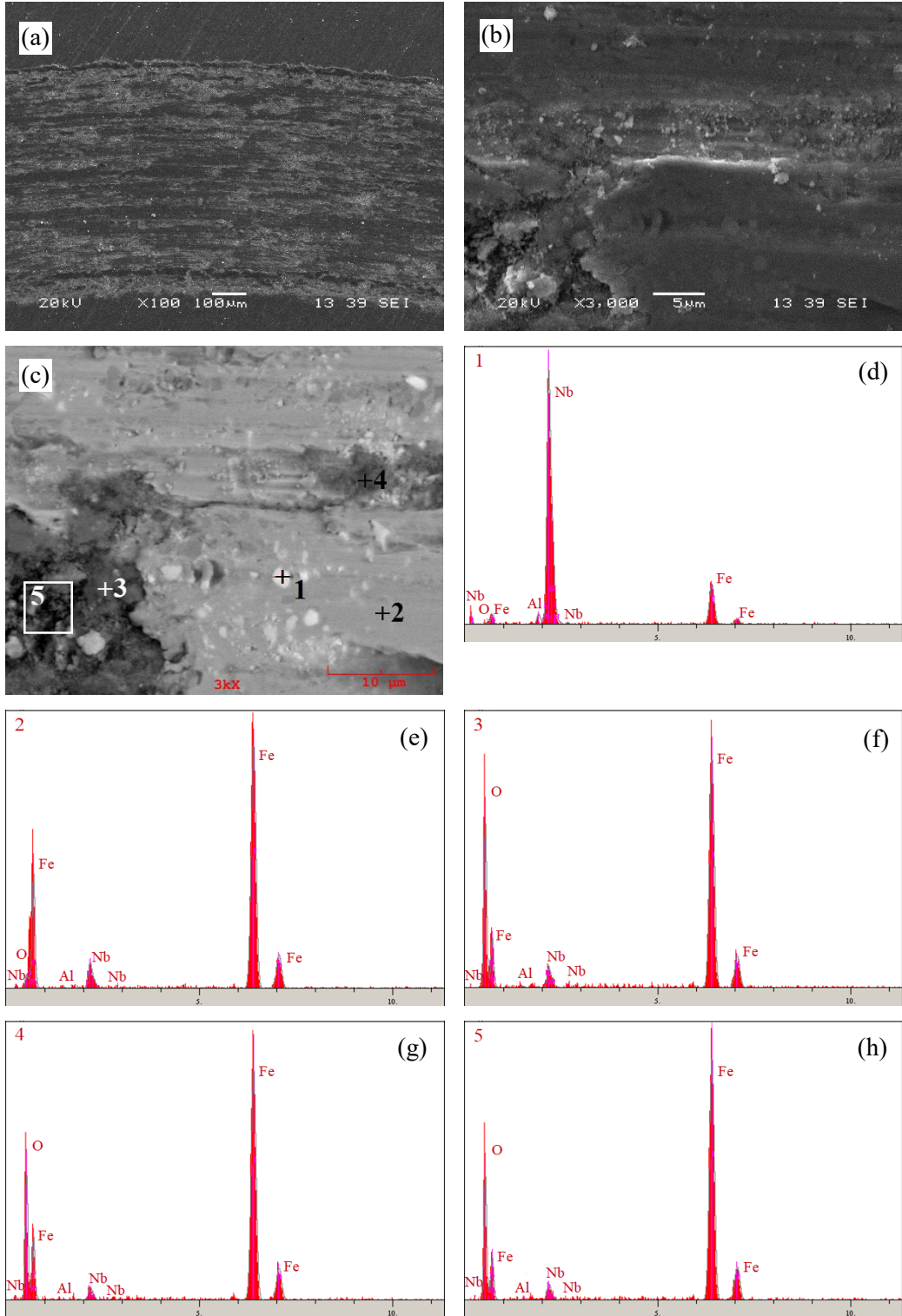
Şekil 5.49. 10N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{11}\text{Nb}_2\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri



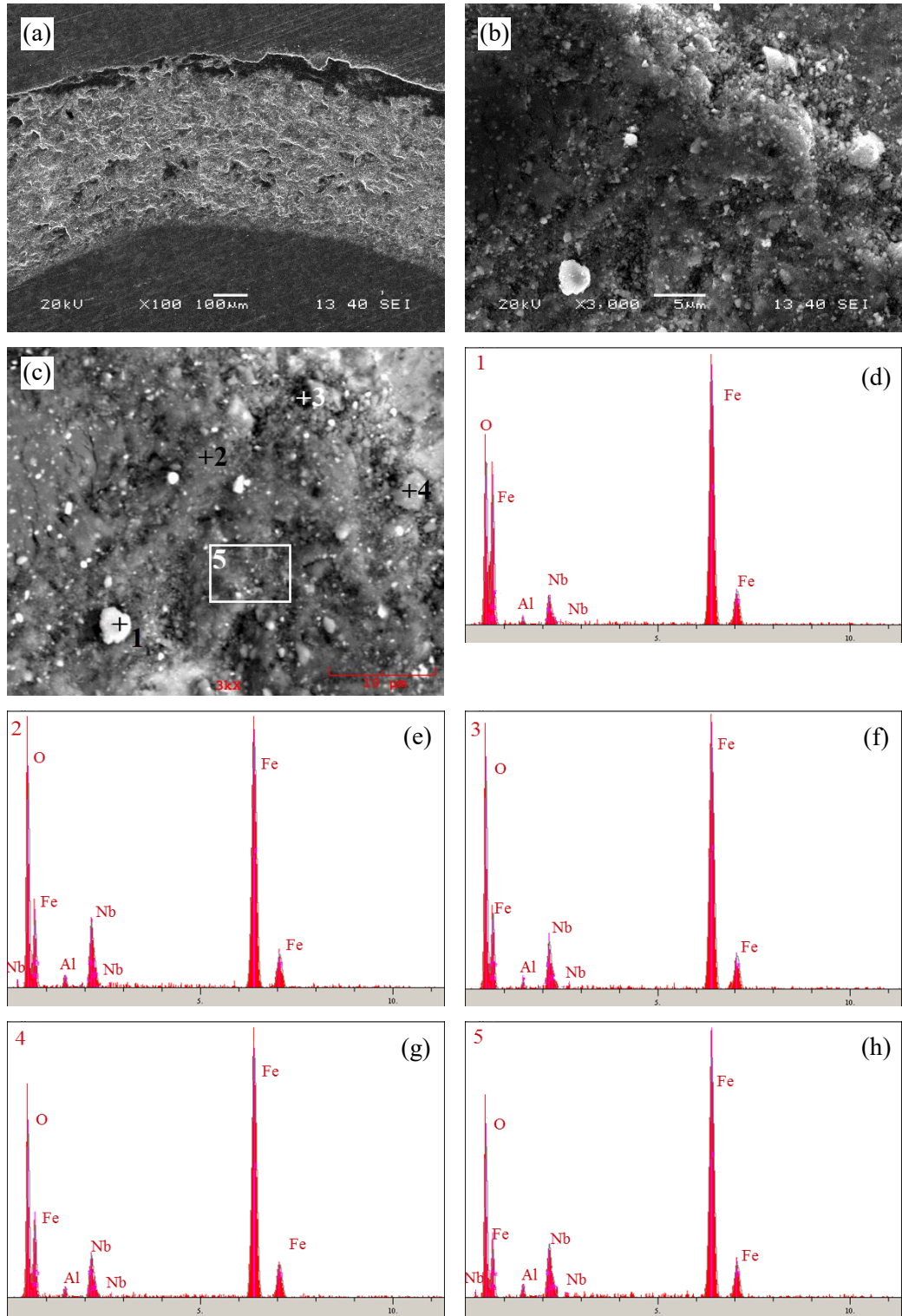
Şekil 5.50. 2,5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{10}\text{Nb}_3\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri



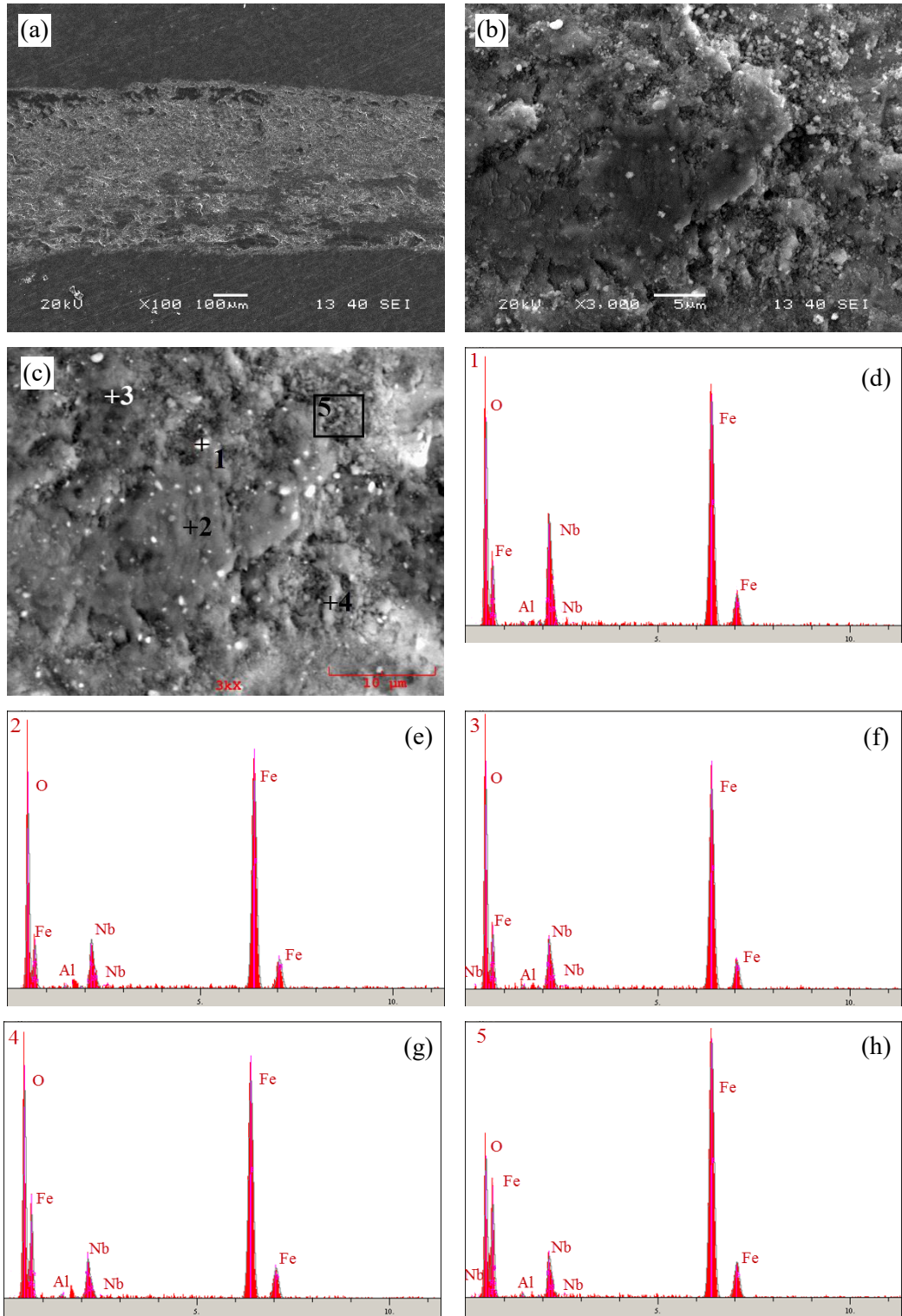
Şekil 5.51. 5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{10}\text{Nb}_3\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri



Şekil 5.52. 10N yük altında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılmış Fe<sub>10</sub>Nb<sub>3</sub>B<sub>7</sub> sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri

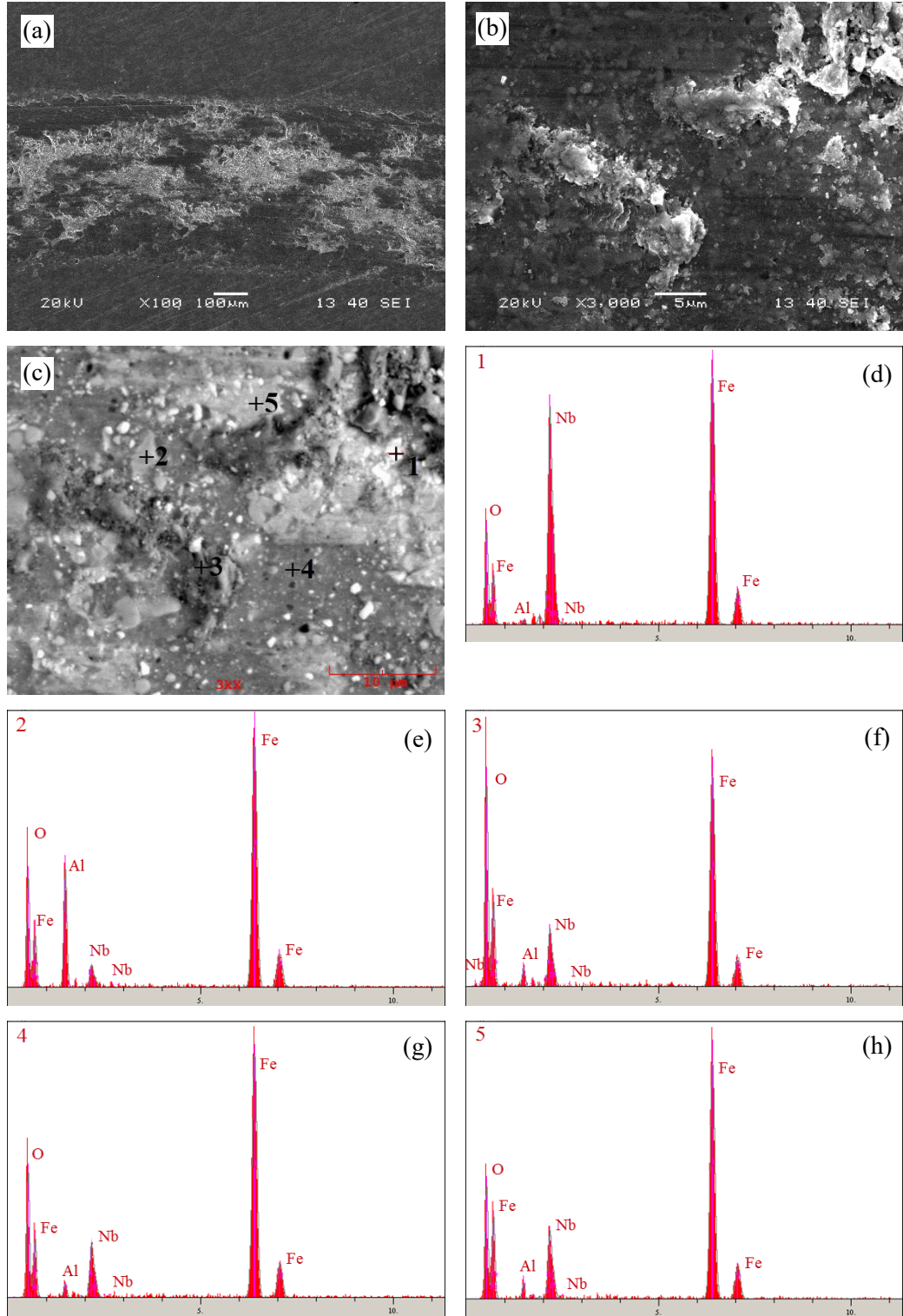


Şekil 5.53. 2,5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_9\text{Nb}_4\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri



Şekil 5.54. 5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_9\text{Nb}_4\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri

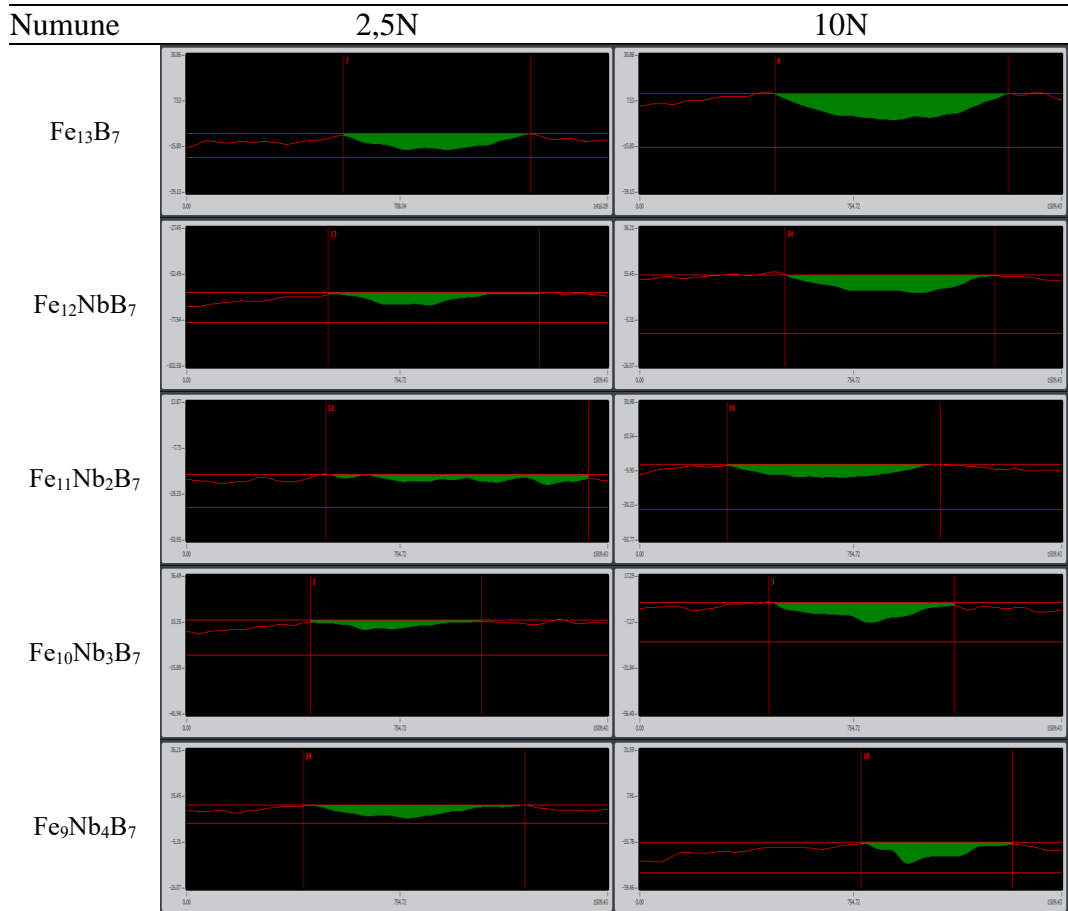




Şekil 5.55. 10N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_9\text{Nb}_4\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri

### 5.4.1.3. Aşınma hızı

Aşınma deneyleri sonrasında çeliklerin yüzeyinde oluşan  $Fe_{13}B_7$  ve  $(Fe_{(13-x)}Nb_xB_7$ ;  $x=1-4$ ) esaslı sert yüzey alaşım tabakasının üç boyutlu optik mikroskop yardımıyla belirlenen aşınma profilleri Şekil 5.56.'da gösterilmektedir. Bu profillerden elde edilen kesit alan grafiğinden hesaplanan alanlar kullanılarak alaşımlanmış çelik yüzeyinde oluşan aşınma hızı değerleri eşitlik 4.1. ve 4.2.'de verilen bağıntılar ile belirlenmiştir.



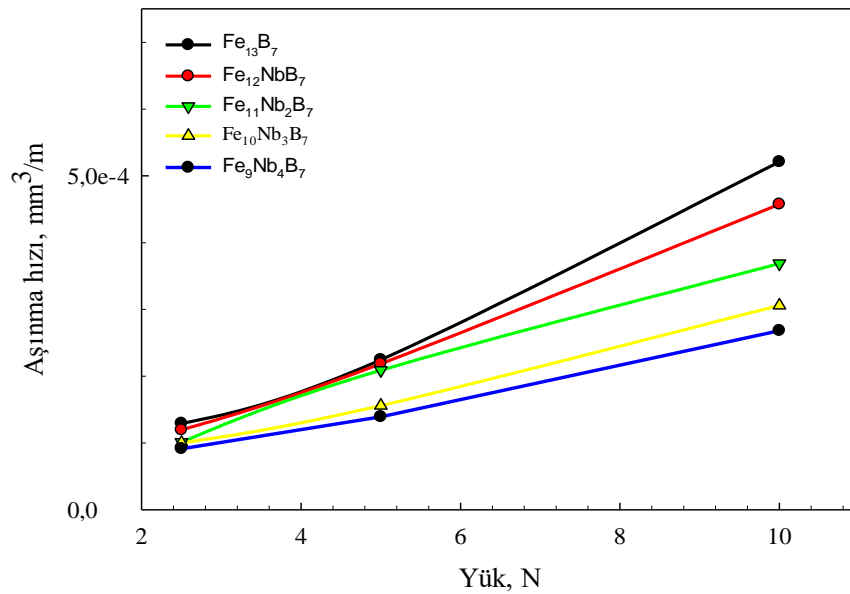
Şekil 5.56. Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasının yük ve bileşim değişimine bağlı olarak elde edilen aşınma profilleri

Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızlarının uygulanan yüke bağlı olarak değişimi Tablo 5.5.'te verilmiştir. Şekil 5.57'de Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşımlama yapılan numunelerin yüke bağlı aşınma hızı grafiği incelendiğinde; Archard eşitliğinde [129] belirtildiği gibi, yükün artışı aşınma hızının artışına sebep olurken; ilave edilen Nb miktarı arttıkça uygulanan tüm yükler için aşınma hızlarının düştüğü görülmektedir. Bunun nedeni olarak, sert yüzey alaşım

tabakasında bulunan sert metal (Nb ve Fe) borür faz miktarlarındaki artış olduğu düşünülmektedir. Buytoz ve Eren [130] yapmış olduğu çalışmada, kompozit malzemelerde takviye miktarının artmasının aşınma hızı değerlerini düşürdüğünü belirtmişlerdir. Yükteki % 100'lük bir artış (2,5N dan 5N'a) Fe-B esaslı sert yüzey alایش için % 73,8 oranında bir aşınma hızında artışa sebep olurken; yükteki artış % 300 olduğu zaman aşınma hızındaki artış % 303,4 oranında gerçekleşmektedir. Bu değer Nb oranının artışına bağlı olarak ( $Fe_{(13-x)}Nb_xB_7$ )  $x=1, 2, 3$  ve  $4$  için sırasıyla; 82,8-282,6; 106,7-264,9; 55,5-205,1 ve 52,3-193,5 oranlarında aşınma hızında artışa sebep olmuştur. Değer artışları genel olarak birbirine yakın gerçekleşmektedir. Grafikten de görüldüğü üzere, Nb miktarının artışı belirgin bir şekilde % 48,6 oranına kadar düşüşlere sebep olmuştur.

Tablo 5.5. Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alایش tabakalarına ait aşınma hızlarının uygulanan yüke bağlı olarak değişimi

Numune	Aşınma hızı ( $mm^3/m$ ) $\times 10^{-5}$		
	Yük (N)		
	2,5	5	10
$Fe_{13}B_7$	25,84	44,9	104,2
$Fe_{12}NbB_7$	23,92	43,72	91,5
$Fe_{11}Nb_2B_7$	20,21	41,78	73,75
$Fe_{10}Nb_3B_7$	20,05	31,19	61,18
$Fe_9Nb_4B_7$	18,27	27,83	53,61



Şekil 5.57. Fe-B ve Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alایش tabakalarına ait aşınma hızlarının yüke bağlı olarak değişimi

## 5.4.2. Fe-B ve Fe-V-B esaslı malzemeler

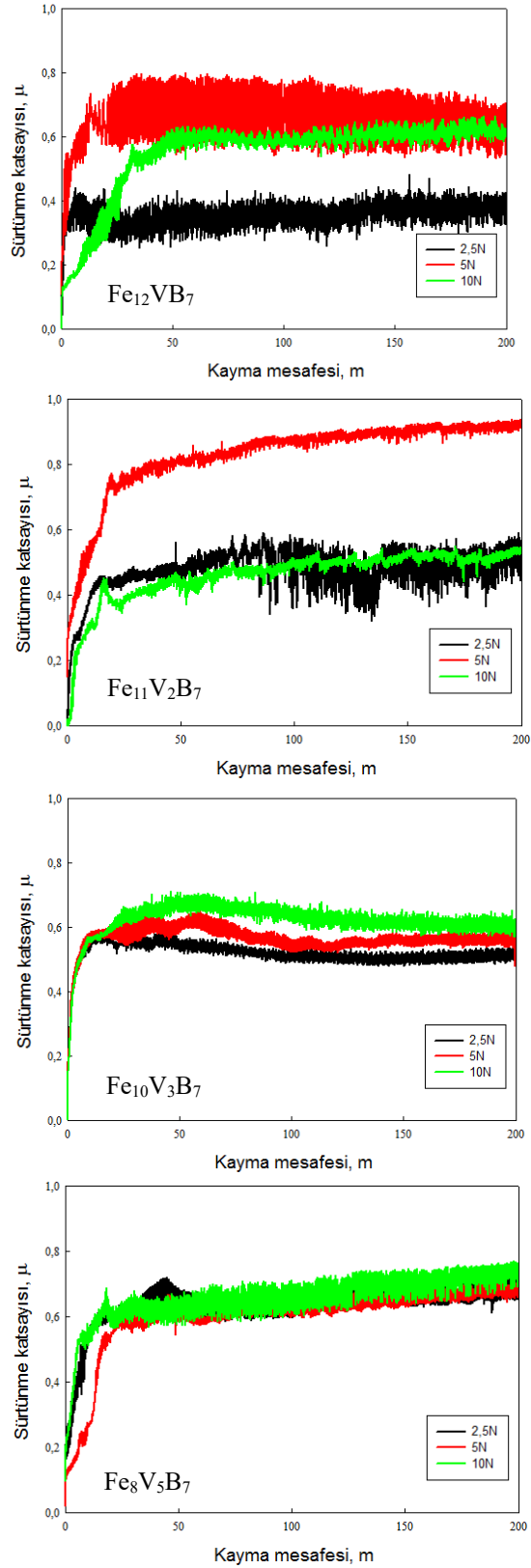
### 5.4.2.1. Sürtünme katsayısı

Fe-B ve Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasının aşınma deneyleri sonrası elde edilen sürtünme katsayısı değişimleri Şekil 5.36. ve 5.58.'de verilmektedir. 2,5N, 5N ve 10N yükler altında yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı değerleri Tablo 5,6.'da verilmektedir. Bu sonuçlara göre ölçülen sürtünme katsayısı değerleri, Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakası için 0,386-0,824 arasında değişmektedir.

