



**AISI 1020 ÇELİĞİNİN PLAZMA TRANSFER ARK YÖNTEMİ  
İLE ALAŞIMLANDIRILMASINDA BOR KATKISININ  
YÜZEY ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

**Yük. Müh. Turan GÜRGENÇ**

**Doktora Tezi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Cihan ÖZEL  
TEMMUZ-2017**

T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AISI 1020 ÇELİĞİNİN PLAZMA TRANSFER ARK YÖNTEMİ  
İLE ALAŞIMLANDIRILMASINDA BOR KATKISININ  
YÜZEY ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Turan GÜRGENÇ

(131120201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05.06.2017

Tezin Savunulduğu Tarih : 03.07.2017

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cihan ÖZEL (F.Ü)   
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR (F.Ü)   
Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ (N.K.Ü)   
Doç. Dr. Haşim PIHTILI (F.Ü)   
Yrd. Doç. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ (N.K.Ü) 

TEMMUZ-2017

## ÖNSÖZ

“AISI 1020 Çeliğinin Plazma Transfer Ark Yöntemi İle Alaşımlandırılmasında Bor Katkısının Yüzey Özellikleri Üzerine Etkisi” başlıklı bu çalışma Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Konstrüksiyon ve İmalat A.B.D. Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tez çalışması Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından FÜBAP MF.15.09. nolu proje ile desteklemiştir. Araştırmayı maddi açıdan destekleyen Fırat Üniversitesi Rektörlüğü’ ne ve Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ ne (FÜBAP) teşekkür ederim

Bu çalışmanın her safhasında bana yol gösteren ve yakın ilgisi ile büyük destek sağlayan danışmanım Doç. Dr. Cihan ÖZEL’ e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamla ilgili bilgi birikimini benden esirgemeyen ve bana tol gösteren Tez izleme komitesi (TİK) başkanım Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR’ e, TİK üyesi Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina ve Mühendisliği bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Haşım PIHTILI’ ya, yüzey alaşımlama ve aşınmayla ilgili derin bilgi birikimini benden esirgemeyen ve çalışmama sırasında yol gösteren Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim Üyesi Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ’ a çok teşekkür ederim. Tezin optik mikroskop (OM) görüntülerinin alınması, mikrosertlik ölçümleri ve XRD analizlerinde bana yardımlarını esirgemeyen Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü Arş. Gör. Oktay YİĞİT, Yüksek lisans öğrencisi Tarık Selçuk ŞEKER, Yüksek lisans öğrencisi Hulusi CENGİZ ve Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde görevli Uzm. Dr. Selçuk KARATAŞ’ a teşekkür ederim.

Ayrıca bana hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Meral GÜRGENÇ’ e, babam Atilla GÜRGENÇ’ e, kardeşim Çağlar GÜRGENÇ’ e, tezim boyunca manevi desteklerinden ötürü eşim Ezgi GÜRGENÇ’ e ve son olarak bana desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kayınbabam Yrd. Doç Dr. Hüsamettin KAYA’ ya teşekkürü bir borç bilirim.

**Turan GÜRGENÇ**  
**ELAZIĞ-2017**

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

ÖNSÖZ .....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	IX
TABLolar LİSTESİ .....	XVI
SEMBOLLER LİSTESİ .....	XVII
KISALTMALAR .....	XVIII
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Literatür Özeti.....	2
<b>2. ÇELİKLER</b> .....	<b>17</b>
2.1. Kimyasal Kompozisyonuna Göre Çelikler .....	17
2.1.1. Sade Karbonlu Çelikler .....	17
2.1.2. Alaşımli Çelikler .....	18
2.1.2.1. Az Alaşımli Çelikler .....	18
2.1.2.2. Yüksek Alaşımli Çelikler .....	18
2.2. Kullanım Yerlerine Göre Çelikler .....	19
2.2.1. Yapı Çelikleri .....	19
2.2.2. İslah Çelikleri .....	19
2.2.3. Yüksek Sıcaklık Çelikleri .....	19
2.2.4. Soğukta Tok İş Çelikleri.....	19
2.2.5. Paslanmaz ve Korozyona Dayanıklı Çelikler .....	19
2.2.6. Takım Çelikleri.....	20
2.2.7. Yay Çelikleri .....	20
2.3. Çeliğe Alaşım Elementlerinin Etkisi .....	20
2.3.1. Çeliğe Karbonun Etkisi .....	20
2.3.2. Çeliğe Kromun Etkisi .....	20
2.3.3. Çeliğe Manganın Etkisi .....	21
2.3.4. Çeliğe Molibdenin Etkisi.....	21
2.3.5. Çeliğe Borun Etkisi .....	21
2.3.6. Çeliğe Tungstenin Etkisi .....	22
2.3.7. Çeliğe Alüminyumun Etkisi .....	22
2.3.8. Çeliğe Titanyumun Etkisi.....	22
2.3.9. Çeliğe Silisyumun Etkisi .....	22
2.3.10. Çeliğe Vanadyumun Etkisi.....	22
2.3.11. Çeliğe Kükürdün Etkisi .....	23
2.3.12. Çeliğe Fosforun Etkisi .....	23
2.3.13. Çeliğe Kobaltın Etkisi .....	23
2.3.14. Çeliğe Nikelin Etkisi .....	23
<b>3. YÜZEY KAPLAMA ve ALAŞIMLAMA</b> .....	<b>24</b>
3.1. Yüzey Kaplama ve Alaşımlama Yöntemleri .....	24

3.1.1. Sol- Jel Yöntemi .....	24
3.1.2. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) Yöntemi .....	25
3.1.3. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) Yöntemi .....	26
3.1.4. Elektrolitik Plazma Kaplama Yöntemi .....	27
3.1.5. Alevle Püskürtme Kaplama Yöntemi .....	28
3.1.6. Patlamalı Püskürtme Yöntemi .....	29
3.1.7. Plazma Püskürtme Yöntemi .....	30
3.1.8. Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme (HVOF) Yöntemi .....	31
3.1.9. Elektrik Ark Püskürtme Yöntemi .....	32
3.1.10. Gaz Tungsten Ark (GTA) Kaynak Yöntemi .....	32
3.1.11. Ergiyen Elektrotlu Gaz Altı Ark (MIG/MAG) Kaynak Yöntemi .....	33
3.1.12. Toz Altı Kaynak Yöntemi .....	34
3.1.13. Elektron Işın Kaynak Yöntemi .....	35
3.1.14. Lazer Kaynak Yöntemi .....	36
3.1.15. Plazma Transfer Ark (PTA) Kaynak Yöntemi .....	37
3.1.15.1. PTA Yönteminin Avantajları .....	38
3.1.15.2. PTA Yönteminin Dezavantajları .....	39
<b>4. SÜRTÜNME ve AŞINMA .....</b>	<b>40</b>
4.1. Sürtünme .....	40
4.1.1. Sürtünme Katsayısı .....	40
4.1.2. Sürtünme Çeşitleri .....	42
4.1.2.1. Kuru Sürtünme .....	42
4.1.2.2. Sıvı Sürtünme .....	42
4.1.2.3. Sınır Sürtünme .....	43
4.1.3. Sürtünme Kuvvetine Etki Eden Faktörler .....	43
4.1.3.1. Genel Faktörler .....	43
4.1.3.2. Yüzey Sıcaklığının Etkisi .....	43
4.2. Aşınma .....	43
4.2.1. Aşınmaya Etki Eden Faktörler .....	46
4.2.1.1. Ana Malzemenin Özelliklerinin Etkisi .....	46
4.2.1.1.1. Malzemenin Kristal Yapısının Etkisi .....	46
4.2.1.1.2. Malzemenin Sertliğinin Etkisi .....	46
4.2.1.1.3. Elastiklik Modülünün Etkisi .....	46
4.2.1.1.4. Deformasyon Davranışının Etkisi .....	46
4.2.1.1.5. Malzemenin Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi .....	47
4.2.1.1.6. Isıl İşlemin Etkisi .....	47
4.2.1.1.7. Malzeme Boyutunun Etkisi .....	47
4.2.1.2. Aşındırıcının Etkisi .....	48
4.2.1.3. Ortamın Etkisi .....	48
4.2.1.3.1. Sıcaklığın Etkisi .....	48
4.2.1.3.2. Nemin Etkisi .....	48
4.2.1.3.3. Atmosferin Etkisi .....	48
4.2.1.4. Kullanım Şartlarının Etkisi .....	48
4.2.1.4.1. Yükün Etkisi .....	48
4.2.1.4.2. Hızın Etkisi .....	49
4.2.1.4.3. Kayma Mesafesinin Etkisi .....	49
4.2.1.5. Aşınmaya Matrisin Etkisi .....	49
4.2.1.6. Aşınmaya Karbürlerin Etkisi .....	49
4.2.2. Aşınma Çeşitleri .....	50

4.2.2.1. Abrasif Aşınma.....	50
4.2.2.2. Adhesif Aşınma .....	50
4.2.2.3. Korozif Aşınma .....	51
4.2.2.4. Kaviteasyon Aşınması.....	51
4.2.2.5. Yorulma Aşınması.....	51
4.2.2.6. Eroziyon Aşınma.....	52
4.2.2.7. Öğütmeli Aşınma.....	52
4.2.2.8. Oymalı Aşınma.....	52
4.2.2.9. Kazımalı Aşınma .....	53
4.2.2.10. Termik Aşınma .....	53
4.2.2.11. Yuvarlanma Aşınması .....	53
4.2.3. Aşınma Deneyleri .....	53
4.2.4. Aşınma Kaybı Tespit Yöntemleri.....	54
4.2.4.1. Ağırlık Farkı Metodu.....	54
4.2.4.2. Kalınlık Farkı Metodu .....	54
4.2.4.3. İz Değişimi Metodu .....	55
4.2.4.4. Radyoizotop Metodu .....	55
<b>5. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>56</b>
5.1. Yüzeyi Aşımılacak Numunelerin Hazırlanması .....	56
5.2. Mikroyapı Numunelerinin Hazırlanması ve İncelenmesi.....	60
5.3. Sertlik Ölçümleri .....	62
5.4. Adhesiv Aşınma Testi .....	63
<b>6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>64</b>
6.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları .....	64
6.1.1. (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Aşımılamların Mikroyapısı.....	64
6.1.2. (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Aşımılamların Mikroyapısı.....	93
6.1.3. (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Aşımılamların Mikroyapısı.....	116
6.1.4. (%ağ.) 70FeCrC-30FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Aşımılamların Mikroyapısı.....	140
6.1.5. (%ağ.) 50FeCrC-50FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Aşımılamların Mikroyapısı.....	162
6.1.6. Sinterlenmiş (%ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Aşımılamların Mikroyapısı.....	185
6.2. Mikrosertlik Sonuçları.....	193
6.2.1. (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Aşımılamların Mikrosertliği .....	193
6.2.2. (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Aşımılamların Mikrosertliği .....	195
6.2.3. (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Aşımılamların Mikrosertliği .....	196
6.2.4. (%ağ.) 70FeCrC-30FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Aşımılamların Mikrosertliği.....	197
6.2.5. (%ağ.) 50FeCrC-50FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Aşımılamların Mikrosertliği.....	199
6.2.6. Sinterlenmiş (ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Aşımılamların Mikrosertliği.....	200

6.3. Aşınma Sonuçları .....	201
6.3.1. (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımamaların Aşınması .....	201
6.3.2. (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımamaların Aşınması .....	223
6.3.3. (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımamaların Aşınması .....	240
6.3.4. (%ağ.) 70FeCrC-30FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımamaların Aşınması .....	256
6.3.5. (%ağ.) 50FeCrC-50FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımamaların Aşınması .....	274
6.3.6. Sinterlenmiş (%ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımamaların Aşınması .....	290
<b>7. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>299</b>
<b>8. KAYNAKLAR.....</b>	<b>302</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>312</b>

## ÖZET

Bu çalışmada, AISI 1020 çeliğinin yüzeyi farklı oranlarda karıştırılan FeCrC, FeW, FeB ferro alaşım tozları ile farklı ısı girdilerinde alaşımlandırıldı. Yüzey alaşımlama yöntemi olarak plazma transfer ark (PTA) kaynak yöntemi kullanıldı. Farklı ısı girdileri elde etmek için yüzey alaşımlama işlemi iki farklı ilerleme hızı (0.15 m/dk, 0.1 ml/dk) ve üç farklı akım (120 A, 140 A, 160 A) değerinde yapıldı. Elde edilen numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakaları mikroyapıları optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve enerji dağılımlı X-ışınları (EDS) yöntemleriyle analiz edildi. Mikrosertlik ölçümleri mikrosertlik test cihazında gerçekleştirildi. Kuru kaymalı aşınma ve sürtünme katsayısı özellikleri blok-on-disk tip aşınma deney cihazı kullanılarak belirlendi. Aşınma testleri 19.62 N, 39.24 N, 58.86 N yükte ve 900 m kayma mesafesinde gerçekleştirildi.

Yapılan deneylerde, toz karışım oranı ve ısı girdisi değişimine göre farklı mikroyapıların oluştuğu tespit edildi. Ayrıca ısı girdisi değiştikçe, fazların boyutunun ve dağılımının değiştiği görüldü. Alaşımlanmış yüzey tabakalarında genellikle,  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürü,  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü, (Cr, Fe)B borürü, FeB borürü ve  $Fe_2B$  borürü gibi fazlar tespit edildi. En yüksek mikrosertlik değeri, (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımı ile 0.713 kJ/mm ısı girdisinde yüzeyi alaşımlanan numunede 1668 HV ölçüldü. En yüksek ortalama mikrosertlik değeri (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB toz karışımı ile 0.585 kJ/mm ısı girdisinde yüzeyi alaşımlanan numunede 1217 HV ölçüldü. Düşük ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin ortalama mikrosertlik değerlerinin genellikle daha yüksek olduğu tespit edildi. Düşük ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin aşınma dirençlerinin daha yüksek olduğu görüldü. En yüksek aşınma direncine sahip numunenin 0.475 kJ/mm ısı girdisinde, (%ağ.) 70FeCrC-30FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanmış numune olduğu tespit edildi. Yüksek ısı girdisi ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin sürtünme katsayılarının genellikle daha düşük olduğu belirlendi. Yük arttıkça sürtünme katsayısının daha kararlı ve küçük bir aralıkta değiştiği tespit edildi.

**Anahtar Kelimeler:** AISI 1020, Plazma Transfer Ark (PTA) kaynağı, Yüzey Alaşımlama, Fe-Cr-W-B-C, Fe-Cr-B-C, Aşınma, Sürtünme.



## SUMMARY

### Effect of Boron Addition on Surface Properties in Alloying of AISI 1020 Steel by Plasma Transferred Arc Method

In this study, the surface of the AISI 1020 steel was alloyed with FeCrC, FeW, FeB ferroalloy powders mixed at different ratios in different heat inputs. Plasma transferred arc (PTA) welding method was used as surface alloying method. The surface alloying process was done at two different feed rates (0.15 m/min, 0.1 m/min) and three different currents (120 A, 140 A, 160 A) to obtain different heat inputs. The microstructures of the alloyed surface layers of the obtained samples were analyzed by optical microscope (OM), scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD) and energy dispersive X-ray (EDS) methods. Microhardness measurements were performed at microhardness test device. The dry sliding wear and friction coefficient properties were determined using a block-on-disk type wear test device. Wear tests were performed at 19.62 N, 39.24 N, 58.86 N load and the sliding distance of 900 m.

In the experiments, it was found that different microstructures were formed according to the powder mixture ratio and heat input change. Also it was seen that the size and distribution of the phases changed as the heat input changed. Phases such as  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) carbide,  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) carbide, (Cr, Fe)B boride, FeB boride and  $Fe_2B$  boride were detected in the alloyed surface layers generally. The highest microhardness value was measured at 1668 HV on sample surface alloyed with (%wt.) 80FeCrC-10FeW-10FeB powder mixture at 0.713 kJ/mm heat input. The highest average microhardness value was measured at 1217 HV on sample surface alloyed with (%wt.) 50FeCrC-1-20FeW-30FeB powder mixture at 0.585 kJ/mm heat input. The average microhardness value of samples surface alloyed with low heat inputs were determined to be generally higher. It was seen that the wear resistance of the samples surface alloyed with low heat inputs were higher. It was determined that the sample with the highest wear resistance was the sample surface alloyed with (%ağ.) 70FeCrC-30FeB powder mixture at 0.475 kJ/mm heat input. It was determined that the coefficient of friction of the samples surface alloyed with high heat input were generally lower. It was found that as the load increased, the coefficient of friction changed more steadily and in a small range.

**Keywords:** AISI 1020, Plasma Transferred Arc (PTA) Welding, Surface Alloying, Fe-Cr-W-B-C, Fe-Cr-B-C, Wear, Friction.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 3.1. Sol-Jel kaplama yöntemi aşamaları.....	25
Şekil 3.2. Buharlaştırma ile PVD kaplama şematik gösterimi .....	26
Şekil 3.3. Sıçratma ile PVD kaplama şematik gösterimi .....	26
Şekil 3.4. CVD kaplama yöntemi şematik gösterimi .....	27
Şekil 3.5. EPK yöntemi şematik gösterimi .....	28
Şekil 3.6. Alev sprej püskürtme yöntemi şematik gösterimi a) Tel besleme ve b) Toz besleme .....	29
Şekil 3.7. Patlamalı püskürtme yöntemi şematik gösterimi .....	30
Şekil 3.8. Plazma püskürtme yöntemi şematik gösterimi .....	31
Şekil 3.9. HVOF püskürtme yöntemi şematik gösterimi .....	31
Şekil 3.10. Elektrik ark püskürtme yöntemi şematik gösterimi .....	32
Şekil 3.11. GTA kaynağı şematik gösterimi .....	33
Şekil 3.12. MAG kaynağı şematik gösterimi .....	34
Şekil 3.13. Toz altı kaynağı şematik gösterimi .....	35
Şekil 3.14. Elektron ışın kaynağı şematik gösterimi .....	36
Şekil 3.15. Lazer kaynağı şematik gösterimi .....	37
Şekil 3.16. PTA kaynağı şematik gösterimi .....	38
Şekil 4.1. Statik ve dinamik sürtünme katsayısı.....	41
Şekil 4.2. $\mu$ s-zaman ve $\mu$ k-hız grafikleri .....	41
Şekil 4.3. Sürtünmede geometrik ve gerçek temas alanı.....	41
Şekil 4.4. Sıvı sürtünmenin şematik gösterimi.....	42
Şekil 4.5. Aşınmanın zamana bağlı değişimi .....	44
Şekil 4.6. Tribolojik sistem .....	45
Şekil 4.7. Aşınma test cihazları .....	54
Şekil 5.1. Altlık malzemenin boyutları (mm).....	56
Şekil 5.2. Sinterleme fırını .....	58
Şekil 5.3. Kanala yerleştirildikten sonra sıkıştırılmış toz karışımı .....	58
Şekil 5.4. PTA kaynak cihazı .....	59
Şekil 5.5. Optik mikroskop .....	61
Şekil 5.6. JEOL JSM-7001F SEM cihazı.....	62
Şekil 5.7. ZEISS EVO-MA10 SEM cihazı .....	62
Şekil 5.8. EMCO TEST marka mikrosertlik cihazı .....	63
Şekil 6.1. N1-N6 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları a) N1, b) N2, c) N3, d) N4, e) N5 ve f) N6 .....	66
Şekil 6.2. N1 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	67
Şekil 6.3. N2 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	67
Şekil 6.4. N3 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	68
Şekil 6.5. N4 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x1000).....	68
Şekil 6.6. N5 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	69
Şekil 6.7. N6 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	69
Şekil 6.8. XRD analiz sonuçları a) (N1-N3) ve b) (N4-N6) .....	72
Şekil 6.9. N1 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	74
Şekil 6.10. N1 numunesinin SEM görüntüleri a) x2000 ve b) x10000 .....	75

Şekil 6.11. N1 numunesinin EDS grafikleri.....	76
Şekil 6.12. N2 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	77
Şekil 6.13. N2 numunesinin SEM görüntüleri a) x4000 ve b) x15000.....	79
Şekil 6.14. N2 numunesinin EDS grafikleri.....	80
Şekil 6.15. N3 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	81
Şekil 6.16. N3 numunesinin SEM görüntüleri a) x2000 ve b) x10000.....	82
Şekil 6.17. N3 numunesinin EDS grafikleri.....	83
Şekil 6.18. N4 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	84
Şekil 6.19. N4 numunesinin SEM görüntüleri a) x5000 ve b) x10000.....	85
Şekil 6.20. N4 numunesinin EDS grafikleri.....	86
Şekil 6.21. N5 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	87
Şekil 6.22. N5 numunesinin SEM görüntüleri a) x1000 ve b) x10000.....	89
Şekil 6.23. N5 numunesinin EDS grafikleri.....	90
Şekil 6.24. N6 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	91
Şekil 6.25. N6 numunesinin SEM görüntüleri a) x2000 ve b) x10000.....	92
Şekil 6.26. N6 numunesinin EDS grafikleri.....	93
Şekil 6.27. 0.475 kJ/mm ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N7 numunesinin makro fotoğrafı.....	94
Şekil 6.28. N8-N12 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları.....	95
Şekil 6.29. N8 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	96
Şekil 6.30. N9 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	96
Şekil 6.31. N10 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	97
Şekil 6.32. N11 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x1000).....	97
Şekil 6.33. N12 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x1000).....	98
Şekil 6.34. XRD analiz sonuçları a) (N8-N10) ve b) (N11 ve N12).....	99
Şekil 6.35. N8 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x1000.....	101
Şekil 6.36. N8 numunesinin SEM görüntüleri a) x1000 ve b) x5000.....	103
Şekil 6.37. N8 numunesinin EDS grafikleri.....	104
Şekil 6.38. N9 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	106
Şekil 6.39. N9 numunesinin SEM görüntüsü x10000.....	107
Şekil 6.40. N9 numunesinin EDS analiz grafiği.....	107
Şekil 6.41. N10 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	108
Şekil 6.42. N10 numunesinin SEM görüntüleri a) x2000 ve b) x2000.....	110
Şekil 6.43. N10 numunesinin EDS grafikleri.....	111
Şekil 6.44. N11 ve N12 numunelerinin OM görüntüleri a) N11 x200 ve b) N12 x200....	112
Şekil 6.45. N11 ve N12 numunelerinin SEM görüntüleri a) N11 x5000 ve b) N12 x5000.....	114
Şekil 6.46. N11 numunesinin EDS grafikleri.....	115
Şekil 6.47. N12 numunesinin EDS grafikleri.....	116
Şekil 6.48. 0.475 kJ/mm ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N13 numunesinin makro fotoğrafı.....	118
Şekil 6.49. N14-N18 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları.....	118
Şekil 6.50. N14 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x5000).....	119
Şekil 6.51. N15 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	119
Şekil 6.52. N16 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	120
Şekil 6.53. N17 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	120
Şekil 6.54. N18 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	121
Şekil 6.55. XRD analiz sonuçları a) (N14-N16) ve b) (N17 ve N18).....	122
Şekil 6.56. N14 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	124