Fe<sub>13</sub>B<sub>7</sub> bileşimi için yukarıda da açıklandığı gibi sürtünme katsayısı değerlerinin yüke bağlı olarak düştüğü; Fe-V-B esaslı yüzey alaşım tabakalarının sürtünme katsayısı değerlerinin ise yükün artışına bağlı olarak az da olsa artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Sürtünme katsayısı değerleri alaşım tabakasının kompozit karakter ( $\alpha$ -Fe matris, borürler; Fe<sub>2</sub>B, VB ve  $\alpha$ -Fe+Fe<sub>2</sub>B ötektik yapı) sergilemesi sebebiyle aşınma sırasında yük ve V oranına bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Bu durum yapıdan kaynaklandığı gibi aşınma karakterinden de (abrazif ve oksidatif) etkilenmektedir.

Tablo 5.6. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının sürtünme katsayısı değerleri

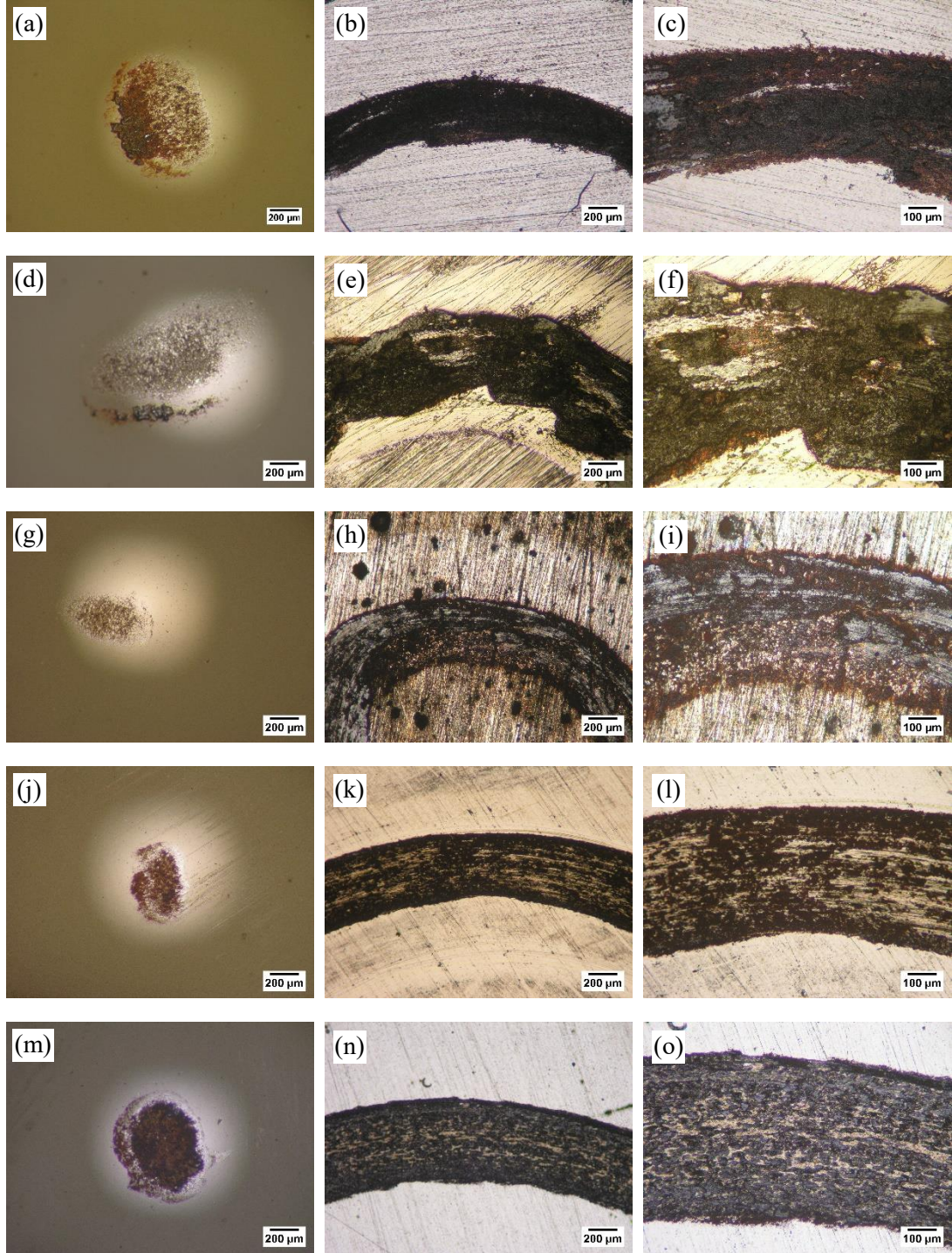
Numune	Uygulanan Yük (N)		
	2,5	5	10
Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub>	0,771±0,048	0,727±0,013	0,660±0,039
Fe <sub>12</sub> VB <sub>7</sub>	0,386±0,005	0,631±0,021	0,591±0,009
Fe <sub>11</sub> V <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	0,502±0,062	0,824±0,093	0,483±0,061
Fe <sub>10</sub> V <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	0,521±0,021	0,571±0,025	0,633±0,027
Fe <sub>8</sub> V <sub>5</sub> B <sub>7</sub>	0,648±0,027	0,635±0,032	0,672±0,042



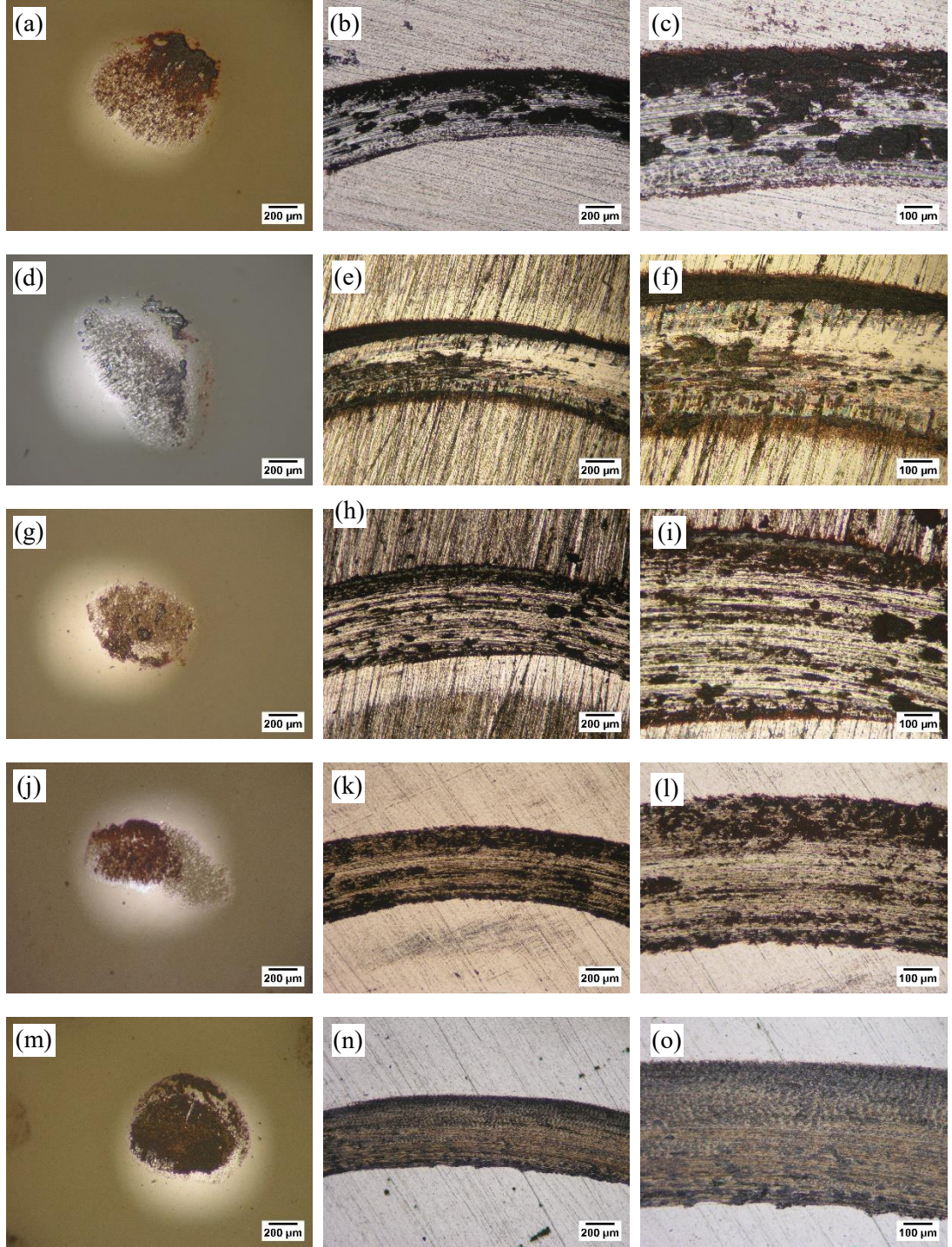
Şekil 5.58. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait sürtünme katsayılarının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi

#### 5.4.2.2. Aşınma izleri

Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının aşınma deneyleri sonrasında alaşımlanmış çeliklerde ve bilyelerde oluşan aşınma izleri Şekil 5.59.-5.61’de, gösterilmektedir. Şekil 5.62.-5.73’te ise sert yüzey alaşım tabakasında oluşan aşınma izlerinin SEM görüntüleri ve EDS analizleri verilmektedir. Yapılan inceleme sonucunda aşınma deneyleri ile oluşan iz genişliklerinin, artan yüke bağlı olarak arttığı görülmektedir. SEM görüntüleri, aşınma bölgesinde abrazyon çizgilerinin oluştuğunu, çukur bölgelerde aşınan ürünlerin birikerek sıvanmanın olduğunu göstermektedir. EDS analizleri sonucunda, aşınmanın abrazyon-oksidatif karakterde olduğu görülmektedir. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasında V oranını artışı ile birlikte mikroyapı içerisinde sert borür fazlarının ( $Fe_2B$ , VB) arttığı ve buna bağlı olarak aşınma iz genişliklerinin ve aşınma oranının azaldığı görülmektedir.

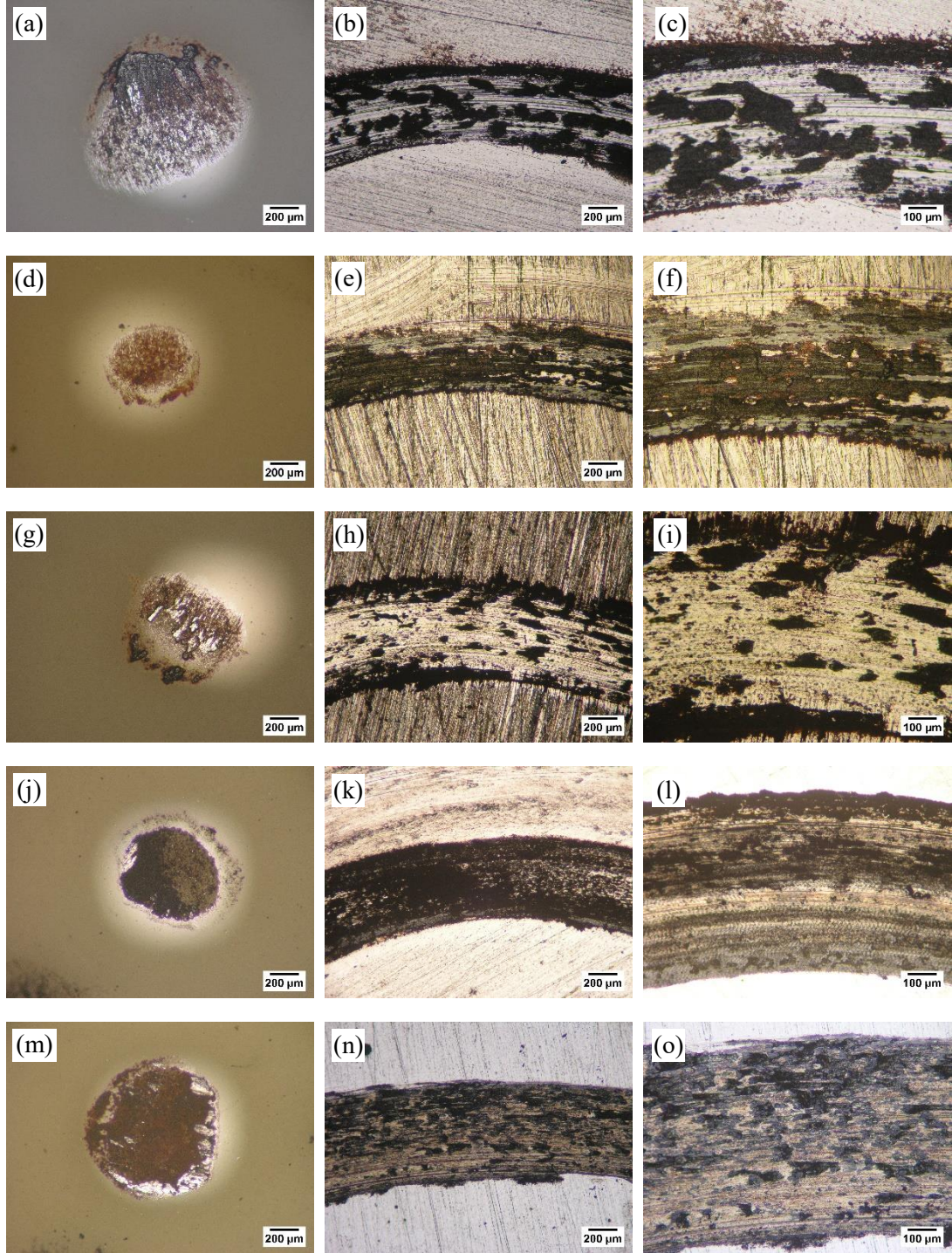


Şekil 5.59. 2,5N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-V-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}VB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}V_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}V_3B_7$ ; (m-o)  $Fe_8V_5B_7$

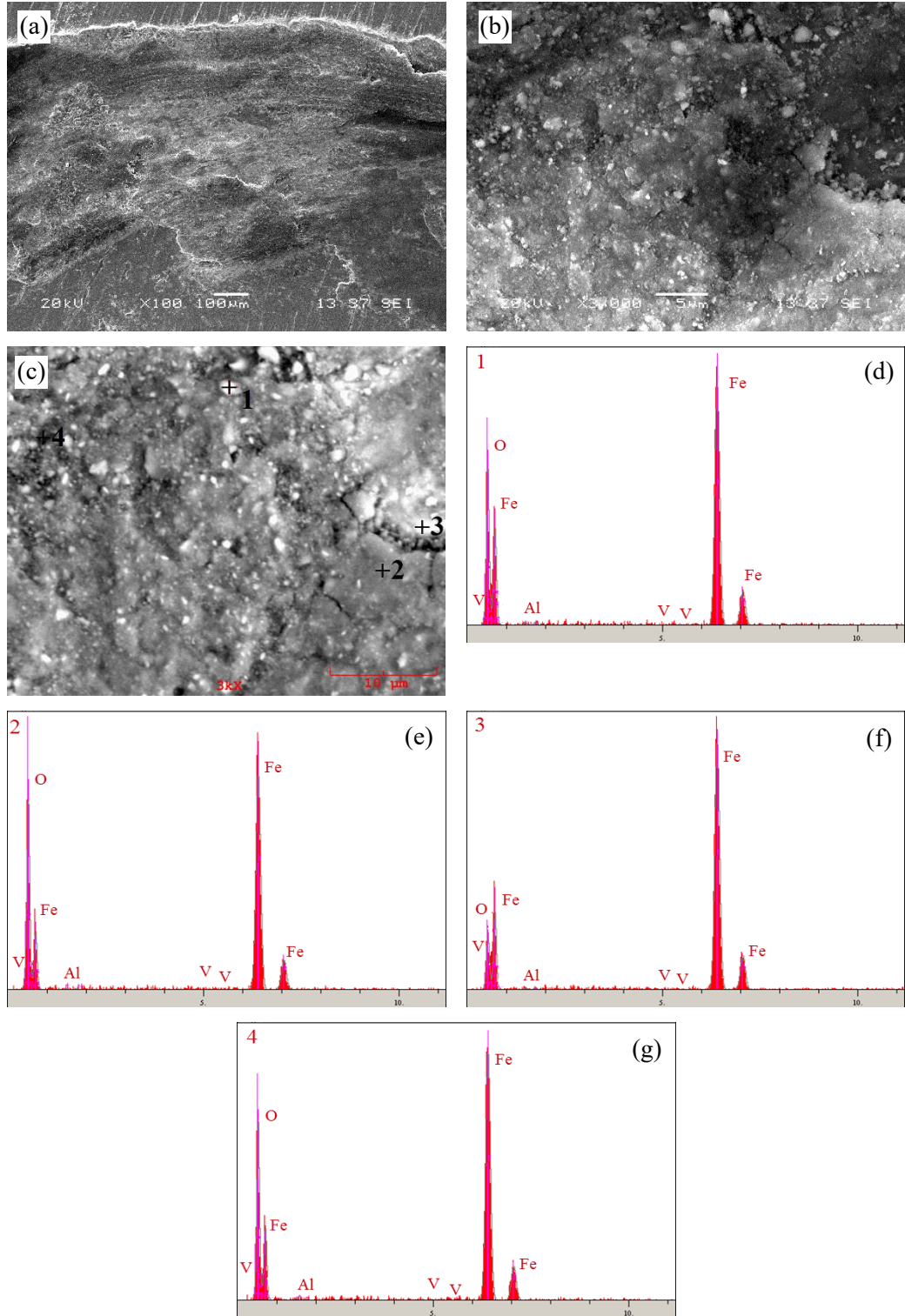


Şekil 5.60. 5N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-V-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}VB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}V_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}V_3B_7$ ; (m-o)  $Fe_8V_5B_7$

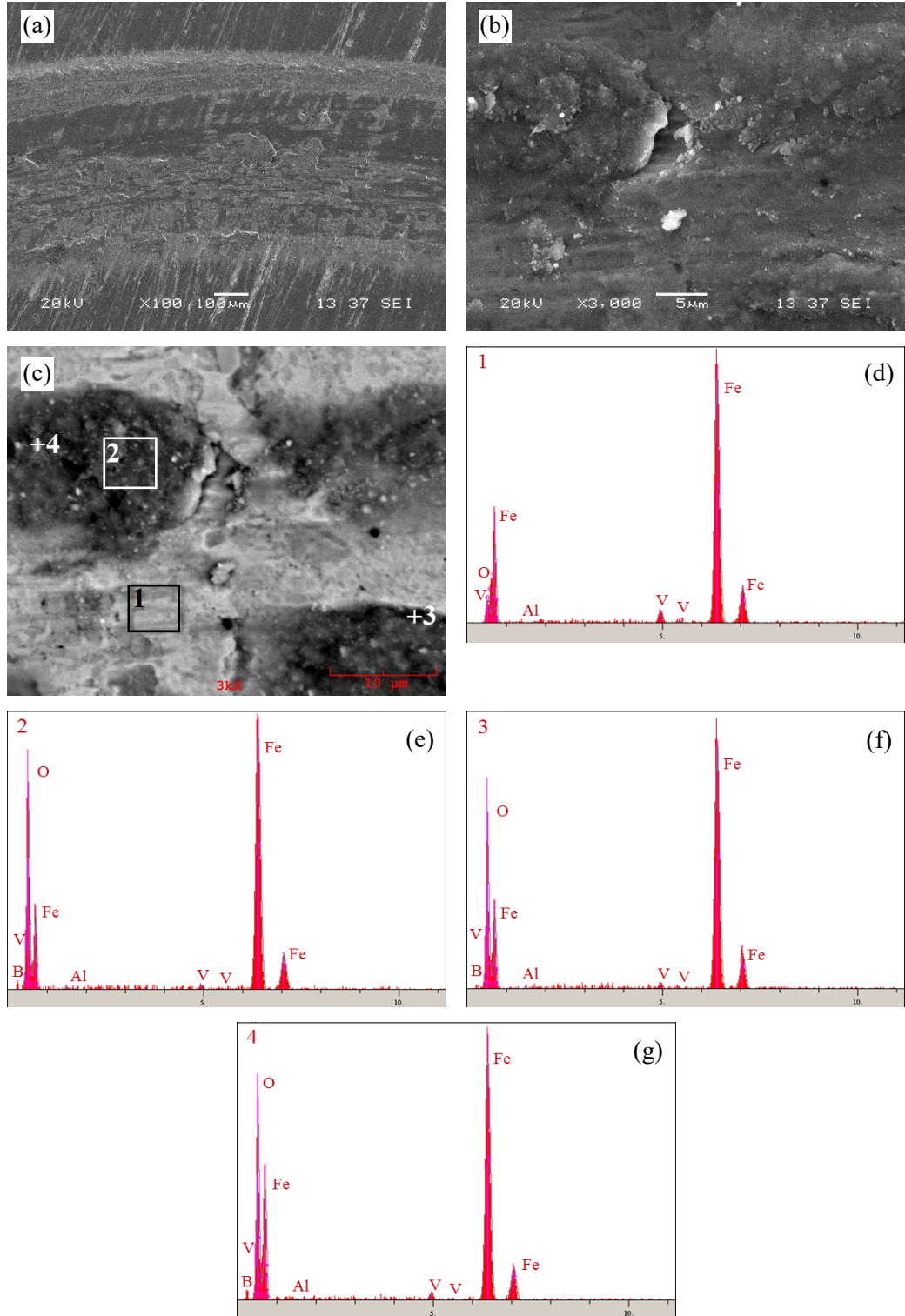




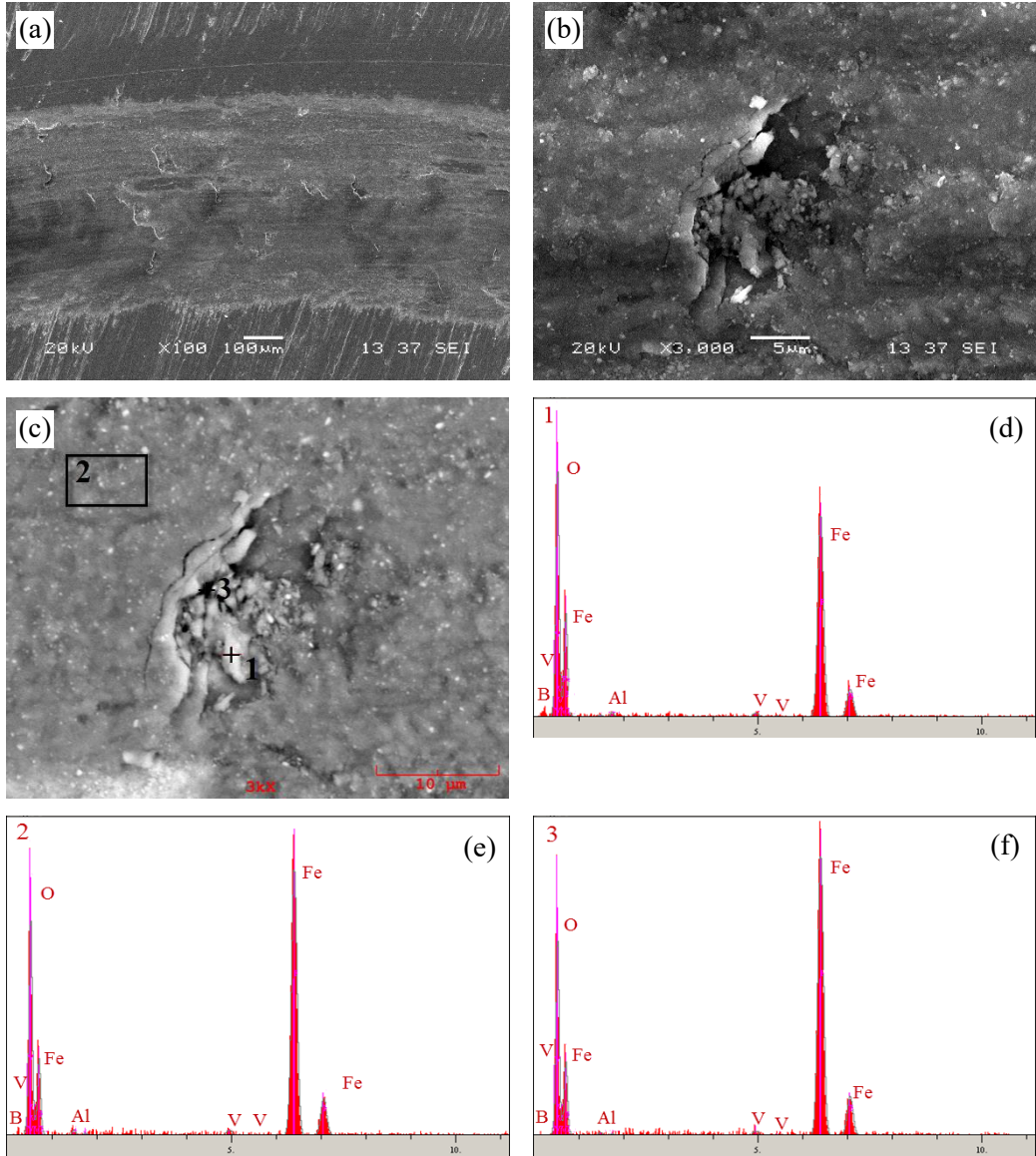
Şekil 5.61. 10N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-V-B esaslı sert yüzey kaplama tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}VB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}V_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}V_3B_7$ ; (m-o)  $Fe_8V_5B_7$