Şekil 6.57. N14 numunesinin SEM görüntüleri a) x2000 ve b) x5000.....	126
Şekil 6.58. N14 numunesinin EDS grafikleri.....	127
Şekil 6.59. N15 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	129
Şekil 6.60. N15 numunesinin SEM görüntüleri a) x1500 ve b) x5000.....	131
Şekil 6.61. N15 numunesinin EDS grafikleri.....	132
Şekil 6.62. N16 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	133
Şekil 6.63. N16 numunesinin SEM görüntüleri a) x2000 ve b) x5000.....	135
Şekil 6.64. N16 numunesinin EDS grafikleri.....	136
Şekil 6.65. N17 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	137
Şekil 6.66. N18 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	138
Şekil 6.67. N17 ve N18 numunelerinin SEM görüntüleri a) N17 x10000 ve b) N18 x10000 .....	139
Şekil 6.68. N17 ve N18 numunelerinin EDS grafikleri .....	140
Şekil 6.69. N19-N24 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları.....	142
Şekil 6.70. N19 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	142
Şekil 6.71. N20 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	143
Şekil 6.72. N21 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	143
Şekil 6.73. N22 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x1000).....	144
Şekil 6.74. N23 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x500).....	144
Şekil 6.75. N24 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x500).....	145
Şekil 6.76. XRD analiz sonuçları a) (N19-N21) ve b) (N22-N24) .....	146
Şekil 6.77. N19 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	147
Şekil 6.78. N19 numunesinin SEM görüntüsü x1000 .....	148
Şekil 6.79. N19 numunesinin EDS grafikleri.....	149
Şekil 6.80. N20 numunesinin OM görüntüsü x500.....	150
Şekil 6.81. N21 numunesinin OM görüntüsü x500.....	150
Şekil 6.82. N22 numunesinin OM görüntüsü x500.....	151
Şekil 6.83. N23 numunesinin OM görüntüsü x500.....	151
Şekil 6.84. N24 numunesinin OM görüntüsü x500.....	152
Şekil 6.85. N20 numunesinin SEM görüntüleri a) x1000 ve b) x2000 .....	153
Şekil 6.86. N20 numunesinin EDS grafikleri.....	154
Şekil 6.87. N21 numunesinin SEM görüntüleri a) x1000 ve b) x2000.....	155
Şekil 6.88. N21 numunesinin EDS grafikleri.....	156
Şekil 6.89. N22 numunesinin SEM görüntüleri a) x1000 ve b) x2000.....	157
Şekil 6.90. N22 numunesinin EDS grafikleri.....	158
Şekil 6.91. N23 numunesinin SEM görüntüleri a) x500 ve b) x1000.....	159
Şekil 6.92. N23 numunesinin EDS grafikleri.....	160
Şekil 6.93. N24 numunesinin SEM görüntüleri a) x500 ve b) x1000.....	161
Şekil 6.94. N24 numunesinin EDS grafikleri.....	162
Şekil 6.95. 0.475 kJ/mm ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N25 numunesinin makro fotoğrafi .....	163
Şekil 6.96. N26-N30 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları.....	164
Şekil 6.97. N26 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x5000).....	164
Şekil 6.98. N27 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x5000).....	165
Şekil 6.99. N28 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x5000).....	165
Şekil 6.100. N29 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	166
Şekil 6.101. N30 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	166
Şekil 6.102. XRD analiz sonuçları a) (N26-N28) ve b) (N29 ve N30).....	168

<b>Şekil 6.103.</b> N26 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	170
<b>Şekil 6.104.</b> N26 numunesinin SEM görüntüsü x5000 .....	171
<b>Şekil 6.105.</b> N26 numunesinin EDS grafikleri.....	172
<b>Şekil 6.106.</b> N27 numunesinin OM görüntüleri a) x500 ve b) x1000.....	173
<b>Şekil 6.107.</b> N27 numunesinin SEM görüntüsü x5000 .....	174
<b>Şekil 6.108.</b> N27 numunesinin EDS grafikleri.....	175
<b>Şekil 6.109.</b> N28 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x1000.....	176
<b>Şekil 6.110.</b> N28 numunesinin SEM görüntüsü x10000 .....	177
<b>Şekil 6.111.</b> N28 numunesinin EDS grafikleri.....	178
<b>Şekil 6.112.</b> N29 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	179
<b>Şekil 6.113.</b> N29 numunesinin SEM görüntüleri a) x1000 ve b) x5000 .....	181
<b>Şekil 6.114.</b> N29 numunesinin EDS grafikleri.....	182
<b>Şekil 6.115.</b> N30 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500.....	183
<b>Şekil 6.116.</b> N30 numunesinin SEM görüntüsü x5000 .....	184
<b>Şekil 6.117.</b> N30 numunesinin EDS grafikleri.....	184
<b>Şekil 6.118.</b> N31 ve N32 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları..	185
<b>Şekil 6.119.</b> N31 numunesinin SEM görüntüsü (x2000) .....	186
<b>Şekil 6.120.</b> N32 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000).....	187
<b>Şekil 6.121.</b> N31 ve N32 numunelerinin XRD analiz sonuçları .....	188
<b>Şekil 6.122.</b> N31 ve N32 numunelerinin OM görüntüleri a) N31 x500 ve b) N32 x500..	189
<b>Şekil 6.123.</b> N31 ve N32 numunelerinin SEM görüntüleri a) N31 x2000 ve b) N32 (x2000) .....	191
<b>Şekil 6.124.</b> N31 ve N32 numunelerinin EDS grafikleri .....	192
<b>Şekil 6.125.</b> N1-16 numunelerinin mikrosertlik dağılımları .....	194
<b>Şekil 6.126.</b> N8-N12 numunelerinin mikrosertlik dağılımları .....	196
<b>Şekil 6.127.</b> N14-N18 numunelerinin mikrosertlik dağılımları .....	197
<b>Şekil 6.128.</b> N19-N24 numunelerinin mikrosertlik dağılımları .....	198
<b>Şekil 6.129.</b> N26-N30 numunelerinin mikrosertlik dağılımları .....	200
<b>Şekil 6.130.</b> N31 ve N32 numunelerinin mikrosertlik dağılımları.....	201
<b>Şekil 6.131.</b> 19.62 N yükte, AISI 1020 ve N1-N6 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	203
<b>Şekil 6.132.</b> 39.24 N yükte, AISI 1020 ve N1-N6 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	203
<b>Şekil 6.133.</b> 58.86 N yükte, AISI 1020 ve N1-N6 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	204
<b>Şekil 6.134.</b> AISI 1020 ve N1-N6 numunelerinin yüke göre aşınma kayıpları .....	205
<b>Şekil 6.135.</b> AISI 1020 ve N1-N6 numunelerinin ortalama sürtünme katsayılarının yüke göre değişimi .....	206
<b>Şekil 6.136.</b> AISI 1020' nin sürtünme katsayısının kayma mesafesine göre değişimi .....	207
<b>Şekil 6.137.</b> 19.62 N yükte, N1-N6 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	208
<b>Şekil 6.138.</b> 39.24 N yükte, N1-N6 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	208
<b>Şekil 6.139.</b> 58.86 N yükte, N1-N6 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	209
<b>Şekil 6.140.</b> AISI 1020' nin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.....	210
<b>Şekil 6.141.</b> N1 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	212
<b>Şekil 6.142.</b> N2 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	214
<b>Şekil 6.143.</b> N3 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	216

<b>Şekil 6.144.</b> N4 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	218
<b>Şekil 6.145.</b> N5 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	220
<b>Şekil 6.146.</b> N6 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	222
<b>Şekil 6.147.</b> 19.62 N yükte, AISI 1020 ve N8-N12 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	224
<b>Şekil 6.148.</b> 39.24 N yükte, AISI 1020 ve N8-N12 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	224
<b>Şekil 6.149.</b> 58.86 N yükte, AISI 1020 ve N8-N12 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	225
<b>Şekil 6.150.</b> AISI 1020 ve N8-N12 numunelerinin yüke göre aşınma kayıpları .....	226
<b>Şekil 6.151.</b> AISI 1020 ve N8-N12 numunelerinin ortalama sürtünme katsayılarının yüke göre değişimi .....	227
<b>Şekil 6.152.</b> 19.62 N yükte, N8-N12 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	228
<b>Şekil 6.153.</b> 39.24 N yükte, N8-N12 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	229
<b>Şekil 6.154.</b> 58.86 N yükte, N8-N12 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	229
<b>Şekil 6.155.</b> N8 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	231
<b>Şekil 6.156.</b> N9 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	233
<b>Şekil 6.157.</b> N10 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	235
<b>Şekil 6.158.</b> N11 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	237
<b>Şekil 6.159.</b> N12 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	239
<b>Şekil 6.160.</b> 19.62 N yükte, AISI 1020 ve N14-N18 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	241
<b>Şekil 6.161.</b> 39.24 N yükte, AISI 1020 ve N14-N18 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	241
<b>Şekil 6.162.</b> 58.86 N yükte, AISI 1020 ve N14-N18 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	242
<b>Şekil 6.163.</b> AISI 1020 ve N14-N18 numunelerinin yüke göre aşınma kayıpları .....	243
<b>Şekil 6.164.</b> AISI 1020 ve N14-N18 numunelerinin ortalama sürtünme katsayılarının yüke göre değişimi .....	244
<b>Şekil 6.165.</b> 19.62 N yükte, N14-N18 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	245
<b>Şekil 6.166.</b> 39.24 N yükte, N14-N18 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	245
<b>Şekil 6.167.</b> 58.86 N yükte, N14-N18 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	246
<b>Şekil 6.168.</b> N14 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	247
<b>Şekil 6.169.</b> N15 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	249
<b>Şekil 6.170.</b> N16 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	251
<b>Şekil 6.171.</b> N17 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	253
<b>Şekil 6.172.</b> N18 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	255
<b>Şekil 6.173.</b> 19.62 N yükte, AISI 1020 ve N19-N24 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	257
<b>Şekil 6.174.</b> 39.24 N yükte, AISI 1020 ve N19-N24 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	257
<b>Şekil 6.175.</b> 58.86 N yükte, AISI 1020 ve N19-N24 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	258

<b>Şekil 6.176.</b> AISI 1020 ve N19-N24 numunelerinin yüke göre aşınma kayıpları .....	259
<b>Şekil 6.177.</b> AISI 1020 ve N19-N24 numunelerinin ortalama sürtünme katsayılarının yüke göre değişimi .....	260
<b>Şekil 6.178.</b> 19.62 N yükte, N19-N24 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	261
<b>Şekil 6.179.</b> 39.24 N yükte, N19-N24 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	261
<b>Şekil 6.180.</b> 58.86 N yükte, N19-N24 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	262
<b>Şekil 6.181.</b> N19 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	263
<b>Şekil 6.182.</b> N20 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	265
<b>Şekil 6.183.</b> N21 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	267
<b>Şekil 6.184.</b> N22 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	269
<b>Şekil 6.185.</b> N23 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	271
<b>Şekil 6.186.</b> N24 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	273
<b>Şekil 6.187.</b> 19.62 N yükte, AISI 1020 ve N26-N30 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	275
<b>Şekil 6.188.</b> 39.24 N yükte, AISI 1020 ve N26-N30 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	275
<b>Şekil 6.189.</b> 58.86 N yükte, AISI 1020 ve N26-N30 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	276
<b>Şekil 6.190.</b> AISI 1020 ve N26-N30 numunelerinin yüke göre aşınma kayıpları .....	277
<b>Şekil 6.191.</b> AISI 1020 ve N26-N30 numunelerinin ortalama sürtünme katsayılarının yüke göre değişimi .....	278
<b>Şekil 6.192.</b> 19.62 N yükte, N26-N30 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	279
<b>Şekil 6.193.</b> 39.24 N yükte N26-N30 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	279
<b>Şekil 6.194.</b> 58.86 N yükte, N26-N30 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	280
<b>Şekil 6.195.</b> N26 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	281
<b>Şekil 6.196.</b> N27 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	283
<b>Şekil 6.197.</b> N28 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	285
<b>Şekil 6.198.</b> N29 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	287
<b>Şekil 6.199.</b> N30 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	289
<b>Şekil 6.200.</b> 19.62 N yükte, AISI 1020, N31 ve N32 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	291
<b>Şekil 6.201.</b> 39.24 N yükte, AISI 1020, N31 ve N32 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	291
<b>Şekil 6.202.</b> 58.86 N yükte, AISI 1020, N31 ve N32 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları.....	292
<b>Şekil 6.203.</b> AISI 1020, N31 ve N32 numunelerinin yüke göre aşınma kayıpları.....	293
<b>Şekil 6.204.</b> AISI 1020, N31 ve N32 numunelerinin ortalama sürtünme katsayılarının yüke göre değişimi .....	294
<b>Şekil 6.205.</b> 19.62 N yükte, N31 ve N32 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	294
<b>Şekil 6.206.</b> 39.24 N yükte, N31 ve N32 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	295

<b>Şekil 6.207.</b> 58.86 N yükte, N31 ve N32 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi.....	295
<b>Şekil 6.208.</b> N31 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	296
<b>Şekil 6.209.</b> N32 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri .....	298





## TABLolar LİSTESİ

### Sayfa No

<b>Tablo 5.1.</b> AISI 1020 ve ferro alaşımların kimyasal kompozisyonları (% ağı) .....	56
<b>Tablo 5.2.</b> Yüzey alaşımlama tozları karışım oranları (% ağı) .....	57
<b>Tablo 5.3.</b> PTA yüzey alaşımlamada kullanılan sabit parametreler .....	59
<b>Tablo 5.4.</b> PTA yüzey alaşımlamada kullanılan üretim parametreleri .....	60
<b>Tablo 6.1.</b> (% ağı) 80FeCrC-10FeW-10FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların genel özellikleri .....	65
<b>Tablo 6.2.</b> N1-N6 numunelerinin Cr/Fe ve W/Fe oranları .....	70
<b>Tablo 6.3.</b> (% ağı) 60FeCrC-20FeW-20FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların genel özellikleri .....	94
<b>Tablo 6.4.</b> N8-N12 numunelerinin Cr/Fe ve W/Fe oranları.....	98
<b>Tablo 6.5.</b> (% ağı) 50FeCrC-20FeW-30FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların genel özellikleri .....	117
<b>Tablo 6.6.</b> N14-N8 numunelerinin Cr/Fe ve W/Fe oranları.....	121
<b>Tablo 6.7.</b> (% ağı) 70FeCrC-30FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların genel özellikleri.....	141
<b>Tablo 6.8.</b> N19-N24 numunelerinin Cr/Fe oranları .....	145
<b>Tablo 6.9.</b> (% ağı) 50FeCrC-50FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların genel özellikleri.....	163
<b>Tablo 6.10.</b> N26-N30 numunelerinin Cr/Fe oranları .....	167
<b>Tablo 6.11.</b> Sinterlenmiş (% ağı) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların genel özellikleri .....	185
<b>Tablo 6.12</b> N31 ve N32 numunelerinin Cr/Fe oranları.....	187
<b>Tablo 6.13.</b> (% ağı) 80FeCrC-10FeW-10FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların mikrosertlikleri .....	194
<b>Tablo 6.14.</b> (% ağı) 60FeCrC-20FeW-20FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların mikrosertlikleri .....	195
<b>Tablo 6.15.</b> (% ağı) 50FeCrC-20FeW-30FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların mikrosertlikleri .....	197
<b>Tablo 6.16.</b> (% ağı) 70FeCrC-30FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların mikrosertlikleri .....	198
<b>Tablo 6.17.</b> (% ağı) 50FeCrC-50FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların mikrosertlikleri .....	199
<b>Tablo 6.18.</b> (% ağı) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların mikrosertlikleri.....	200

## SEMBOLLER LİSTESİ

<b>A</b>	: Akım (A)
<b>A<sub>ort</sub></b>	: Fazların ortalama yüzey alanı
<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>B</b>	: Bor
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>Co</b>	: Kobalt
<b>Cr</b>	: Krom
<b>F</b>	: Yapıda yoğun bulunan faz
<b>F<sub>s</sub></b>	: Sürtünme kuvveti (N)
<b>F<sub>N</sub></b>	: Normal kuvvet (N)
<b>G<sub>ort</sub></b>	: Fazların ortalama genişliği
<b>h</b>	: Yüzey Alaşımlama derinliği (mm)
<b>h<sub>a</sub></b>	: Ara yüzey yüksekliği (mm)
<b>HV</b>	: Vickers sertliği
<b>HV<sub>(ort.)</sub></b>	: Yüzey alaşımlama tabakası ortalama mikrosertliği
<b>HV<sub>(max.)</sub></b>	: En yüksek sertlik değeri
<b>Mo</b>	: Molibden
<b>Mn</b>	: Mangan
<b>Nb</b>	: Niyobyum
<b>Ni</b>	: Nikel
<b>Ti</b>	: Titanyum
<b>μ</b>	: Ortalama sürtünme katsayısı
<b>μ<sub>ort</sub></b>	: Ortalama sürtünme katsayısı
<b>μ<sub>s</sub></b>	: Statik sürtünme katsayısı
<b>μ<sub>k</sub></b>	: Dinamik sürtünme katsayısı
<b>Q</b>	: Isı girdisi (kj/mm)
<b>V</b>	: İlerleme hızı (m/dk)
<b>V</b>	: Vanadyum
<b>Y</b>	: Yapıda bulunan fazların yüzdesi
<b>W</b>	: Tungsten

## KISALTMALAR

<b>%ağ.</b>	: Yüzde ağırlık
<b>CVD</b>	: Kimyasal Buhar Biriktirme
<b>EDS</b>	: Enerji dağılımlı X-ışınları
<b>EİK</b>	: Elektron ışın kaynağı
<b>EPK</b>	: Elektrolitik plazma kaplama
<b>GTA</b>	: Gaz Tungsten Ark
<b>HVOF</b>	: Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme
<b>MIG/MAG</b>	: Ergiyen Elektrotlu Gaz Altı Ark
<b>MMK</b>	: Metal Matris Kompozit
<b>OM</b>	: Optik mikroskop
<b>PTA</b>	: Plazma Transfer Ark
<b>PVD</b>	: Fiziksel Buhar Biriktirme
<b>SEM</b>	: Taramalı elektron mikroskobu
<b>XRD</b>	: X-ışını kırınımı

## 1. GİRİŞ

Farklı tipteki hareketli metalik makine elemanlarının aşınması, uygulama ve maliyet açısından önemli sonuçlar ortaya çıkarmaktadır [1]. Madencilik, demiryolu, haddeleme vs. gibi yüksek aşınmaya maruz kalan metalik parçaların kullanıldığı endüstrilerde en önemli sorunlardan biri aşınmadır [2]. Metalik parçaların aşınmaya karşı dirençli hale getirilmesinin en uygun maliyetli ve verimli yolu, yüzeylerinin yüksek aşınma ve korozyon dirençli metalik malzemelerle kaplanması ve alaşımlanmasıdır [1, 3].

Yüzey alaşımlama metotlarından en yaygını, farklı özelliklerdeki aşınma dirençli metalik alaşımların yüzeyde kaynak ile ergitilip biriktirilmesi [4, 5]. Ergitme ile yüzey alaşımlama metodu olarak genellikle plazma transfer ark (PTA) kaynağı, gaz tungsten ark (GTA) kaynağı ve lazer kaynağı gibi metotlar kullanılmaktadır [6-8]. PTA kaynağı ile yüzey alaşımlama yöntemi; yüksek biriktirme oranı, yüksek sıcaklık, yüksek ısı girdisi, mükemmel ark kararlılığı, altlık malzemedeki düşük termal çarpılma gibi avantajlara sahip bir yöntemdir [9-11].

Yüksek oranda krom ve karbon içeren demir esaslı ferro alaşımlar (FeCrC), malzeme yüzeylerinin alaşımlandırılmasında sıklıkla kullanılmaktadır [12, 13]. Yüzey alaşımlamada kromun sürtünme katsayısını düşürücü ve korozyona karşı koruma özelliği vardır [14]. Ayrıca FeCrC yüzey alaşımlama ile yüzeyde sert ve aşınmaya karşı dayanıklı  $M_7C_3$  ( $M=Fe, Cr$ ),  $M_{23}C_6$  ( $M=Fe, Cr$ ) gibi karbürler oluşturulabilir [15]. Bu karbürler aşınma ve korozyona karşı oldukça dayanıklı bileşiklerdir [16, 17]. Bu bileşikler kimyasal kompozisyona ve soğuma hızına bağlı olarak hiperötektik, ötektik ve hipötektik yapılar gösterirler [18].

Malzeme yüzeylerinde sert bir faz olan borürler, eritilmiş tuzlar kullanılarak elektrolizsiz ve elektrolitik olarak çeliklerin yüzeylerinde oluşturulabilmektedir. Fakat bu yöntemler ekonomik açıdan avantajlı değildir [19]. Malzeme yüzeylerine bor içeren tozların ergitilerek alaşımlandırılmasıyla da malzeme yüzeylerinde FeB ve Fe<sub>2</sub>B gibi aşınma ve korozyon dayanımı yüksek olan borür yapıları oluşturulabilir [20, 21]. Malzeme yüzeylerinin FeW ve FeB ferro alaşımlarıyla alaşımlandırılması, yüzeyde oluşan WC karbürü,  $M_7(C, B)_3$  ( $M=Fe, W$ ) ve  $M_{23}(C, B)_6$  ( $M=Fe, W$ ) karbürü yapılarından dolayı, yüzeyin sertliğini ve aşınma direncini önemli ölçüde artırmaktadır [22-24].

Bu çalışmada, düşük karbonlu AISI 1020 çeliğinin yüzeyi farklı oranlarda karıştırılan FeCrC, FeW ve FeB ferro alaşımlarıyla ve karbon katıldıktan sonra sinterlenmiş FeCrC, FeW ve FeB toz karışımıyla PTA kaynak yöntemi kullanılarak farklı ısı girdilerinde alaşımlandırıldı. Böylelikle toz karışım oranlarının ve ısı girdisinin alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapı ve mekanik özelliklerine (mikrosertlik, aşınma miktarı) etkisi araştırıldı. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelendi. Alaşımlanmış yüzey tabakalarını meydana getiren bileşiklerin kimyasal kompozisyonu enerji dağılımlı X-ışınları (EDS) analizi, çeşidi ise X-ışını kırınımı (XRD) analizi ile tespit edildi. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının sertlikleri mikrosertlik cihazıyla ölçüldü ve sertlik dağılım grafikleri elde edildi. Yüzeyi alaşımlanmış numunelerin aşınma miktarları ve sürtünme katsayısı değerleri, blok-on-disk aşınma test cihazıyla farklı yük ve aşınma mesafeleri için belirlendi.

Bu tez çalışması, toplam sekiz bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmaya genel bir giriş yapılmış ve çalışmayla ilgili literatürde yapılan bazı çalışmalar özetlenmiştir. İkinci bölümde çeliklerin kısa bir tanımı yapılmış ve çelik çeşitlerinden bahsedildikten sonra çeliğe katılan alaşım elementlerinin çeliğin özelliklerine etkileri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde yüzey kaplama, yüzey alaşımlama ve farklı yüzey kaplama ve alaşımlama yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde sürtünmenin ve aşınmanın tanımı ve çeşitleri anlatılmış daha sonra sürtünme katsayısı ve sürtünmeye etki eden faktörler hakkında bilgi verilmiştir. Yine dördüncü bölümde aşınmanın tanımı yapılmış ve aşınma çeşitleri, aşınmaya etki eden faktörler ve aşınma deneyleri ile aşınma deneyi ölçüm metodlarından bahsedilmiştir. Beşinci bölümde deneysel çalışmanın nasıl yapıldığından ve deneyde kullanılan malzeme ve ekipmanlardan detaylıca bahsedilmiştir. Altıncı bölümde deneysel çalışmadan elde edilen mikroyapı, mikrosertlik ve aşınma sonuçları irdelenmiştir. Yedinci bölümde çalışmadan elde edilen genel sonuçlar maddeler halinde özetlendikten sonra yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur. Sekizinci ve son bölümde ise çalışmada yararlanılan kaynaklar verilmiştir.

## **1.1. Literatür Özeti**

Aşağıda PTA yöntemiyle gerçekleştirilen yüzey alaşımlama ve bu çalışmada kullanılan alaşım elementleriyle bunlara benzer alaşım elementleri kullanılarak PTA veya

farklı yöntemlerle gerçekleştirilen yüzey alaşımlamalarla ilgili yapılan bazı çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Yuan ve Li (2014) [3], PTA yöntemiyle gerçekleştirilen  $(Cr, Fe)_7C_3$  takviyeli  $\alpha$ -Fe bazlı kompozit ile alaşımlandırılan yüzeyin sürtünme ve aşınma davranışında; karbür boyutunun, içeriğinin, yükleme ve kayma mesafesinin etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında 20.9, 35.2 ve 66.3  $\mu m$  olmak üzere üç farklı boyutta karbür kullanarak üç farklı oranda karıştırılan  $Cr_3C_2/Fe-CrCBNiBSi$  (1:5, 3:5 ve 5:5) toz karışımları ile AISI A36 çeliğinin yüzeyini alaşımlandırmışlardır. Yüzeyi alaşımlandırılan numunelerin aşınma testlerini 100, 200 ve 300 N yükte kuru kaymalı blok-on-tekerlek tip aşınma test cihazında gerçekleştirmişlerdir. Bu alaşımlanmış yüzey tabakalarının  $(Cr, Fe)_7C_3$ ,  $Cr_3C_2$  ve  $\alpha$ -Fe' den oluştuğunu tespit etmişler ve  $Cr_3C_2$  oranının artmasıyla  $(Cr, Fe)_7C_3$  oranının ve boyutunun, ayrıca alaşımlanmış yüzey tabakalarının sertliğinin ve aşınma direncinin arttığını belirtmişlerdir. Mikrosertlik ölçümlerinden alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikrosertliklerinin  $(Cr, Fe)_7C_3$  oranının artmasına bağlı olarak 875' den 1145 HV' ye çıktığını tespit etmişlerdir. Aşınma testleri sonucunda,  $(Cr, Fe)_7C_3$  oranının yükselmesiyle aynı kayma mesafesinde kuru kayma şartları altında sürtünme katsayısının da düştüğü ve yükün 100 N' dan 200 N' a çıkmasıyla aşınma oranının arttığı, yükün 300 N' a yükselmesiyle aşınma oranının azaldığı sonuçlarına varmışlardır.

Veinthal vd. (2013) [25], 1.0037 yumuşak çeliğinin yüzeyini PTA yöntemiyle Fe-Cr-C tozuyla alaşımlandırdıktan sonra üç farklı soğutma şartında numuneleri soğutarak, numunelerin yüksek gerilmeli darbeli abrasif aşınma ve yüzey yorulma aşınma davranışını incelemişlerdir. Soğutma işlemini, aktif soğutma (yüzey alaşımlama sonrasında gaz ile soğutma), pasif soğutma (yüzeyi alaşımlanmış numunelerin altına 20  $^{\circ}C$  sabit ısıda bakır levha koyarak) ve standart soğutma (oda sıcaklığında soğumaya bırakma) yaparak gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri alaşımlanmış yüzey tabakalarının genellikle  $(Cr, Fe)_7C_3$  karbürlerinden oluştuğunu tespit etmişlerdir. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının maksimum mikrosertliğini pasif soğutulmuş numunede yaklaşık 7425 Mpa (yaklaşık 757 HV) olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında Fe-Cr-C tozlarının PTA yöntemi kullanılarak mükemmel bir şekilde yüzey sertleştirme metodu olarak kullanılacağı, soğutma oranının PTA ile yapılan yüzey alaşımlamanın mekanik özelliklerini etkilediğini belirtmişlerdir. Pasif soğutmanın elastiklik modülünü değiştirmeden alaşımlanmış yüzey tabakalarının sertliğini artırdığı, aktif soğutmanın ise sertliği ve elastiklik modülünü düşürdüğü sonuçlarına varmışlardır. Ayrıca pasif soğutmanın darbeli aşınma performansını artırdığını

ve aktif soğutmaya oranla %15 daha fazla aşınma direncine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Bourithis ve Papadimitriou (2009) [12], AISI 1118 çeliğinin yüzeyini MMK-TiC, Fe-B, Fe-Cr-B ve AISI M2 tozlarıyla alaşımlandırmışlardır. Yüzeyi alaşımlandırılmış numunelerin aşınma testlerini adhezyon, düşük gerilmeli abrazyon ve hareketli iki gövdeli abrazyon olmak üzere üç farklı aşınma mekanizmasında ayrı ayrı gerçekleştirmişlerdir. MMK-TiC ile yüzeyi alaşımlandırılan numunenin mikroyapısının martenzit, kalıntı östenit ve TiC' den, Fe-B ile yüzeyi alaşımlandırılan numunenin mikroyapısının martenzit, kalıntı östenit,  $M_2C$  ve  $M_6C$  karbürlerinden, Fe-Cr-B ile yüzeyi alaşımlandırılan numunenin mikroyapısının ötektik ferrit,  $Fe_2B$ , FeB ve proötektik  $Fe_2B$  borürlerinden oluştuğunu tespit etmişlerdir. En yüksek ortalama mikrosertlik değerini Fe-B ile yüzeyi alaşımlandırılan numunede  $1200 \pm 150$  HV olarak ölçmüşlerdir. Sonuç olarak, Fe-Cr-B yüzey alaşımlandırmanın endüstride ısıtma işlem görmüş takım çeliklerinin yerini alabileceğini ve AISI D2 takım çeliğine göre aşınma performansının düşük gerilmeli ve iki-cisim abrazyon aşınması için iki kat, adhezyon aşınması için ise dört kat daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca Fe-B yüzey alaşımlandırmanın adhezyon ve abrazyon aşınmalarında iyi sonuç verdiği fakat yüksek kırılabilirliğinin darbeli yüklemelerde kullanılabilirliğini sınırladığı görülmüştür. AISI M2 yüzey alaşımlandırmanın abrasif aşınma performansının AISI D2 takım çeliğiyle benzer olduğu, bunun yanında adhezyon aşınmasının ise iki kat daha iyi olduğu sonuçlarına varmışlardır. Son olarak, TiC yüzey alaşımlandırmanın hareketli iki gövdeli abrazyon aşınması durumu için iyi performans verdiğini belirtmişlerdir.

Hou vd. (2005) [26], kobalt bazlı Co-Cr-W alaşım tozunu PTA yöntemiyle ağırlıkça % 0.12 karbon içeren düşük karbonlu çelik yüzeyine alaşımlanmış ve alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapı ve abrasif aşınmasını araştırmışlardır. Ayrıca bu yüzeyi alaşımlanmış numuneyi  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de 60 saat yaşlandırma işlemine tabi tutmuşlar ve oda sıcaklığında soğumaya bırakmışlardır. Oluşan bu yüzey alaşımlamanın da mikroyapı ve aşınma davranışını incelemişlerdir. Yüzeyi alaşımlanmış numunenin mikroyapısının (Cr, Fe) $_7C_3$  karbürlerinden ve Co elementinden oluştuğunu, yaşlandırılmış numunenin mikroyapısının ise (Cr, Fe) $_7C_3$ ,  $M_{23}C_6$  (M=Co, Cr, Fe, Ni, Mo, W, Si) karbürleri ile Co katı çözeltilisinden oluştuğunu tespit etmişlerdir. Alaşımlanmış yüzey tabakasının mikrosertliğini yaklaşık 340 HV ile 420HV arasında, yaşlandırılmış numunenin mikrosertliğini ise yaklaşık 460 HV ve 530 HV arasında ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, birleşme bölgesinin eş

eksenli dendrit alt katman ve sütunlu dendritik alt katmanlardan oluştuğunu ve yaşlandırmadan sonra mikroyapının kaba taneli bir yapıya dönüştüğü ve ötektik morfolojinin yaşlandırılmamış yüzey alaşımlamadan daha farklı olduğu sonuçlarına varmışlardır. Yaşlandırmadan sonra, alaşımlanmış yüzey tabakasındaki  $(Cr, Fe)_7C_3$  yapısının  $M_{23}C_6$  yapısına dönüştüğünü ve yüzeyi alaşımlanmış numunenin aşınma direncinin, yaşlandırılmış numuneden daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Xibao vd. (2005) [27], % 0.18 karbonlu yumuşak çeliğin yüzeyini PTA yöntemi ile Fe-Ti-B-C ile alaşımlandırdıktan sonra alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapı analizlerini, sertlik ve çatlama direnci testlerini gerçekleştirmişlerdir. Yüzey alaşımlamada alaşım tozu olarak farklı oranlarda karıştırılmış Fe-Ti alaşımı ve  $B_4C$  tozlarını kullanmışlar. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapılarının östenit,  $\alpha$ -Fe ve  $TiB_2$ ,  $Fe_2B$  borürlerinden oluştuğunu tespit etmişler, alaşım tabakalarının yüzey sertliklerini ise yaklaşık 73.5 ile 83.2 HRA arasında ölçmüşlerdir. Sonuç olarak, Fe-Ti-B-C yüzey alaşımlamada  $TiB_2$  viskerlerinin sentezlediğini tespit etmişler ve  $TiB_2$  viskerlerinin şeklinin ve miktarının B ve Ti içeren tozların bileşimine ve ark akımına bağlı olarak değiştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca Fe-Ti-B-C yüzey alaşımlandırmanın çatlama direncinin, ince  $TiB_2$  viskerlerinin hacimsel dağılımına bağlı olarak arttığı sonucuna varmışlardır.

Zikin vd. (2012) [8], östenitik çeliğin yüzeyini PTA yöntemini kullanarak krom karbür tozları ile alaşımlandırmışlardır. Alaşım tozu olarak  $Cr_3C_2$  ve  $Cr_3C_2$ -Ni tozlarını, matris tozu olarak ise NiCrBSi alaşım tozunu kullanmışlar ve ayrı ayrı altlık malzeme yüzeyine alaşımlamışlardır. Yüzey alaşımlama işlemini gerçekleştirdikten sonra, numunelerin mikroyapılarını incelemişler ve numuneleri 300, 550 ve 700 °C’ de darbeli abrazyon testine tabi tutmuşlardır. Çalışmalarında, alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapılarının NiCrBSi yüzey alaşımlamada  $Cr_7C_3$  karbüründen,  $Ni_3B$  borüründen ve  $FeNi_3$ ’ den,  $Cr_3C_2$  yüzey alaşımlamada  $Cr_3C_2$ ,  $Cr_7C_3$  ve  $Cr_{23}C_6$  karbürleri ile  $Ni_{2.9}Cr_{0.7}Fe_{0.36}$ ’ dan,  $Cr_3C_2$ -Ni yüzey alaşımlamanın ise,  $Cr_3C_2$ ,  $Cr_7C_3$  karbürleri ve  $FeNi_3$ ’ den oluştuğunu tespit etmişlerdir. En yüksek sertlik değerini,  $Cr_3C_2$ -Ni yüzey alaşımlamada  $730 \pm 110$  HV olarak ölçmüşlerdir. Sonuç olarak, krom karbürlerin PTA yöntemi ile yüzeyde aşınma dirençli yapılar oluşturmada uygulanabilirliğinin çok iyi olduğu, en düşük karbür çözünürlüğünün sermet parçacıklardan dolayı meydana geldiğini belirtmişler. Ayrıca yüksek sıcaklık uygulamaları için,  $Cr_3C_2$ -Ni yüzey alaşımlama tabakasının ilgi çekici sonuçlar verdiği ve 700 °C’ a varan sıcaklıklarda kararlılığının ve aşınma oranının iyi olduğu sonuçlarına varmışlardır.



Yuan ve Li (2013) [28],  $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{Fe-CrNiBSi}$  kompozit yüzey alaşımlandırması içerisindeki  $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$  karbürünün çekirdeklenme analizini gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarında altlık malzeme olarak ASTM A36 düşük karbonlu çeliğini kullanmışlar ve yüzeyini PTA yöntemiyle parçacık geometrisi belli olmayan  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  ve yuvarlak Fe-CrNiBSi tozlarını, iki toz besleme ünitesi ile birlikte besleyerek yüzeye alaşımlandırmışlardır. Gerçekleştirdikleri alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapısının  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ,  $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$  karbürleri ile  $\alpha\text{-Fe}$ ' den oluştuğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak alaşımlanmış yüzey tabakasının yuvarlak şekilli  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  ve hegzagonal çubuk şekilli  $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$  olmak üzere iki farklı karbür yapısı tespit etmişler. Ayrıca heterojen  $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$  çekirdeklenmesinden dolayı yarı çözünmüş  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  parçacıklarının etkin bir şekilde hareket edebileceğini görmüşlerdir. Yarı çözünmüş  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  parçacıklarının  $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$  oluşumunu destekleyen sayısız kraterlerle çevrili olduğu ve bundan dolayı da hegzagonal çubuk şekilli  $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$  yapılarının, yarı çözünmüş  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  parçacıklarının çevresinde radyal yönde büyüdüğü sonuçlarına varmışlardır.

Neville vd. (2005) [29], WC tabanlı MMK toz karışımını PTA yöntemi ile 316L östenitik paslanmaz çeliği üzerine alaşımlayarak, erozyon-korozyon davranışını incelemişlerdir. Alaşım tozu olarak farklı büyüklüklerde WC ve Ni (kalan)-11.3Cr-3.8Si-2.36Fe-3B-0.58C toz karışımını kullanmışlardır. WC ve toz karışımını ağırlıkça %65 WC ve %35 (Ni (kalan)-11.3Cr-3.8Si-2.36Fe-3B-0.58C) olacak şekilde karıştırmışlardır. Alaşımlanmış yüzey tabakasının mikroyapısının WC,  $\text{W}_2\text{C}$ ,  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ , (W, Cr, Ni, Fe)C karbürleri ile  $\text{Ni}_2\text{Si}$ ,  $\text{Ni}_3\text{B}$ , CrB ve  $\gamma\text{-Fe}$ ' den oluştuğunu tespit etmişlerdir. En yüksek ortalama sertlik değerini 45-106  $\mu\text{m}$  boyutunda WC ile yüzeyi alaşımlanan numunede 1006 HV olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, erozyon-korozyon oranının WC tane boyutu farklılığından çok az etkilendiğini, erozyon-korozyon oranının erozyon-korozyon şiddetine önemli ölçüde bağlı olduğu ve erozyon boyutu için en önemli faktörün çarpışma hızı ve yüklemenin olduğu sonuçlarına varmışlar. Ayrıca erozyon-korozyon davranışının aşındırıcı parçacık boyutu ve malzemenin mikroyapısına bağlı olduğunu da belirtmişlerdir.

Flores vd. (2009) [18], östenitik çeliğin yüzeyini PTA metoduyla Fe-Cr-C ve (%ağ.) 35FeCrC-65WC ile alaşımlandırdıktan sonra alaşımlanmış yüzey tabakalarının erozyon-korozyon aşınma mekanizmasını incelemişlerdir. Aşınma testlerini 20 °C ve 65 °C' de ve 10 ve 50 g/lit kum kompozisyonunda ayrı ayrı gerçekleştirmişlerdir. FeCrC yüzey alaşımlandırmanın mikroyapısının östenit ( $\gamma$ ),  $\text{M}_7\text{C}_3$  ve  $\text{M}_3\text{C}$  karbürlerinden, FeCrC-WC yüzey alaşımlandırmanın mikroyapısının ise genelde WC,  $\text{M}_7\text{C}_3$  ve  $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$  karbürlerinden

oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Ortalama alaşımlanmış yüzey tabakası mikrosertliklerini FeCrC yüzey alaşımında yaklaşık 670 HV ve FeCrC-WC yüzey alaşımında ise 1140 HV olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, 20 °C’ de Fe-Cr-C yüzey alaşımlandırmanın mikro kesme ve mikro sürünmeyi takip eden plastik akış özelliği gösterdiğini, 65 °C’ de dendritik yapının seçici çözünmesinden dolayı alaşımlanmış yüzey tabakasının yüksek aşınma gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca 10g/lt ve 20 °C’ de ve ortadan düşüğe doğru çarpma açılarında, intermetalik fazların varlığının WC-Fe-Cr-C yüzey alaşımlandırmanın erozyon-korozyon direnci üzerinde yararlı bir etkisinin olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Cheng vd. (2008) [30], ağırlıkça % 0.12 C içeren çeliğin yüzeyini (%ağ.) 4.8C-0.8Si-1.5B-40Cr-Fe (kalan) alaşım tozu kullanarak PTA yöntemiyle alaşımlandırmışlardır. Bu tozu yüzey alaşımlandırma sırasında manyetik karıştırıcıyla farklı akım değerlerinde (0, 1, 2, 3, 4, 5 A) karıştırarak malzeme yüzeyini alaşımlandırmışlardır. Aşınma testlerini yaş kumlastik tekerlek abrazyon testi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Mikroyapı analizlerinde alaşımlanmış yüzey tabakalarının yarı kararlı (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbürlerinden ve östenit fazından oluştuğunu tespit etmişlerdir. Karıştırma olmadan gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırma, (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbürlerinin yaklaşık 73 µm boyutunda, 3A akım değerinde ise en küçük değeri olan 20 µm boyutunda olduğunu belirtmişlerdir. Maksimum mikrosertlik değerini 1050 HV olarak ölçmüşler ve 3A karıştırma ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmanın en yüksek sertlik ve aşınma dayanımına sahip olduğu, bunun nedeninin mikroyapının içerisinde üniform dağılmış ve sadece hegzagonal olan (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbürlerinden oluşan yapıdan kaynaklandığı sonuçlarına varmışlardır.

Liu vd. (2006) [31], % 0.45 C oranına sahip çelik üzerine Fe-Cr-C-Ni toz karışımını PTA yöntemi ile alaşımlandırmışlar ve kuru kaymalı aşınma davranışını 400 N yükte ring-on-ring aşınma test cihazıyla belirlemişlerdir. Alaşım tozu olarak (%ağ.) Fe (kalan)-18Cr-0.6C-3Ni tozunu kullanmışlardır. Gerçekleştirdikleri alaşımlanmış yüzey tabakasının mikroyapısının (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbürü ve östenitten oluştuğunu tespit etmişlerdir. Çalışmalarında gerçekleştirdikleri yüzey alaşımlandırmanın, bağıl aşınma direncinin altlık malzemenin aşınma direncine oranla yaklaşık 35 kat daha fazla olduğu, alaşımlanmış yüzey tabakasının altlık malzeme yüzeyine mekanik olarak çok iyi bağlandığı ve aşınma direncinin çok iyi olduğu sonuçlarına varmışlar. Ayrıca alaşımlandırılmış yüzey tabakasının mikrosertlik değerinin yaklaşık 850 HV olduğu ve üniform bir dağılım gösterdiğini belirtmişlerdir.

Darabara vd. (2006) [32], maksimum % 0.2 C içeren sade karbonlu çeliğin yüzeyini Fe-B-TiB<sub>2</sub> MMK ile PTA yöntemini kullanarak farklı akım değerlerinde alaşımlandırmışlardır. Alaşımlandırma tozu olarak (%ağ.) 100TiB<sub>2</sub>, (%ağ.) 90.9TiB<sub>2</sub>-9.1B, (%ağ.) 77.8TiB<sub>2</sub>-22.2B, (%ağ.) 57.1TiB<sub>2</sub>-42.9B ve (%ağ.) 40TiB<sub>2</sub>-60B toz karışımlarını kullanmışlardır. (%ağ.) 100TiB<sub>2</sub> ve (%ağ.) 90.9TiB<sub>2</sub>-9.1B ile gerçekleştirilen alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapılarının TiB<sub>2</sub>, Ti(C,N) ve α-Fe' den, diğer toz karışımlarıyla gerçekleştirilen alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapılarının ise bu yapılara ilaveten Fe<sub>2</sub>B borüründen oluştuğunu tespit etmişlerdir. Maksimum ortalama mikrosertlik değerini (%ağ.) 40TiB<sub>2</sub>-60B ile yüzeyi alaşımlanan numunede 1022 HV olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, PTA tekniği ile geniş bir kompozisyonda TiB<sub>2</sub> ve Fe<sub>2</sub>B takviyeli yüzey alaşımlama tabakalarının üretilebileceği, toz karışımında bulunan serbest B miktarının yüzey alaşımlama tabakasının oluşumunda önemli bir rol oynadığı, alaşımlanmış yüzey tabakasının mikroyapısının toz karışımındaki TiB<sub>2</sub> ve B oranına bağlı olarak değiştiği ve B oranının artışının mikrosertliği artırdığı sonuçlarına varmışlardır.

Xibao (2005) [33], % 0.18 karbon içeren yumuşak çeliğin yüzeyini Fe ve B<sub>4</sub>C toz karışımı ile alaşımlandırmıştır. Alaşım tozu olarak (%ağ.) 80Fe+5B<sub>4</sub>C, (%ağ.) 80Fe+10B<sub>4</sub>C, (%ağ.) 80Fe+20B<sub>4</sub>C ve (%ağ.) 80Fe+30B<sub>4</sub>C toz karışımları kullanmıştır. Alaşımlandırılmış yüzey tabakalarının mikroyapılarında B<sub>4</sub>C, Fe<sub>3</sub>(C, B), Fe<sub>2</sub>B, FeB, α-Fe ve γ-Fe fazları tespit etmiştir. Alaşımlandırılmış yüzey tabakalarında en yüksek sertlik değeri (%ağ.) 80Fe+20B<sub>4</sub>C yüzey alaşımlamada 1206 HV olarak ölçülmüştür. Çalışmasında, B<sub>4</sub>C' nin sadece düşük akım değerlerinde yapıda kaldığı, akımın artmasıyla B<sub>4</sub>C' nin ergiyerek demir bazlı alaşımlarla reaksiyona girdiği, 200 A ve üstü akım değerlerinde B<sub>4</sub>C parçacıklarının çoğunun ergidiği sonuçlarına varmıştır.

Bourithis ve Papadimitriou (2005) [34], AISI 111 çeliğinin yüzeyini PTA yöntemi ile (%ağ.) 4.1C-33.4Cr-12.5Mo-50TiC, (%ağ.) 3.4C-23Cr-28.7Mo-30.5WC-14.4VC, (%ağ.) 100B ve (%ağ.) 100CrB<sub>2</sub> ile alaşımlandırmışlardır. Alaşımlandırılmış yüzey tabakalarının aşınma dayanımını üç cisim abrasif aşınma testi ile ölçmüşlerdir. (%ağ.) 4.1C-33.4Cr-12.5Mo-50TiC ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmanın mikroyapısının martenzit, östenit ve TiC' den, (%ağ.) 3.4C-23Cr-28.7Mo-30.5WC-14.4VC ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmanın mikroyapısının östenit, martenzit, M<sub>2</sub>C (M=Fe, W, Mo, V, Cr) ve M<sub>6</sub>C (M=Fe, W, Mo, V, Cr) karbürlerinden, (%ağ.) 100B ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmanın mikroyapısının FeB ve Fe<sub>2</sub>B borürlerinden, (%ağ.) 100CrB<sub>2</sub> ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmanın mikroyapısının ise Fe<sub>2</sub>B borüründen ve ferritten

oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama mikrosertliklerini ise  $870 \pm 30$  HV olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, gerçekleştirdikleri alaşımlandırılmış yüzey tabakalarının aşınma oranının yüke bağlı olarak arttığı, Fe-C-Cr-Mo-W-V yüzey alaşımlamanın aşınma performansının Fe-C-Cr-Mo-Ti yüzey alaşımlamadan daha iyi olduğu ve Fe-Cr-B yüzey alaşımlamanın aşınma direncinin yapısında bulunan yüksek orandaki proötektik borürlerden dolayı en yüksek olduğu sonuçlarına varmışlardır. Ayrıca Fe-B yüzey alaşımlamanın aşınma direncinin de Fe-Cr-B ye yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Yuan ve Li (2014) [35], ASTM A36 çeliğinin yüzeyini PTA yöntemi ile Fe-CrNiBSi tozu ve 2/5 oranında karıştırılan  $Cr_3C_2$ /Fe-CrNiBSi toz karışımı ile alaşımlandırmışlardır. Aşınma testlerini blok-on-tekerlek tip aşınma test cihazında 100, 200 ve 300 N yükte gerçekleştirmişlerdir. Fe-CrNiBSi ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmanın mikroyapısının genellikle  $\alpha$ -Fe,  $Cr_3C_2$ /Fe-CrNiBSi toz karışımı ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmanın mikroyapısının ise genellikle  $\alpha$ -Fe,  $Cr_3C_2$  ve  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe) karbürlerinden oluştuğunu tespit etmişlerdir. En yüksek sertlik değerini  $Cr_3C_2$ /Fe-CrNiBSi yüzey alaşımlamada 1300 HV olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, yüksek hacim oranına sahip  $M_7C_3$  takviyeli  $\alpha$ -Fe bazlı yüzey alaşımlamanın PTA yöntemi ile başarılı bir şekilde elde edilebileceği,  $M_7C_3$  takviyeli yüzey alaşımlamanın kütle kayıplarının takviyesiz  $\alpha$ -Fe yüzey alaşımlamadan daha az olduğu, aşınmada yükün 100 N' dan 300 N' a çıkmasıyla  $M_7C_3$  parçacıklarının aşınma yüzeylerinde mikro çatlaklar ve pullanma çukurları meydana geldiği sonuçlarına varmışlardır.