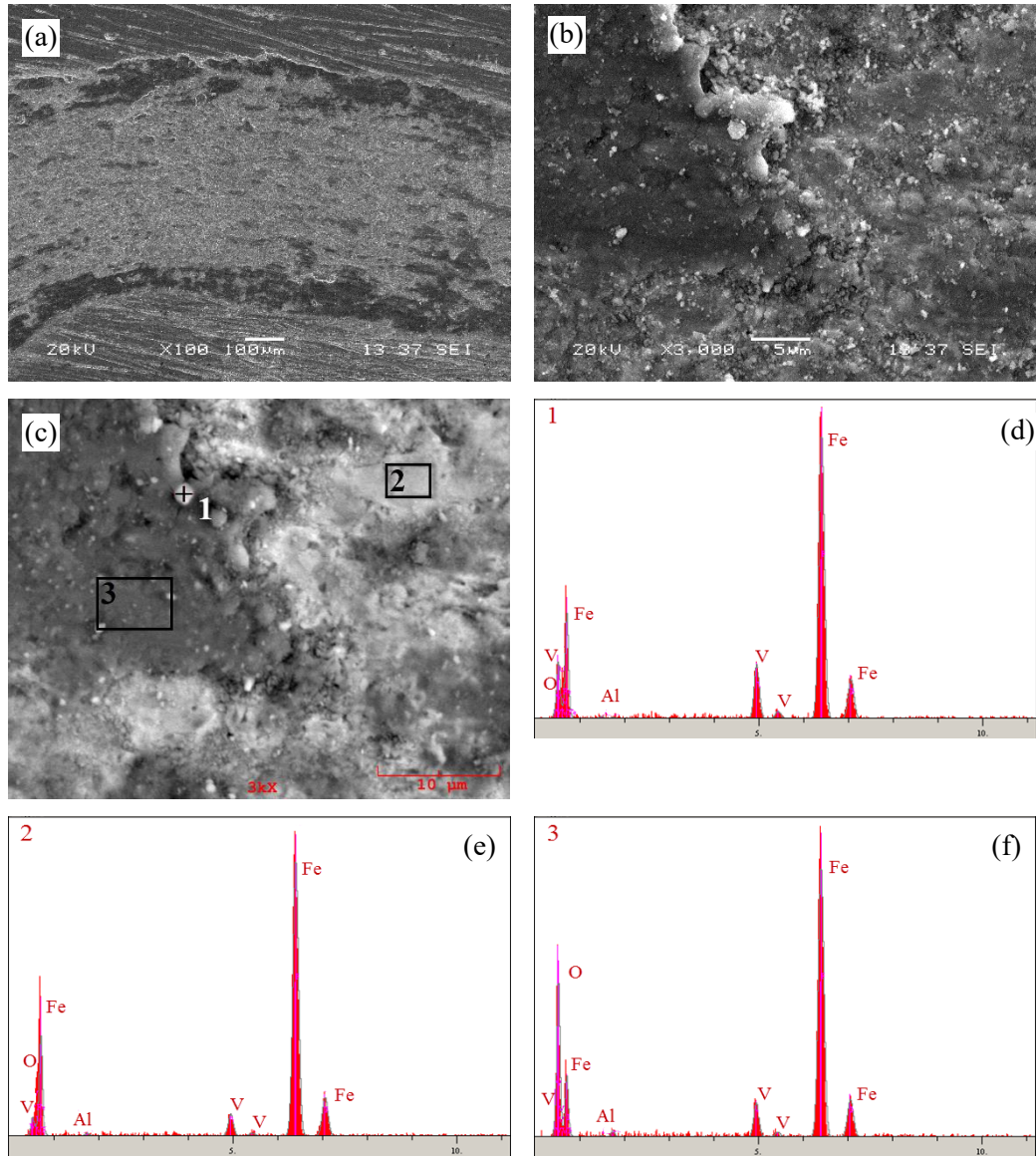
Şekil 5.62. 2,5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{12}\text{VB}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri



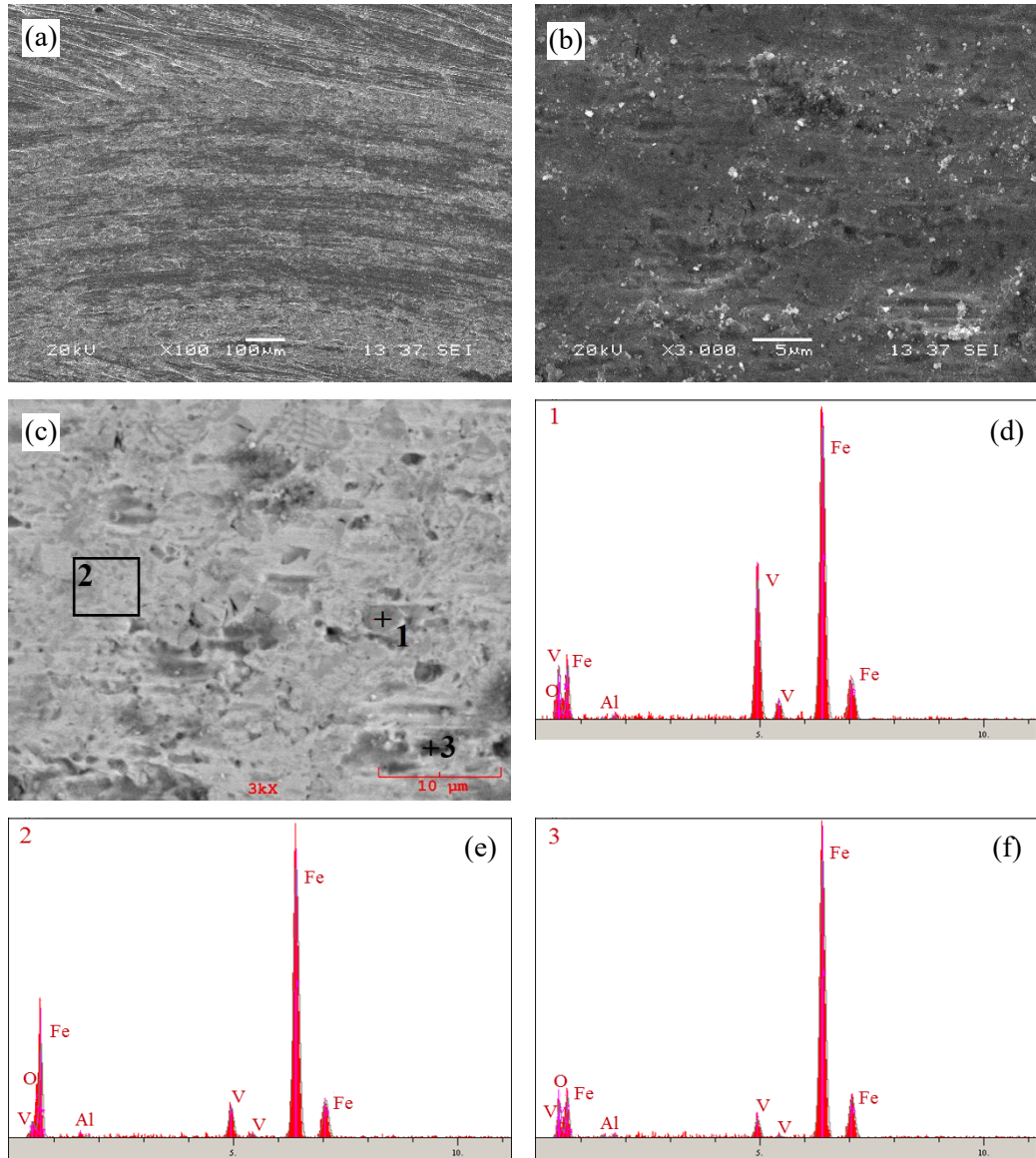
Şekil 5.63. 5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{12}\text{VB}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri



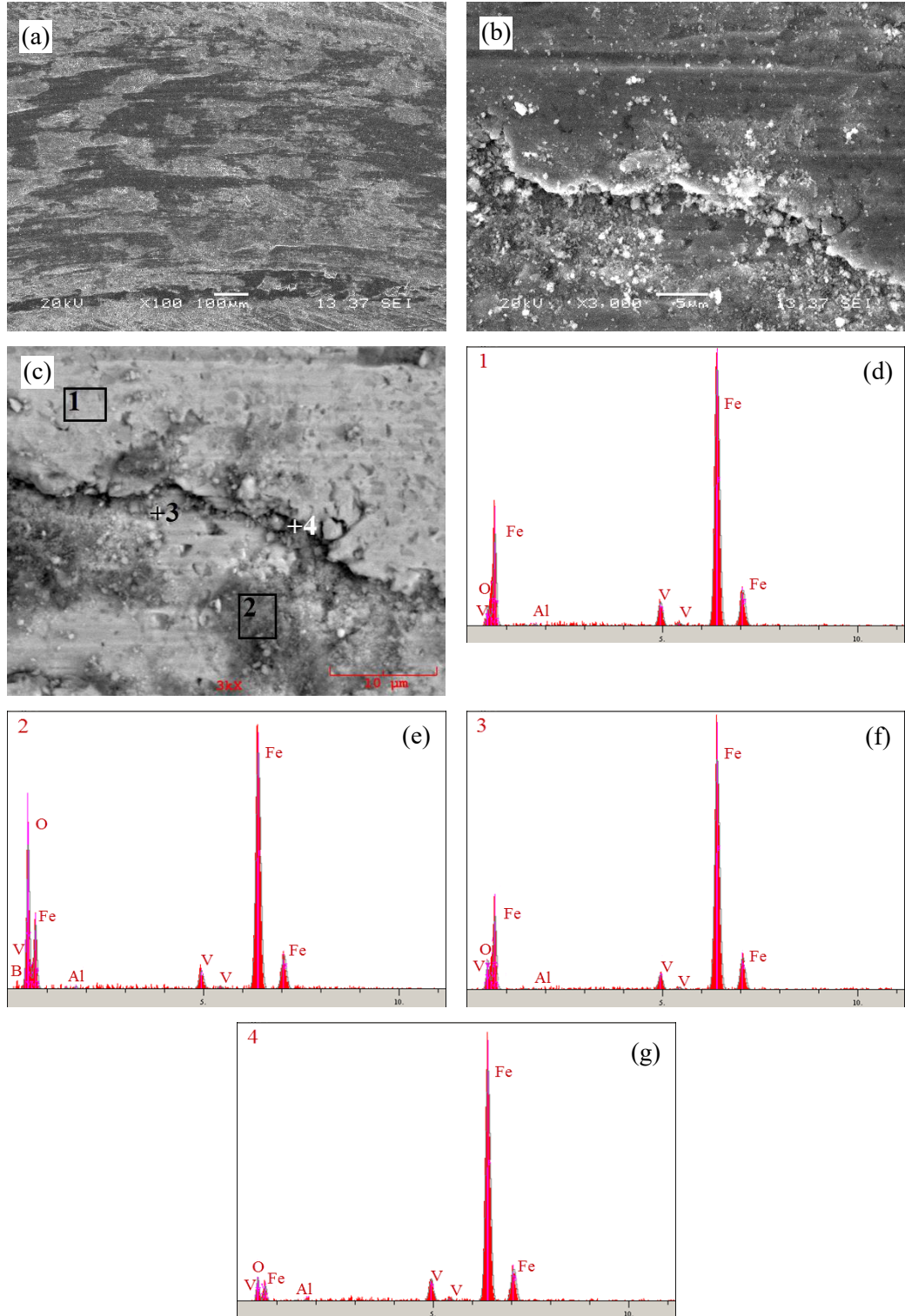
Şekil 5.64. 10N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{12}\text{VB}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri



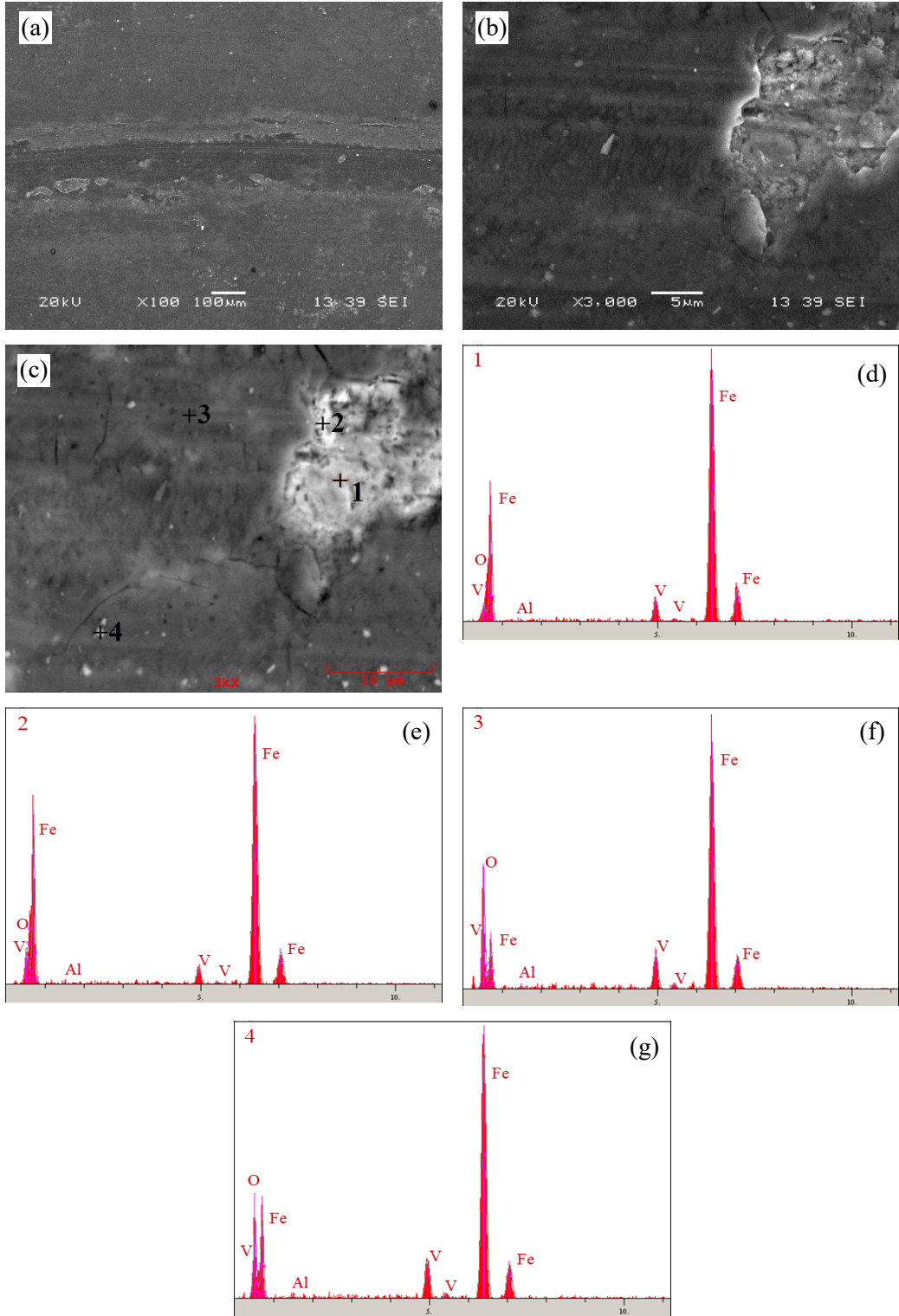
Şekil 5.65. 2,5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{11}\text{V}_2\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri



Şekil 5.66. 5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{11}\text{V}_2\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri

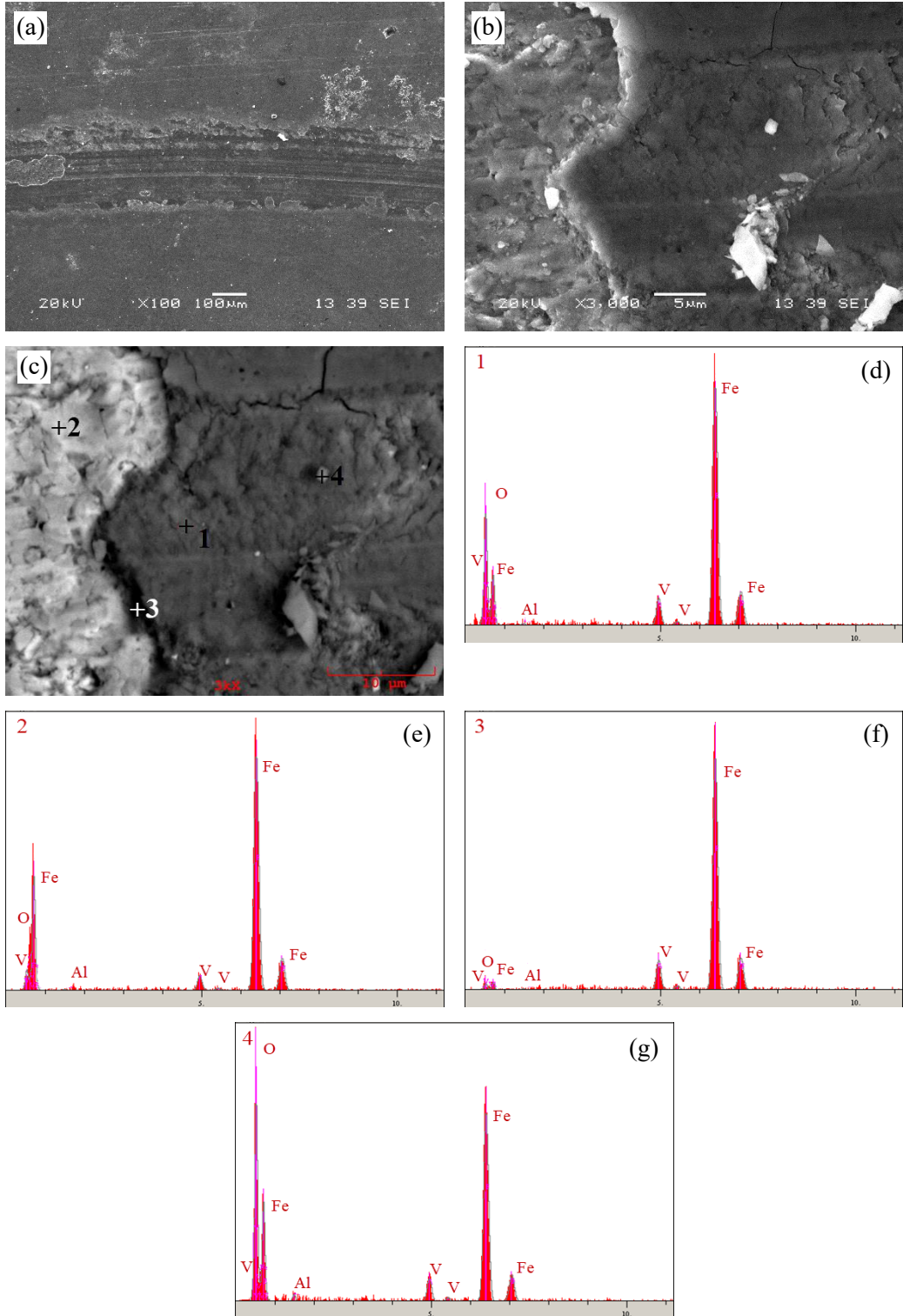


Şekil 5.67. 10N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{11}\text{V}_2\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri

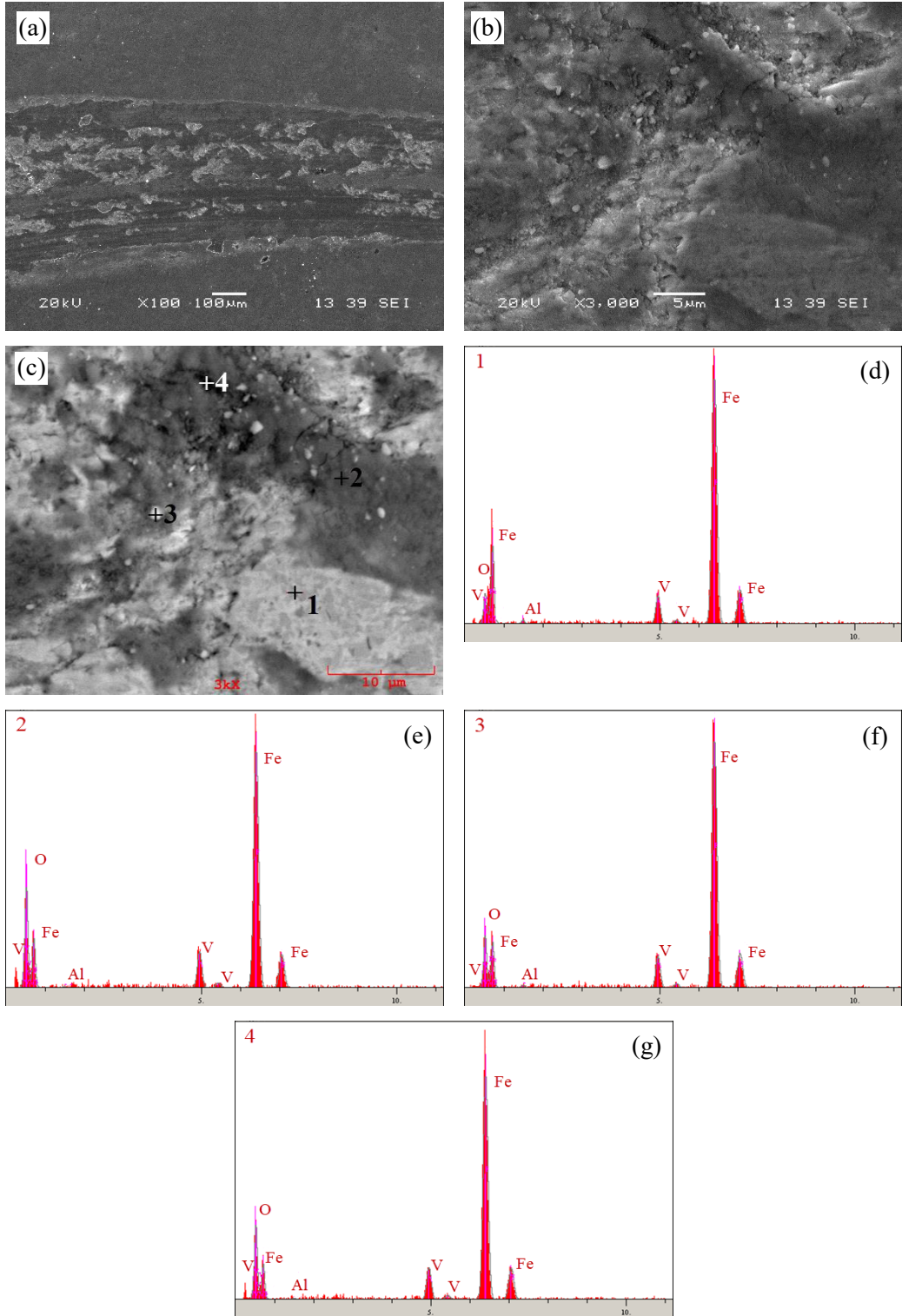


Şekil 5.68. 2,5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{10}\text{V}_3\text{B}_7$  sert yüzey alایشım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri

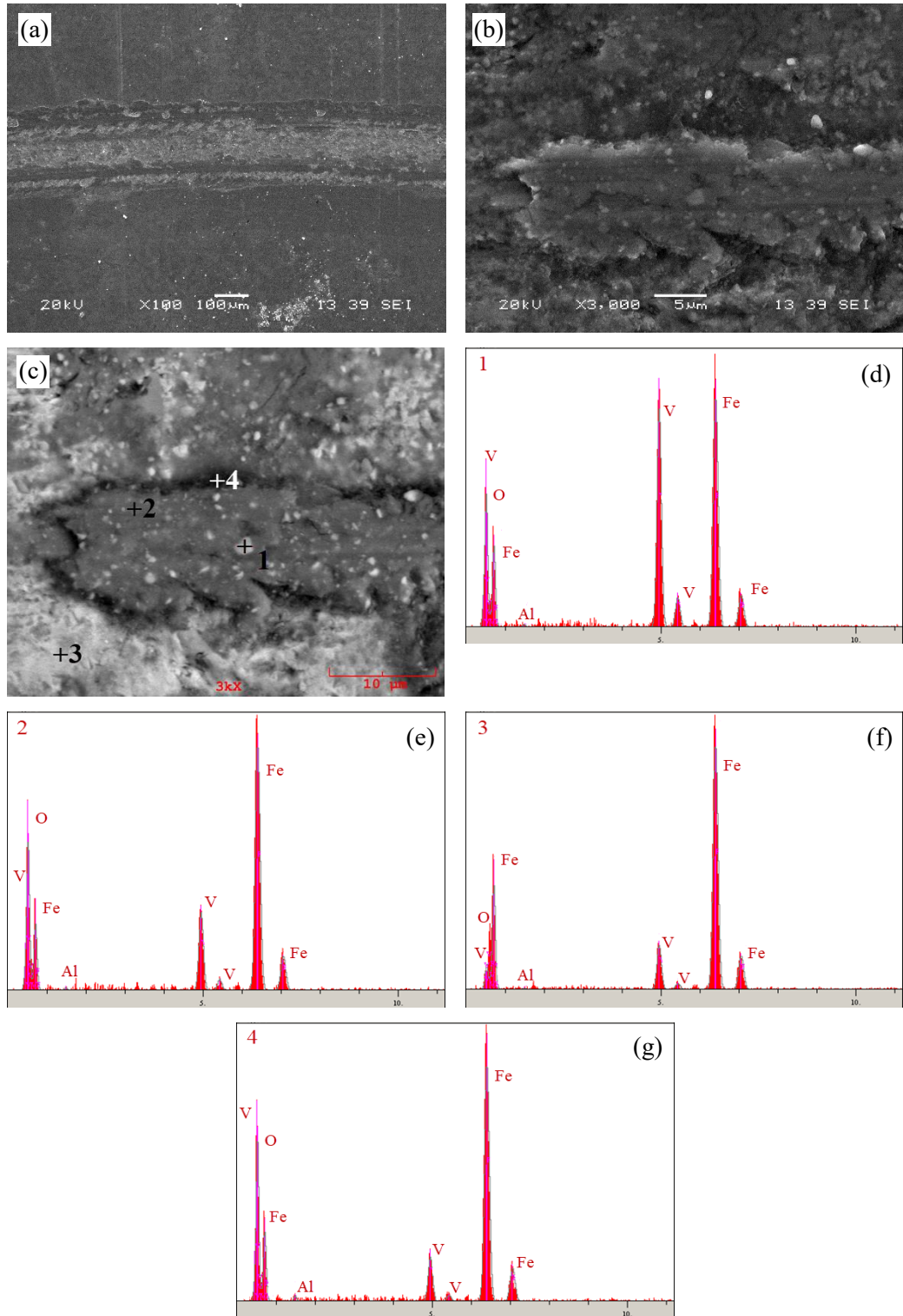




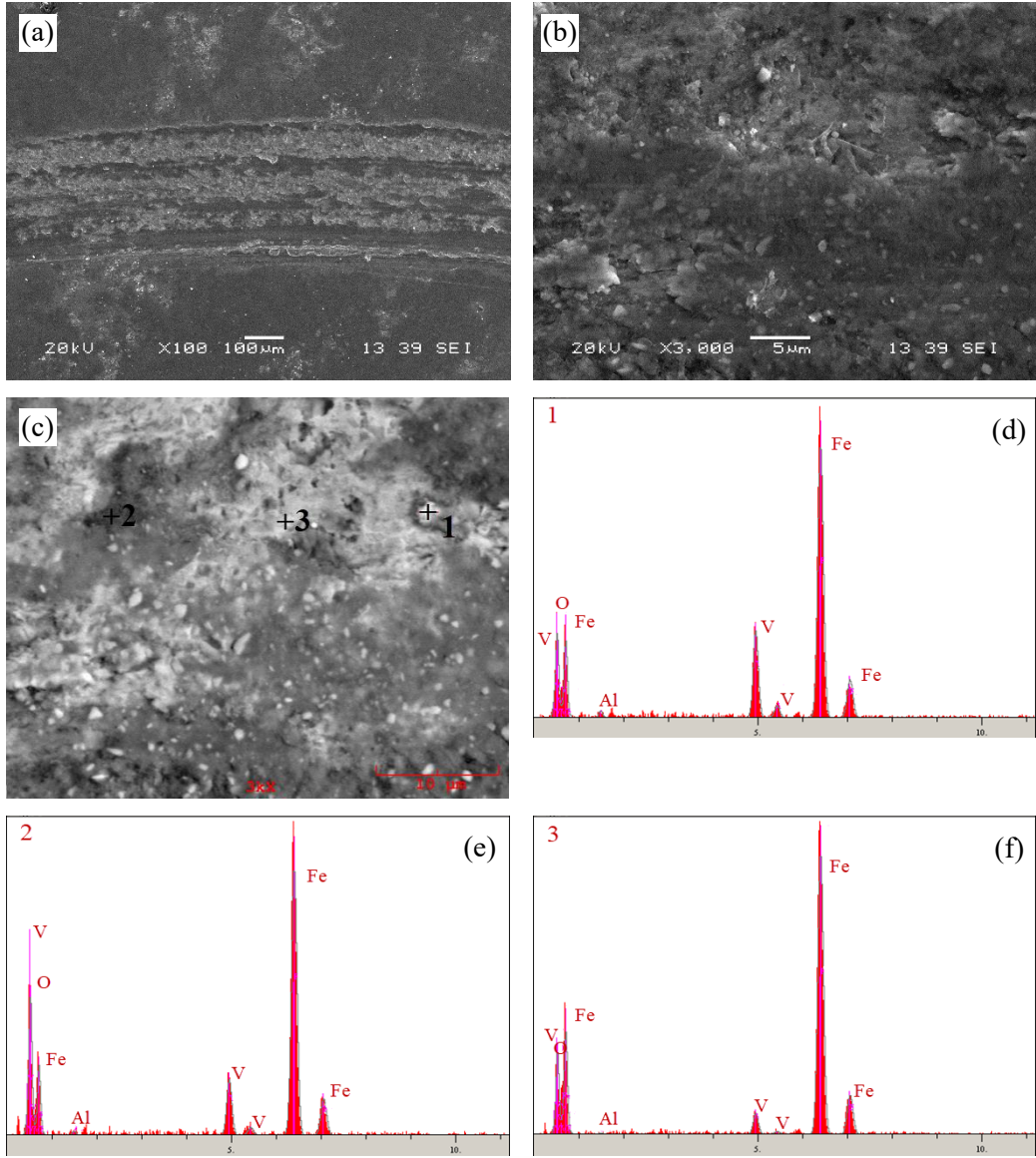
Şekil 5.69. 5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{10}\text{V}_3\text{B}_7$  sert yüzey alایش tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri



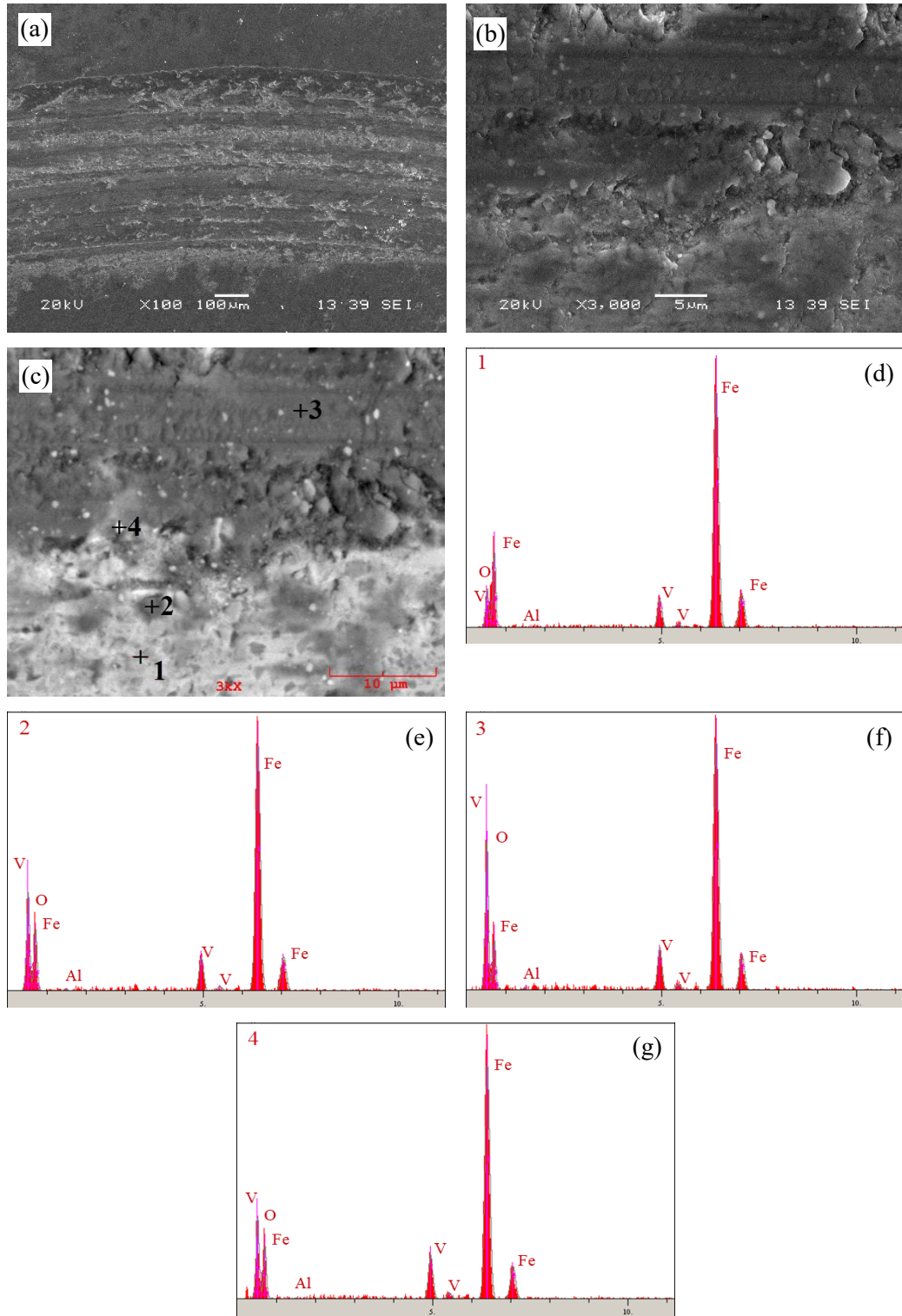
Şekil 5.70. 10N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{10}\text{V}_3\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri



Şekil 5.71. 2,5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_8\text{V}_5\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri



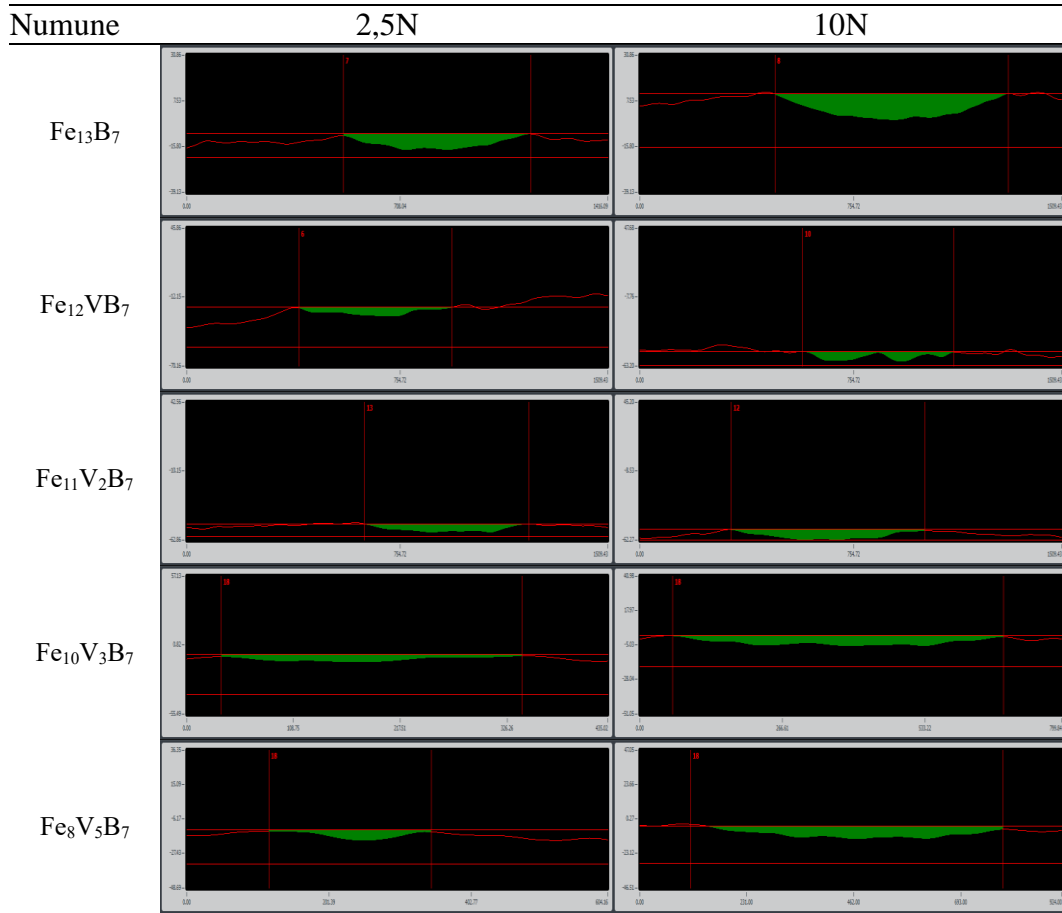
Şekil 5.72. 5N yük altında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye ile aşındırılmış Fe<sub>8</sub>V<sub>5</sub>B<sub>7</sub> sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri



Şekil 5.73. 10N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_8\text{V}_5\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri

### 5.4.2.3. Aşınma hızı

Çelik altlık yüzeyinde oluşan  $Fe_{13}B_7$  ve  $(Fe_{(13-x)}V_xB_7; x=1-5)$  esaslı sert yüzey alaşım tabakasının farklı yüklerde yapılan aşınma deneyi sonrası üç boyutlu optik mikroskop yardımıyla belirlenen aşınma profilleri Şekil 5.74.'te gösterilmektedir. Bu profiller yardımıyla aşınma hızı değerleri eşitlik 4.1. ve 4.2.'de verilen bağıntılar ile belirlenmiştir.



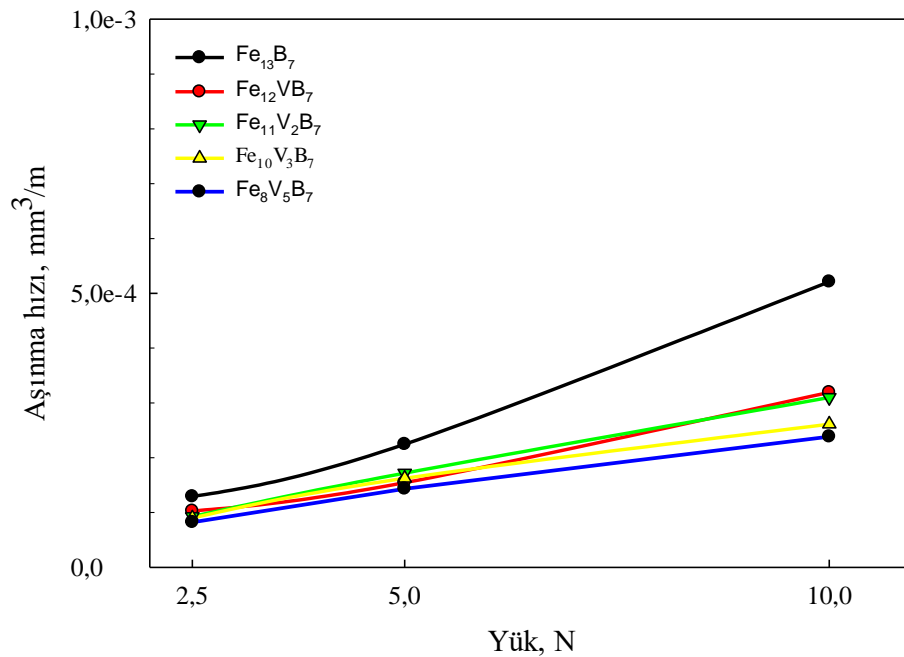
Şekil 5.74. Fe-B ve Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasının yük ve bileşim değişimine bağlı olarak elde edilen aşınma profilleri

Tablo 5.7. ile Şekil 5.75.'te Fe-B ve Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızlarının uygulanan yüke bağlı olarak değişimi verilmiştir. Verilen tablo ve grafik incelendiğinde, Archard eşitliğinde [129] gösterildiği gibi uygulanan yük değerinin artışı ile aşınma hızı değerinin arttığı görülmekte olup; ilave edilen V miktarı arttıkça Buytoz ve Eren'in [130] çalışmasında belirtildiği gibi sert takviye malzemesinin miktarı artmış ve buna bağlı olarak uygulanan tüm yükler için aşınma

hızlarının düştüğü görülmüştür. Yükteki % 100'lük bir artış (2,5N dan 5N'a) Fe-B esaslı sert yüzey alایش için % 73,8 oranında bir aşınma hızında artışa sebep olurken; yükteki artış % 300 (2,5N dan 10N'a) olduğu zaman aşınma hızındaki artış % 303,4 oranında gerçekleşmektedir. Bu değer % 5, 10, 15 ve 25 V katkılı numuneler için sırasıyla; % 50-210,1; % 85,7-234,6; % 80,5-190,2 ve % 74,3-190 oranlarında artışa sebep olmuştur. Değer artışları genel olarak birbirine yakın gerçekleşmektedir. Grafikten de görüldüğü üzere, V miktarının artışı belirgin bir şekilde % 54,3 oranına kadar düşüslere sebep olmuştur.

Tablo 5.7. Fe-B ve Fe-V-B esaslı sert yüzey alایش tabakalarına ait aşınma hızlarının uygulanan yüke bağıli olarak değışimi

Numune	Aşınma hızı ( $\text{mm}^3/\text{m}$ ) $\times 10^{-5}$		
	Yük (N)		
	2,5	5	10
Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub>	25,84	44,9	104,2
Fe <sub>12</sub> VB <sub>7</sub>	20,58	30,88	63,83
Fe <sub>11</sub> V <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	18,51	34,38	61,93
Fe <sub>10</sub> V <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	18	32,49	52,24
Fe <sub>8</sub> V <sub>5</sub> B <sub>7</sub>	16,44	28,66	47,67



Şekil 5.75. Fe-B ve Fe-V-B esaslı sert yüzey alایش tabakalarına ait aşınma hızlarının yüke bağıli olarak değışimi

### 5.4.3. Fe-B ve Fe-Ti-B esaslı malzemeler

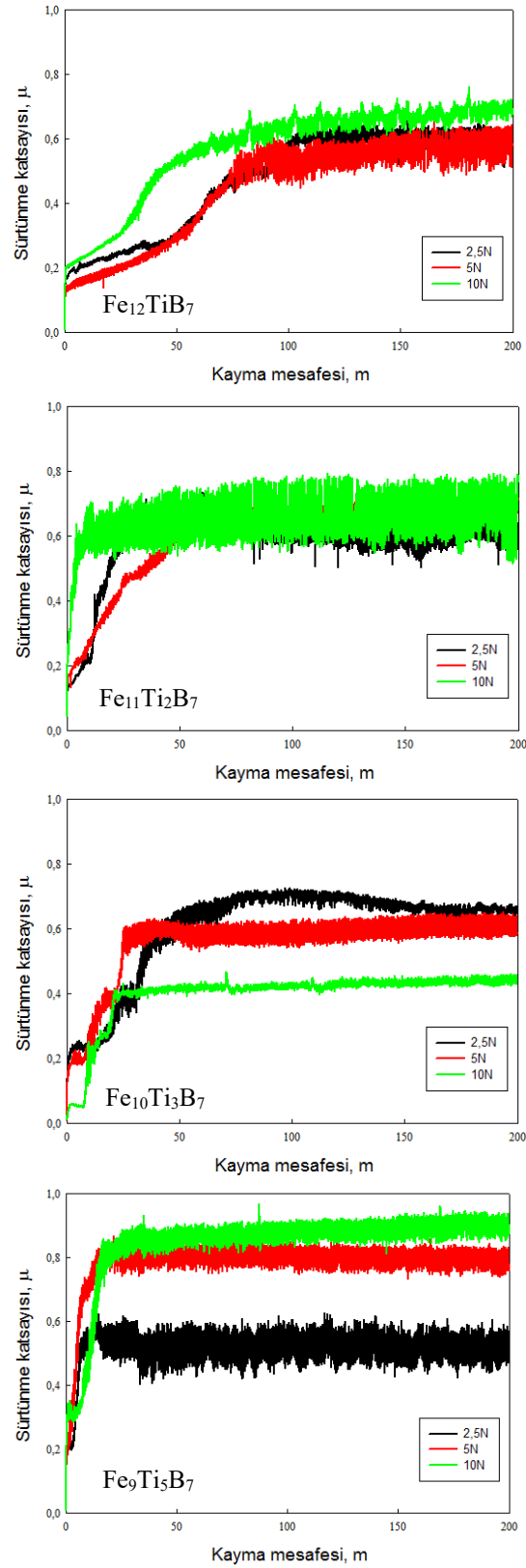
#### 5.4.3.1. Sürtünme katsayısı

Yüzeyine Fe-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlama yapılan çeliklerin aşınma yüküne bağlı olarak kayma mesafesine göre yanal kuvvetlerden faydalanılarak belirlenen sürtünme katsayısı değişimleri Şekil 5.36 ve 5.76’da verilmektedir. Aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı değerleri Tablo 5.8.’de verilmektedir. Bu sonuçlara göre Fe-B esaslı sert yüzey alaşım tabakası için ölçülen sürtünme katsayısı değerleri 0,660-0,771 arasında değişirken, Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakası için ölçülen sürtünme katsayısı değerleri 0,521-0,874 arasında değişmektedir. Bu sonuçlardan sürtünme katsayısı değerlerinin  $Fe_{13}B_7$  bileşimi için yüke bağlı olarak düştüğü; Fe-Ti-B esaslı yüzey alaşım tabakalarının sürtünme katsayısı değerlerinin ise yük ve Ti oranının artışına bağlı olarak az da olsa etkilendiği görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi alaşım tabakasının kompozit karakter ( $\alpha$ -Fe matris, borürler;  $Fe_2B$ ,  $TiB_2$  ve  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$  ötektik yapı) sergilemesi nedeniyle aşınma sırasında yük ve Ti oranına bağlı olarak sürtünme katsayısında değişikliklere sebep olmaktadır. Ayrıca aşınma karakterinin de (abrazif ve oksidatif) sürtünme katsayısındaki değişikliklere sebep olduğu düşünülmektedir.

Tablo 5.8. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının sürtünme katsayısı değerleri

Numune	Uygulanan Yük (N)		
	2,5	5	10
$Fe_{13}B_7$	0,771±0,048	0,727±0,013	0,660±0,039
$Fe_{12}TiB_7$	0,580±0,006	0,551±0,035	0,625±0,071
$Fe_{11}Ti_2B_7$	0,623±0,044	0,681±0,038	0,673±0,096
$Fe_{10}Ti_3B_7$	0,607±0,070	0,525±0,004	0,576±0,024
$Fe_8Ti_5B_7$	0,521±0,004	0,785±0,025	0,874±0,030

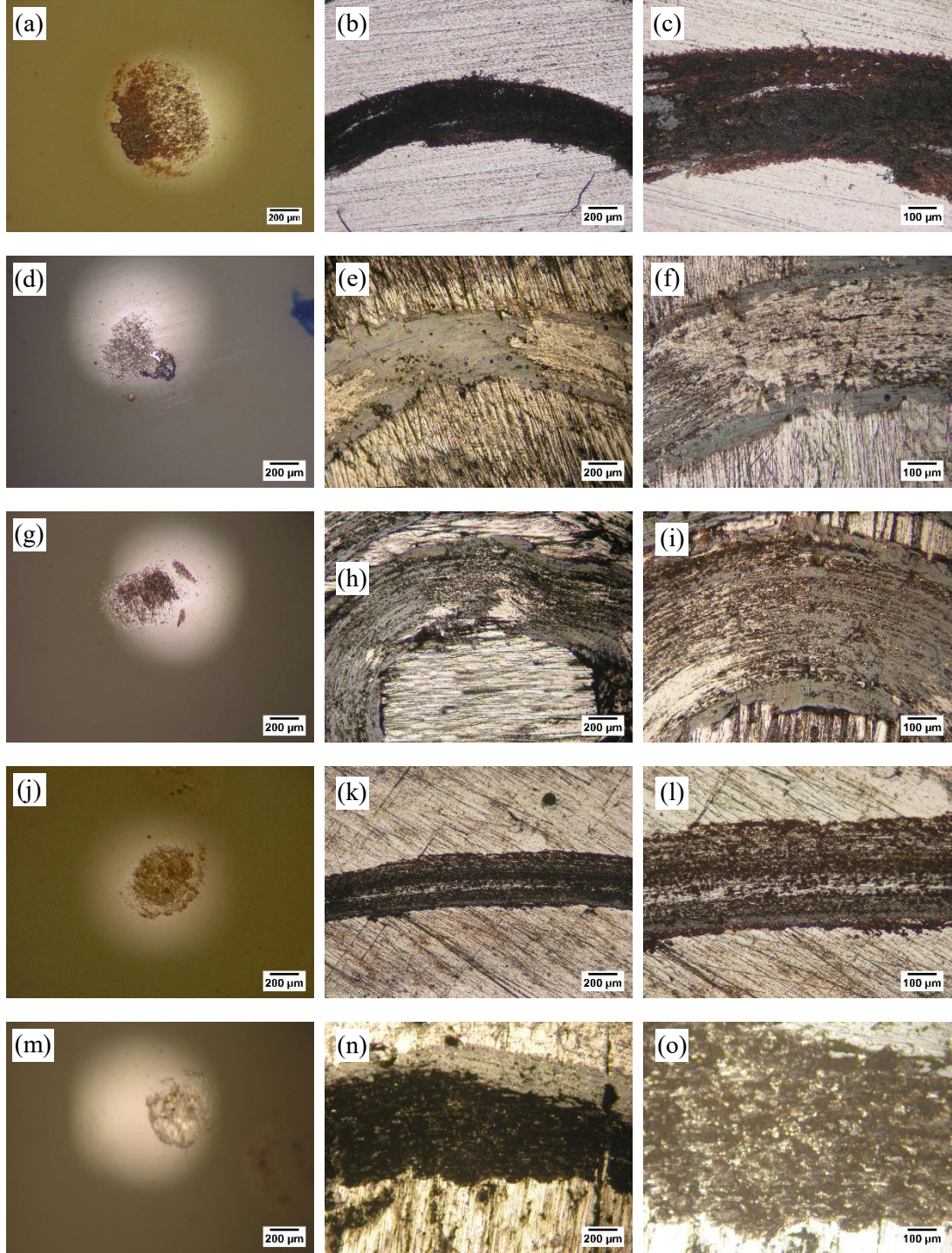




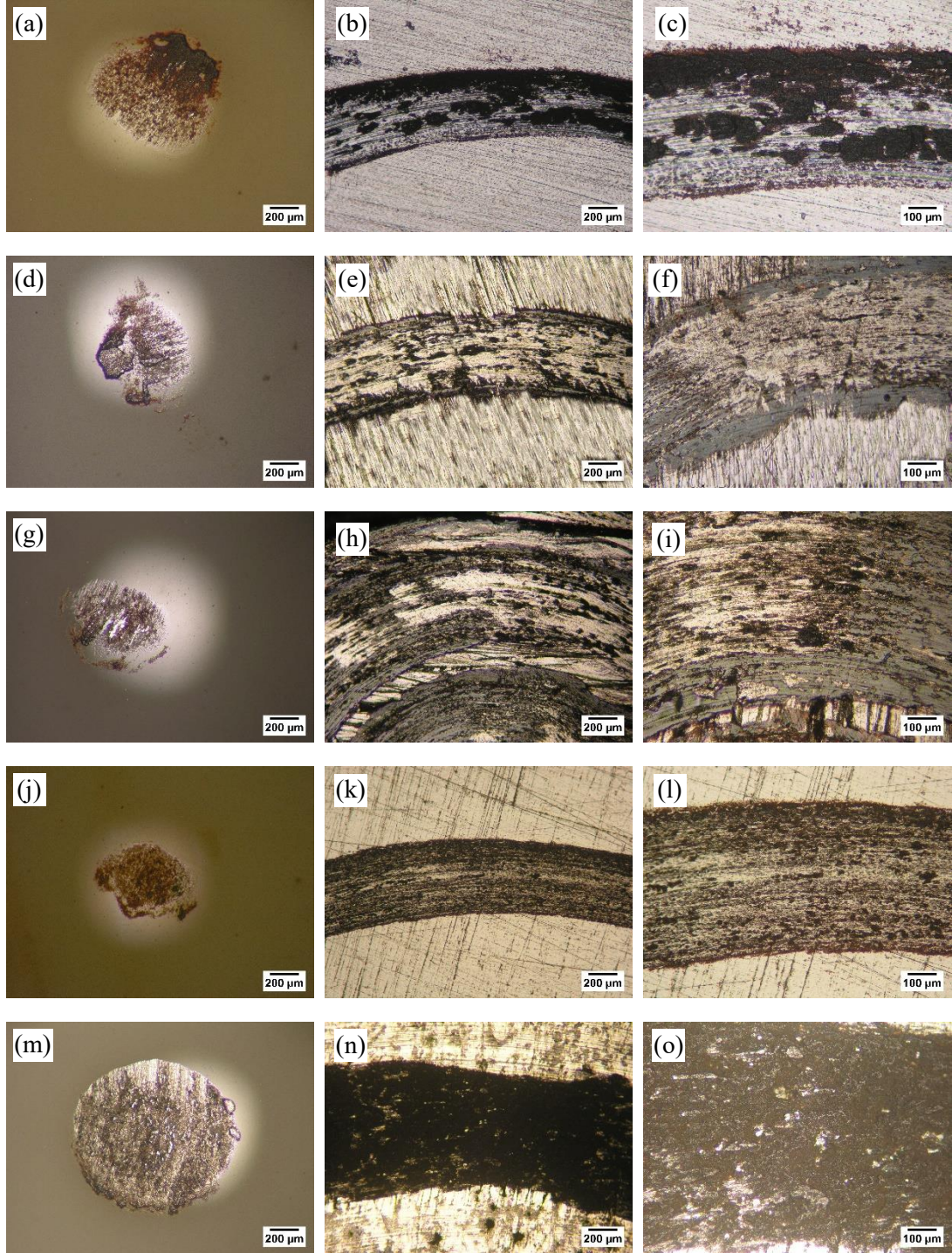
Şekil 5.76. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alایش tabakalarına ait sürtünme katsayılarının kayma mesafesine bağı olarak değışimi