Buytoz vd. (2013) [36], AISI 316 paslanmaz çeliğinin yüzeyini farklı oranlarda karıştırılmış FeCrC ve  $B_4C$  tozları ile PTA yöntemini kullanarak alaşımlandırmışlardır. Alaşım tozu olarak dört farklı karışım tozu FeCrC ile (%ağ.) 10-25  $B_4C$  karışımını kullanmışlar ve bu karışımları farklı ısı girdilerinde altlık malzeme yüzeyine alaşımlandırmışlardır. Gerçekleştirdikleri alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapılarının genellikle  $\gamma$ -(Fe,Ni),  $(Cr, Fe)_7(C, B)_3$  ve  $(Cr, Fe)_{23}(C, B)_6$  karbürlerinden oluştuğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca bu fazların yanında bir miktarda  $Fe_3(C, B)$ ,  $Ni_3B$  ve  $Cr_2(C, B)$  pikine rastlamışlardır. Gerçekleştirdikleri alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama mikrosertliklerini 600 ve 1200 HV arasında ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapılarının büyük miktarda geliş güzel dağılmış birincil  $(Cr, Fe)_7(C, B)_3$  ve  $(Cr, Fe)_{23}(C, B)_6$  karbürlerinden oluştuğu, bu karbürlerin morfolojilerinin, boyutlarının ve hacim oranlarının her bir yüzey alaşımlamada değiştiği ve

alaşımlanmış yüzey tabakalarında ölçülen maksimum mikrosertliğin yaklaşık 1280 HV olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Yılmaz vd. (2011) [37], X120Mn12 çeliğinin yüzeyini FeCrC, FeW ve NiAl tozları ile PTA yöntemini kullanarak alaşımlandırmışlardır. Alaşım tozu olarak FeCrC tozu ile FeCrC-FeW ve FeW-FeCrC-NiAl toz karışımlarını kullanmışlardır. Yüzey alaşımlama işlemini 0.2, 1, 1.5 g/s toz besleme oranında ve 5, 10 ve 22 j/cm<sup>2</sup> ısı girdisinde ayrı ayrı gerçekleştirmişlerdir. Aşınma testlerini kuru şartlarda 30, 55 ve 80 N yükte yapmışlardır. FeCrC ile gerçekleştirdikleri yüzey alaşımlandırmaların mikroyapısının M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> (M= Fe, Cr) karbürleri ile östenitten, FeCrC-FeW ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmaların mikroyapısının M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> (M=Fe, Cr, W) karbürleri ile östenitten ve FeW-FeCrC-NiAl ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmalarının mikroyapısının ise M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> (M=Fe, Cr, W), WCrC karbürleri ile östenitten oluştuğunu tespit etmişlerdir. FeCrC ile alaşımlandırılmış yüzey tabakalarının mikrosertliğini 775-995 HV arasında, FeCrC-FeW ile alaşımlandırılmış yüzey tabakalarının mikrosertliğini 1120-1345 HV arasında, FeW-FeCrC-NiAl ile alaşımlandırılmış yüzey tabakalarının mikrosertliğini ise 709-865 HV arasında ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapılarının ağırlıklı olarak C yüzdesi ve Fe/Cr oranına bağlı olduğu, FeCrC yüzey alaşımlamada ana fazın yüzey merkezli kübik östenit ikincil fazın ise M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> (M= Fe, Cr) karbürü olduğu, FeCrC-FeW ve FeW-FeCrC-NiAl yüzey alaşımlamada ise ikincil fazın (Cr<sub>2</sub>Fe<sub>5</sub>W)<sub>3</sub> fazı olduğu, toz ve ısı girdisinin artmasının ötektik dönüşüm sıcaklığını düşürdüğü, tüm yüzey alaşımlamalarda yükün artmasıyla aşınma oranının arttığı sonuçlarına varmışlardır. Ayrıca FeW-FeCrC-NiAl toz karışımı ile 0.5 g/s toz besleme oranı ve 22 j/cm<sup>2</sup> ısı girdisi ile alaşımlanan numunenin aşınma oranının en düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Fan vd. (2006) [38], ASTM A36 çeliğinin yüzeyini Fe-Cr-C alaşımı ile GTA yöntemini kullanarak alaşımlandırmışlardır. Alaşım tozu olarak (%ağ.) 100Cr tozunu ve (%ağ.) 5C-95Cr, (%ağ.) 7C-93Cr , (%ağ.) 9C-91Cr toz karışımlarını kullanmışlardır. (%ağ.) 100Cr ile gerçekleştirilen alaşımlanmış yüzey tabakasının mikroyapısının Cr-Fe' den, (%ağ.) 5C-95Cr ile gerçekleştirilen alaşımlanmış yüzey tabakasının mikroyapısının Cr-Fe ve (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> karbüründen, (%ağ.) 7C-93Cr ile gerçekleştirilen alaşımlanmış yüzey tabakasının mikroyapısının Cr-Fe ve (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> karbüründen ve (%ağ.) 9C-91Cr ile gerçekleştirilen alaşımlanmış yüzey tabakasının mikroyapısının ise Cr-Fe, (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> ve (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbürlerinden oluştuğunu tespit etmişlerdir. Maksimum sertlik yüksek karbon ile yüzeyi alaşımlanan numunede yaklaşık 70 HRC olarak ölçülmüş ve karbon

oranının artmasıyla sertliğin arttığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında, ergime noktasının, katılaşma oranının ve karbür şekillerinin karbür oranına bağlı olarak değiştiği ve karbon oranı arttıkça karbürlerin irileştiği sonuçlarına varmışlardır.

Chang vd. (2010) [39], ASTM A36 çeliğinin yüzeyini Fe-Cr-C alaşımı ile GTA yöntemini kullanarak alaşımlandırmışlardır. Alaşım tozu olarak (%ağ.) 10C-90Cr, (%ağ.) 15C-85Cr ve (%ağ.) 20C-80Cr toz karışımlarını kullanmışlardır. Aşınma testlerini 100 N yükte kuru kum-lastik tekerlek abrasif aşınma test cihazıyla gerçekleştirmişlerdir. (%ağ.) 10C-90Cr ile gerçekleştirilen alaşımlanmış yüzey tabakasının mikroyapısının Cr-Fe, (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> ve (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbürlerinden, diğer toz karışımları ile gerçekleştirilen alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapılarının ise Cr-Fe ve (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbüründen oluştuğunu tespit etmişlerdir. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikrosertliklerini 57-64 HRC (yaklaşık 670-840 HV) arasında ölçmüşler ve karbon oranının artmasıyla alaşımlanmış yüzey tabakalarının sertliğinin arttığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında, C oranının artmasıyla mikroyapıların içerisindeki karbür ve ötektik kolonilerin oranının ve boyutunun değiştiği, sertliğin ve aşınma direncinin karbon oranının artmasına bağlı olarak arttığı sonuçlarına varmışlardır.

Buytoz (2006) [40], AISI 4340 çeliğinin yüzeyini Fe-Cr-C alaşımı ile TIG yöntemini kullanarak alaşımlandırmışlardır. Yüzey alaşımlama işlemi 3.5 ve 5 g toz miktarında ve 12.1 ve 14.1 kJ/cm ısı girdilerinde gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirdiği alaşımlandırılmış yüzey tabakalarının mikroyapılarının östenit ve (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbüründen oluştuğunu tespit etmiştir. Maksimum sertlik değerini yüksek toz oranında ve ısı girdisinde yüzeyi alaşımlanan numunede 1500 HV olarak ölçülmüştür. Çalışmasında, hiperötektik mikroyapının östenit-(Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> ve (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbüründen oluştuğu, (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbürlerinin sertliğinin 1050 ve 1500 HV arasında değiştiği sonuçlarına varmıştır.

Chang vd. (2009) [17], ASTM A36 çeliğinin yüzeyini hiperötektik Fe-Cr-C alaşımı ile özlü elektrotlu ark kaynak yöntemi ile alaşımlandırmıştır. Alaşım tozu olarak sabit (%ağ.) 40Cr, (%ağ.) 2FeSi ile üç farklı oranda (%ağ. 7, 10 ve 13 C) toz karışımını kullanmışlardır. Gerçekleştirdikleri alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapılarının proötektik (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbürleri ile (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>- $\gamma$ -Fe ötektiğinden oluştuğunu tespit etmişlerdir. Maksimum sertliği yüksek karbon oranına sahip numunede yaklaşık 62 HRC (790 HV) olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, karbon oranının artmasına bağlı olarak (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbürlerinin oranının arttığı, boyutlarının küçüldüğü ve yapılarının bıçak şeklinden

çubuk şekline dönüştüğü sonuçlarına varmışlardır. Ayrıca alaşımlanmış yüzey tabakalarının sertliklerinin karbon oranının artmasıyla arttığını belirtmişlerdir.

Buytoz vd. (2005) [41], AISI 4340 çeliğinin yüzeyini Fe-Cr-C elementleri ile GTA yöntemini kullanarak alaşımlandırmışlardır. Yüzey alaşımlamaları 3.5 ve 5 g toz oranında ve farklı ısı girdilerinde gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri alaşımlanmış yüzey tabakalarının östenit ve  $(Cr, Fe)_7C_3$  karbürlerinden oluştuğunu tespit etmişler ve alaşımlanmış yüzey tabakalarının maksimum ortalama mikrosertliğini  $861 \pm 60$  HV olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, yüksek ısı girdisi ve düşük toz oranıyla yüzeyi alaşımlandırılan numunelerin mikroyapısının hipooöktik, interdendritik ötektik ve östenitten oluştuğu, artan toz oranına ve düşen ısı girdisine bağlı olarak alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapısının hiperötektik ve ötektik- $(Cr, Fe)_7C_3$  yapısından oluştuğu sonuçlarına varmışlardır. Ayrıca hipooöktik mikroyapının sertliğinin diğer yapılardan daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Yuan ve Li (2013) [42], AISI A36 çeliğinin yüzeyini PTA yöntemini kullanarak Fe-CrNiBSi tozu ve  $Cr_3C_2/Fe-CrNiBSi$  toz karışımı ile alaşımlandırmışlardır. Aşınma testlerini blok-on-tekerlek tip aşınma cihazında 100, 200 ve 300 N yükte gerçekleştirmişlerdir. Fe-CrNiBSi yüzey alaşımlamanın mikroyapısının genelde dendritik  $\alpha-Fe'$  den,  $Cr_3C_2/Fe-CrNiBSi$  yüzey alaşımlamanın mikroyapısının ise  $\alpha-Fe$ ,  $(Cr, Fe)_7C_3$  ve  $Cr_3C_2$  karbürlerinden oluştuğunu tespit etmişlerdir. Fe-CrNiBSi yüzey alaşımlamanın mikrosertliğini 302.3-366.7 HV arasında,  $Cr_3C_2/Fe-CrNiBSi$  yüzey alaşımlamanın mikrosertliğini ise 858.3-1339.4 HV arasında ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, sürtünme katsayısı ve aşınma oranının Fe-CrNiBSi yüzey alaşımlamada yükün artmasıyla arttığı,  $Cr_3C_2/Fe-CrNiBSi$  yüzey alaşımlamada ise sürtünme katsayısının yükün 200 N' a çıkmasıyla arttığı yükün 300 N' a yükselmesiyle de ise bir miktar düştüğü, sürtünme katsayısının tüm yük değerlerinde  $Cr_3C_2/Fe-CrNiBSi$  yüzey alaşımlamada daha karalı olduğu,  $Cr_3C_2/Fe-CrNiBSi$  yüzey alaşımlamanın aşınma oranının tüm yük değerlerinde Fe-CrNiBSi yüzey alaşımlamadan daha düşük olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Wei vd. (2015) [43], ASTM G3101 karbon çeliğinin yüzeyini Titanyum karbonitrit takviyeli Fe-Cr-C ile GMA kaynak tekniğini kullanarak alaşımlandırmışlardır. Alaşım tozu olarak farklı oranlarda karıştırılan FeTi, FeCrC ve CrN karışımlarını kullanmışlardır. Yüzey alaşımlamaları ayrı ayrı  $CO_2$  ve  $N_2$  koruyucu gaz atmosferi altında yapmışlardır. Aşınma testlerini abrasif aşınma test cihazında 20 N yükte gerçekleştirmişlerdir.  $CO_2$  atmosferi altında gerçekleştirilen alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapısının  $\gamma-Fe$ ,  $\alpha-$

Fe, (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> ve TiC' den oluştuğunu, N<sub>2</sub> atmosferi altında gerçekleştirilen alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapısının ise bu fazlara ilaveten Ti(C, N)' den oluştuğunu tespit etmişlerdir. Alaşımlanmış yüzey tabakalarında maksimum sertliği 60 HRC (yaklaşık 740 HV) olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, sertliğin Ti oranına bağlı olarak arttığı, aşınma kayıplarının ise azaldığı ve Ti(C, N) içeren yüzey alaşımlamaların aşınma kayıplarının daha az olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Ulutan vd. (2016) [44], düşük karbonlu AISI 5115 çeliğinin yüzeyini Fe-Cr-C elementleriyle farklı ısı girdilerinde PTA yöntemini kullanarak alaşımlandırmışlardır. Aşınma testlerini ball-on-disk tipindeki aşınma deney cihazında 5 N yük değerinde gerçekleştirmişlerdir. 80, 90, 100 ve 120 A akım değerinde gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmaların mikroyapılarının FeC ve Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> karbürlerinden, 110 A akım değerinde gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmanın mikroyapısının ise FeC, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> ve Fe<sub>23</sub>C<sub>6</sub> karbürlerinden oluştuğunu tespit etmişlerdir. En yüksek mikrosertlik değerini 886 HV olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, yüzeyi alaşımlanmış numunelerin aşınma oranlarının ve sürtünme katsayılarının AISI 5115' e oranla çok daha düşük olduğu, en düşük aşınma oranının 100 A akım değeriyle yüzeyi alaşımlanan numunede elde edildiği ve alaşımlanmış yüzey tabakalarının sürtünme katsayılarının 0.62 ile 0.73 arasında değiştiği sonuçlarına varmışlardır.

Lai vd. (2016) [45], S45C çeliğinin yüzeyini GTA kaynak yöntemini kullanarak Fe-Cr-C elementleri ile alaşımlandırmışlardır. Alaşım tozu olarak (%ağ.) 3.5C-96.5Cr toz karışımını kullanmışlardır. Gerçekleştirdikleri yüzey alaşımlamanın mikroyapısının ötektik α(Cr, Fe)-(Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub>' dan oluştuğunu tespit etmişler ve yüzey alaşımlamanın mikroyapısının balık kılçığı şekilli ötektik hücrelerden oluştuğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, ötektik α(Cr,Fe)-(Cr,Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> fazının kromun alaşım içerisindeki ağırlıkça yüzdesinin 35' i geçmesiyle oluştuğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca üç eksenli balık kılçığı şeklindeki yapıyı karmaşık düzenli yapı olarak tanımlamışlardır.

Iakovou vd. (2002) [46], düşük sertlikteki Calmax takım çeliğinin yüzeyini %99.5 saflıktaki B elementi ile (birincide tek pasoda, ikincide iki pasoda, üçüncüde ise üç pasoda) alaşımlandırmışlardır ve yine aynı çeliğe ısıl işlem uygulamışlardır. Böylelikle ısıl işlem görmüş ve B ile yüzeyi alaşımlandırılmış Calmax çeliğinin aşınma sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Aşınma testlerini pin-on-disk tip aşınma deney cihazında 9.8, 19.6, 29.4 ve 39.2 N yükte gerçekleştirmişlerdir. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikroyapılarının martenzit ve Fe<sub>2</sub>B borüründen oluştuğunu tespit etmişler ve paso



sayısıyla borürlerin şeklinin değiştiğini belirtmişlerdir. Maksimum mikrosertliği üç pasoda yüzeyi alaşımlanan numunede 1300 HV olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, yüzey alaşımlamaların mikrosertliklerinin 1000-1300 HV arasında değiştiği, aşınma oranının yük ile arttığı, üç pasoda yüzeyi alaşımlanan numunenin aşınma oranının 39.2 N yük hariç tüm yük değerlerinde ısıtıl işlem görmüş Calmax çeliğinden daha düşük olduğu ve sürtünme katsayısının borür varlığına ve oksit tabakalarına bağlı olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Yüksek ve Şahin (2014) [24], AISI 1020 çeliğinin yüzeyini Fe-Cr-C ve Fe-Cr-B-C elementleri ile ark kaynağı tekniğini kullanarak alaşımlandırmışlardır. Alaşım malzemesi olarak (%ağ.) 0.08C-0.8Si-1.45Mn-Fe (kalan) içeren tel, FeCrC ve FeB alaşımlarını kullanmışlardır. FeB ve FeCrC tozlarını (%ağ.) 100FeCrC, (%ağ.) 10FeB-90FeCrC ve (%ağ.) 30FeB-70FeCrC olmak üzere üç farklı oranda, tel ve karışım tozlarını ise 50/50 ve 30/70 oranında karıştırarak ayrı ayrı altlık malzeme yüzeyine alaşımlamışlardır. Aşınma testlerini kuru kum-lastik tekerlek abrasif aşınma test cihazında gerçekleştirmişlerdir. 50/50 tel ve toz oranında (%ağ.) 100FeCrC, (%ağ.) 10FeB-90FeCrC ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların mikroyapısının östenit, ferrit ve  $Cr_7C_3$ ' den, (%ağ.) 30FeB-70FeCrC ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamanın mikroyapısının ferrit, martenzit ve  $B_{0.7}Fe_{0.3}C_{0.3}$ ' den, 30/70 tel ve toz oranında (%ağ.) 100FeCrC ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamanın mikroyapısının ferrit ve  $Cr_7C_3$ ' den, (%ağ.) 10FeB-90FeCrC ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamanın mikroyapısının ferrit,  $Cr_7C_3$  ve  $(Cr, Fe)_7C_3$ ' den, (%ağ.) 30FeB-70FeCrC ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamanın mikroyapısının ise ferrit,  $Cr_7C_3$ ,  $(Cr, Fe)_7C_3$  ve  $Fe_{23}(C, B)_6$ ' dan oluştuğunu tespit etmişlerdir. En yüksek ortalama mikrosertliğe sahip yüzey alaşımlamanın (yaklaşık 909.3 HV) 30/70 tel ve toz oranında (%ağ.) 30FeB-70FeCrC ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlama olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, 30/70 tel ve toz oranında (%ağ.) 30FeB-70FeCrC ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamanın aşınma oranının en düşük olduğu, buna bor oranının artmasının neden olduğu, 30/70 tel ve toz oranında gerçekleştirilen alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikrosertliklerinin ve aşınma dirençlerinin daha yüksek olduğu, aşınmanın genellikle sert fazlardan çok nispeten yumuşak matriste gerçekleştiği sonuçlarına varmışlardır.

Hajihashemi vd. (2014) [47], St52 karbon çeliğinin yüzeyini GTA metodunu kullanarak farklı oranlarda karıştırılan Fe-Cr-W-C elementleri ile alaşımlandırmışlardır. Alaşım tozları olarak (%ağ.) 63Fe-4C-33Cr, (%ağ.) 57.5Fe-4C-33Cr-5.5W ve (%ağ.) 52Fe-4C-33Cr-11W toz karışımlarını kullanmışlardır. Abrasif aşınma testlerini 9 kg yük altında gerçekleştirmişlerdir. (%ağ.) 63Fe-4C-33Cr ile gerçekleştirilen yüzey

alaşımının mikroyapısının  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$  karbürleri ile (Fe, C)' den, (%ağ.) 57.5Fe-4C-33Cr-5.5W ve (%ağ.) 52Fe-4C-33Cr-11W ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların mikroyapılarının ise  $Cr_7C_3$ , WC karbürleri ile (Fe, C)' den oluştuğunu tespit etmişlerdir. Maksimum mikrosertliği en yüksek W oranına sahip yüzey alaşımlamada 800 HV olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, sertliğin ve aşınma direncinin W oranının artmasına bağlı olarak arttığı, Fe-Cr-W-C ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların sertlik ve aşınma direncinin Fe-Cr-C ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamadan daha yüksek olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Lin vd. (2013) [19], 5.4 ve 11.8 Cr içeren alaşımlı SKD61 ve SKD11 çeliklerinin yüzeyini Fe-Cr-W-B-C elementleri ile GTA kaynak yöntemini kullanarak alaşımlandırmışlardır. Alaşım tozu olarak WB tozunu kullanmışlar ve aşınma testlerini pin-on-disk aşınma test cihazında 29.4 ve 58.8 N yükte gerçekleştirmişlerdir. Yüzeyi alaşımlanan SKD61 çeliğinin alaşımlanmış yüzey tabakası mikroyapısının Fe ve FeWB' den, yüzeyi alaşımlanan SKD611 çeliğinin alaşımlanmış yüzey tabakası mikroyapısının ise Fe,  $Fe_{23}B_6$  ve  $M_{23}C_6$  (M= Cr, Fe, W)' dan oluştuğunu tespit etmişlerdir. WB ile yüzeyi alaşımlanan SKD61 çeliğinin ortalama mikrosertliğini 900 HV, WB ile yüzeyi alaşımlanan SKD11 çeliğinin ortalama mikrosertliğini ise 1000 HV olarak ölçmüşlerdir. Çalışmalarında WB ile yüzeyi alaşımlanan SKD11' in aşınma kaybının tüm yük değerlerinde WB ile yüzeyi alaşımlanan SKD61' den daha düşük olduğu, WB ile yüzeyi alaşımlanan SKD11' in mikroyapısında borür ve karbürlerin sentezlendiği, yüksek C ve Cr oranının WB ile yüzeyi alaşımlanan SKD11 çeliğinin mikroyapısında sert damar şekilli yapıların oluşmasına neden olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Yukarıda yapılan çalışmalar incelendiğinde, genellikle aşınma dirençleri yeterli olmayan farklı türlerdeki çeliklerin yüzeylerinin Cr, W, B, Ti, Mo, Co, Al, Si, C, Ni vb. gibi alaşım elementlerinin farklı oranları ve kombinasyonları ile farklı türden ergitme yöntemleri kullanılarak alaşımlandırılmış olduğu görülmüştür. Bu çalışmada ise, ilk olarak AISI 1020 çeliğinin yüzeyine FeCrC, FeW ve FeB alaşımları farklı oranlarda ve farklı kombinasyonlarda oluşturulan toz karışımları ile farklı ısı girdilerinde PTA kaynak yöntemi kullanılarak alaşımlandırıldı. Alaşımlandırılmış olan bu yüzeylerin mikroyapı, mikrosertlik, aşınma ve sürtünme sonuçlarına göre genellikle en iyi sonuç veren toz karışım oranı tespit edildi. Daha sonra bu toz karışımına % 2 oranında C ilave edilerek yeni toz karışımı elde edildi. Elde edilen bu toz karışımı literatürde pek de rastlanmayan sinterlenme işlemine tabi tutuldu ve bu sinterlenmiş toz karışımı yine AISI 1020 çeliğinin

yüzeyine farklı ısı girdilerinde PTA kaynak yöntemi ile alaşımlandırıldı. Modifiye edilen bu yüzeylerin tekrar mikroyapı, mikrosertlik, aşınma ve sürtünme özellikleri incelenerek sonuçlar değerlendirildi.