### 5.4.3.2. Aşınma izleri

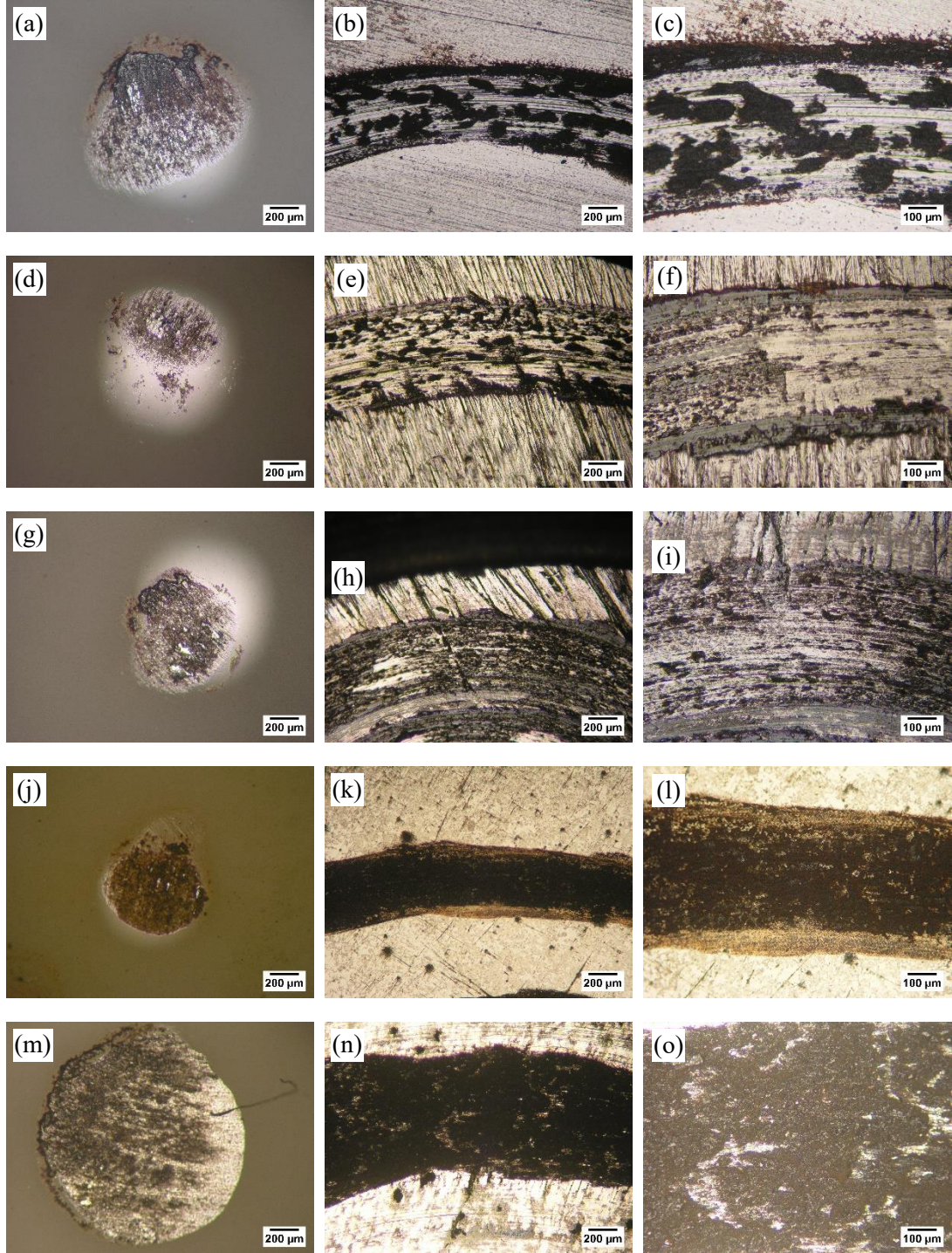
Şekil 5.77.-5.79.'da, aşınma deneyleri sonrasında Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarında ve bilyelerde oluşan aşınma izleri gösterilmektedir. Alaşım tabakalarına ait mikroyapı resimlerinden artan yüke bağlı olarak iz genişliklerinin arttığı tespit edilmektedir. Şekil 5.80.-5.91.'de, sert yüzey alaşım tabakasında oluşan aşınma izlerinin SEM görüntüleri ve EDS analizleri verilmektedir. Aşınma izlerinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, yine önceki alaşım tabakalarında görülen abrazyon çizgileri ve sıvanma tespit edilmektedir. EDS analizleri, sonucunda oksijenin varlığı görülmekle birlikte aşınmanın abrazyon-oksidatif karakterde olduğu belirlenmiştir. Yine, Ti oranının artması ile birlikte mikroyapıda borür fazları ( $Fe_2B$ ,  $TiB_2$ ) artmakta ve buna bağlı olarak aşınma iz genişliklerinin azaldığı görülmektedir. SEM görüntüleri, Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarında Ti oranının artmasıyla birlikte abrazyon aşınmanın azaldığını göstermektedir.



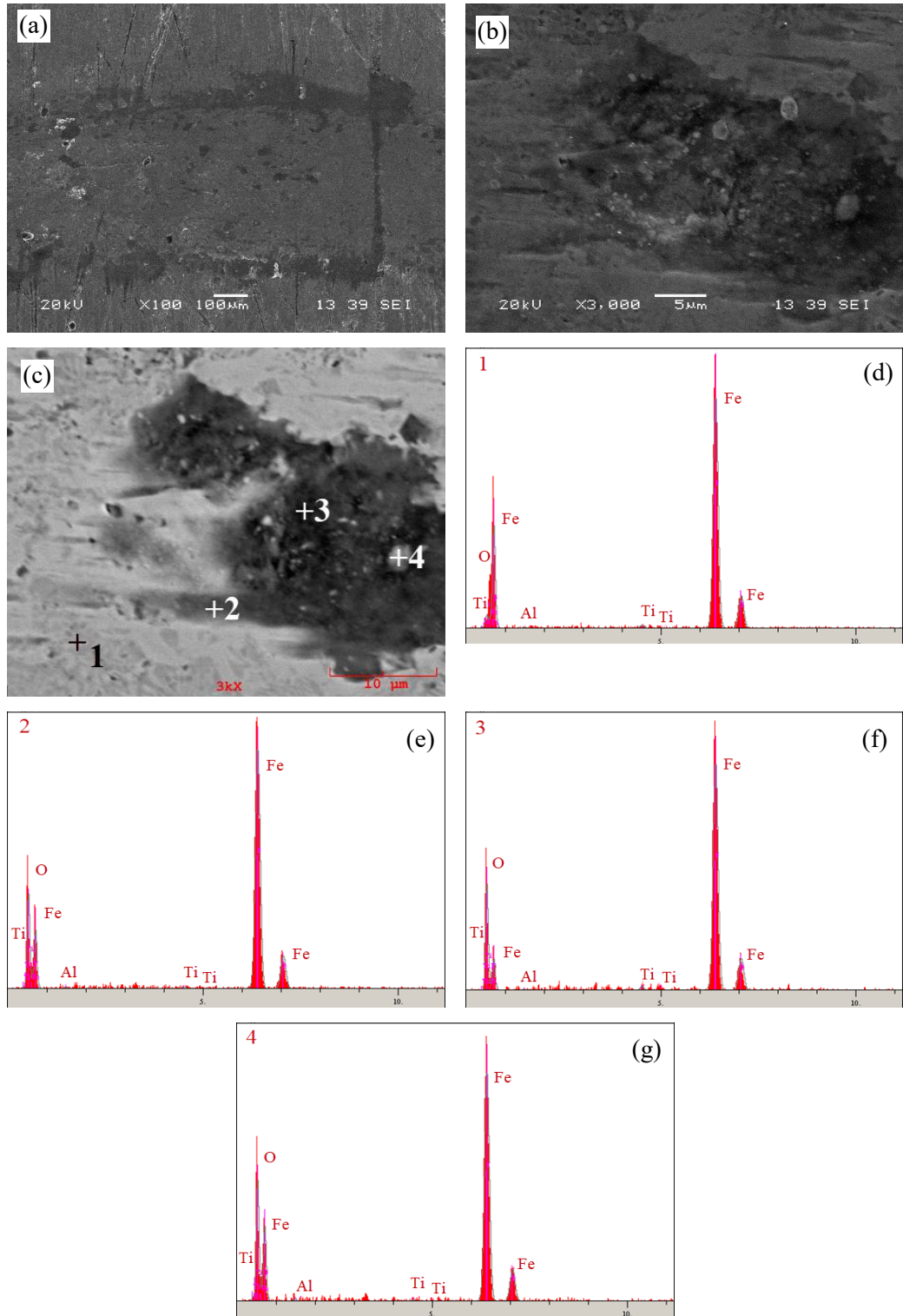
Şekil 5.77. 2,5N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}TiB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}Ti_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}Ti_3B_7$ ; (m-o)  $Fe_8Ti_5B_7$



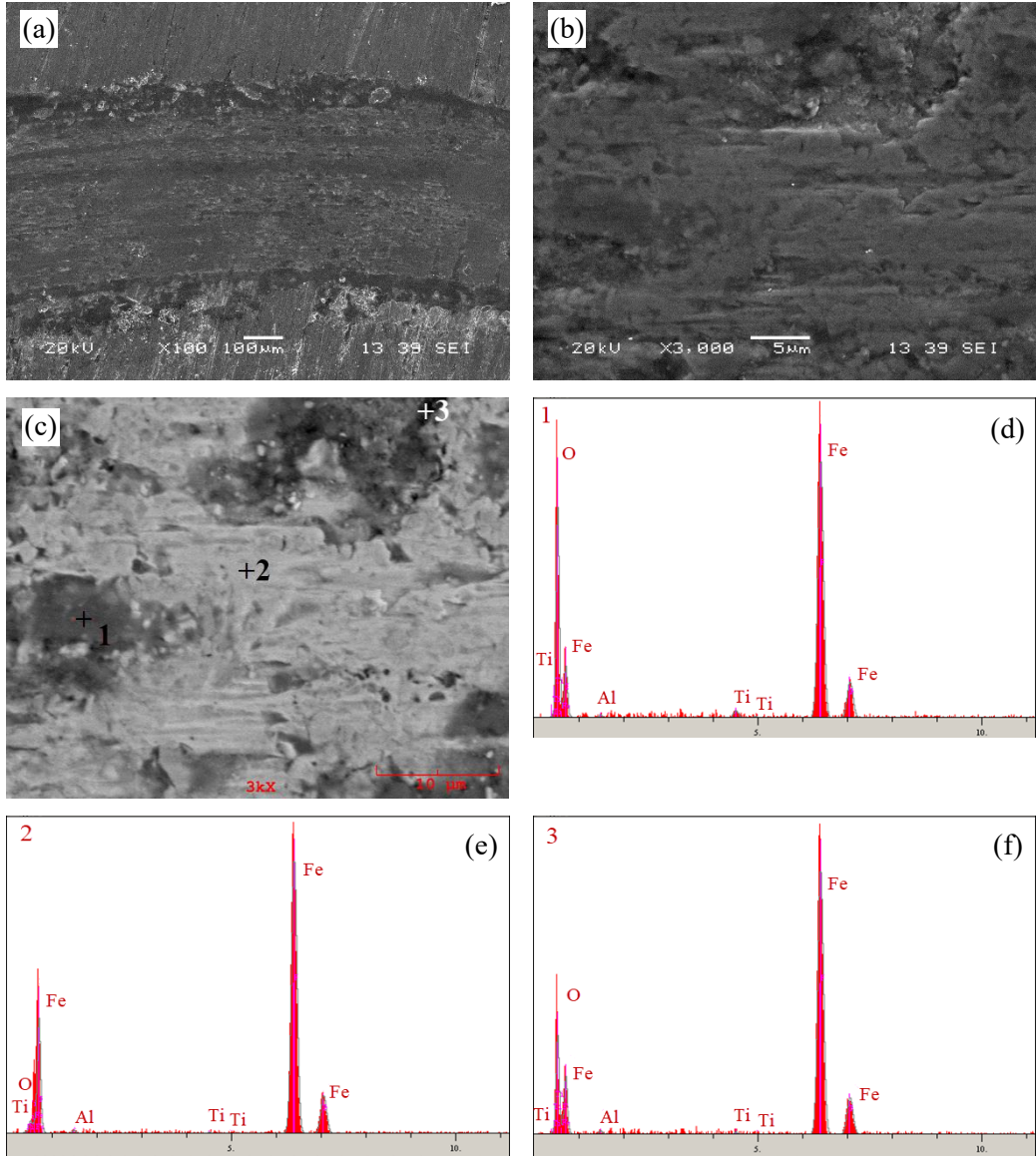
Şekil 5.78. 5N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}TiB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}Ti_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}Ti_3B_7$ ; (m-o)  $Fe_8Ti_5B_7$



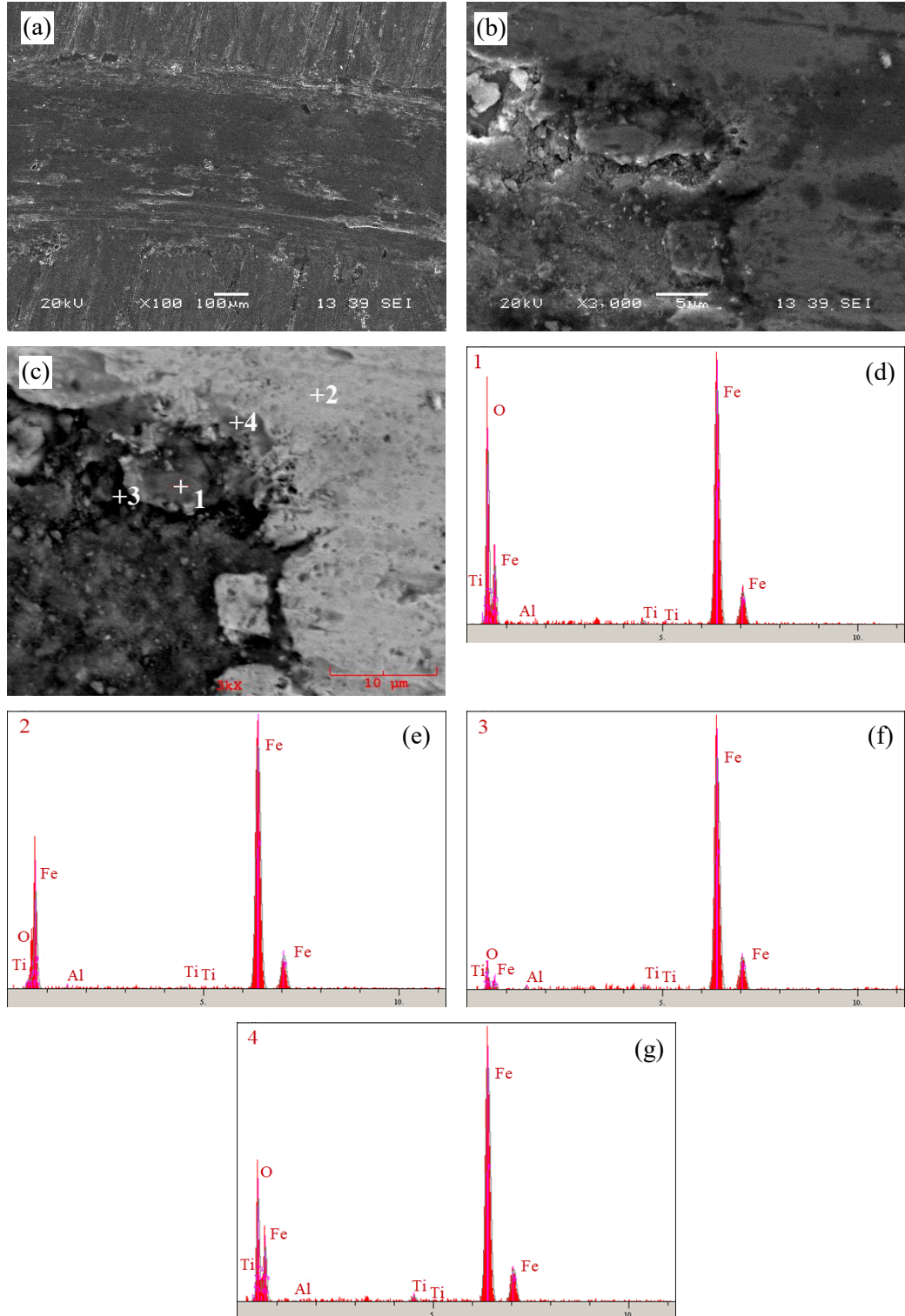
Şekil 5.79. 10N yük altında aşınma deneyi sonucunda Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının optik mikroyapı görüntüleri (a-c)  $Fe_{13}B_7$ ; (d-f)  $Fe_{12}TiB_7$ ; (g-i)  $Fe_{11}Ti_2B_7$ ; (j-l)  $Fe_{10}Ti_3B_7$ ; (m-o)  $Fe_8Ti_5B_7$



Şekil 5.80. 2,5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{12}\text{TiB}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri

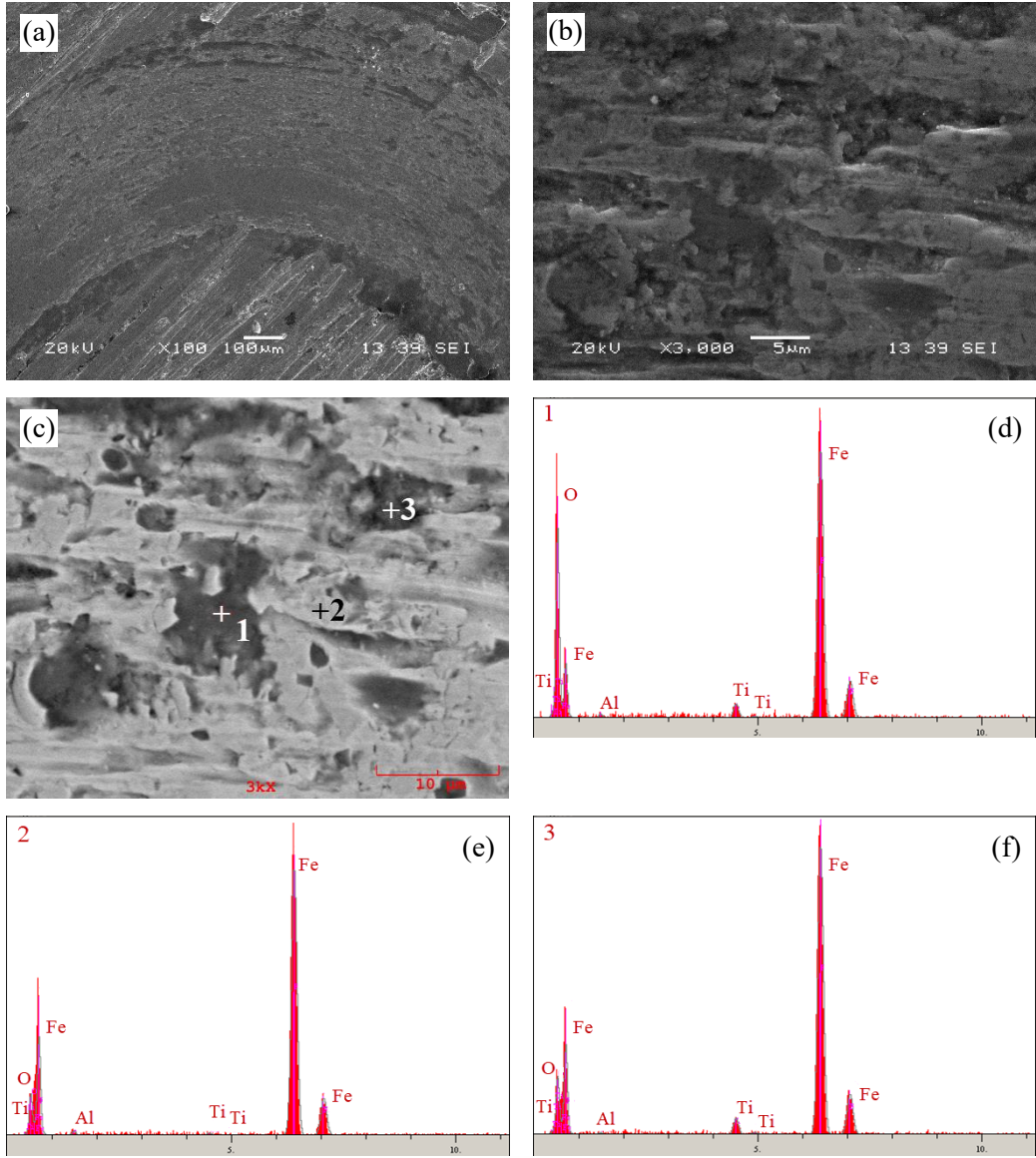


Şekil 5.81. 5N yük altında  $Al_2O_3$  bilye ile aşındırılmış  $Fe_{12}TiB_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri

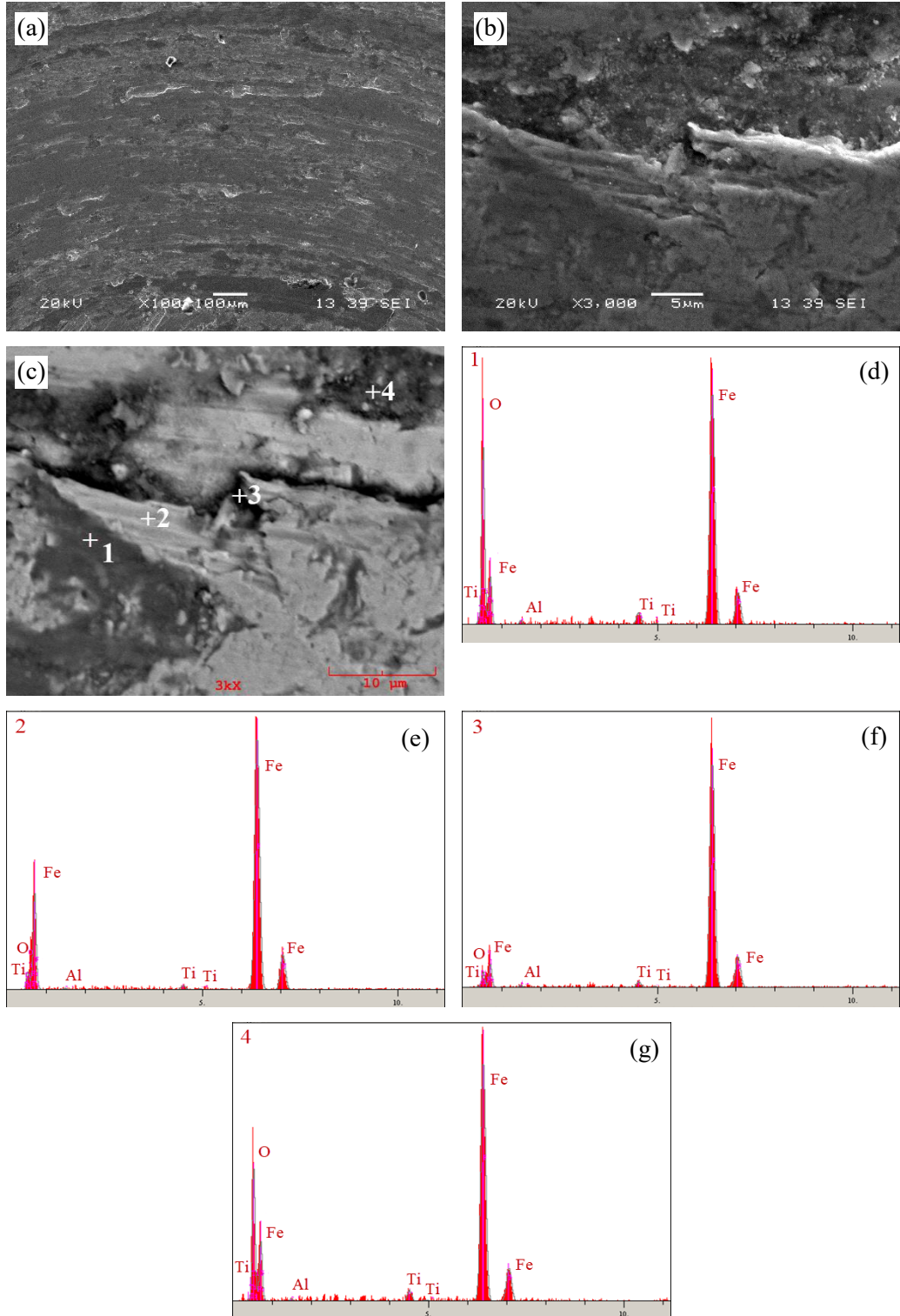


Şekil 5.82. 10N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{12}\text{TiB}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri

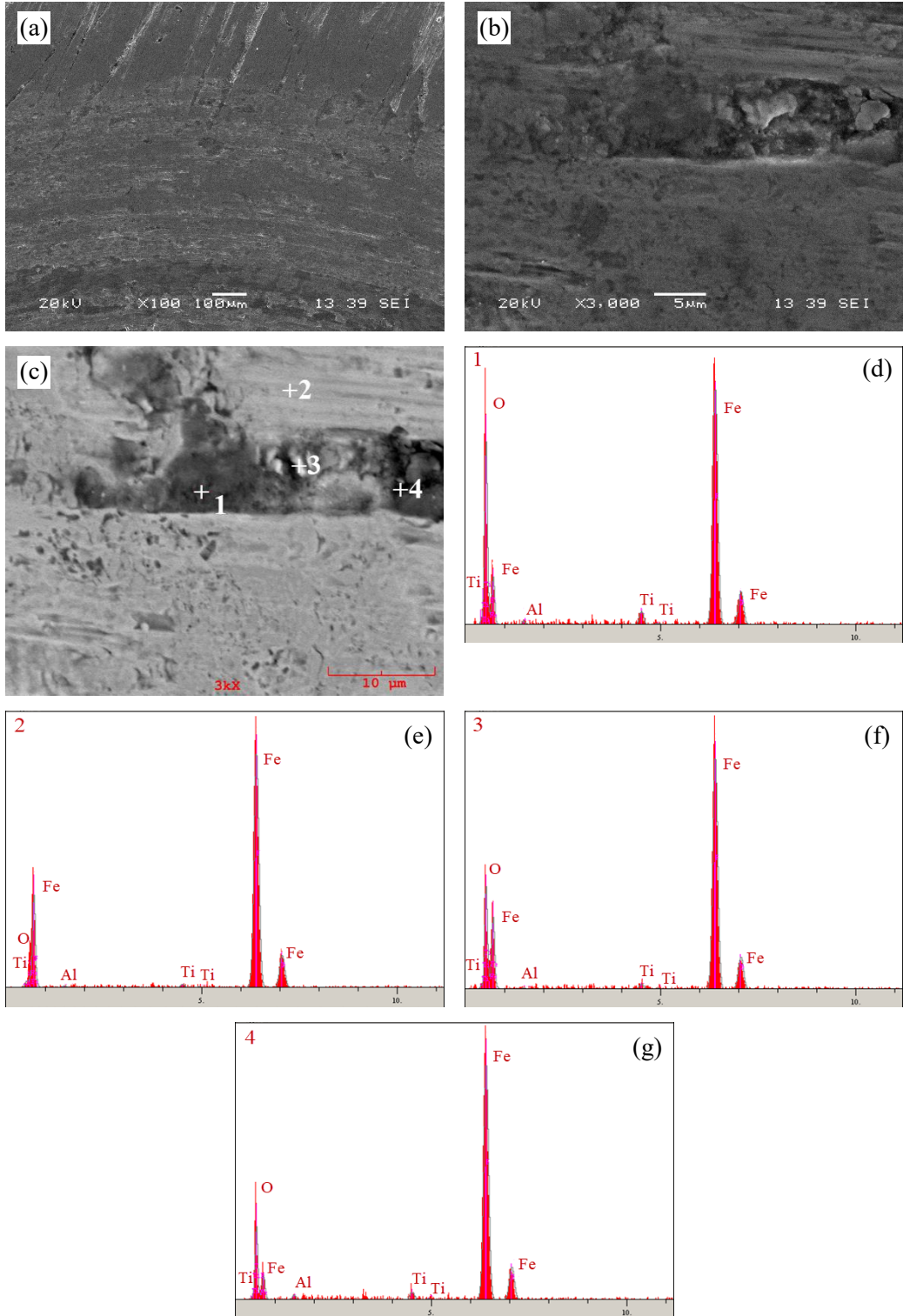




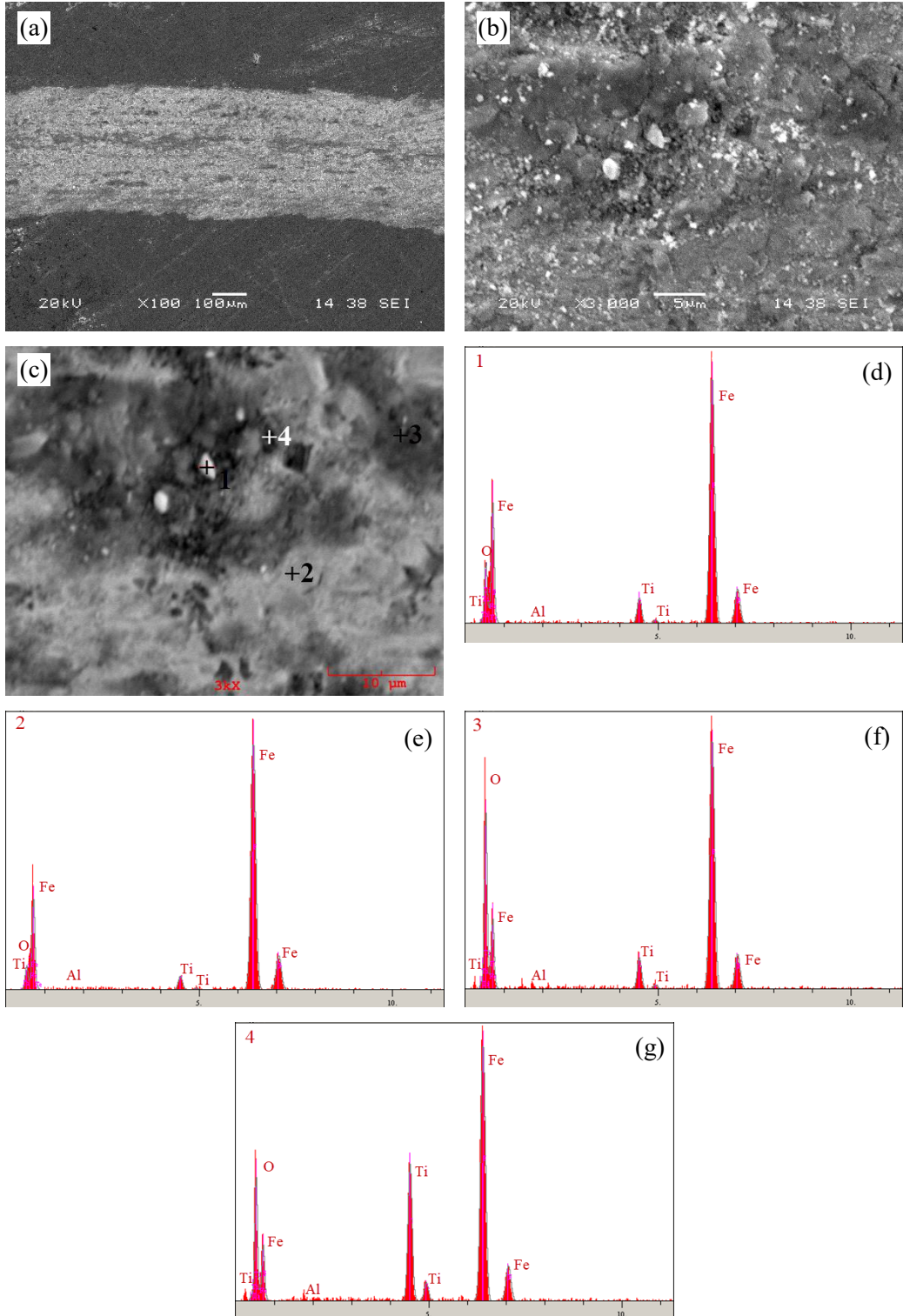
Şekil 5.83. 2,5N yük altında  $Al_2O_3$  bilye ile aşındırılmış  $Fe_{11}Ti_2B_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri



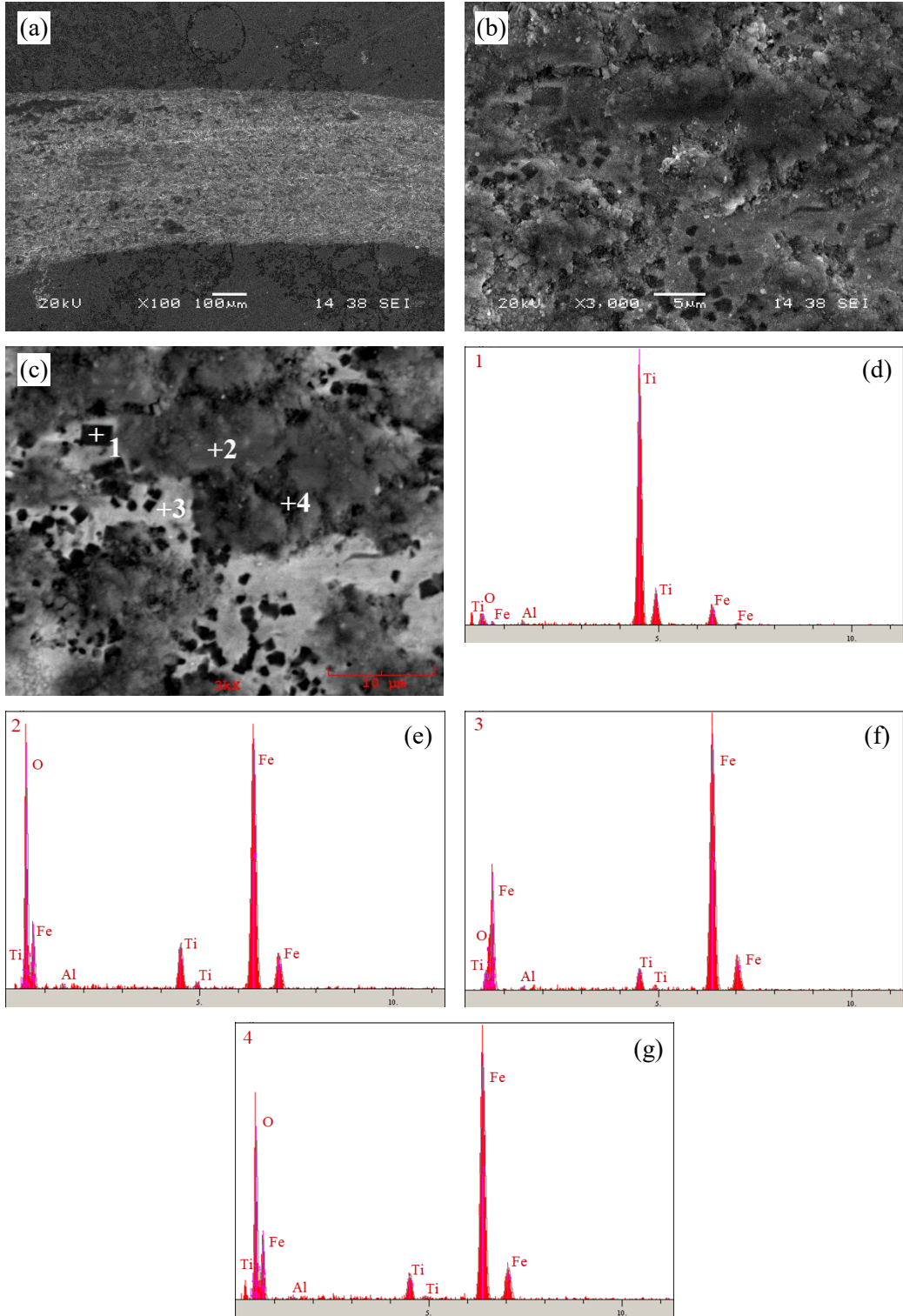
Şekil 5.84. 5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{11}\text{Ti}_2\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri



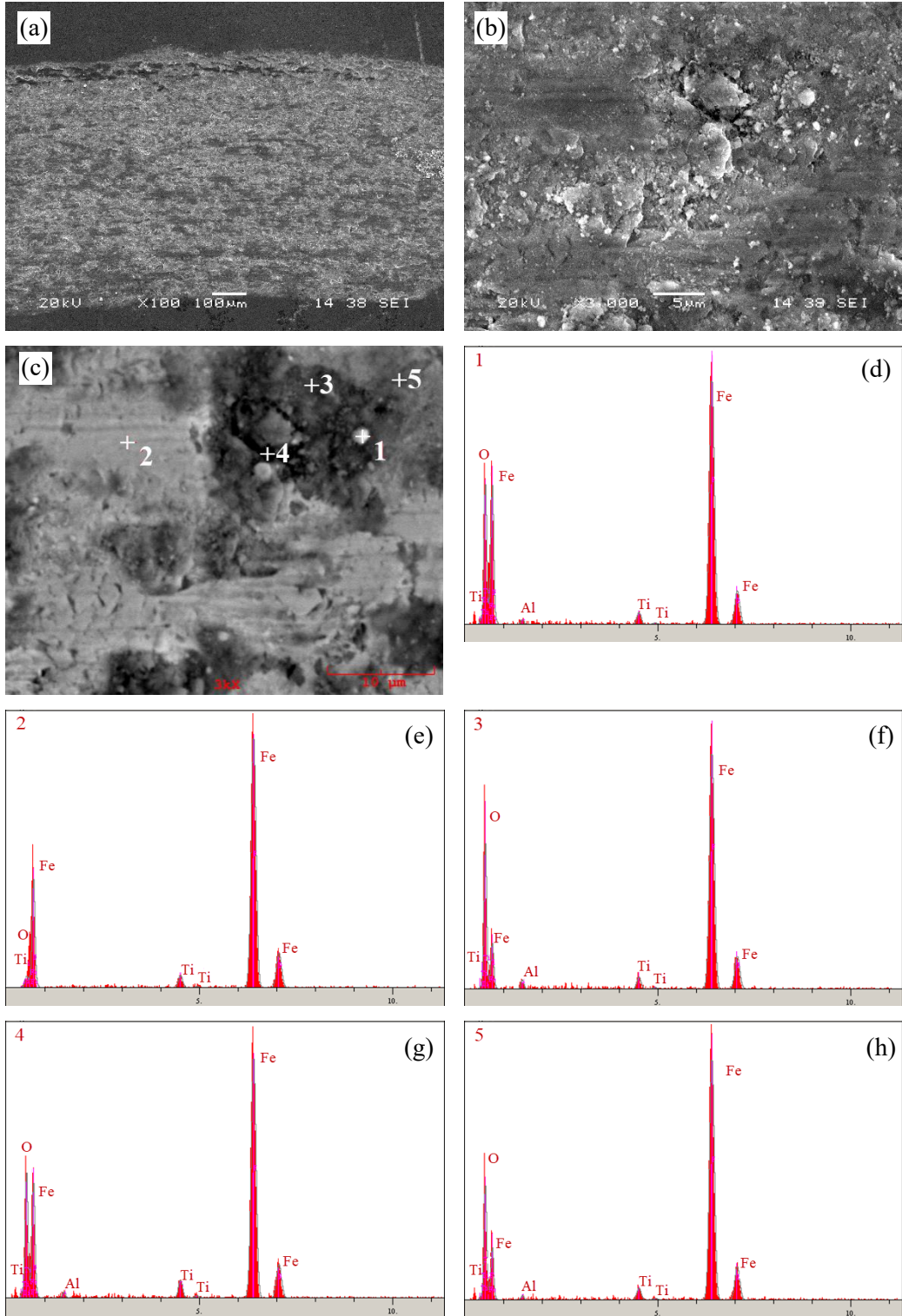
Şekil 5.85. 10N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{11}\text{Ti}_2\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri



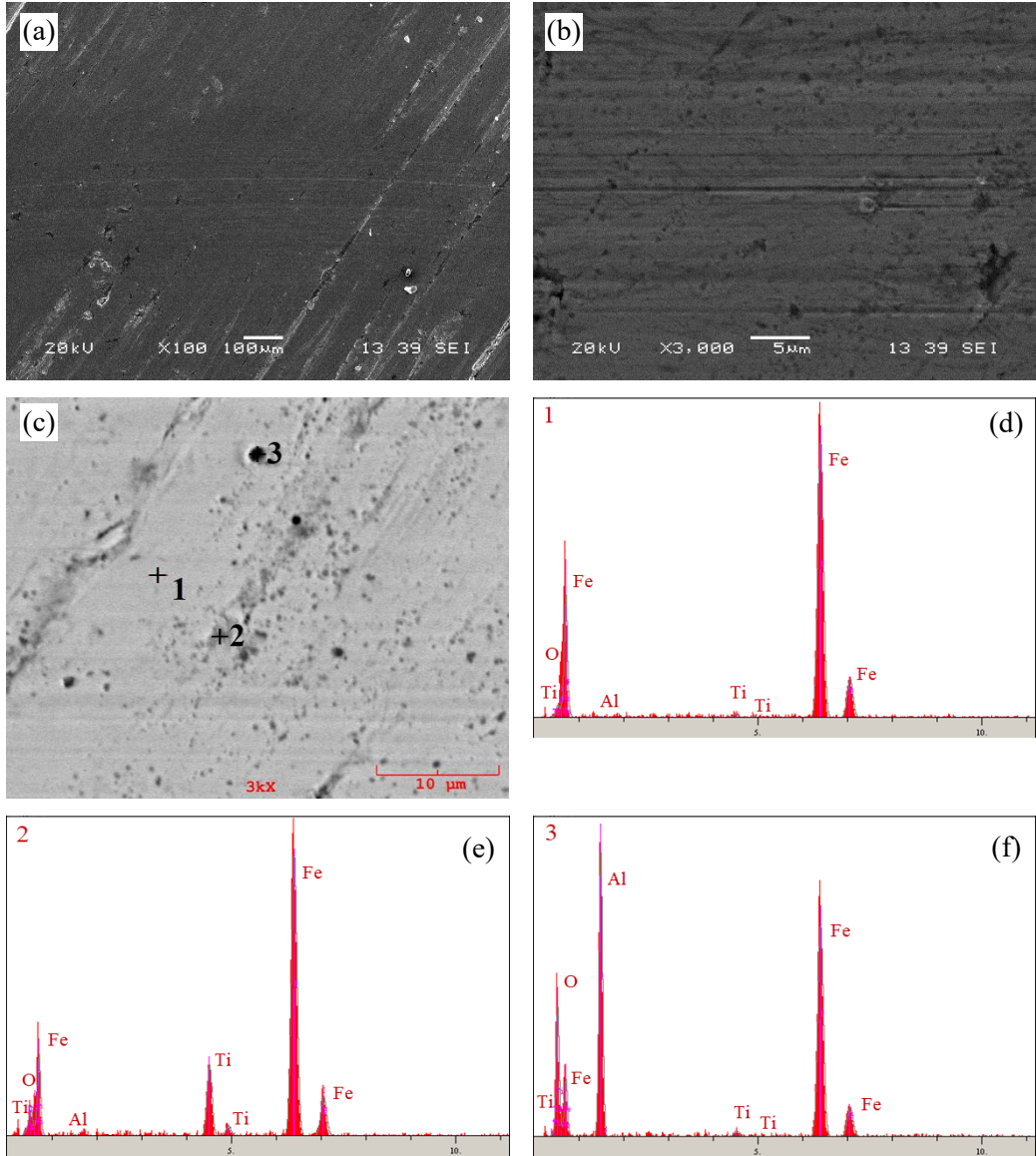
Şekil 5.86. 2,5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{10}\text{Ti}_3\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri



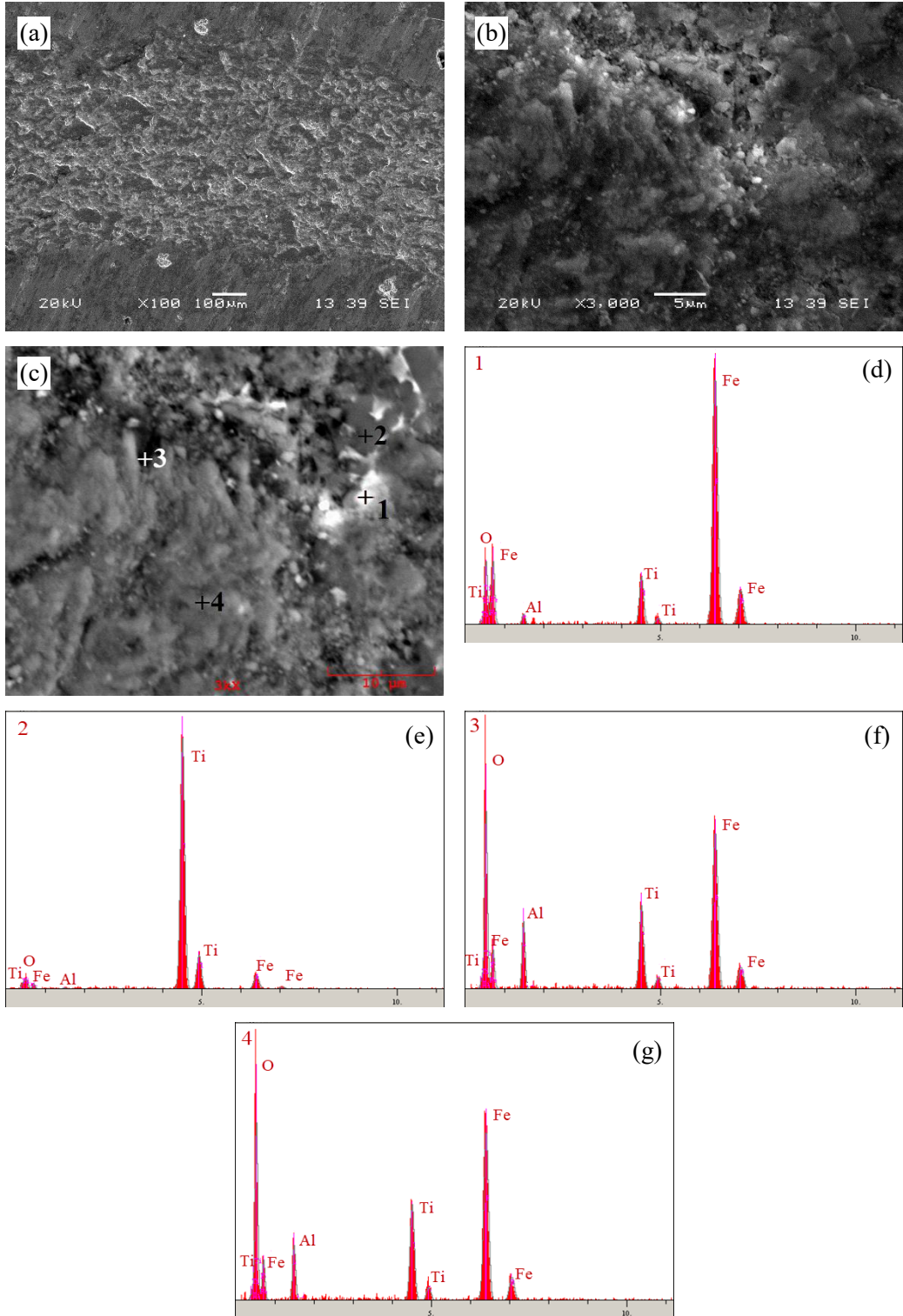
Şekil 5.87. 5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{10}\text{Ti}_3\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri



Şekil 5.88. 10N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_{10}\text{Ti}_3\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-h) EDS analizleri

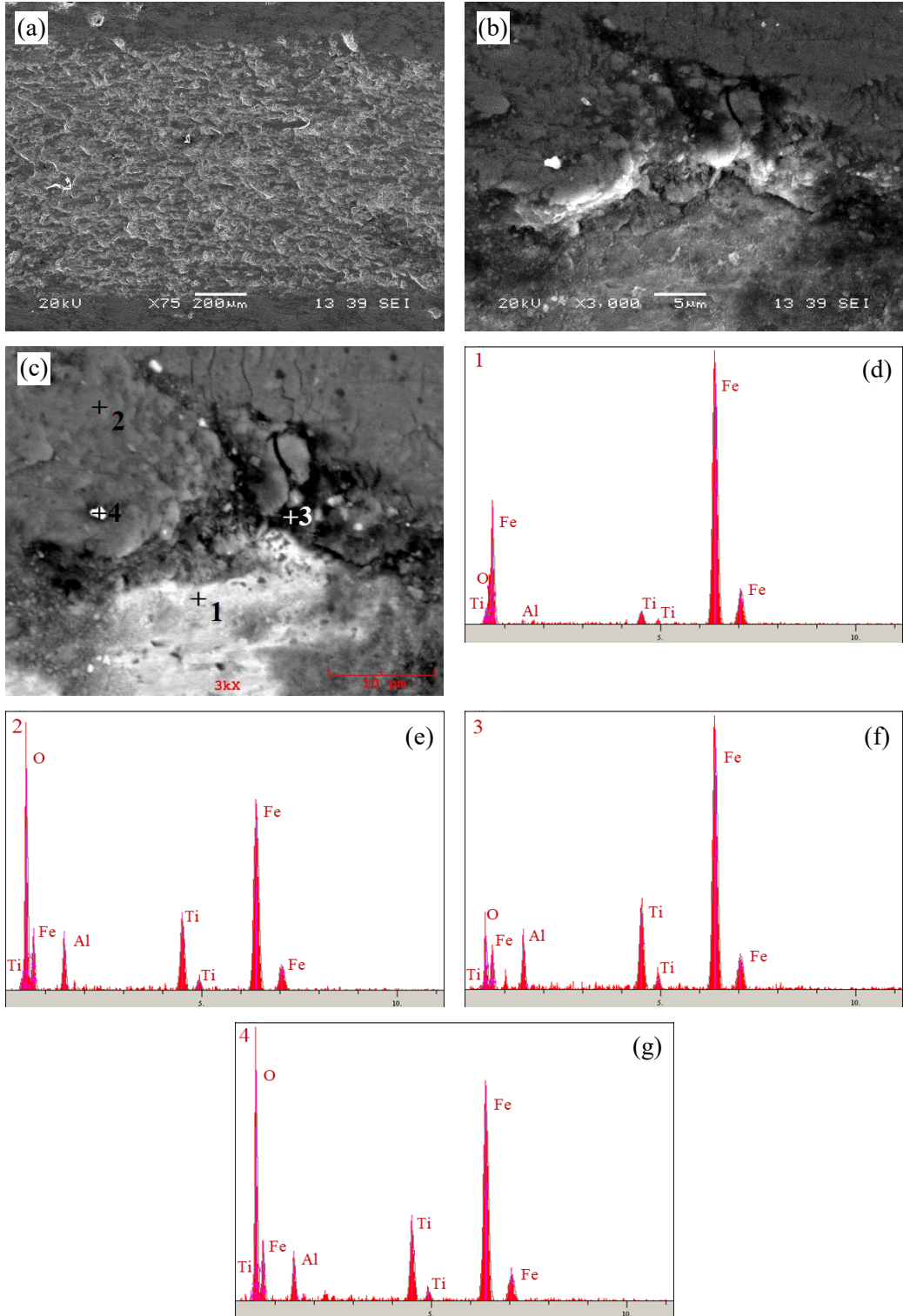


Şekil 5.89. 2,5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_3\text{Ti}_5\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-f) EDS analizleri