Sonuç olarak bu çalışmada, piyasada kolaylıkla bulunabilen maliyeti düşük ancak aşınma direnci yetersiz olan AISI 1020 çeliğinin yüzeyi, düşük maliyetli ferro alaşımlarla modifiye edilerek aşınma davranışlarını iyileştirmek ve yüksek sürtünme şartlarına maruz kalan makine elemanlarının daha verimli bir şekilde çalışması amaçlanmıştır.



## 2. ÇELİKLER

Demir esaslı malzemeler endüstride sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedenleri, doğada diğer metallere nazaran daha fazla bulunması, üretiminin diğer malzeme üretim yöntemlerine nazaran daha az enerji gerektirmesi ve istenilen özelliklerinin geniş sınırlar içerisinde iyileştirilebilmesidir [48].

Demirin alaşım elementleri katılarak kullanılan şekline çelik denmektedir. Demire karbon ilavesi çeliğe dönüşümün ilk aşamasıdır ve karbon dışında diğer alaşım elementlerinin ilavesi ile beraber çelikler alaşımlandırılabilir. Çeliğe farklı özellikler kazandıran içerdiği elementlerin kimyasal kompozisyonları ve çeliğin iç yapısıdır [49].

Çelikler genel olarak, kimyasal kompozisyonuna göre ve kullanım yerine göre olmak üzere sınıflandırılabilir. Kimyasal kompozisyonuna göre çelikler sade karbonlu çelikler ve alaşımlı çelikler olarak ikiye ayrılabilir. Alaşımlı çeliklerde genel olarak az alaşımlı çelikler ve yüksek alaşımlı çelikler olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Kullanım yerine göre çelikler ise; yapı çelikleri, ıslah çelikleri, yüksek sıcaklık çelikleri, soğukta tok iş çelikleri, paslanmaz ve korozyona dayanıklı çelikler, takım çelikleri ve yay çelikleri olarak sınıflandırılabilir [49, 50].

### 2.1. Kimyasal Kompozisyonuna Göre Çelikler

#### 2.1.1. Sade Karbonlu Çelikler

Sade karbonlu çelikler esas itibari ile demir (Fe) ve karbon (C) alaşımlarıdır. Karbon çeliklerinde karbon elementinin yanında, % 1.65' den az mangan (Mn), % 0.60' dan az silisyum (Si) , % 0.60' dan az bakır ve çok az fosfor (P) ile kükürt (S) bulunur [48].

Sade karbonlu çeliklerin üretim maliyetleri ve fiyatları ucuzdur, şekillendirilme kabiliyetleri ise oldukça yüksektir. Mekanik özellikleri karbon oranına göre değişmektedir. Günümüz endüstrisinde en fazla üretilen çelik çeşididir ve sertleşme kabiliyetleri düşüktür. Sertleştirme işlemlerinden sonra üretilen parçalarda çatlama ve çarpılmalar meydana gelebilir [49].

Bu çelikler yapılarındaki karbon oranlarına göre; düşük karbonlu çelikler (% C = % 0.05 - 0.3), orta karbonlu çelikler (% C = % 0.3 - 0.8) ve yüksek karbonlu çelikler (%C = % 0.8 - 1.7) olarak adlandırılırlar. Ayrıca bu çelikler ötektoit altı çelikler (% C = % 0.05 -

0.8) ve ötektoit üstü çelikler (% C = % 0.8 - 1.7) olarak da adlandırılırlar. Düşük karbonlu çelikler sertleştirilemezler ancak yüzeyleri farklı yöntemlerle alaşımlandırılarak yüzey özellikleri iyileştirilebilir. Orta karbonlu çeliklerin mekanik özellikleri ısıl işlemlerle iyileştirilebilir ve dayanımları düşük karbonlu çeliklere göre daha iyidir. Yüksek karbonlu çeliklerin ise sertlikleri yüksek ve süneklikleri azdır. Ayrıca kesilmeleri ve işlenmeleri düşük ve orta karbonlu çeliklere oranla daha zordur [49].

## **2.1.2. Alaşımlı Çelikler**

### **2.1.2.1. Az Alaşımlı Çelikler**

Sade karbonlu çeliklerin korozyon, aşınma sertlik gibi özellikleri sınırlı olduğundan, çeliklere belirli oranlarda mekanik özellikleri iyileştirmek için bazı alaşım elementleri katılır. Çeliklere alaşım elementlerinin katılması ile bazı özellikleri önemli oranda iyileştirilebilir [49].

Az alaşımlı çeliklerde alaşım elementlerinin oranı % 5' den azdır. Az alaşımlı çeliklerin sertleşme kabiliyetleri yüksek alaşımlı çeliklere oranla daha yüksektir ve ısıl işlem esnasında çatlama ve çarpılma eğilimleri daha azdır. Az alaşımlı çeliklerin bileşiminde ana alaşım elementi olarak genellikle mangan (Mn), krom (Cr), tungsten (W), molibden (Mo) ve nikel (Ni) bulunur. Bu elementlerin yanında çeliğin istenilen özelliklerini geliştirmek için çeliğe vanadyum (V), alüminyum (Al), titanyum (Ti), kobalt (Co), niyobyum (Nb), bakır (Cu) ve bor (B) gibi elementlerde ilave edilebilir [48].

### **2.1.2.2. Yüksek Alaşımlı Çelikler**

Yapısında bulunan alaşım elementi miktarının % 5' den yüksek olduğu çeliklerdir. Aşınma ve korozyon dayanımları oldukça yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda mükemmel tokluk ve mukavemet özellikleri gösterirler. Genellikle havacılık ve uzay sanayinde, nükleer santrallerde ve gaz türbinlerinde kullanılırlar [48, 49].

## **2.2. Kullanım Yerlerine Göre Çelikler**

### **2.2.1. Yapı Çelikleri**

En çok kullanılan çelik çeşididir. Korozyona dayanıklılık ve imalat sırasında sertleştirme işlemi öngörülme-yen çeliklerdir. Seçilirken akma sınırlarının yanı sıra, süneklik ve tokluk özellikleri de göz önünde bulundurulur. Makine elemanlarında, her tür genel sanayi elemanlarında ve inşaat sektöründe kullanılan çeliklerdir. Kullanım alanına göre çok sayıda alt grubu vardır [50, 51].

### **2.2.2. Islah Çelikleri**

Su verilerek ve temperlenerek özellikleri iyileştirilen çeliklerdir. Sade karbonlu veya alaşımlı olabilir [52].

### **2.2.3. Yüksek Sıcaklık Çelikleri**

Yüksek sıcaklık uygulamalarında (boru, kazan vs.) kullanılan çeliklerdir. Kaynak edilebilirlikleri iyidir ve yüksek çalışma sıcaklıklarında grafitleşme eğilimleri düşüktür. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda sürünme ve tufalleşme eğilimleri azdır [50, 52].

### **2.2.4. Soğukta Tok İş Çelikleri**

Sıfırın altındaki sıcaklıklarda tokluğu yeterli düzeyde olan çeliklerdir. Sıcaklık azaldıkça akma sınırı, kopma dayanımı ve elastiklik modülü artar. Süneklikleri ve çentik darbe toklukları ise azalır. Gaz sıvılaştırma ekipmanlarında, pompalar, armatürler ve soğuk sıvı taşıma kapları ve borularında kullanılırlar [50].

### **2.2.5. Paslanmaz ve Korozyona Dayanıklı Çelikler**

Alaşımlı çeliklerdir. Alaşım elementi olarak yüksek oranda Cr ve Ni içerirler. Bu çeliklerin bileşiminde en az % 12 Cr bulunması halinde yüzeyde korozyona karşı dayanıklı bir oksit tabakası oluşur. Ferritik, martenzitik ve östenitik gibi türleri bulunmaktadır [50].

### **2.2.6. Takım Çelikleri**

İmalat sanayinde takım malzemesi olarak kullanılan çeliklerdir. Alaşımli veya alaşımli olmayan olabilirler. En önemli özellikleri yeterli tokluğun yanında yüksek sertlik değerine sahip olmalarıdır. Sıcak şekillendirme ve döküm kalıplarında, soğuk şekillendirme ekipmanlarında ve talaşlı imalat takımlarında kullanılırlar [51, 52].

### **2.2.7. Yay Çelikleri**

İyi sertleşme kabiliyetine sahip ve elastiklik sınırları yüksek olan çeliklerdir. Yay imalatında kullanılırlar ve bu çeliklerin karbon oranları yapı çeliklerine oranla yüksektir [51, 52].

## **2.3. Çeliğe Alaşım Elementlerinin Etkisi**

### **2.3.1. Çeliğe Karbonun Etkisi**

Çeliklerin temel alaşım elementi karbondur. Çeliklerde C oranının artmasıyla sertlik ve dayanımları artmaktadır. C miktarı arttıkça çeliklerin mikroyapısında perlit oranı artar. Bu durum çeliğin çekme mukavemetini ve akma sınırı artırırken, yüzde uzamayı, şekillendirilebilirliği ve kaynak edilebilme kabiliyetini azaltır. % 0.8 - 0.85 C değerinden sonra dayanım daha fazla artmaz ve çelik C oranının artmasıyla gittikçe kırılma eğilimi artar. Sertleştirilmiş çeliklerde en yüksek sertlik değerine yaklaşık % 0.6 C oranında ulaşılır. Bu orandan sonra C miktarının artırılmasıyla, mikroyapıda kalıntı östenit miktarı artacağından sertlikte yükselme meydana gelmez [48].

C miktarı arttıkça çeliklerin sünekliği, derin çekilebilirliği, tokluğu ve dövülebilirliği azalır. Ayrıca ısıl işlemlerde çatlama ve deformasyona karşı eğilimi artar [48, 53].

### **2.3.2. Çeliğe Kromun Etkisi**

Krom, çeliklere korozyon, aşınma ve oksidasyon direncini artırmak için katılır. Çeliğin mikroyapısında, sertliği ve aşınma direnci yüksek olan karbürler oluşturur. Tane küçültücü etkisi vardır. Çeliğin sıcaklık dayanımını ve sertleşme kabiliyetini artırır. Ayrıca tufal oluşumunu önler. Cr' lu çeliklerde krom oranı arttıkça, kaynak edilebilme kabiliyeti azalır. Kritik soğuma hızını düşürür. Cr miktarı % 17 'yi aşan çelikler, ısıya ve yüksek

çalışma sıcaklıklarına karşı dayanıklıdır ve mikroyapıları tamamen ferritiktir. Her % 1 Cr artışında çeliklerin çekme dayanımı yaklaşık 80 -100 (Mpa) artış gösterir [49, 53].

### **2.3.3. Çeliğe Manganın Etkisi**

Alaşımız çeliklerde % 0.03 - 1 Mn bulunur. Mn çeliğe deoksidasyon elementi olarak verilir. % 0.8' den yüksek oranda Mn içeren çeliklerde Mn alaşımından söz edilir. Çekme mukavemeti ve akma sınırı % 0.7 Mn değerine çıkıncaya kadar artış gösterir. Çeliklerin mikroyapısında bulunan az miktardaki Mn çentik darbe mukavemetini olumlu yönde etkiler ve kritik soğutma hızını aşırı derecede düşürür. Artan Mn oranı tane irileşmesine neden olur. Mn' nin, çeliklerin dövülebilme ve kaynak edilebilme özellikleri üzerindeki etkisi olumludur. Çeliklerin korozyona, aşınmaya ve az miktarda da ısıya karşı dirençlerini iyileştirir [53].

Çeliklerin çekme mukavemetleri % 3 Mn oranına kadar, her % 1 Mn artışı ile yaklaşık 100 MPa artar. % 3 - 8 Mn oranında artış daha azdır ve % 8 Mn oranından sonra çekme mukavemeti düşer [48].

### **2.3.4. Çeliğe Molibdenin Etkisi**

Karbür ve ferrit yapıcı bir elementtir. Yüksek sıcaklık mukavemetini, korozyon direncini ve sürünme direncini artırır. Çeliklerin aşınma direncini yükseltir, sertleşme kabiliyetini artırır, tane büyümesini önler, östenitleme sıcaklığını düşürerek ısıl işlemi kolaylaştırır ve meneviş gevrekliğini giderir [48, 54, 55].

### **2.3.5. Çeliğe Borun Etkisi**

Bor mikroyapıdaki karbürlerin morfolojisini etkileyen bir elementtir. Karbürleri inceltir ve sertliklerini artırır. Bor düşük alaşımlı çeliklerde sertleşme kabiliyetini artırır ve darbe direncini düşürür. Ayrıca yüksek kromlu çeliklerde karbür oluşumu artırır. B miktarı % 0.12 - 0.3 arasında olduğunda aşınma direnci ve darbe direnci artar. Bor miktarının artışı sertlik artışına sebep olup kırılabilirliği artırdığından genelde % 0.57 oranıyla sınırlıdır [55, 56].



### **2.3.6. Çeliğe Tungstenin Etkisi**

Kuvvetli bir ferrit yapıcıdır. Çeliklerin sertliğini ve aşınma direncini artırır. Bazı yüksek sıcaklık alaşımlarında mukavemet ve sürünme direncini arttırmak amacıyla katılır. W çeliğin soğuma hızını çok düşürür ve dönüşüm zamanını kısaltır. Ayrıca çeliklerin sertleşme kabiliyetini düşürür [49, 54, 57].

### **2.3.7. Çeliğe Alüminyumun Etkisi**

Kuvvetli nitrür ve ferrit yapıcı bir elementtir. Oksijen gidericiliği en yüksek olan elementtir. Çeliklerin ısıtılmasında tane irileşmesi ve yaşlanma eğilimini azaltır. Tane inceltici özelliği vardır. Ayrıca darbe tokluğunu ve akma dayanımını arttırıcı etkisi vardır [48, 54].

### **2.3.8. Çeliğe Titanyumun Etkisi**

Kuvvetli karbür, ferrit ve nitrür yapıcı bir elementtir. Çeliklerde genel olarak tane inceltme özelliği vardır. Ayrıca, sakin dökülen çeliklerde Al ile birlikte oksit giderici olarak da kullanılır. Östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbür çökmesini önlemek için dengeleme elementi olarak katılır [48, 54].

### **2.3.9. Çeliğe Silisyumun Etkisi**

Oksijen giderici bir elementtir. Silisyum miktarı arttıkça tane irileşmesi de artar. Sakin dökülen alaşımsız çeliklerde, en fazla % 0.60 oranında bulunur. Çeliğin akma dayanımını, sertliğini, çekme mukavemetini, sertleşme kabiliyetini ve aşınma direncini artırır. Ayrıca çeliğin elastikiyetini artırır. Bu nedenle yüksek elastikiyet gerektiren yay çeliklerinde kullanılır. Yay çelikleri, % 2' ye kadar Si içerir. Elektroteknikte kullanılan Si' lu çelikler % 5' e kadar Si içerebilir. Ayrıca, % 14 - 15 Si içeren çeliklerin korozyon dayanımı yüksektir. Fakat bu çelikler dövülemezler ve oldukça kırılındırlar [48].

### **2.3.10. Çeliğe Vanadyumun Etkisi**

Çeliklerin akma dayanımlarını, sertleşme kabiliyetlerini ve çekme mukavemetlerini artırır. Tane küçültücü etkisi vardır. Çeliklerin çentik darbe dayanımını da yükseltir.

Kuvvetli karbür yapıcı bir elementtir. Çeliklerin aşınmaya ve sıcaklığa karşı dayanımlarını arttırmak için takım çeliklerinde tungstenle, sıcağa dayanıklı çeliklerde ise krom ile birlikte katılır [48, 53].

### **2.3.11. Çeliğe Kükürdün Etkisi**

Otomat çeliklerine talaşlı şekillendirmeyi iyileştirmek için katılır. Kükürt miktarı arttıkça, şekillendirmeye dik doğrultuda süneklik ve darbe dayanımı düşerken, boyuna doğrultuda bu özelliklerde değişim azdır. Çeliklerin kaynak edilebilme ve sertleşebilme kabiliyetlerini kötüleştirir. Çeliklerin üretimi esnasında kükürtle birlikte oluşturduğu FeS fazının ergime sıcaklığı düşüktür. Bu nedenle haddeleme esnasında ergiyerek sıcak kırılganlığa neden olur [48].

### **2.3.12. Çeliğe Fosforun Etkisi**

Ferritin dayanımını en çok artıran elementtir. Çeliklerin sertliğini, akma dayanımlarını ve çekme dayanımını artırır. Yüzde uzama, darbe dayanımı, süneklik ve eğme özelliklerini ise kötü yönde etkiler. Bu nedenle şekillendirme esnasında soğuk kırılganlığa neden olduğundan çeliklerde fazla istenmeyen bir elementtir [48, 49].

### **2.3.13. Çeliğe Kobaltın Etkisi**

Çeliklere, yüksek sıcaklıkta sürünme ve mukavemet özelliklerini iyileştirmek amacıyla katılır. Co' ın mikroyapıya fazla bir etkisi yoktur. Çeliğin kritik soğuma hızını artırır böylece sertleşme derinliğini azalır [54, 57].

### **2.3.14. Çeliğe Nikelin Etkisi**

Nikel östenit yapıcı ve dengeleyici bir elementtir. Ni çeliğin mekanik dayanımını ve oksitleyici olmayan sıvılara karşı genel korozyon direncini artırır. Ayrıca kaynak metalinin tokluğunu yükseltici etkisi vardır. Kromlu çeliklere mekanik özellikleri geliştirmek için az miktarda eklenir. Ni miktarı östenitik paslanmaz çeliklerde % 7 - 20 arasındadır. Çelikte nikel, özellikle kromla birlikte bulunduğu zaman, sertliğin derinliklere inmesini sağlar [49, 54].

### **3. YÜZEY KAPLAMA ve ALAŞIMLAMA**

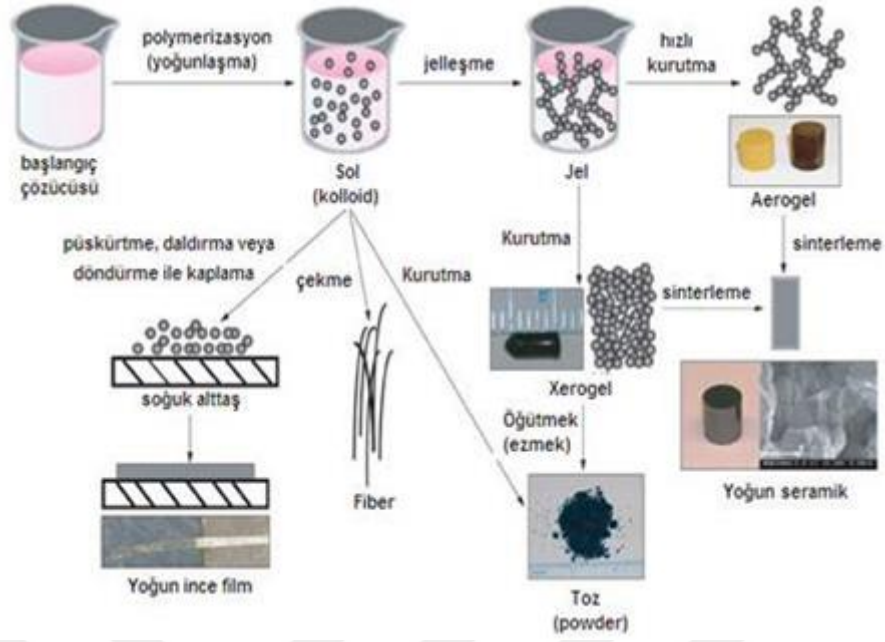
Endüstride hareketli ve hareketsiz mekanik makine elemanlarının ve metalik parçaların aşınma ve korozyona karşı yüzey özelliklerini iyileştirmek için, yüzeyleri aşınma ve korozyona karşı dayanıklı malzemelerle kaplanmakta ve alaşımlandırılmaktadır [58]. Yüzey kaplama ve alaşımlama malzemelerin yüzey özelliklerini geliştirilmesinde kullanılan en verimli yöntemlerdir [3]. Yüzey kaplama ve alaşımlamanın en önemli amacı aşınma ve korozyona karşı dayanımı yüksek olmayan ve maliyeti düşük malzemenin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesidir. Böylelikle üretim ve bakım maliyetleri düşer [58].

#### **3.1. Yüzey Kaplama ve Alaşımlama Yöntemleri**

##### **3.1.1. Sol- Jel Yöntemi**

Malzeme teknolojisi ile uğraşan bilim adamları yaklaşık 40 yıldır Sol - Jel yöntemi üzerinde yaygın olarak çalışmaktadırlar. Sol-jel yöntemi, inorganik ve hibrit organik-inorganik malzemelerin üretim yöntemlerinden biridir. Sol-Jel yöntemi inorganik polimerizasyon reaksiyonları üzerine kurulmuştur ve bir çözücüde bulunan okso metal polimerlerinin büyüüp ağ yapısı oluşturmasından faydalanarak makro moleküller elde edilmektedir [59]. Sol-Jel yöntemi, hazırlanan bir çözeltinin sol ya da jeli orta basamak olarak kullanarak, klasik hazırlama tekniklerinden daha düşük sıcaklıklarda, katı malzeme hazırlanması esasına dayanmaktadır [60].

Sol-jel yönteminde ilk olarak metal alkoksit çözeltileri veya metal tozları, nitratlar, hidroksitler ve oksitler gibi inorganik bileşikler belirli oranlarda su ve asitle karıştırılarak bir karışım oluşturulur. Daha sonra bu karışım belirli sıcaklıklarda karıştırılarak içerisinde birbirini izleyen bir dizi kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Karışım içerisindeki taneciklerin sahip olduğu yüzey yüklerinin birbiriyle olan elektrokimyasal etkileşimleri ile karışım jelleşir. Sol-Jel prosesi alkoksit hidrolizi, polimerizasyon, jelin elde edilmesi ve sinterleme işlem basamaklarından oluşmaktadır [61]. Bu yöntemde kaplama yapılacak altlık malzeme ilk olarak hazırlanan çözeltiliye batırılır veya yüzey üzerinde ince bir film tabakası meydana getirilir. Daha sonra ise yüzeyde ince bir kaplama tabakası meydana getirmek için çözelti döndürülerek veya fırında kurutulur. Böylelikle yüzey kaplanmış olur [62]. Şekil 3.1.' de Sol-jel kaplama yöntemi aşamaları verilmiştir [63].



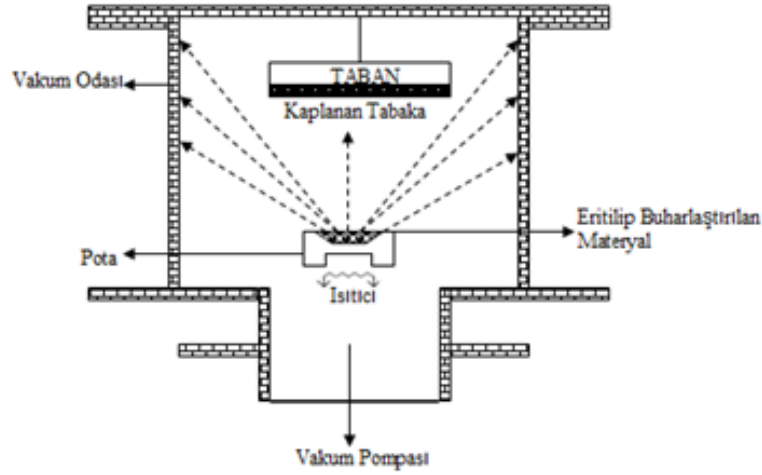
Şekil 3.1. Sol-Jel kaplama yöntemi aşamaları [63].

Sol-jel filmlerle kaplama yöntemiyle malzemelerin aşınmaya, çizilmeye ve korozyona karşı dirençli olmaları, kaplanacak maddelerin optik özelliklerinin değiştirilmesi, elektriksel yalıtkanlık sağlanması, termal kararlılık ve anti bakteriyel özellik kazandırılması amaçlanmaktadır [64].