Şekil 5.90. 5N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_8\text{Ti}_5\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri

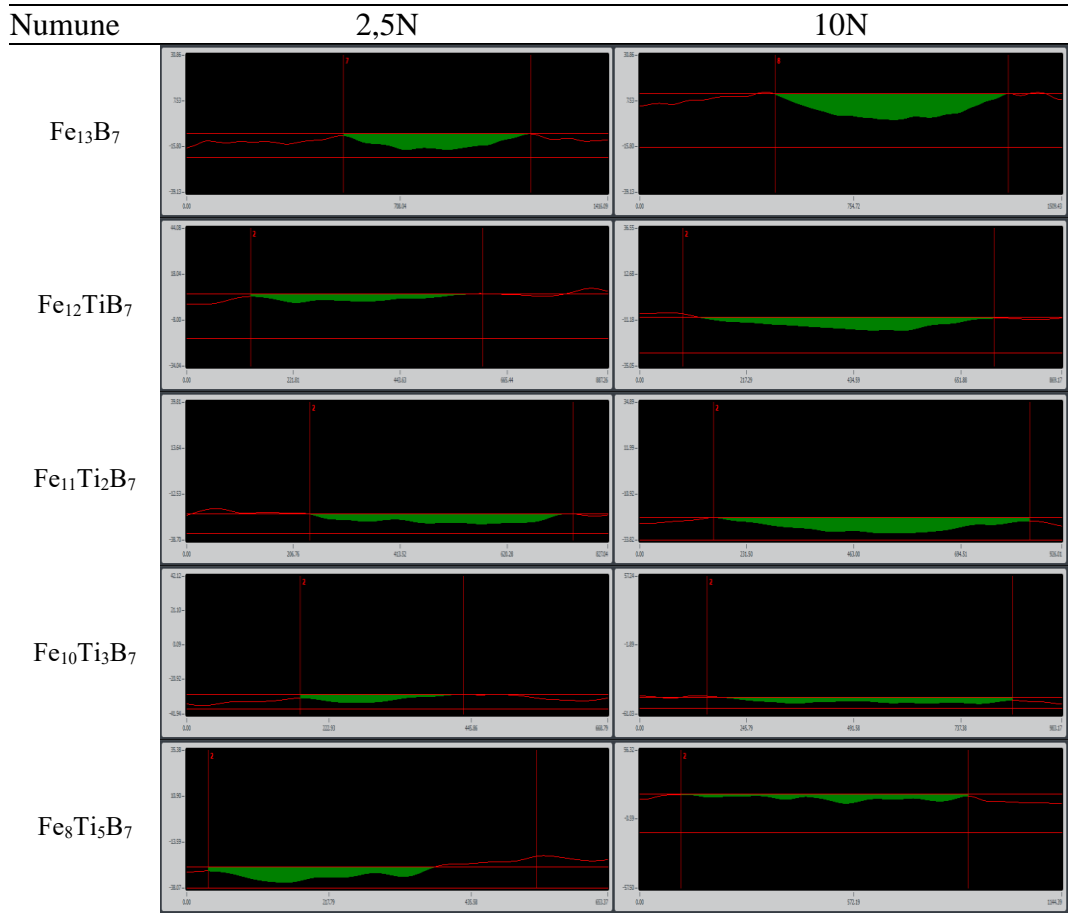




Şekil 5.91. 10N yük altında  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bilye ile aşındırılmış  $\text{Fe}_8\text{Ti}_5\text{B}_7$  sert yüzey alaşım tabakasının (a-c) SEM mikroyapı görüntüleri ve (d-g) EDS analizleri

### 5.4.3.3. Aşınma hızı

Farklı yüklerde yapılan aşınma deneyleri sonrasında altlık yüzeyinde oluşan  $Fe_{13}B_7$  ve ( $Fe_{(13-x)}Ti_xB_7$ ;  $x=1-5$ ) esaslı sert yüzey alaşım tabakasının üç boyutlu optik mikroskop ile belirlenen aşınma profilleri Şekil 5.92.'de gösterilmektedir. Aşınma profil alanları kullanılarak eşitlik 4.1. ve 4.2.'de verilen bağıntılar ile alaşımlanmış çelik yüzeyinde oluşan aşınma hızı değerleri belirlenmiştir.



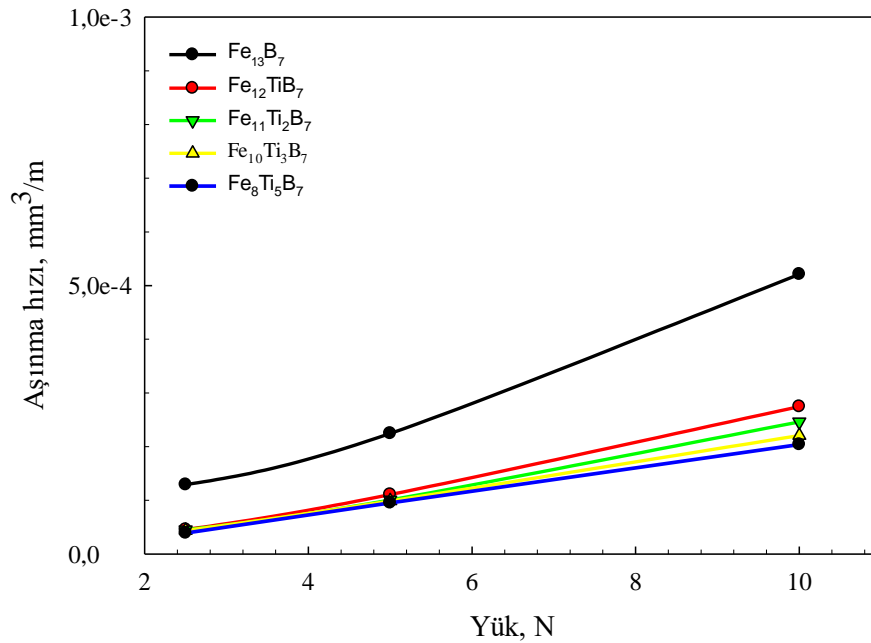
Şekil 5.92. Fe-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasının yük ve bileşim değişimine bağlı olarak elde edilen aşınma profilleri

Tablo 5.9.'da Fe-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızlarının uygulanan yüke bağlı olarak değişimi verilmektedir. Şekil 5.93.'te Fe-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlama yapılan numunelerin yüke bağlı aşınma hızı grafiği incelendiğinde; Archard eşitliğinde [129] belirtildiği gibi uygulanan yük değerinin artmasıyla aşınma hızı değerinin arttığı görülmektedir. İlave edilen Ti miktarı arttıkça Buytoz ve Eren'in [130] çalışmasında belirtildiği gibi sert takviye

malzemesinin miktarı artmış ve buna bağlı olarak uygulanan tüm yükler için aşınma hızlarının düştüğü görülmüştür. Yükteki % 100'lük bir artış (2,5N dan 5N'a) Fe-B esaslı sert yüzey alaşım için % 73,8 oranında bir aşınma hızında artışa sebep olurken; yükteki artış % 300 olduğu zaman aşınma hızındaki artış % 303,4 oranında gerçekleşmektedir. Bu değer % 5, 10, 15 ve 25 Ti katkılı numuneler için sırasıyla; % 142,7-501,8; % 123,1-445,4; % 125,6-403,9 ve % 142,6-419,6 oranlarında artışa sebep olmuştur. Değer artışları genel olarak birbirine yakın gerçekleşmektedir. Grafikten de görüldüğü üzere, Ti miktarının artışı belirgin bir şekilde % 69,6 oranına kadar düşüşlere sebep olmuştur.

Tablo 5.9. Fe-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızlarının uygulanan yüke bağlı olarak değişimi

Numune	Aşınma hızı ( $\text{mm}^3/\text{m}$ ) $\times 10^{-5}$		
	Yük (N)		
	2,5	5	10
Fe <sub>13</sub> B <sub>7</sub>	25,84	44,9	104,2
Fe <sub>12</sub> TiB <sub>7</sub>	9,13	22,15	54,91
Fe <sub>11</sub> Ti <sub>2</sub> B <sub>7</sub>	9,02	20,13	49,22
Fe <sub>10</sub> Ti <sub>3</sub> B <sub>7</sub>	8,76	19,76	44,13
Fe <sub>8</sub> Ti <sub>5</sub> B <sub>7</sub>	7,85	19,03	40,77



Şekil 5.93. Fe-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızlarının yüke bağlı olarak değişimi

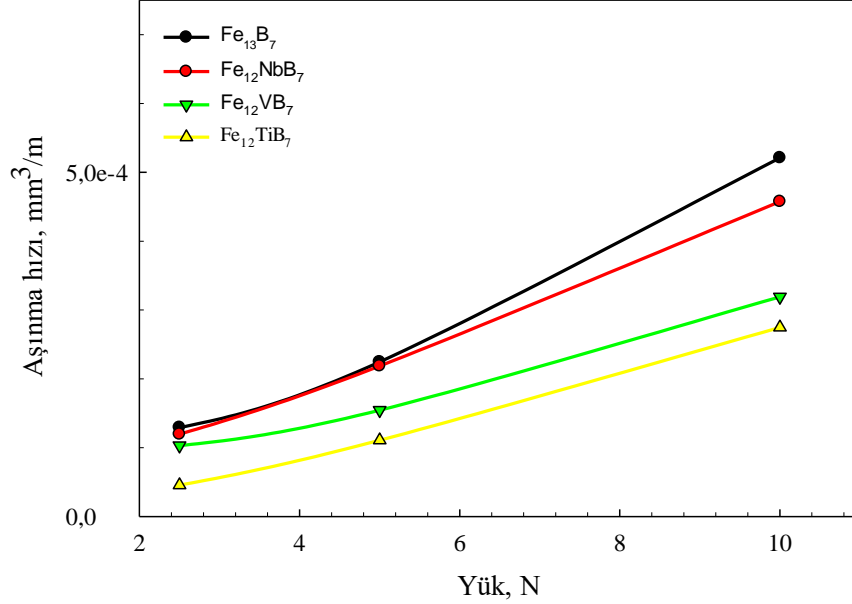
#### 5.4.4. Fe-B ve Fe-M-B esaslı malzemelerin aşınma özelliklerinin kıyaslanması

Fe-B, Fe-Nb-B, Fe-V-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımların 2,5N, 5N ve 10N yük, 0,1m/sn hız ve 200m kayma mesafesi altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma hızlarının kıyaslanması Şekil 5.94.,5.95.'te gösterilmektedir. Kıyaslamalar en düşük ve en yüksek Nb, V ve Ti oranına sahip olan alaşımlar için gerçekleştirilmiş olup aşınma hızının yüke bağlı olarak değişimi ele alınmıştır.

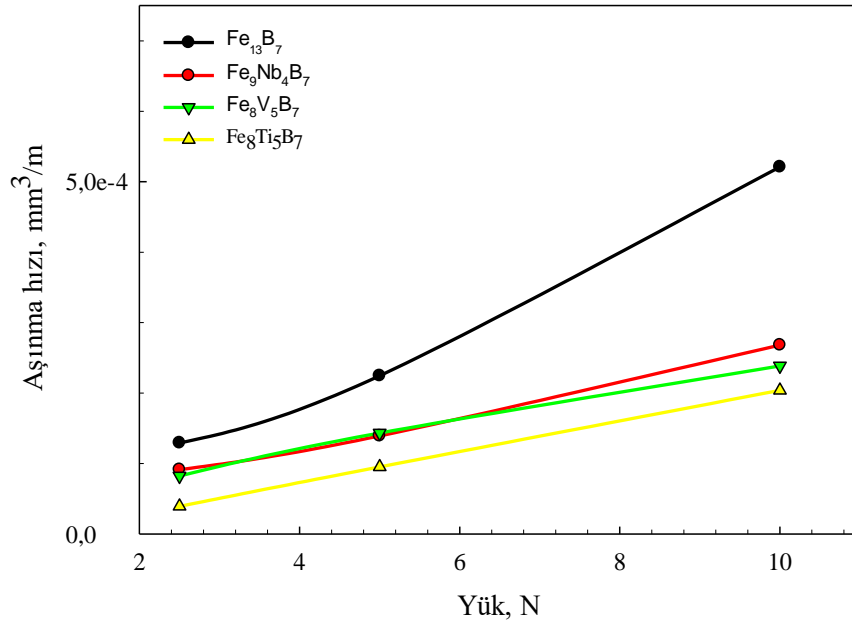
Atomik olarak en düşük oran olan % 5 Metal (Nb, V ve Ti) katkılı sert yüzey alaşımlar incelendiğinde, aşınma yükünün artışı ile aşınma hızı değerlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 5.94.). Ayrıca bu alaşımlar arasında en düşük aşınma hızı değerlerinin 2,5N, 5N ve 10N yükler için  $Fe_{12}TiB_7$  sert yüzey alaşım tabakasında bulunduğu tespit edilmiştir. Yılmaz ve Özenbaş [119] yapmış oldukları çalışmada, kompozit kaplamalarda sert faz hacim miktarının artmasıyla aşınma hızının azalacağını belirtmiştir.  $TiB_2$  metal borürler arasında en yüksek sertliğe sahip olduğu düşünülürse  $Fe_8Ti_5B_7$  bileşimine ait sert yüzey alaşım tabakasında en düşük aşınma hızının tespit edilmesi beklenen bir durumdur. % 5 oranında Nb, V, ve Ti katkılı sert yüzey alaşımlarının,  $Fe_{13}B_7$  sert yüzey alaşımından tüm yükler için daha düşük aşınma hızı değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.  $Fe_{13}B_7$ ,  $Fe_{12}NbB_7$ ,  $Fe_{12}VB_7$  ve  $Fe_{12}TiB_7$  sert yüzey alaşımlarının aşınma hızı değerleri sırasıyla  $25,84 \times 10^{-5}$ - $104,23 \times 10^{-5}$ ,  $23,92 \times 10^{-5}$ - $91,5 \times 10^{-5}$ ,  $20,58 \times 10^{-5}$ - $63,83 \times 10^{-5}$ ,  $9,13 \times 10^{-5}$ - $54,91 \times 10^{-5}$  arasında değişim göstermektedir.

Atomik olarak metal katkısının en yüksek olduğu  $Fe_9Nb_4B_7$ ,  $Fe_8V_5B_7$  ve  $Fe_8Ti_5B_7$  ve  $Fe_{13}B_7$  sert yüzey alaşımlarına ait aşınma hızları incelendiğinde ise uygulanan aşınma yükünün artmasıyla aşınma hızı değerlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 5.95.). Yine bu alaşımlar arasında en düşük aşınma hızı değerleri tüm yükler için  $Fe_8Ti_5B_7$  numunesine ait olduğu tespit edilmiştir. Yukarıda da açıklandığı gibi  $TiB_2$  fazının yüksek sertliğinden dolayı bu beklenen bir durumdur. Ayrıca ilave metal (Nb, V ve Ti) katkılı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızı değerlerinin  $Fe_{13}B_7$  sert yüzey alaşım tabakasına ait aşınma hızı değerlerinden tüm yüklerde daha düşük olduğu

gözlemlenmiştir.  $\text{Fe}_9\text{Nb}_4\text{B}_7$ ,  $\text{Fe}_8\text{V}_5\text{B}_7$  ve  $\text{Fe}_8\text{Ti}_5\text{B}_7$  sert yüzey alaşımlarının aşınma hızı değerleri sırasıyla  $18,27 \times 10^{-5}$ - $53,61 \times 10^{-5}$ ,  $16,44 \times 10^{-5}$ - $47,67 \times 10^{-5}$ ,  $7,85 \times 10^{-5}$ - $40,77 \times 10^{-5}$  arasında değişim göstermektedir.



Şekil 5.94. FeMB (M: en düşük Nb, V ve Ti oranı) esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının yüke bağlı olarak aşınma hızlarının değişimi



Şekil 5.95. FeMB (M: en yüksek Nb, V ve Ti oranı) esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının yüke bağlı olarak aşınma hızlarının değişimi

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada tungsten inert gaz (TIG) kaynak yöntemiyle düşük karbonlu SAE 1320 çelik yüzeyinde Fe-B, Fe-Nb-B, Fe-V-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakası oluşturulması hedeflenmiştir. Elde edilen bu sert yüzey alaşım tabakalarının, mikroyapı ve faz özellikleri tespit edilerek, sertlik ve aşınma hızı üzerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan araştırma ve deneyler doğrultusunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Farklı bileşimlerde hazırlanan toz karışımları yüzeyleri hazırlanmış olan altlık malzemeler üzerine 2-3 mm kalınlığında konularak preslenmiş ve sonrasında TIG kaynak tekniği ile ergitme işlemi gerçekleştirilerek sert alaşım tabakası başarıyla oluşturulmuştur.
- Mikroyapı incelemelerinde, Fe-B esaslı alaşımında ( $Fe_{13}B_7$ ) ötektik öncesi primer ferrit ( $\alpha$ -Fe) masif fazıyla birlikte ötektik ( $\alpha+Fe_2B$ ) fazlarının/yapılarının birlikte görüldüğü tespit edilmiştir.  $Fe_{(13-x)}Nb_xB_7$  ( $1 \leq x \leq 4$ ) alaşımlarda ise  $Fe_{13}B_7$  alaşımında görülen primer ferrit + ötektik yapısının değişerek masif  $Fe_2B$  ve  $FeNbB$  fazlarını oluşturduğu ve  $FeNbB$  fazının daha açık renkte küçük adacıklar şeklinde poligonal olarak katılaştığı saptanmıştır. Nb oranının artması ve Fe oranının azalmasına bağlı olarak  $FeNbB$  fazının miktarının arttığı ve  $\alpha$ -Fe+ $Fe_2B$  ötektik yapısının varlığını korumakla birlikte daha çok  $Fe_2B$  blok fazlarına dönüştüğü saptanmıştır. X-ışınları difraksiyon analizleri alaşımların  $\alpha$ -Fe,  $Fe_2B$  ve  $FeNbB$  fazlarını içerdiğini göstermektedir.  $Fe_{(13-x)}V_xB_7$  ( $1 \leq x \leq 5$ ) alaşımlarında, öncelikle primer  $\alpha$ -Fe'nin olduğu ve sonrasında  $Fe_2B$  fazının  $\alpha$ -Fe ile birlikte ötektik formda

gerçekleştiği tespit edilmiştir. Hem  $\alpha$ -Fe içerisinde hem de  $Fe_2B$  içerisinde vanadyumun bir miktar çözüldüğü de görülmüştür. Ancak vanadyum miktarı atomik olarak %15 seviyesine ulaştığında, öncelikle ergime sıcaklığı en yüksek faz olarak VB blok formda oluştuğu, sonrasında ötektik formda  $\alpha$ -Fe'in ve  $Fe_2B$  fazlarının oluşumunu devam ettirdiği düşünülmektedir. X-ışınları difraksiyon analizleri sistemin  $\alpha$ -Fe,  $Fe_2B$ , VB  $V_3B_4$  ve  $Fe_4V$  fazlarını içerdiğini göstermektedir.  $Fe_{(13-x)}Ti_xB_7$  ( $1 \leq x \leq 5$ ) alaşımlarında ise masif primer alfa fazlarının varlığı ve bunların arasında  $\alpha$ -Fe ile  $Fe_2B$  fazlarının ötektik yapısı görülmektedir. Alaşıma atomik oranında % 5 Ti ilave edildiğinde yaklaşık 2-4 mikron boyutlarında homojen dağılmış (özellikle tane sınırlarında) masif siyah renkli  $TiB_2$  fazlarının oluştuğu görülmektedir. X-ışınları difraksiyon analizleri sistemin  $\alpha$ -Fe,  $Fe_2B$  ve  $TiB_2$  ve  $Fe_2Ti$  fazlarını içerdiğini göstermektedir. Ti miktarı arttırıldıkça sistemde oluşan  $TiB_2$  fazının da arttığı görülmektedir. Fe-Nb-B, Fe-V-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış tabakalarda  $\alpha$ -Fe matris içerisinde bir miktar ilave metal (Nb,V,Ti) katkıların çözüldüğü de görülmüştür.

- Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda, Fe-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasının yüzeyinden alınan HRc sertlik değeri  $42,3 \pm 1,7$  olarak tespit edilmiştir. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarının yüzey sertlik değerleri  $48,7 \pm 4,2$ - $56,0 \pm 1,4$  HRc arasında değişirken, en yüksek sertlik değeri  $Fe_9Nb_4B_7$  bileşiminde gözlemlenmiş olup,  $56,0 \pm 1,4$  HRc'dir. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarında yüzey sertlik değerleri  $48,3 \pm 4,1$ - $60,7 \pm 3,2$  HRc arasında değişmekle birlikte; en yüksek sertlik değeri  $Fe_{10}V_5B_7$  bileşiminde tespit edilmiştir. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakalarında sertlik değerleri ise  $46,3 \pm 4,1$ -  $57,2 \pm 5,1$  HRc arasında değişmekte olup, en yüksek sertlik değeri  $Fe_8Ti_5B_7$  bileşimine sahip numunede belirlenmiştir. Yapılan testler sonucunda en yüksek yüzey sertlik değerinin  $Fe_{10}V_5B_7$  bileşimine ait numuneden elde edildiği görülmüştür.
- Mikrosertlik ölçümleri sonucunda altlık malzemenin (SAE 1320 çeliği) sertlik değeri  $185 \pm 9$  HV<sub>0,01</sub> olarak tespit edilmiştir. Fe-B esaslı sert yüzey

alaşımalarında demir borür fazlarının sertlik değeri  $1901 \pm 127$  HV<sub>0.01</sub> olarak tespit edilmiştir. Fe-Nb-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasında bulunan borür fazlarının sertlik değerleri  $1759 \pm 162$ - $2035 \pm 67$  HV<sub>0.01</sub> arasında değişmektedir. Bu fazlar için en yüksek sertlik değeri Fe<sub>11</sub>Nb<sub>2</sub>B<sub>7</sub> alaşımında gözlemlenmiştir. Fe-V-B esaslı sert yüzey alaşım tabakasında bulunan vanadyum borür fazının sertlik değerleri  $2828 \pm 383$ - $3082 \pm 299$  HV<sub>0.01</sub> arasında değişmektedir. Bu faz için en yüksek sertlik değeri Fe<sub>10</sub>V<sub>3</sub>B<sub>7</sub> alaşımında elde edilmiştir. Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlanmış yüzey tabakasında bulunan titanyum borür fazlarının sertlik değerleri  $3804 \pm 2291$ - $4272 \pm 241$  HV<sub>0.01</sub> arasında değişmektedir. Bu faz için en yüksek sertlik değeri Fe<sub>11</sub>Ti<sub>2</sub>B<sub>7</sub> ve Fe<sub>8</sub>Ti<sub>5</sub>B<sub>7</sub> bileşimlerinde gözlemlenmiştir. Sonuç olarak en yüksek faz sertliğinin Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımlarda olduğu tespit edilmiştir.

- Farklı yüklerde yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı değerleri Fe-B, Fe-Nb-B, Fe-V-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşım tabakaları için sırasıyla 0,660-0,771; 0,462-0, 920; 0,386-0,824; 0,521-0,87 arasında değişmektedir. Tüm alaşımlar için yüke bağlı aşınma hızı grafikleri incelendiğinde, yükün artışı aşınma hızının artışına sebep olurken, ilave edilen M (Nb, V ve Ti) miktarı arttıkça uygulanan tüm yükler için aşınma hızlarının düştüğü görülmektedir. Sert yüzey alaşımlanmış tabakalarda aşınma yapılan bölgelerden alınan SEM ve EDS görüntüleri incelendiğinde, aşınma bölgelerinde abrazif çizgilerin varlığı ile birlikte, aşınan ürünlerin sürtünmeye bağlı olarak oksitlenip çukur bölgelerde biriktiği ve alaşım tabakası üzerinde sıvandığı görülmektedir. Ayrıca bu bölgelerde abrazif ve oksidatif karakterde aşınma olduğu görülmüştür.
- Sert yüzey alaşımlarına ait aşınma hızları incelendiğinde, uygulanan aşınma yükünün artmasıyla aşınma hızı değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bu alaşımlar arasında en düşük aşınma hızı değerlerinin tüm yükler için Fe<sub>8</sub>Ti<sub>5</sub>B<sub>7</sub> numunesine ait olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ilave metal (Nb, V ve Ti) katkılı sert yüzey alaşım tabakalarına ait aşınma hızı değerlerinin Fe<sub>13</sub>B<sub>7</sub> sert yüzey



alaşım tabakasına ait aşınma hızı değerlerinden tüm yüklerde daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

- Yapılan bu çalışmada, Fe-B, Fe-Nb-B, Fe-V-B ve Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımların mikroyapı ve faz özellikleri tespit edilerek, sertlik ve aşınma hızı üzerine etkileri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda, mikroyapıda borür fazlarının dağılımı, oluşan sert yüzey alaşım tabakasının sertlikleri ve bunların aşınma performansına etkileri incelendiğinde, Fe-Ti-B esaslı sert yüzey alaşımların, özellikle en yüksek Ti katkı oranına sahip  $Fe_8Ti_5B_7$  alaşımının optimum şartlara sahip olduğu görülmüştür.

## 6.2. Öneriler

- Bu çalışmada kullanılan ferro tozlarının yerine saf tozlar kullanılabilir.
- Farklı bileşimlere sahip metal tozları kullanılarak deneyler yapılabilir.
- Sarf malzemesi olarak kullanılan tozlar yerine, bileşimini belirleyebileceğimiz tel çubuk veya elektrod üretilerek sert yüzey alaşımlama gerçekleştirilebilir.
- Sert yüzey alaşımlama işleminde, kaynak parametreleri ve toz miktarları değiştirilerek mikroyapı üzerine etkileri incelenebilir.
- Sert yüzey alaşımlama için TIG kaynak tekniği yerine farklı bir kaynak tekniği kullanılabilir.
- Üretilen sert yüzey alaşım tabakalarının korozyon, erozyon ve oksidasyon deneyleri yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Ürgen, M., Modern Yüzey İşlem Teknolojileri ve Türkiye' deki Gelişmeler, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 333-350, 1997.
- [2] Keleşoğlu, E., Sert Kaplamalar Üretim Teknikleri ve Özellikleri, 1-121, 2011.
- [3] Hosmani, S. S., Kuppusami, P., Goyal, R. K., An Introduction to Surface Alloying of Metals, Springer, 1-131, 2014.
- [4] Bindal, C., Az alaşımlı ve karbon çeliklerinde borlama ile yüzeye kaplanan borürlerin bazı özelliklerinin tespiti, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 1991.
- [5] Deniz, G., Termo-reaktif difüzyon (TRD) tekniği ile AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin titanyum nitrür (TiN) kaplanması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2004.
- [6] Burakowski, T., Wierzchon, T., Surface Engineering of Metals Principles, Equipment, Technologies, CRC Press, 1-592, 1999
- [7] Şen, U., Küresel grafitli dökme demirlerin bor kaplanması ve kaplama özellikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 1997.
- [8] Ögel, B., Metal Yüzeylere Uygulanan İşlemler, Yöntem ve Malzeme Seçimi, Metalurji Dergisi, 5-10, 1988.
- [9] Jimenez, H., Staia, M.H., Puchi, E.S., Mathematical modeling of a carburizing process of a SAE 8620H steel, Surface and Coatings Technology, 120-121: 358-365, 1999.
- [10] Nolan, D., Huang, S.W., Leskovsek, V., Braun, S., Sliding wear of titanium nitride thin films deposited on Ti-6Al-4V alloy by PVD and plasma nitriding processes, Surface & Coatings Technology 200: 5698-5705, 2006.

- [11] Slycke, J., Ericsson, T., A study of reactions occurring during the carbonitriding process, *Journal of Heat Treating*, 2(1): 3-19, 1981.
- [12] Aydemir, T., Şen, U., Borlanmış Soğuk İş Takım Çeliklerinin Aşınma Davranışları, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(3): 28-31, 2003.
- [13] Holleck, H., Schier, V., Multilayer PVD coatings for wear protection, *Surface and Coatings Technology*, 76-77: 328-336, 1995.
- [14] Pau'1, A., Odriozola, J.A., Development of a modified CVD coating process for the enhancement of the high temperature oxidation resistance of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> forming alloys, *Materials Science and Engineering A*, 300: 22-33, 2001.
- [15] Wang, D., Bierwagen, G. P., Sol-gel coatings on metals for corrosion protection, *Progress in Organic Coatings*, 64: 327-338, 2009.
- [16] Chen, D., Anti-reflection (AR) coatings made by sol-gel processes: A review, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 68(3-4): 313-336, 2001.
- [17] Boccaccinia, A. R., Zhitomirsky, I., Application of electrophoretic and electrolytic deposition techniques in ceramics processing, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 6: 251-260, 2002.
- [18] Ulutan, M., AISI 4140 çeliğinin yüzey sertleştirme işlemleri ve kaplama yöntemleri sonrası mekanik davranışlarının araştırılması, *Eskisehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi*, 2007.
- [19] Olson, L.D., Siewert, T.A., Liu, S., Edwards, G.R., *ASM Handbook: Welding Brazing and Soldering*, 8th ed., ASM International, 1-2873, 1993.
- [20] Deniz, G., Sen S., Sen, U., Properties of the Surface Alloyed AISI 1020 Steel with Boron by TIG Welding Technique, *63rd Annual Assembly & International Conference of the International Institute of Welding*, İstanbul, 207-211, 2010.
- [21] Korkut, M.H., Yılmaz, O., Buytoz, S., Effect of aging on the microstructure and toughness of the interface zone of a gas tungsten arc (GTA) synthesized Fe-Cr-Si-Mo-C coated low carbon steel, *Surface and Coatings Technology*, 157: 5-13, 2002.
- [22] Zikin, A., Hussainova, I., Katsich, C., Badisch, E., Tomastik, C., Advanced chromium carbide-based hardfacings, *Surface and Coatings Technology*, 206(19-20): 4270-4278, 2012.

- [23] Kirchgabner, M., Badisch, E., Franek, F., Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact, *Wear*, 265(5-6): 772-779, 2008.
- [24] Chiu, K.Y., Cheng, F.T., Man, H.C., Cavitation erosion resistance of AISI 316L stainless steel laser surface-modified with NiTi, *Materials Science and Engineering: A*, 392(1-2): 348-358, 2005.
- [25] Wang, X.H., Song, S.L., Qu, S.Y., Zou, Z.D., Characterization of in situ synthesized TiC particle reinforced Fe-based composite coatings produced by multi-pass overlapping GTAW melting process, *Surface and Coatings Technology*, 201(12): 5899-5905, 2007.
- [26] Lin, Y.C., Cho, Y.H., Elucidating the microstructural and tribological characteristics of NiCrAlCoCu and NiCrAlCoMo multicomponent alloy clad layers synthesized in situ, *Surface and Coatings Technology*, 203(12): 1694-1701, 2009.
- [27] Chen, J.H., Chen, P.N., Lin, C.M., Chang, C.M., Chang, Y.Y., Characterization of multi-element alloy claddings manufactured by the tungsten inert gas process, *Surface and Coatings Technology*, 203: 2983-2988, 2009.
- [28] Madadi, F., Shamanian, M., Ashrafzadeh, F., Effect of pulse current on microstructure and wear resistance of Stellite6/tungsten carbide claddings produced by tungsten inert gas process, *Surface and Coatings Technology*, 205: 4320-4328, 2011.
- [29] Yaz, M., Düşük karbonlu yumuşak çeliklerin Co esaslı süper alaşım elektrotları ile kaplanabilirliğinin araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Doktora Tezi, 2005.
- [30] Grainger, S., Blunt, J., eds., *Engineering coatings - design and application*, second edition, Woodhead Publishing Ltd, 1-325, 1998.
- [31] Habashi, F., *Handbook of extractive metallurgy*, Wiley-VCH, 4: 1782-2426, 1997.
- [32] Berns, H., Fischer, A., Microstructure of Fe-Cr-C Hardfacing Alloys with Additions of Nb, Ti and B, *Materials Characterization*, 39(2-5): 499-527, 1997.
- [33] Yoo, J. W., Lee, S. H., Yoon, C. S., Kim, S. J., The effect of boron on the wear behavior of iron-based hardfacing alloys for nuclear power plants valves, *Journal of Nuclear Materials*, 352(1-3): 90-96, 2006.

- [34] Kim, J. H., Hong, H. S., Kim, S. J., Effect of boron addition on the cavitation erosion resistance of Fe-based hardfacing alloy, *Materials Letters*, 61(4-5): 1235-1237, 2007.
- [35] Bozkurt, N., “Bor yayınımla çeliklerde yüzey sertleştirme”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 1984.
- [36] Otani, S. M., Korsukova, M., Mitsuhashi, T., Floating zone growth and high-temperature hardness of NbB<sub>2</sub> and TaB<sub>2</sub> single crystals, *Journal of Crystal Growth*, 194(3-4): 430-433, 1998.
- [37] Tsuchida, T., Kakuta, T., Synthesis of NbC and NbB<sub>2</sub> by MA-SHS in air process, *Journal of Alloys and Compounds* 398(1-2): 67-73, 2005.
- [38] Yeh, C. L., Chen, W. H., Preparation of niobium borides NbB and NbB<sub>2</sub> by self-propagating combustion synthesis, *Journal of Alloys and Compounds*, 420(1-2): 111-116, 2006.
- [39] Iizumi, K., Sekiya, C., Okadac, S., Kudou, K., Shishido, T., Mechanochemically assisted preparation of NbB<sub>2</sub> powder, *Journal of the European Ceramic Society*, 26(4-5): 635-638, 2006.
- [40] Sen, S, The characterization of vanadium boride coatings on AISI 8620 steel, *Surface and Coatings Technology*, 190: 1-6, 2005.
- [41] Yeh, C.L., Wang, H.J., Combustion synthesis of vanadium borides *Journal of Alloys and Compounds*, 509: 3257-3261, 2011.
- [42] Shi, L., Gu, Y., Chen, L., Yang, Z., Ma, J., Qian, Y., Low-temperature synthesis of nanocrystalline vanadium diboride, *Materials Letters*, 58: 2890-2892, 2004.
- [43] Sun, L., Gao, Y., Xiao, B., Li, Y., Wang, G., Anisotropic elastic and thermal properties of titanium borides by first-principles calculations *Journal of Alloys and Compounds*, 579: 457-467, 2013.
- [44] Wang, Z. T., Zhou, X. H., Zhao, G. G., Microstructure and formation mechanism of in-situ TiC-TiB<sub>2</sub>/Fe composite coating, *Transaction Nonferrous Metals Society China*, 18: 831-835, 2008.
- [45] Buchely, M.F., Gutierrez, J.C., Leon, L.M., Toro, A., The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys, *Wear*, 259: 52-61, 2005.
- [46] Wu, W., Wu, L.T., The Wear Behavior Between Hardfacing Materials, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 27(11): 3639-3648, 1996.

- [47] Weman, K., Welding processes handbook, Woodhead Publishing Ltd, 1-189, 2003.
- [48] Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E., Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, 1-296, 1991.
- [49] Kaptanoğlu, M., Titanyum ve bor içeren özlü tellerle yapılan kaplamaların mikro yapı ve aşınma özelliklerinin araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [50] <http://www.weldinghistory.org/whfolder/biography/bio-meredith.html>, Erişim Tarihi: 19.11.2017.
- [51] O'Brien, R.L., Welding Handbook, Welding Processes, American Welding Society, 2(8): 1-955, 1997.
- [52] Eroğlu, M., Özdemir, N., Tungsten-inert gas surface alloying of a low carbon steel, Surface and Coatings Technology, 154: 209–217, 2002.
- [53] Lin, Y.C., Wang, S.W., Wu, K.E., The wear behaviour of machine tool guideways clad with W-Ni, W-Co and W-Cu using gas tungsten arc welding, Surface and Coatings Technology, 172: 158-165, 2003.
- [54] Buytoz, S., Ulutan, M., Yıldırım, M.M., Dry sliding wear behavior of TIG welding clad WC composite coatings, Applied Surface Science, 252: 1313-1323, 2005.
- [55] Yılmaz, S.O., Wear behavior of gas tungsten arc deposited FeCrC, FeCrSi, and WCo coatings on AISI 1018 steel, Surface and Coatings Technology, 194: 175-183, 2005.
- [56] Buytoz, S., Yıldırım, M.M., Eren, H., TIG metodu kullanılarak yapılan Fe-Cr-C kaplamalarının karakterizasyonu, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2): 267-270, 2006.
- [57] Yılmaz, S.O., Özenbaş, M., Yaz, M., Synthesis of TiB<sub>2</sub>-reinforced iron-based composite coating, Tribology International, 42: 1220-1229, 2009.
- [58] Tosun, G., TIG yöntemi kullanılarak AISI 1010 çeliğinin yüzeyinde oluşturulan Ni/WC kaplamasının metalürjik uyum karakterizasyonunun incelenmesi, Mühendis ve Makine, 52(618): 71-77, 2011.

- [59] Lai, H.H., Hsieh, C.C., Lin, C.M., Wu, W., Effect of oscillating traverse welding on microstructure evolution and characteristic of hypoeutectic hardfacing alloy, *Surface and Coatings Technology*, 239: 233-239, 2014.
- [60] Chakraborty, G., Kumar, N., Das, C.R., Albert, S.K., Bhaduri, K., Dash, S., Tyagi, K., Study on microstructure and wear properties of different nickel base hardfacing alloys deposited on austenitic stainless steel, *Surface and Coatings Technology*, 244: 180-188, 2014.
- [61] Kilinc, B., Cegil, O., Abakay, E., Sen, U., Sen, S., Characterization of Fe-Nb-B base hardfacing of steel, *Acta Physica Polonica A*, 125: 656-658, 2014.
- [62] Kilinc, B., Durmaz, M., Abakay, E., Sen, U., Sen, S., Wear behavior of the surface alloyed AISI 1020 steel with Fe-Nb-B by TIG welding technique, in: *AIP Conf.*, American Institute of Physics, 20058-1-20058-7, 2015.
- [63] Eryürek, İ.B.. Gazaltı ark kaynağı, *Askaynak*, 1-68, 2007.
- [64] Yiğit, O., Metal toz ilavesiyle MAG kaynak yönteminin sert yüzey kaplama amaçlı kullanılabilirliği, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi*, 2014.
- [65] Apay, S. Tozaltı sert dolgu kaynağına bor tozu ilavesinin aşınma özellikleri üzerine etkisi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi*, 2007.
- [66] Anık, S., Tülbentçi, K., Tozaltı kaynak tekniği, *Gedik Kaynak San. Tic. A.Ş.*, 1-37.
- [67] Anık, S., Anık, E.S., Vural, M., 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı Cilt 1, *Birsen Yayınevi*, 1-333, 1993.
- [68] Cavcar, M.M., Sert Dolgu Alaşımları Ürün Seçimi ve Uygulama, *Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş.*, 1-31.
- [69] ŞEN, Ş., Termokimyasal borlama işlemi ile AISI 4140 ve AISI 4340 çeliklerinin yüzey performanslarının geliştirilmesi", *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi*, 1998.
- [70] [www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-elementi.](http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-elementi.), Erişim Tarihi: 12.08. 2016.
- [71] [www.balikesir.edu.tr/index.php/baun/birim/bor\\_arastirma\\_uygulama\\_merkezi](http://www.balikesir.edu.tr/index.php/baun/birim/bor_arastirma_uygulama_merkezi)., Erişim Tarihi: 12.08. 2016.

- [72] [www.etiholding.gov.tr](http://www.etiholding.gov.tr), Erişim Tarihi: 12.08. 2016.
- [73] Tabur, M., "Bor karbür kaplanmış AISI 8620 ve Hardox 400 çeliklerinin abrasiv aşınma davranışlarının incelenmesi", Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü, Doktora Tezi, 2008.
- [74] Kılınç, E., Mordoğan, H., Tanrıverdi, M., Bor minerallerinin önemi, potansiyeli, üretimi ve ekonomisi, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 226-235, 2001.
- [75] [www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Bor](http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Bor), Erişim Tarihi: 12.08. 2016.
- [76] DeYoung D. B., Mossbauer effect study of Fe in transition metal borides, Iowa State University, Institute of Science, Physics department, Doctoral Thesis 1972.
- [77] Yapar, U., Düşük ve orta karbonlu çeliklerin termokimyasal borlama ile yüzey özelliklerinin geliştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2003.
- [78] Başman, G., AISI 316L tipi paslanmaz çeliğin termokimyasal difüzyon yöntemi ile borlanması, borlama banyosu bileşenlerinin borür tabakası özelliklerine etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi 2010.
- [79] Cai, P., Yang, Z., Shi, L., Chen, L., Zhao, A., Gu, Y., Qian, Y., Low temperature synthesis of NbB<sub>2</sub> nanorods by a solid-state reaction route, *Materials Letters*, 59(28): 3550-3552, 2005.
- [80] Greenwood, N.N., Parish., R.V., Thornton, P., Metal borides, *Q. Rev. Chem. Soc.*, 20(3): 441-464, 1966.
- [81] Sairam, K., Sonber, J.K., Murthy, T.S.R.C., Subramanian, C., Fotedar, R.K., Hubli, R.C., Reaction spark plasma sintering of niobium diboride, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 43: 259-262, 2014.
- [82] Matkovich, V. I., *Boron and Refractory Borides*, Springer-Verlag, 1-656, 1977.
- [83] Sinha, A. K., Division, B. P., *Heat Treating. İçinde: Boriding (Boronizing) of Steels. ASM Handbook ASM International, (4): 978-999, 1991.*



- [84] Aypar, A., Elektrokimyasal yöntemle titanyum ve titanyum alaşımlarının borlanması ve karakterizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [85] Deng, S., Zhao, J., Wei, S., Zhu, C., Lv, J., Li, Q., Zhenga, W., Theoretical study of electronic and mechanical properties of Fe<sub>2</sub>B, RSC Advances, 6(77): 73576-73580, 2016.
- [86] Zhou, X., Zhang, H., Cheng, C. W., Gao, J., Xu, G., Li, Y. Y., Luo, Y., First-principles study of structural, electronic and elastic properties of diboride of vanadium, Physica B: Condensed Matter, 404(8-11): 1527-1531, 2009.
- [87] Pan, Y., and Lin, Y., Influence of B concentration on the structural stability and mechanical properties of Nb-B compounds, The Journal of Physical Chemistry C, 119: 23175–23183, 2015.
- [88] Atgür, M., Avrupa birliğine uyum sürecinde Türkiye’ de demir çelik sektörü: analiz, sorunlar ve çözüm önerileri, Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [89] Turgut, E., Doğrudan Redüksiyon İle Sünger Demir Üretimi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [90] [www.maden.org.tr/resimler/ekler/568.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/568.pdf), Erişim Tarihi: 12.08. 2016.
- [91] Önkibar, G., Entegre demir-çelik tesisi tufalinden doğrudan redüklenme yöntemi ile ham demir üretim, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [92] Doğanstepe, G., Hematit karakterli demir cevherinden ve yüksek fırın baca tozundan sünger demir üretilebilirliğin araştırılması, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [93] Hayashi, Y., Sugeno, T., Nature of Boron in a Iron”, Acta Metallurgica, June, 18(6): 693-697, 1970.
- [94] Angın, M.H., Ferro Bor Ön Fizibilite Etüdü, Eti Holding, 1-42, 2003.
- [95] Amushahi, M.H., Ashrafizadeh, F., Shamanian, M., Characterization of boride-rich hardfacing on carbon steel by arc spray and GMAW processes Surface and Coatings Technology, 204: 2723-2728, 2010.

- [96] Yücel, O., Karbotermik ferrobor üretim parametrelerinin optimizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 1992.
- [97] Bozkurt, N., Bor yayınımla çeliklerde yüzey sertleştirme, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 1984.
- [98] Özbek, İ., Borlama yöntemiyle (AISI M50, AISI M2) yüksek hız çeliklerinin ve W1 çeliğinin yüzey performanslarının geliştirilmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2000.
- [99] Galvanetto, E., Borgioli, F., Bacci, T., Pradelli, G., Wear behaviour of iron boride coatings produced by VPS technique on carbon steels, *Wear*, 260: 825-831, 2006.
- [100] Eroğlu, M., Boride coatings on steel using shielded metal arc welding electrode: Microstructure and hardness, *Surface and Coatings Technology*, 203: 2229-2235, 2009).
- [101] Kocaman, K., NbN/NbCN kaplanmış çeliklerin yüzey özelliklerinin incelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [102] [www.hascelik.com](http://www.hascelik.com), Erişim Tarihi: 17.09. 2016.
- [103] [www.teknolojikarastirmalar.com](http://www.teknolojikarastirmalar.com), Erişim Tarihi: 17.09. 2016.
- [104] Sun, X., Han, W., Hu, P., Wang, Z., Zhang, X., Microstructure and mechanical properties of ZrB<sub>2</sub>-Nb composite, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 28: 472-474, 2010.
- [105] Pazarlıoğlu, S., Çeliklerin niobyum borür kaplanması ve özellikler, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2006,
- [106] Usta, M., The characterization of borided pure niobium, *Surface and Coatings Technology*, 194: 251- 255, 2005.
- [107] Yeh, C.L., Chen, W.H., A comparative study on combustion synthesis of Nb-B compounds, *Journal of Alloys and Compounds*, 422: 78-85, 2006.
- [108] Raghavan, V., Phase Diagrams of Ternary Iron Alloys, *Indian Institute of Metals*, 1-458, 1992.

- [109] Yamamoto, A., Takao, C., Masui, T., Izumi, M., Tajima, S., High-pressure synthesis of superconducting  $Nb_{1-x}B_2$  ( $x=0-0.48$ ) with the maximum  $T_c=9.2$  K, *Physica C: Superconductivity*, 383(3): 197-206, 2002.
- [110] Çevik, S., Vanadyum, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14: 9-18, 2014.
- [111] Wang, Y., Guang, X.Y., Cao, Y.L., Ai, X.P., Yang, H.X., Mechanochemical synthesis and electrochemical characterization of  $VB_x$  as high capacity anode materials for air batteries, *Journal of Alloys and Compounds*, 501(1): L12-L14, 2010.
- [112] Abakay, E., Sen, S., Sen, U., Wear Properties of the Surface Alloyed AISI 1020 Steel with Vanadium and Boron by TIG Welding Technique, *Acta Physica Polonica A*, 125: 251-253, 2014.
- [113] Kılınç, B., Durmaz, M., Sen, U., Sen, S., Tribological properties of Fe-V-B surface alloyed steel fabricated by TIG welding technique, VIth International Metallurgical Congress, Ohrid, 2014.
- [114] Duman, D., Titanyum talaşından titanyum karbür üretimi ve sert metal üretiminde kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [115] Oyar, P., Titanyum ve özellikleri, Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 151-159, 2015.
- [116] Destefani, J. D., Properties and Selection: Stainless Steels, Tool Materials and Species-Purpose Metals. İçinde: Introduction to Titanium and Titanium Alloys, *ASM Metals Handbook*, 2(9): 1770-1782, 1992.
- [117] Okamoto N. L., Kusakari, M., Tanaka, K., Inui, H., Otani, S., Anisotropic elastic constants and thermal expansivities in monocrystal  $CrB_2$ ,  $TiB_2$ , and  $ZrB_2$ , *Acta Materialia* 58: 76-84, 2010.
- [118] Murray, J.L., Liao, P.K., Spear, K.E., The B-Ti (Boron-Titanium) System, *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*, 7(6): 550-555, 1986.
- [119] Yılmaz, S. O., Özenbas. M.,  $TiB_2$ -reinforced composite coating by gas tungsten arc welding, *Journal of materials science*, 44: 3273-3284, 2009.
- [120] Darabara, M., Papadimitriou G.D., Bourithis, L., Production of Fe-B- $TiB_2$  metal matrix composites on steel surface, *Surface and Coatings Technology*, 201: 3518-3523, 2006.

- [121] Ulutan, M., Yıldırım, M. M., Buytoz, S., TIG Yöntemiyle yüzeyi sertleştirilen AISI 4140 Çeliğinin Mikroyapı İncelemesi, Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi, 22(1): 93-107, 2009.
- [122] Callister, W.D., Rethwisch, D.G., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. İçinde: Metallerin Mekanik Özellikleri, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, (8): 150-197, 2013.
- [123] Shackelford, J. F., Alexander, W. Materials Science and Engineering Handbook. İçinde: Mechanical Properties of Materials, CRC Press LLC, Washington, D.C., (3): 553-965, 2001.
- [124] Yılmaz, Ş., Volkanik bazalt kayaçlarından cam-seramik malzeme üretim koşullarının araştırılması ve özelliklerinin incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 1997.
- [125] Bayrak, G., Yerli bazaltlardan üretilen cam-seramik esaslı tozların plazma sprey kaplamalarda kullanılabilirliğinin araştırılması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2009.
- [126] Yoshitomi, K., Nakama, Y., Ohtani, H., Hasebe, M., Thermodynamic Analysis of the Fe-Nb-B Ternary System, ISIJ International, 48(6): 835-844, 2008.
- [127] Zdziobek, A.A., Gospodinova, M., Bonnet, F., Hodaj, F., Experimental Determination of Solid-Liquid Equilibria with Reactive Components: Example of the Fe-Ti-B Ternary System, Journal of Phase Equilibria and Diffusion, 35(6): 701-710, 2014.
- [128] Homolová, V., Výrostková, A., Čiripová, L., Kroupa, A., Phase analysis of Fe-B-V system, Kovove Mater. 51: 135-139, 2013.
- [129] Rai, V.K., Srivastava, R., Nath, S.K., Ray, S., Wear in cast titanium carbide reinforced ferrous composites under dry sliding, Wear 231: 265-271, 1999.
- [130] Buytoz S., Eren, H., Al Metal Matris Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Performansına Takviye Elemanlarının Etkisi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 19(2): 209-216, 2007.

## ÖZGEÇMİŞ

Bülent Kılınç, 20.12.1978'de İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 1997 yılında Sakarya Birinci Anadolu Endüstri Meslek Lisesi'nden mezun oldu. 1999 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metal Öğretmenliği Bölümü'nü 2003 yılında bitirdi. 2004 yılında Milli Eğitim Bakanlığı'nda Metal işleri öğretmeni olarak çalışmaya başladı. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümü'nde yüksek lisans eğitimini 2010 yılında tamamladı. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde doktora eğitimine başladı. 2012 yılında Milli Eğitim Bakanlığı'ndaki öğretmenlik görevinden ayrılarak Sakarya Üniversitesi'nde Arifiye Meslek Yüksekokulu'nda öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde doktora eğitimine devam etmekte olup Arifiye Meslek Yüksekokulu'nda öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.