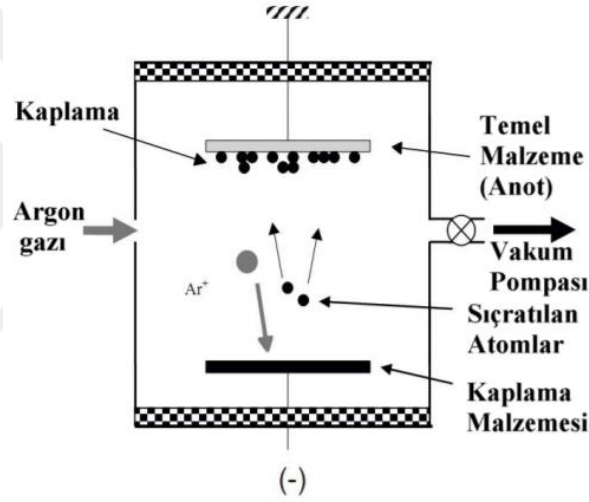
### 3.1.2. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) Yöntemi

PVD tekniğinde katı bir kaynağın vakum altında buharlaştırılarak veya atomsal hale dönüştürülerek altlık malzeme üzerinde biriktirilmesi ile kaplamalar gerçekleştirilir. PVD tekniğinin CVD tekniğine göre en büyük avantajı çok daha düşük sıcaklıklarda (100 - 600 °C) kaplama yapmaya imkân sağlamasıdır [65].

Bu yöntemde kaplanacak malzeme yüksek sıcaklıklara ısıtılarak veya yeterince yüksek enerjili iyonlar ile bombardıman edilerek buhar haline getirilir ve altlık malzeme üzerinde yoğunlaştırılarak kaplama gerçekleştirilir [66]. Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.' de bazı PVD kaplama yöntemleri şematik olarak verilmiştir [63, 67].



Şekil 3.2. Buharlaştırma ile PVD kaplama şematik gösterimi [63].



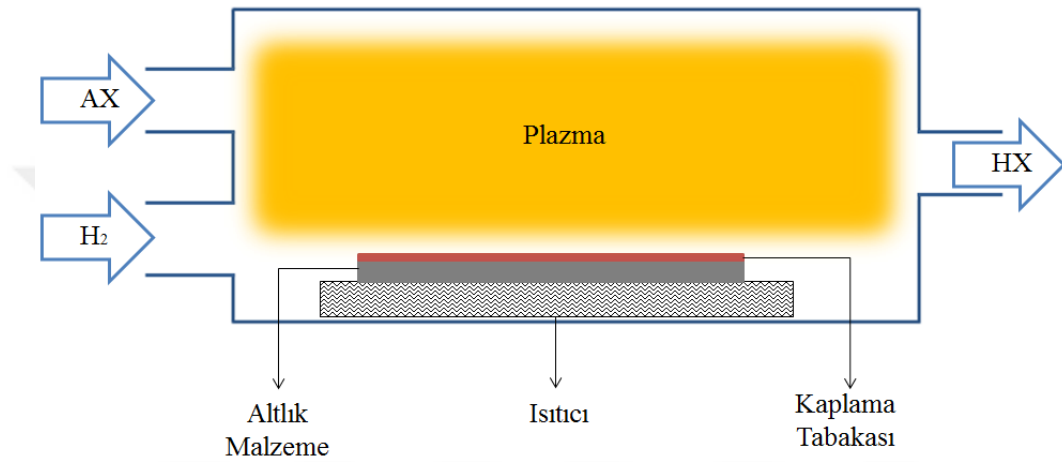
Şekil 3.3. Sıçratma ile PVD kaplama şematik gösterimi [67].

PVD yöntemi ile kesici takımlar, kalıplar, kayma veya dönme hareketi yapan yüksek aşınma direncinin gerekli olduğu makine parçaları, korozyona karşı dirençli olması istenilen parçalar ve makine imalatında kullanılan parçaların tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesi için kaplamalar gerçekleştirilmektedir [68].

### 3.1.3. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) Yöntemi

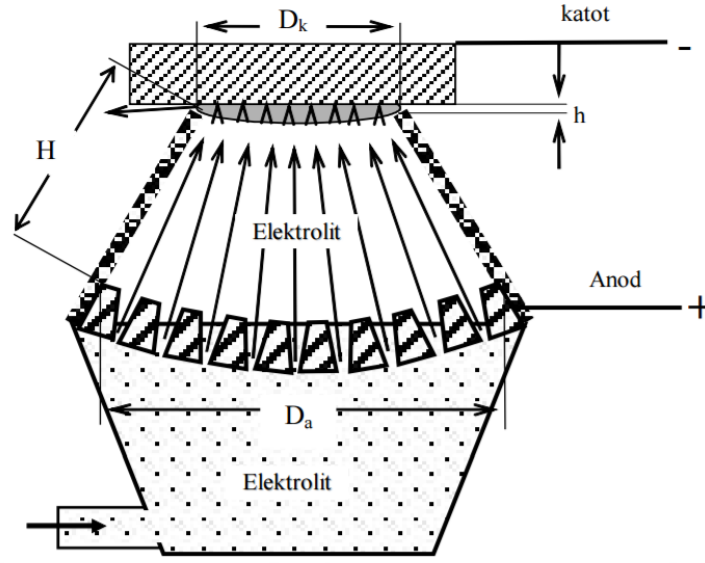
Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi ile ısıtılan altlık malzeme yüzeyleri katı katot malzeme buharıyla kaplanırlar. CVD yönteminde reaksiyonu meydana getirecek olan gaz karışımı reaktör içerisine gönderilir ve altlık malzeme yüzeyinde ya da çevresinde kimyasal reaksiyonlar meydana gelerek kaplama işlemi gerçekleştirilmiş olur. CVD

yöntemi şematik olarak Şekil 3.4.' de verilmiştir [69]. Kaplama işlemi sonunda sert, aşınma direnci yüksek, güçlü bir bağ elde edilir. CVD kaplama, farklı gazların kimyasal reaksiyonları ile oluşturulabilir ve yaklaşık 1000 °C sıcaklıkta gerçekleştirilir [70]. Kaplamanın kalitesi altlık malzemesinin temizliğine, kaplama ve taban malzemelerinin birbiriyle uygunluğuna, gerekli reaksiyonların termodinamik ve kinetiğine bağlıdır. Altlık malzeme seçiminde bu malzemenin sıcaklık dayanımına dikkat edilmelidir [71].



### 3.1.4. Elektrolitik Plazma Kaplama Yöntemi

Elektrolitik plazma kaplama (EPK) yönteminde özel bir tasarıma sahip anot elektrot ile katot iş parçası arasında yüksek voltaj uygulanarak, ark ve plazma oluşturulmaktadır. Ark oluşumu ile katot iş parçası yüzeyinin ani ısıtılması ve ısınan yüzeyin elektrolit çözeltisi ile hızla soğutulması esasına dayanmaktadır [72]. Yüzeyi kaplanmak istenen altlık malzeme anodik veya katodik olarak elektroliz devresine bağlanabilmekte ve elektrotlar arası doğru akım veya alternatif akım uygulanması sureti ile kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Anodik işlemlerde oksidasyon, katodik işlemlerde ise modifikasyon işlemleri yapılabilmektedir [73]. EPK yöntemi şematik olarak Şekil 3.5.' de verilmiştir [72].



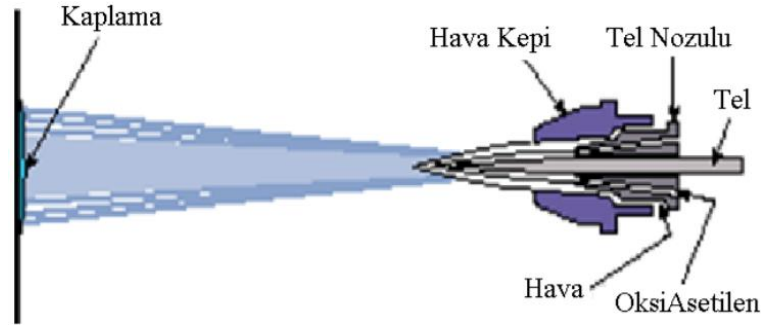
Şekil 3.5. EPK yöntemi şematik gösterimi [72].

### 3.1.5. Alevle Püskürtme Kaplama Yöntemi

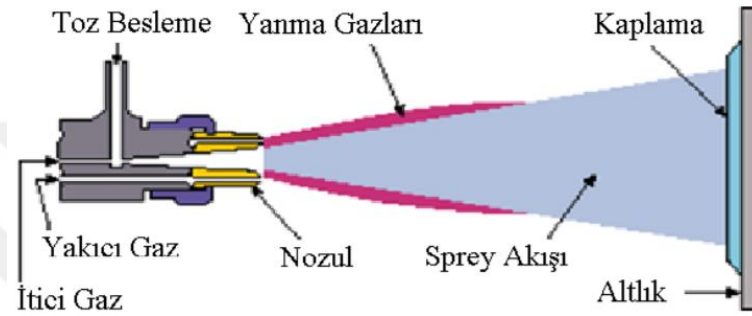
Bu yöntemde ergitme oksii-asetilen alevi kullanılarak gerçekleştirilir. Tel veya toz halindeki kaplama metalinin ergime sıcaklığının oksii-asetilen alevi sıcaklığının altında olması gerekmektedir. Kaplama metali kaplanacak altlık malzeme yüzeyine eritildikten sonra püskürtülerek kaplama gerçekleştirilir. Kaplanacak metal toz ve tel bir sürücü vasıtası ile püskürtme nozuluna gönderilir. Nozuldan geçerken oksijen ve yanıcı gaz karışımının aleviyle tozlar veya tel erir ve bu erimiş metal yüksek basınçlı hava ile parçacıklar haline getirilerek kaplanacak yüzeye yüksek hızda püskürtülür [74].

Alevle püskürtme yönteminde alev sıcaklığı yaklaşık 3300 °C civarındadır. Ergitilen metal altlık malzeme yüzeyine mekanik olarak bağlanır ve kaplama kalınlığı kaplama metalinin cinsine ve altlık malzemenin boyutuna bağlı olarak değişebilir [75]. Alev püskürtme yönteminin ilk yatırım maliyeti ve bakım masrafı düşüktür. Ayrıca bu yöntemde yüksek biriktirme oranları elde edilebilir. Yöntemin önemli dezavantajları ise bağlantı mukavemetinin düşük, kaplama tabakasındaki boşluk seviyesinin ise yüksek olmasıdır [76].

Alev spreyle kaplama yöntemi diğer spreyle kaplama yöntemlerindeki gibi altlık malzemedeki çok sınırlı bir sıcaklık yükselmesini sağladığından soğuk süreç olarak kabul edilmektedir. Altlık malzemedeki sıcaklık yükselmesi yaklaşık olarak 200 °C civarında olabilmektedir [77]. Şekil 3.6.' da Alevle püskürtme kaplama yöntemi şematik olarak gösterilmiştir [78].



a)



b)

Şekil 3.6. Alev sprey püskürtme yöntemi şematik gösterimi a) Tel besleme ve b) Toz besleme [78].

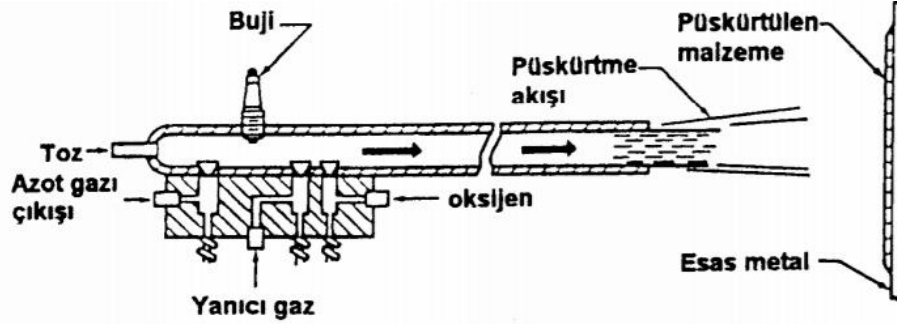
### 3.1.6. Patlamalı Püskürtme Yöntemi

Patlamalı alev püskürtme yöntemi tüp şeklinde tasarlanmış bir tabanca ile yapılmaktadır. Tabanca içerisinde oksijen, asetilen, azot ve toz halindeki kaplama malzemesinin enjekte edilecek miktarlarının ölçüldüğü bölmelerden oluşmuştur. Tabanca içerisine gönderilen oksijen-asetilen karışımı saniyede birkaç kez buji ile elektrik kıvılcımı oluşturularak patlatılır. Bu patlama ile ortaya sıcak ve yüksek hızlı bir gaz akışı ortaya çıkar. Bunu yaparken ilk olarak kaplama tozu ısıtılır ve ergitilir. Daha sonra ergimiş parçacıklar tabanca namlusundan patlamanın etkisiyle ayrılarak yüksek hızla altlık malzeme yüzeyine püskürtülür. Altlık malzemeye çarpan ergimiş parçacıklar soğuyarak kaplama tabakasını oluşturur [77].

Her patlamadan sonra, nozul içerisine azot püskürtülerek temizleme yapılır. Patlamalı püskürtmeyle elde edilen kaplama tabakaları yoğundur ve yüzey kaliteleri yüksektir. Ayrıca bu yöntemde bağlanma mukavemeti de yüksektir [79].

Şekil 3.7.' de Patlamalı püskürtme kaplama yöntemi şematik olarak verilmiştir [77].





Şekil 3.7. Patlamalı püskürtme yöntemi şematik gösterimi [77].

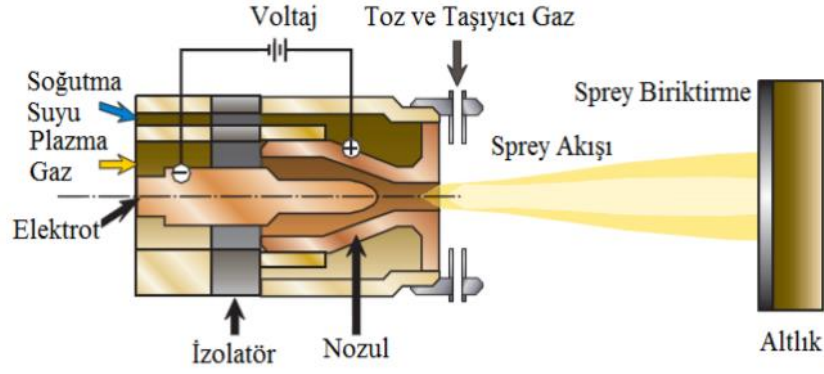
### 3.1.7. Plazma Püskürtme Yöntemi

Plazma gazı iki elektrot arasında voltaj uygulandığında elektrik akımını iletebilecek kadar yeterli elektron ve iyonlara sahiptir. Enerji yüklü elektronlar bir atoma çarptığında çarptığı atomu daha yüksek enerjili seviyeye çıkartır ve daha düşük enerjili seviyeye düşerek belli dalga boyunda atomun özelliğini belirleyecek şekilde ışımaya yapar [80].

Plazma gazı malzemeyi ergiterek parçacıkların hareketini hızlandırır ve kaplama yapılacak yüzeye taşır. Ayrıca yüksek sıcaklıklara çıktığından kaplama malzemesini atmosferin etkilerinden ve oksitlenmeden korur. Plazma gazı olarak azot, argon, hidrojen ve helyum gazları ayrı ayrı veya bu gazların karışımı kullanılabilir [81].

Kaplama işleminden önce kaplama kalitesi için; altlık malzeme yüzeyinin yağdan ve kirden arındırılarak kaplama malzemesinin yüzeye daha iyi yapışması için pürüzlendirilmesi gerekmektedir [80].

Plazma kaplama işleminde soğutma ve gaz kanallarına sahip torçlar kullanılır. Anot olarak saf bakır ve katot olarak ise % 2 toryumlu tungsten elektrot kullanılır ve plazma bu iki elektrot arasındaki elektrik akımının iyonizasyonu ile elde edilir. İki elektrot arasından geçen iyonize olmuş plazma gazı yüksek sıcaklık değerlerine (yaklaşık 20000 °C) ulaşır ve torcun ucundan üflenir. Kaplama yapılacak tozlar ise yine bir koruyucu atmosfer altında torcun alevine doğru yönlendirilir ve yüksek sıcaklıkta ergitilerek altlık malzeme yüzeyine püskürtülür. Altlık malzemeye çarpan parçacıklar soğuyarak katılaşırlar ve kaplama tabakasını meydana getirirler. Elektrotların erimemesi içinde torç su ile sürekli olarak soğutulur [82]. Şekil 3.8.' de Plazma püskürtme yöntemi şematik olarak görülmektedir [81].

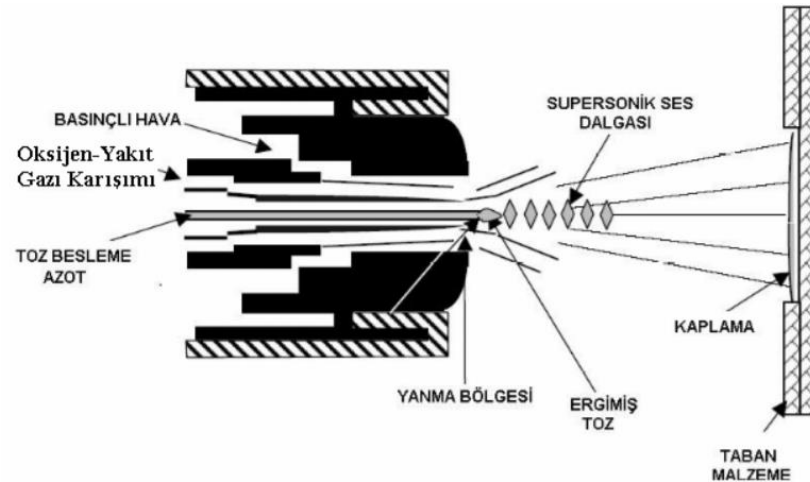


Şekil 3.8. Plazma püskürtme yöntemi şematik gösterimi [81].

### 3.1.8. Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme (HVOF) Yöntemi

HVOF yönteminde, oksijen ve sıvı yakıt bir odacıkta yakıldıktan sonra tozların enjekte edildiği torcun ucuna doğru yönlendirilir. Nozulda bulunan tozlar ve yanıcı gazlar, gaz jetinin genişmesi ile ses üstü bir hıza çıkar ve ergimiş kaplama metali altlık malzeme üzerine çok yüksek bir hızda püskürtülür. Bu yöntemde ergimiş parçacıklar kaplanacak malzemeye 0.75 Mpa gibi yüksek bir basınçta çarparak yoğun bir kaplama tabakası meydana getirirler [83].

HVOF kaplama yöntemi şematik olarak Şekil 3.9.' da verilmiştir. Görüldüğü gibi torcun yanma odasında oksijen-yakıt karışımı yanmakta ve toz yanma odasından geçerken ısıtılmaktadır. Alev sıcaklığı 2500-3000 °C civarındadır. Parçacık hızları ise yaklaşık 600 - 1000 m/sn dir [84].



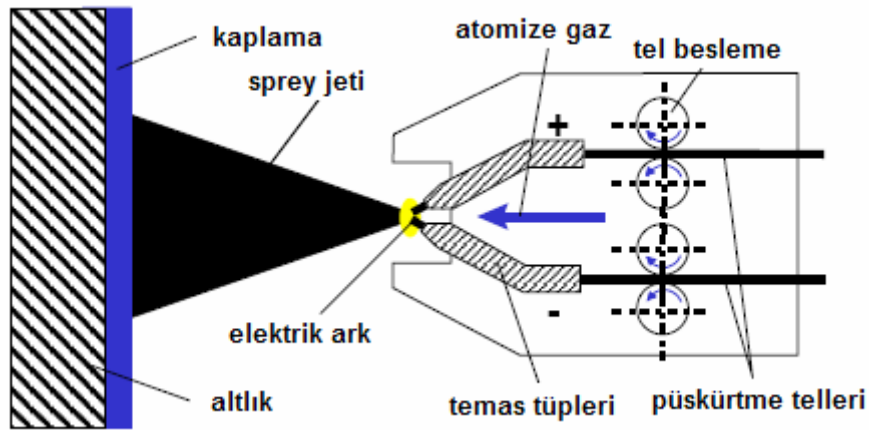
Şekil 3.9. HVOF püskürtme yöntemi şematik gösterimi [84].

HVOF tekniği ile parçacıkların hızı çok yüksek olduğu için altlığa çarpan parçacıkların hızları da nispeten yüksek olur ve böylelikle tam olarak erimemiş parçacıklar plastik deformasyona uğrarlar. Ayrıca parçacıklar oksitlenmeye sebep olacak atmosfere daha kısa süre maruz kalırlar [85].

### 3.1.9. Elektrik Ark Püskürtme Yöntemi

Elektrik ark püskürtme yönteminde kaplama metallерinin ergitilmesi için gerekli olan ısı elektrik arkıyla elde edilir. Elektrik arkı oluşturmak için iki metalik tel elektrot kullanılır [86].

Bu yöntemde iki tel malzeme (+) ve (-) yükle yüklenerek ark oluşturulur ve bu arklar ortaya çıkan ısı ile ergitilerek, hava yardımıyla atomize edilir ve altlık malzeme yüzeyine püskürtülür. Teller sürekli olarak tel besleyici ile srlrlер. Püskürtücü gaz olarak genelde hava, argon ve azot gazı kullanılır. Bu yöntemde elektriği ileten bütün teller kullanılabilir. Yöntemin maliyeti düşük biriktirme verimi ise yüksektir [87]. Elektrik ark püskürtmenin dezavantajları kaplamanın yüksek oranda boşluk, oksit ve tam erimemiş parçacık içermesidir. Ayrıca kaplanmış yüzeylerinin pürüzlülüğü fazladır [88]. Şekil 3.10.'da Elektrik ark püskürtme yöntemi Şematik olarak verilmiştir [86].



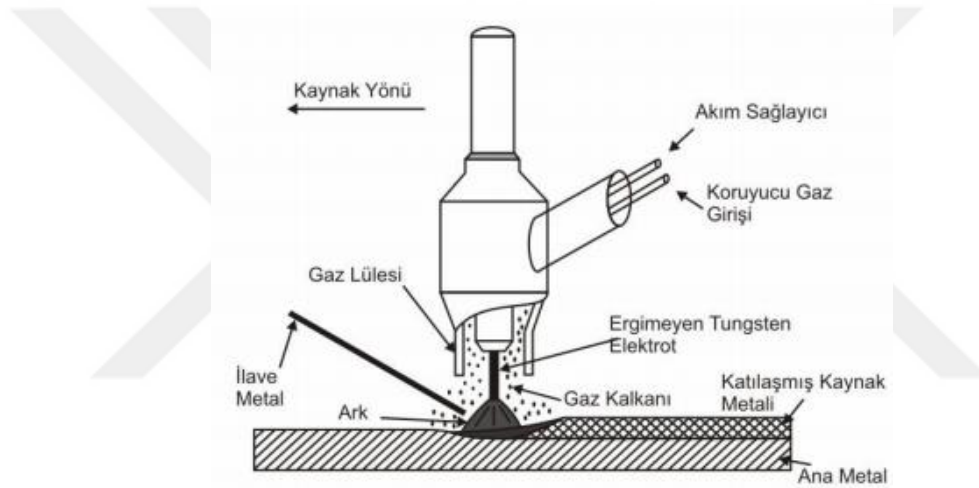
Şekil 3.10. Elektrik ark püskürtme yöntemi Şematik gösterimi [86].

### 3.1.10. Gaz Tungsten Ark (GTA) Kaynak Yöntemi

GTA kaynak yönteminde metaller ergimeyen tungsten elektrot ve altlık malzeme arasında meydana gelen elektrik arkı ile ergitilir. Bu yöntemde kullanılan tungsten

elektrotların ergime dereceleri oldukça yüksektir [89]. Yüzey alaşımlama esnasında koruyucu gaz olarak argon, helyum veya bu gazların karışımı kullanılır. GTA kaynak ile yüzey alaşımlama yöntemi, uygun bileşime sahip alaşım metallerinin altlık malzeme yüzeyinde ergitilmesi esasına dayanır. Altlık malzeme ve yüzey alaşımlama metali ile birlikte eriyerek hızla katılaştır ve yüzey alaşımlama metali ile altlık malzeme birbirleriyle metalürjik bağ oluşturur [90].

Ark bölgesinde oluşan manyetik alan sayesinde koruyucu gazın bir kısmı iyonlaşarak plazma gazı haline gelir ve iletken hale gelen gazdan akımın geçmesiyle elektrik arkı üretilir [91]. Şekil 3.11. 'de GTA kaynak yöntemi şematik olarak verilmiştir [90].



Şekil 3.11. GTA kaynağı şematik gösterimi [90].

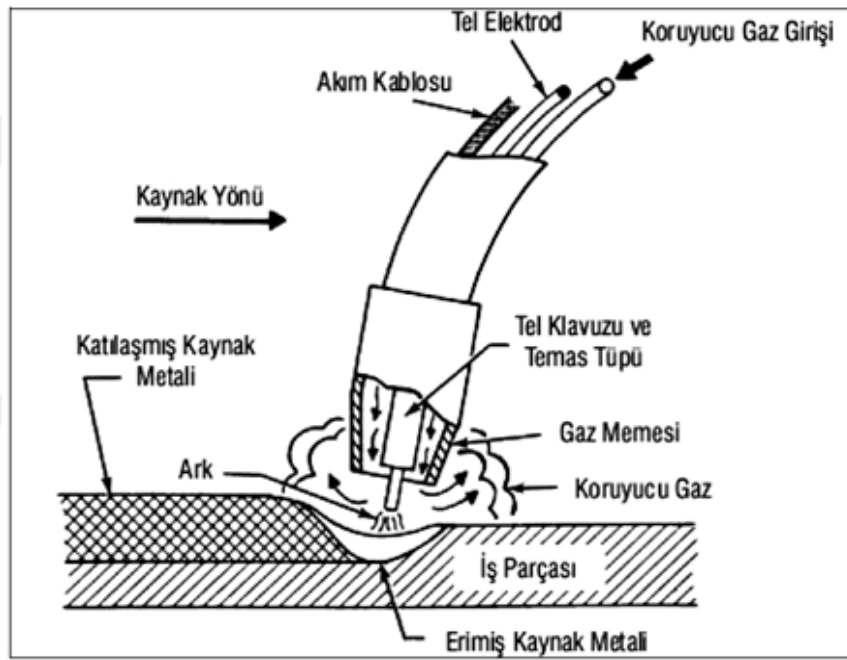
GTA kaynağıyla yüzey alaşımlama ile yüksek kalitede yüzey alaşım tabakaları oluşturulabilir. Yöntemin yavaş olması ve geniş yüzeylerin alaşımlandırılmasında yetersiz kalması ise kullanım alanını sınırlandırmaktadır. GTA kaynak cihazlarının maliyetinin yüksek olması, hassasiyeti ve ince parçalar arasında uygulama alanı yöntemin dezavantajlarından bazılarıdır [90].

### 3.1.11. Ergiyen Elektrotlu Gaz Altı Ark (MIG/MAG) Kaynak Yöntemi

MIG/MAG kaynağı yönteminde GTA yönteminin aksine ergiyen elektrot kullanılır. Ergime için gerekli olan ısı yine GTA yönteminde olduğu gibi elektrot ve altlık malzeme arasındaki elektrik arkı ile elde edilir. MIG kaynağında koruyucu gaz olarak argon veya

helyum gibi soy gazlar kullanılırken MAG kaynağında koruyucu gaz olarak karbon monoksit kullanılır [92].

MIG/MAG kaynağı ile yüzey alaşımlama yönteminde alaşımlama yapılacak metaller tel halinde sürülür ve altlık malzeme ile bu tel arasında meydana gelen elektrik arkı ile ergitilerek yüzeye alaşımlandırılırlar. Sert ve gevrek alaşımlar ise tel halinde imal edilemediğinden, yüzeye alaşımlandırılacak toz karışımları karbonlu çelik bir boru tel içine doldurularak elektrot olarak kullanılırlar [93]. Şekil 3.12.'de MIG/MAG kaynak yöntemi şematik olarak görülmektedir [94].



Şekil 3.12. MAG kaynağı şematik gösterimi [94].

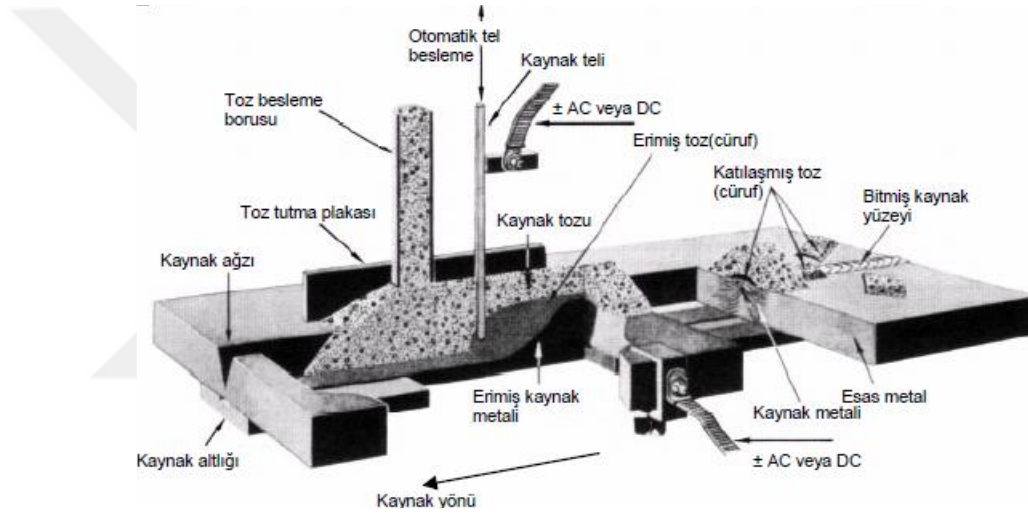
Bu yöntemde nüfuziyet oranının yüksek ve cüruf oranın düşük olması önemli avantajlarındandır. MIG/MAG kaynağında ekipmanlar GTA yöntemine göre daha karmaşık, daha pahalı ve taşınması zordur [95].

### 3.1.12. Toz Altı Kaynak Yöntemi

Toz altı kaynağında ergime için gerekli ısı eriyen elektrot ve altlık malzeme arasındaki elektrik arkından sağlanır. Bu yöntemde koruyucu olarak gaz yerine silikat ve toprak alkali metalleri içeren özel bir toz kullanılır. Bu toz kaynak banyosunu hem havanın olumsuz etkilerden korur hem de arkın ısının konveksiyon ve ışımayla transferini azaltarak

ısı enerjisinin büyük bir kısmının ergitme için kullanılmasına imkân sağlar. Ergime esnasında tozlardan bir kısmı da ergiyerek altlık malzeme yüzeyinde koruyucu bir cüruf tabakası meydana getirir. Ayrıca içerdiği antioksidan ve alaşım elementleri ile kaynak banyosunu oksitlenmeden korur ve kaynak metalinin alaşımlanması gerçekleştirir [96, 97].

Toz altı kaynağının derin nüfuziyet, enerji verimliliği ve yüksek kaynak gücü ve hızı gibi avantajları vardır. İlk yatırım maliyetinin yüksek oluşu, cihazlarının karmaşık oluşu ve tozların nemlenmesi de yöntemin önemli dezavantajlarından [98]. Şekil 3.13.' de Toz altı kaynak yöntemi şematik olarak verilmiştir [96].

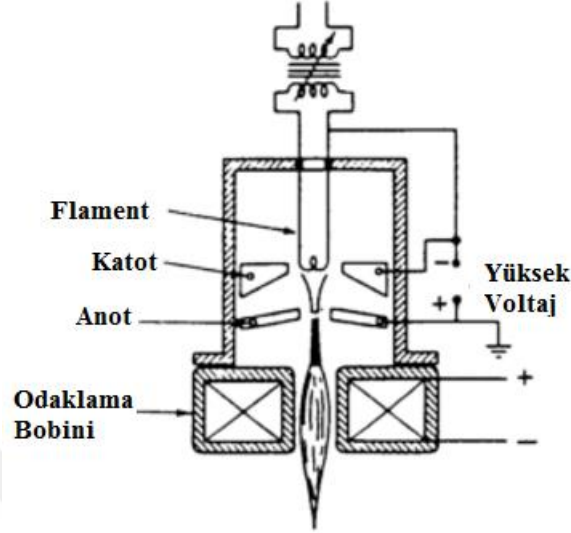


Şekil 3.13. Toz altı kaynağı şematik gösterimi [96].

### 3.1.13. Elektron Işın Kaynak Yöntemi

Elektron ışın kaynağında (EİK), ergime için gerekli ısı yoğunlaştırılmış ve yönlendirilmiş elektron ışınının metallere yüzeyine çarparak oluşturduğu enerjiden elde edilir. Elektronların oluşturulması, hızlandırılması ve bir noktada odaklanıp yoğunlaştırılması, elektron ışın tabancası vasıtasıyla gerçekleştirilir. Elektron ışın tabancası; katot, yönlendirme bobini ve anottan oluşmaktadır. Katot yüksek sıcaklığa dayanıklı tungsten veya tantalumdan yapılır. Katottan çıkan elektronlar anot ve katot arasındaki voltaj farkından dolayı yüksek hızlara çıkarlar ve manyetik mercekle vasıtasıyla altlık malzemeye odaklanarak gönderilirler. Odaklanan ışının enerji yoğunluğu ve enerjisi artarak, altlık malzeme ve yüzeye alaşım yapılacak metali ergitir. Elektromanyetik bobinler vasıtasıyla de ışın demeti istenilen yöne yönlendirilir. Ayrıca vakum sistemi ile de

sistemin oksitlenmesi önlenir ve temizliği sağlanır [99]. Şekil 3.14.' de Elektron ışın kaynağı şematik olarak verilmiştir [100].

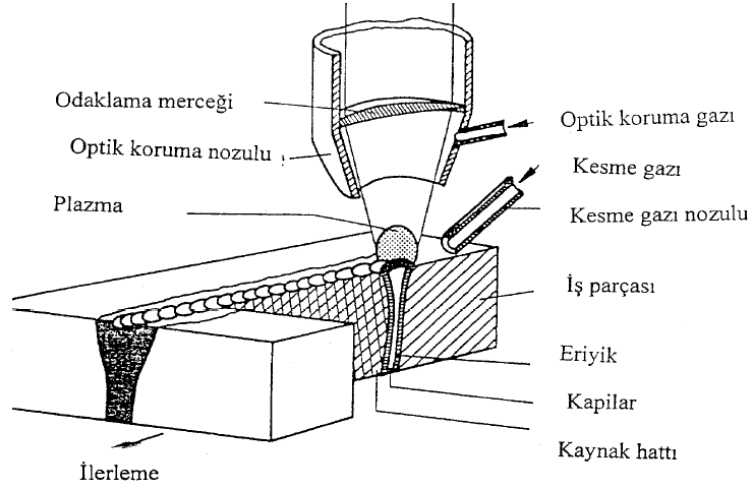


Şekil 3.14. Elektron ışın kaynağı şematik gösterimi [100].

### 3.1.14. Lazer Kaynak Yöntemi

Lazer kaynağında ergime ark veya gaz alevinin aksine yüksek enerjili lazer ışını kullanılarak gerçekleşir. Lazer ışının ısı kaynağı olarak kullanılması geleneksel yüzey alaşımlandırma işlemlerinden farklıdır. Lazer ışınları ile ince ve düzgün yüzey alaşımlama tabakaları elde edilebilir [101]. Bu yöntemde yüzey alaşımı olarak kullanılacak malzeme, altlık malzeme üzerine toz olarak önceden yerleştirilerek veya tel olarak besleme ile alaşımlandırılır [102].

Lazer ışını bir maddenin dışarıdan verilen uyarıcı bir etki ile uyarılarak, etrafa foton yayması ile elde edilir. Lazer ışınının oluşması için gerekli olan dış enerji, genel olarak sisteme kimyasal, elektriksel ve optik olarak iletilir. Oluşturulan lazer ışını bir odaklayıcı vasıtasıyla istenilen yere yönlendirilir [103]. Yönlendirilen ışının yüksek odaklama kabiliyetiyle ergitme gerçekleştirilir. Kaynak banyosunu atmosferin olumsuz etkilerinden korumak için ise koruyucu gaz kaynak bölgesine püskürtülür [90]. Şekil 3.15.' de Lazer kaynağı şematik olarak görülmektedir [90].



Şekil 3.15. Lazer kaynağı şematik gösterimi [90].

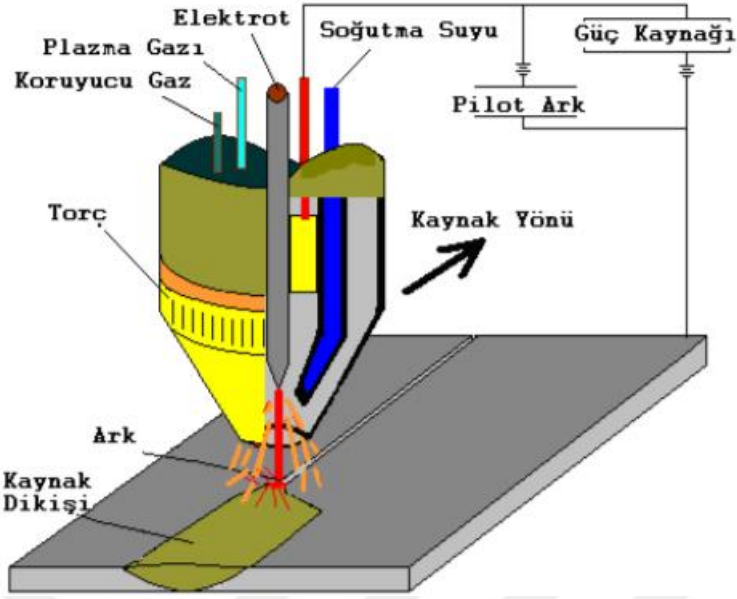
Lazer ile yüzey alaşımlandırmanın üretim zamanını kısaltma, altlık malzemede düşük bozulma ve düzgün bir yüzey kalitesi gibi avantajları vardır. Sistemin ilk yatırım maliyeti ve bakım maliyetleri ise yüksektir [102].

### 3.1.15. Plazma Transfer Ark (PTA) Kaynak Yöntemi

Her madde; gaz fazında bulunduğu cinsine ve özelliklerine göre değişen belli bir sıcaklığa kadar ısıtılınca, moleküllerindeki hareketlenir ve atomlar dış kabuk elektronlarını yitirerek pozitif yüklü iyon haline gelirler [104]. PTA kaynak yönteminde ark ergimeyen yüksek sıcaklığa dayanıklı bir tungsten elektrot ile bakır meme arasında oluşturulur. Bakır meme yüksek sıcaklığa dayanıklı olmadığından harici bir pompa yardımıyla sürekli olarak su ile soğutulur. Plazma gazı olarak argon gazı kullanılır ve argon gazı tungsten elektrotla bakır meme arasından geçerken yüksek ısının tesiriyle plazma haline dönüşerek ergitilecek yüzeye püskürtülür. İşlem esnasında kaynak banyosunu atmosferin etkilerinden korumak için kaynak bölgesine nozuldaki koruyucu gaz gönderilir [105]. Koruyucu gaz olarak genellikle argon, helyum, hidrojen veya bu gazların karışımları kullanılır [104].

PTA kaynak işleminde ilk olarak parçaya transfer olmayan pilot ark elektrot ve meme arasında oluşturulur. Daha sonra ise taşıyıcı ark, altlık malzeme ve elektrot arasında oluşarak malzeme ergitilir. Taşıyıcı ark devreye girdiğinde pilot ark söner [105]. Şekil 3.16.'da PTA kaynak yöntemi şematik olarak verilmiştir [105, 106].





Şekil 3.16. PTA kaynağı şematik gösterimi [105, 106].

PTA yönteminde başlıca değişkenler plazma gazı akımı, nozulun iç çapı, plazma gazının debisi, koruyucu gaz çeşidi ve debisidir. Plazma gazının debisi yüksek olduğunda türbülans meydana gelir. Bu durumdan dolayı ergimiş metal veya henüz ergimemiş tozlar yüzeyden çevreye saçılır. Oksitlenmeye karşı meyilleri yüksek olan metallerin kaynağı (Alüminyum ve magnezyum vb.) elektrot artı kutba bağlanarak, diğer metallerin kaynağı ise elektrot eksi kutba bağlanarak gerçekleştirilir. Düz kutuplamada ucu sivri konik elektrotlar kullanılırken, ters kutuplamada küresel veya düz uçlu elektrotlar kullanılır [106].

### 3.1.15.1. PTA Yönteminin Avantajları

PTA yöntemi aşağıda sayılan avantajlara sahiptir:

1. Diğer yöntemlerle kıyaslandığında, PTA yöntemiyle yüzey alaşımlamada ara yüzey karışım bölgesi kalınlıkları altlık malzemenin daha az ergimesinden dolayı düşüktür [79].
2. Ana malzemenin çok az bir kısmı kaynak metali içine karışmaktadır. Böylece aşınma dirençli alaşımlardan oluşan yüzey alaşım metalleri yüzey alaşım tabakasında daha yoğun olarak bulunmuş olur. Bu da aşınma direncini ve sertliği önemli ölçüde etkiler [79].

3. Ana metale enerji girdisinin düşük olmasından dolayı ısı tesiri altında kalan bölge daha dar olur. PTA yöntemi mükemmel ark kararlılığına sahiptir ve altlık malzemedeki çok az termal bozulma meydana gelir [79].
4. PTA ile üretilen yüzey alaşımlama tabakaları metalürjik olarak kuvvetli bağlar oluşturduğundan darbe dayanımları yüksektir [79].
5. Elektrot ve altlık malzeme arasındaki çalışma mesafesi diğer kaynak yöntemlerine göre çok daha farklı seçilebilir [79].
6. PTA' da elektrot nozul içinde bulunduğu için kaynak esnasında kirlenme problemi yoktur [106].
7. Biriktirme oranı yüksektir [10].
8. Çok yüksek sıcaklıklara ulaşabilir (20000 - 30000 °C) [11].

#### **3.1.15.2. PTA Yönteminin Dezavantajları**

1. İlk yatırım maliyeti yüksektir ve ekipmanları pahalıdır [106].
2. Ark dar olduğundan elektrotun yerleştirme toleransları azdır [106].
3. Bakım maliyetleri yüksektir ve hassas bir cihazdır [106].
4. Elektrotun sökülmesi ve tekrar tekrar yerleştirilmesi için torcun tamamen sökülmesi ve hassas bir şekilde yeniden yerleştirilmesi gerekmektedir [106].

## 4. SÜRTÜNME ve AŞINMA

### 4.1. Sürtünme

Sürtünme, temas halindeki iki cismin arasında oluşan izafi harekete karşı gösterdikleri dirençtir. Sürtünme sonucu ortaya çıkan ısı, malzemelerin ve yağlayıcıların çalışma performanslarını etkileyebilir. Ayrıca temas eden malzemelerin ya da yüzey filmlerinin özelliklerini değiştirebilir ve bazı durumlarda yağlayıcının ve malzemenin özelliklerini değiştirebilir. Sürtünme ısısı sonucu parçalarda yapısal zayıflama, aşınma ve yanma sebebiyle parçalar mekanik hasara uğrar. Mekanik hasara uğrayan parçalar maliyet ve güvenlik sorunları doğurur [107].

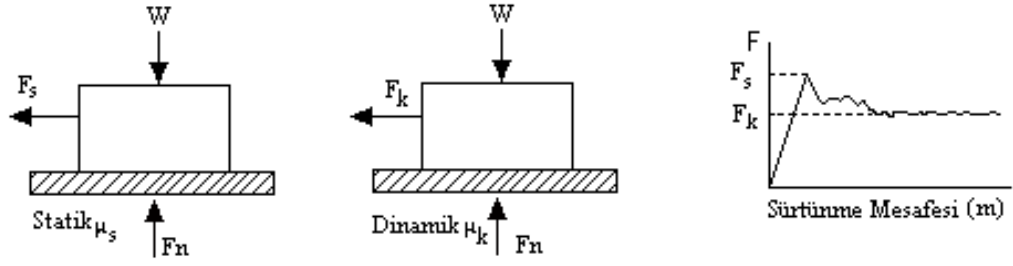
Hareketli makinelerde sürtünme, daha fazla enerji kaybına neden olan bir etkidir. Sistemde kaybolan bu enerji, ısı enerjisi ve kayan yüzeylerin aşınması neticesinde oluşan çeşitli deformasyon işlemlerinde harcanırlar. Yine ortaya çıkan yüksek ısı enerjisinin de soğutularak tahliye edilmesi gerekmektedir. Bunun içinde ek bir soğutma sistemine ihtiyaç duyulur ve yüksek sürtünme ısıları sistemin çalışma sınırlarını sınırlandırabilir. Malzeme işleme, yataklar ve dişlilerde düşük sürtünme katsayısı tercih edilirken, frenler, kavramalar, vida dişleri gibi parçalarda yüksek sürtünme katsayılarına ihtiyaç duyulur. Tüm durumlarda malzemelerin ve makine elemanlarının sürtünme katsayıları değerlerinin tahmin edilebilir ve mümkün olduğunca sabit olması istenir. Böylelikle makine tasarımları daha verimli ve sağlıklı yapılabilir [107].

#### 4.1.1. Sürtünme Katsayısı

İki katı cisim birbirine temas ettirildiğinde, bu cisimlerin birbiri üzerinde kaymasını sağlayan normal kuvvete ( $F_N$ ) dik yönde bir sürtünme kuvveti ( $F_s$ ) meydana gelir. Bu iki kuvvet arasındaki oran ise sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) olarak adlandırılır ve aşağıdaki 3.1 denklemiyle ifade edilir [108]:

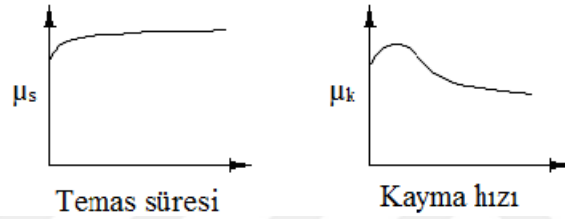
$$\mu = F_s / F_N \quad (3.1)$$

Sürtünme katsayısı statik ( $\mu_s$ ) ve dinamik ( $\mu_k$ ) olarak ikiye ayrılır (Şekil 4.1.) [109].  $\mu_s$  kaymaya başlama kuvveti ile  $\mu_k$  ise hareketi devam ettirme kuvveti ile izah edilir [72].



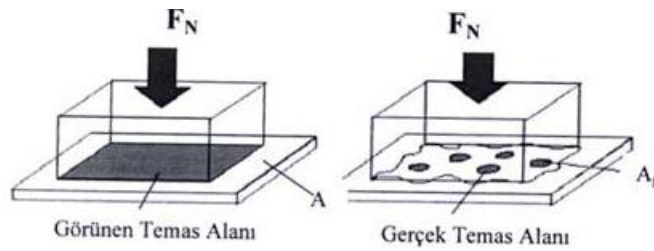
Şekil 4.1. Statik ve dinamik sürtünme katsayısı [109].

$(\mu_k)$  hızın bir fonksiyonu iken  $(\mu_s)$  temas süresinin fonksiyonudur.  $\mu_s$ -zaman ve  $\mu_k$ -hız grafiği Şekil 4.2.' de verilmiştir [109].



Şekil 4.2.  $\mu_s$ -zaman ve  $\mu_k$ -hız grafikleri [109].

Sürtünme katsayısının en yüksek olduğu değer hareketin ilk başlangıcıdır. Sürtünmede yüzeylerin pürüzlülüğü ve temizliği göz önünde bulundurulmalıdır. Yüzeyler birbiri ile pürüzlerin tepelerinde temas ederler (Şekil 4.3.). Küçük temas alanlarının toplamı gerçek temas alanını verir ve bu alan temas gerçek geometrik alandan daha küçüktür [72].



Şekil 4.3. Sürtünmede geometrik ve gerçek temas alanı [72].

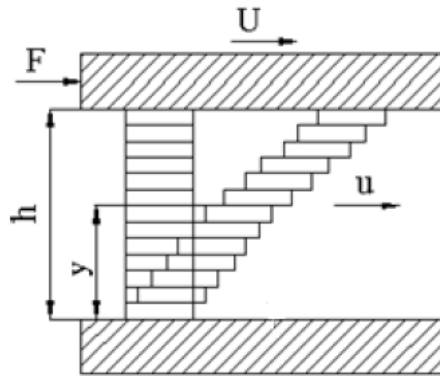
## 4.1.2. Sürtünme Çeşitleri

### 4.1.2.1. Kuru Sürtünme

Sürtünme denilince akla ilk gelen sürtünme kuru sürtünmedir. Aşınma ve ısı meydana gelişi daha çok kuru sürtünme sonucu oluşur. En genel haliyle toz, kir ve yağlardan temizlenmiş yüzeylerin, maddelerden arındırılmış yüzeylerin atmosfer ortamındaki sürtünme halidir. Bu sürtünmede, yük uygulanmadan önce temas halindeki yüzey tabakaları arasında bir bağlantı meydana gelir ve yük uygulandıktan sonra tabakanın bir kısmı koparak küçük temas alanlarında metallar arası kaynak olayı meydana gelir. Sürtünme kuvveti ile bu kaynak bağları zamanla koparak aşınma meydana gelir [108]. Kuru sürtünme genellikle kavrama ve fren gibi sürtünme esasına göre çalışan parçalarda görülür [72].

### 4.1.2.2. Sıvı Sürtünme

Sıvı sürtünmesi, metal yüzeylerinin bir yağ filmi tarafından tamamen ayrıldığı sürtünme çeşididir. Metal yüzeyleri ile doğrudan doğruya temas halinde bulunan yağ filmleri adsorpsiyon yolu ile malzeme yüzeylerine tamamen yapışır. Şekil 4.4.' de Sıvı sürtünmesi şematik olarak görülmektedir.  $U$  hızıyla hareket eden yüzeye yapışmış olan yağ filminin hızı  $U$  iken, sabit yüzey üzerindeki yağ filminin hızı ise sıfırdır. Yağ filminin ara tabakasının hızı ise  $y$  mesafesine bağlı olarak  $U$  ile sıfır arasında değişiklik gösterir. Böylelikle sürtünme esasen birbiri üzerinde kayan yağ filmi tabakaları arasında oluşur [108].



Şekil 4.4. Sıvı sürtünmenin şematik gösterimi [108].

#### **4.1.2.3. Sınır Sürtünme**

Temas eden iki yüzey arasında ince bir yağ filmi olması haline sınır sürtünme hali denir. Yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde vardır fakat yağ tabakası sıvı sürtünme meydana getirecek kadar kalın değildir. Pratikte en çok rastlanan sürtünme çeşidi bu sürtünmedir [108].

#### **4.1.3. Sürtünme Kuvvetine Etki Eden Faktörler**

##### **4.1.3.1. Genel Faktörler**

Keskin uçlu geometriye sahip sert bir yüzeyin yumuşak bir yüzey üzerinde hareket etmesi durumunda yumuşak yüzey üzerinde sertliği ve keskinliği oranında çentik meydana getirir. Çentiğin açılmasında sarf edilen deformasyon enerjisinin sürtünme kuvvetinden sağlandığı söylenebilir. Çentik etkisinden dolayı sürtünme kuvveti değeri çentik büyüklüğüne bağlı olarak artmış olur [109].

##### **4.1.3.2. Yüzey Sıcaklığının Etkisi**

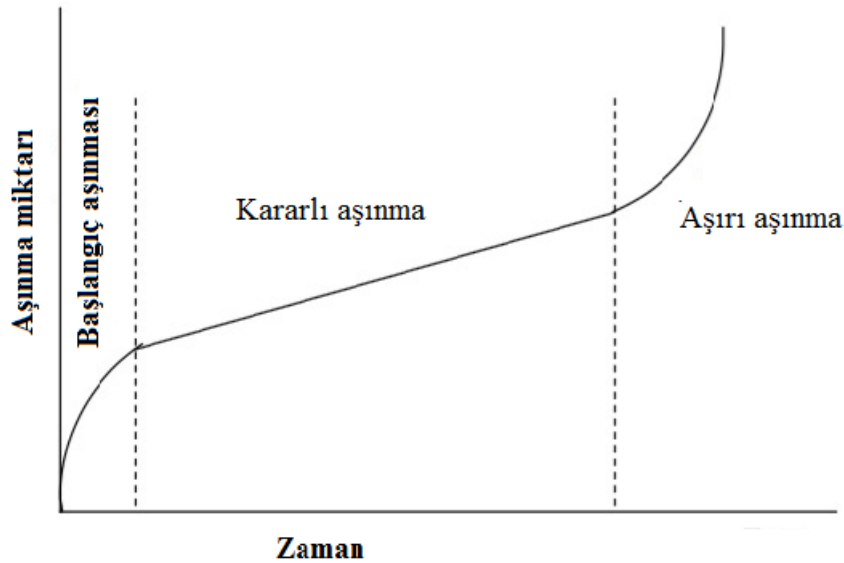
Sürtünme olayında harcanan gücün büyük bir bölümü sürtünme sonucu meydana gelen ısıya dönüşür. Bu ısı enerjisinin neredeyse tamamı yüzeylerin temas bölgelerinde üretilir. Bu durumdan dolayı ortaya çıkan ısı enerjisinin dağılımını belirlemek oldukça güçtür. Çünkü sıcaklık yüzeylerin farklı noktalarında farklı büyüklüklerde ortaya çıkar. Yüzey sıcaklığını ölçmede kullanılan termokupllar, sürtünen yüzeylerin etrafına yerleştirilerek sürtünme sonucu ortaya çıkan ısı değerleri tahmin edilebilir fakat kesin bir sonuç vermez [109].

#### **4.2. Aşınma**

Aşınma hem teknik hem de ekonomik bir problemdir. Aşınma genel olarak mekanik ve kimyasal etmenlerden dolayı malzemelerde meydana gelen istenmeyen parçacık kaybı olarak tanımlanabilir. Aşınma istenmeyen bir durumdur ve önemli işletme ve bakım maliyetleri doğurur. Aşınma genel olarak; yataklarda, pistonlarda, supaplarda, kesici takımlarda dişlilerde, kırma ve öğütme değirmenlerinde, madencilik endüstrisinde kullanılan makinelerde, türbin kanatçıklarında sıklıkla görülür [53].

Malzemelerdeki parçacık kayıplarının aşınma sayılabilmesi için mekanik bir etkinin olması, sürtünmenin olması, yavaş fakat sürekli olması, malzeme yüzeyinde deformasyon meydana getirmesi ve istem dışı meydana gelmesi gerekmektedir. Birçok makine parçasının ve mühendislik malzemesinin ömrüne etki eden aşınma tamamen ortadan kaldırılamasa da malzemelerin ve parçaların yüzey özelliklerini geliştirmek ve uygun yağlayıcı kullanmak ile etkileri azaltılabilir [53].

Aşınma esnasında kayma devam ettikçe aşınmada farklı evreler ortaya çıkar (Şekil 4.5.). Başlangıç aşınması aşınmanın ilk safhasıdır ve aşınma zaman bağı olarak hızla artar. Bu aşınma rodaj aşınması olarak bilinmektedir ve hizmet ömründe kısa bir süre teşkil etmektedir. Kararlı aşınma bölgesinde malzemede zamana bağlı olarak kararlı bir parçacık kaybı meydana gelir. Bu bölge hizmet ömründe önemli bir yer tutar ve sürtünme kuvvetleri ile aşınma miktarları bu bölgede ölçülür. Üçüncü bölge ise aşınma miktarının çok yüksek olduğu ve ağır hasarlara sebebiyet verebilecek aşırı aşınma bölgesidir [53].



Şekil 4.5. Aşınmanın zamana bağlı değişimi [110].

Aşınma sistemindeki bütün bileşenlerin oluşturduğu sisteme “Tribolojik Sistem” denilmektedir (Şekil 4.6.) [105].

Tribolojik sistemdeki bileşenler aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

**Aşınan (Ana malzeme):** Fiziksel özellikleri, kimyasal özellikleri, boyutları ve yüzey durumu bilinen, aşınma özellikleri incelenecek cisimlerdir [105].

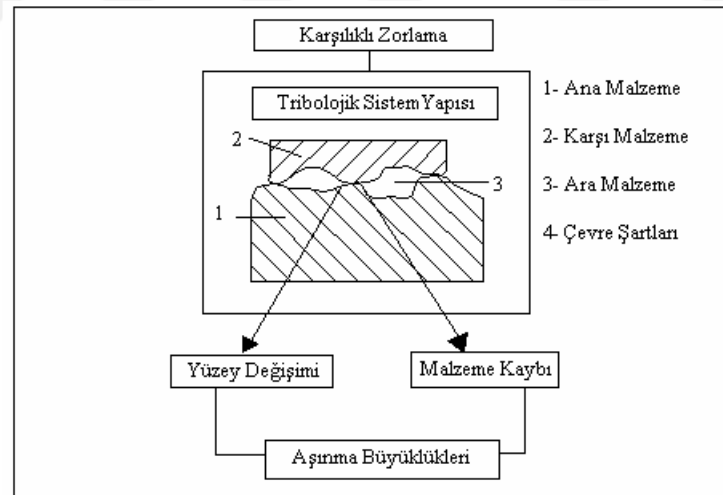
**Aşındıran (Karşı malzeme):** Aşınmayı oluşturan karşı sürtünme elemanıdır. Bu malzemeler katı, sıvı veya gaz olabilirler. Aşındıran ve aşınan elemanlar birlikte bir aşınma çiftini oluşturur [105].

**Ara Malzeme:** Aşınan ve aşındıran elemanlar arasında katı, sıvı, gaz, buhar ya da bunların karışımı halinde bulunan malzemedir. Bu malzeme bir yağ, aşınma sırasında ortaya çıkan parçacık veya kum tanesi olabilir [105].

**Temas Kuvveti (Yük):** Yüzeyle etki eden kuvvetin büyüklüğü, statik, dinamik, darbeli veya titreşimli oluşu, doğrultusu ve uygulama zamanı birlikte yükün şiddetine belirleyen etmenlerdir [105].

**İzafi Hareket:** Aşınan ve aşındıran elemanlar arasındaki kayma, yuvarlanmaya veya çarpma izafi hareketi ile izafi hareketin yönü ve büyüklüğü ile belirlenir. İzafi hareket ve yük tribolojik sistemde en önemli faktörlerdir [105].

**Çevre:** Çevre tribolojik sistemi içine alan katı sıvı ve gaz halinde bulunabilen ortamdır. Ortamın durumuna göre sürtünme ve aşınma önemli oranda etkilenmektedir [111].



Şekil 4.6. Tribolojik sistem [105].



## **4.2.1. Aşınmaya Etki Eden Faktörler**

### **4.2.1.1. Ana Malzemenin Özelliklerinin Etkisi**

#### **4.2.1.1.1. Malzemenin Kristal Yapısının Etkisi**

Malzemelerin kristal yapılarının sıkı paket kafes yapısına sahip malzemelerin aşınma dirençleri diğer kristal yapıdaki malzemelere göre daha yüksek olduğu yapılan araştırmalarda belirtilmiştir [105].

#### **4.2.1.1.2. Malzemenin Sertliğinin Etkisi**

Malzemenin sertliği ile malzemeye katılan aşınma elementlerinin çeşidi ve miktarı arasında önemli bir ilişki vardır. Genellikle katılan aşınma elementleri, malzemelerin mukavemet ve sertliğini artırmaktadır. Aşınma direncini etkileyen en önemli faktörlerin başında gelen sertlik ile aşınma direnci arasında belli bir düzeyde neredeyse doğrusal bir ilişki vardır. Sertliğin artmasıyla genellikle aşınma direnci de artar [105].

#### **4.2.1.1.3. Elastiklik Modülünün Etkisi**

Elastiklik modülü yüksek olan malzemelerin gerçek temas alanları düşmektedir. Bu durumdan dolayı malzeme yüzeyine etki eden yük yalnızca pürüz tepelerinde desteklenir ve yükü çok küçük bir alan taşır. Uygulanan yük sabit kabul edildiğinde; pürüzlere gelen yük daha fazla olacağından, deformasyonla birlikte kaynak bağları oluşumu artacaktır. Bu durumdan dolayı da aşınma miktarı artış gösterecektir [105].

#### **4.2.1.1.4. Deformasyon Davranışının Etkisi**

Soğuk şekil değiştirme işlemiyle malzemelerin sertlikleri ve dolayısıyla aşınma dirençleri değişmektedir. Malzemelerin mekanik özellikleri soğuk deformasyonla iyileştirilebildiği gibi, aşınma dirençleri de soğuk deformasyon sertleşmesine uğramış malzemelerde artış gösterebilmektedir. Soğuk şekillendirme esnasında malzemede pekleşme meydana gelir ve mekanik özellikler değişir. Aşınma esnasında verilen enerjinin bir kısmı sürekli olarak soğuk deformasyon meydana getirerek malzeme yüzeyinin

pekleşmesine sebep olur. Bu pekleşmeden dolayı yüzeyin mukavemeti artar aşınma direnci yükselir [105].

#### **4.2.1.1.5. Malzemenin Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi**

Yüzeyin pürüzlülüğü gerçek temas alanını etkilediğinden, malzemenin aşınma ve sürtünme davranışını önemli ölçüde etkiler. Yüzey pürüzlülüğünün yüksek olması gerçek temas alanını düşüreceğinden pürüz tepeliklerine gelen yük artar ve aşınma direnci düşer. Aşınma başlangıcında yüzey pürüzlülüğünün kontrol edilmesi kolayken, çalışma esnasında aşınmanın nasıl gerçekleştiği tam kestirilemediğinden yüzey pürüzlülüğünün kontrolü zordur. Bunun için birbiriyle uyumlu çalışma çiftlerin seçilmesi daha iyi olur [105].

#### **4.2.1.1.6. Isıl İşlemin Etkisi**

Isıl işlem ile malzemelerin mekanik özellikleri önemli oranda değiştirilebilir. Malzemelere ısıl işlem uygulanarak sertlikleri artırılır ve aşınma dirençleri iyileştirilebilir. Isıl işlemle malzemelerin mikroyapıları değiştirilerek, malzemelere farklı özellikler kazandırılır ve her bir özellik malzemenin aşınma davranışını önemli ölçüde etkileyebilir [105].

#### **4.2.1.1.7. Malzeme Boyutunun Etkisi**

Malzemelerin aşınmaya maruz kalan bölgeleri ne kadar genişse, aşınma esnasında ortaya çıkan ısı da o kadar kolay transfer olur ve malzeme daha geç ısınır. Böylelikle ısıdan dolayı mikroyapıda oluşacak değişimler azaltılmış olacaktır. Mikroyapı fazla değişmediğinden aşınma direncinde de önemli bir değişim olmayacaktır. Malzemenin dar bir alanı aşınmaya maruz kaldığında ise ani sıcaklık artışından dolayı malzemenin mikroyapısının değişmesiyle aşınma direncinde de değişim olacaktır. Isının aşırı yükselmesiyle mikroyapıdaki taneciklerin boyutu küçülür ve böylelikle aşınma direnci artar [105].

#### **4.2.1.2. Aşındırıcının Etkisi**

Aşındırıcı malzemenin cinsi, taneciklerinin boyutu, sertliği ve şekli aşınma miktarının değişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin; alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) aşındırıcılar sert ve köşeli bir yapıdadır. Silisyum karbür (SiC) aşındırıcılar ise  $Al_2O_3$ ' e göre çok daha sert ve köşelidir. Bunun olumsuz etkisi SiC' ün daha kırılğan olmasıdır. Aşındırıcı ne kadar sert ise malzemedeki aşınma miktarı da o kadar fazla olur [105].

#### **4.2.1.3. Ortamın Etkisi**

##### **4.2.1.3.1. Sıcaklığın Etkisi**

Aşınma bölgesinde sıcaklık arttıkça sertlik düşer ve plastik deformasyon ile oksidasyon artar. Bu durumlarda malzemenin aşınma miktarını artırır. Artan çevre sıcaklığı ise yüzey özelliklerini geliştirdiği için aşınmayı olumlu yönde etkiler [105].

##### **4.2.1.3.2. Nemin Etkisi**

Atmosferdeki bağıl nem oranı aşınma miktarını etkileyen etmenlerden biridir. Bağıl nem oranı arttıkça sürtünme katsayısı azalır ve böylelikle aşınma miktarı düşer [105].

##### **4.2.1.3.3. Atmosferin Etkisi**

Atmosferde bulunan oksijen aşınma esnasında özellikle ısının artmasıyla oksit tabakası oluşturur. Bu oksit tabakasının aşınma esnasında yüzeyden koparılmasıyla metal teması oluşur ve parça aşınır. Aşınma soy gaz atmosferi altında gerçekleştiğinde ise oksitlenme miktarı azalır [105].

#### **4.2.1.4. Kullanım Şartlarının Etkisi**

##### **4.2.1.4.1. Yükün Etkisi**

Aşınma esnasında yük arttıkça temas alanı da artar. Bu nedenle sürtünme artarak aşınma direncini düşürür. Aşınma esnasında malzemeye etkileyen yüklerin cinsinde aşınma miktarını değiştirir. Statik yükler, yüzeye sabit bir etki yaptığından aşınma miktarları daha sabit olur. Yataklarda ve çoğu mekanik elemanlarda kullanılan malzemeler ise genelde

dinamik yüke maruz kalırlar. Dinamik yükün titreşim genliğinin artması ile de aşınma miktarı azalır [105].

#### **4.2.1.4.2. Hızın Etkisi**

Aşınma anındaki hız malzemenin mikroyapısına etki ederek aşınma direncini değiştirir. Araştırmalarda aşınma hızının fazla olmasının, karbürlerin veya takviye elemanlarının miktarının düşmesine neden olduğu belirtilmiştir. Bu durum ağırlık kayıplarına neden olmakta ve sertliği düşürmektedir, böylelikle aşınma direncinde de azalma meydana gelmektedir. Aşınma öncesinde mikroyapılardaki karbürler belli bir aşınma hızından sonra yüzeyden koparak uzaklaşmakta veya yüzeyle aşındırıcı arasına girerek aşındırıcı görevi üstlenmektedir. Bu durumda aşınma miktarının artmasına sebebiyet vermektedir [105].

#### **4.2.1.4.3. Kayma Mesafesinin Etkisi**

Kayma mesafesi arttıkça aşınmada genelde doğru orantılı olarak artar. Kayma mesafesi arttıkça, yüzeyden transfer olan parçacık miktarı da artar. Böylelikle yüzeyin pürüzlülüğü artmış olur buda artan temas alanıyla birlikte aşınma miktarını artırabilir [105].

#### **4.2.1.5. Aşınmaya Matrisin Etkisi**

Aşınma esnasında matris karbürlere yeterli desteği sağladığında karbürlerin yüzeyden dökülmesi önlenir. Özellikle ağır aşınma şartları altında çatlaklar genelde matris-karbür ara yüzeyinden başlar. Çünkü bu bölgelerde gerilme yoğunlukları oldukça yüksektir. Matrisin sertliği arttıkça genelde aşınma direnci de artar. Ayrıca yüksek mukavemete sahip matrisler, karbürleri daha iyi destekleyerek aşınma miktarını azaltabilir [91].

#### **4.2.1.6. Aşınmaya Karbürlerin Etkisi**

Malzemelerin mikroyapılarında bulunan sert karbürler malzemelerin aşınma dirençlerini önemli ölçüde artırmaktadır. Mikroyapıda bulunan karbürlerin büyüklüğü ve

miktarı arttıkça aşınma miktarı da azalmaktadır. Yine karbürler arasındaki mesafe, karbürlerin sertliği ve çeşidi de aşınma direncini etkileyen etmenlerdendir. Mikroyapı içerisindeki karbürlerin yoğunluğu ne kadar çoksa sertlik de artmakta ve aşınma miktarı ve hızı azalmaktadır [91].

#### **4.2.2. Aşınma Çeşitleri**

##### **4.2.2.1. Abrasif Aşınma**

Abrasif aşınma yırtılma veya çizilme aşınması olarak da bilinmektedir. Sürtünen iki malzemeden sert ve pürüzlü olanı diğer malzemeden küçük parçacıklar kazıyarak, bu malzemede malzeme kayıplarına neden olur. Abrasif aşınmanın gerçekleşmesi için bir malzemenin diğerinden daha sert olması gereklidir [112]. Bu aşınma türünde aşındırıcılar genellikle metal olmayan malzemelerdir [107]. Sertliği yüksek olan malzeme diğer yumuşak malzemeyi çizerek aşındırır. Sanayideki uygulamalarda en sık karşılaşılan aşınma türü abrasif aşınmadır. Bu tip aşınma; özellikle madencilik sektöründe kullanılan makinelerde, kazıma aletlerinde ve makinelerinde, mineral endüstrisinde, tarım alet ve makinelerinde görülmektedir [112].

Abrasif aşınmanın azaltılmasında en verimli yol malzeme yüzeylerinin sertliğinin artırılmasıdır. Fakat bazı malzemelerde sertlik artışının gevrek kırılmaya neden olacağı göz önünde bulundurulmalıdır [112].

##### **4.2.2.2. Adhesif Aşınma**

Adhesif aşınma yapışma aşınması olarak bilinen aşınma türüdür [112]. Adhesif aşınmada iki metal malzeme birbirine sürtünürken pürüzlerin bulunduğu tepeciklerde birbirlerine geçici olarak kaynarlar ve bu mikro kaynaklar kayma hareketi devam ettikçe, yüzeydeki gerilmelerin etkisiyle koparak yüzeyden uzaklaşırlar. Böylelikle malzeme kayıpları neticesinde aşınma meydana gelmiş olur [105].

Metal malzemelerde yapışma işlemi sıcak ve soğuk durumlarda gerçekleşebilir. Soğuk durumda yapışmanın ana nedeni malzemeye uygulanan yüküdür. Malzeme yüzeylerindeki pürüz azaldıkça abrasif aşınma miktarı da azalmaktadır. Sürtünen iki yüzey arasında oluşan ısı da yapışmayı artıran etkenlerden biridir. Ayrıca birbiriyle temas halinde

olan hareketli metal malzemelerin kristal kafes yapıları birbiriyle aynıysa veya yakın ise adhesif aşınma daha hızlı gerçekleşmektedir [112].

Adhesif aşınma miktarını azaltmak için, bu tip aşınmaya maruz kalacak makine parçalarında, plastik deformasyona yatkınlığı düşük olan, sürtünme katsayısı düşük malzemeler tercih edilmelidir. Ayrıca temas eden metalik yüzeylerin yağlanması da adhesif aşınmayı azaltmaktadır [112].

#### **4.2.2.3. Korozyon Aşınma**

Aşınma ve korozyonun birlikte etkiyerek daha büyük malzeme kayıplarına neden olduğu aşınma tipidir. Korozyon vakum ve soy gaz atmosferi ortamı haricindeki tüm ortamlarda oluşabilir ve aşınmaya eşlik eder [107].

Malzemeler çalışma koşullarında, çevrede bulunan kimyasallar ve havayla tepkimeye girerler. Bu tepkimeler sonucunda malzeme yüzeylerinde oksit tabakası meydana gelir. Oluşan oksit tabakaları sürtünme ve aşınma esnasında malzeme kayıplarına neden olur. Ayrıca yüksek sertliğe sahip oksitler kırıldıktan sonra malzeme yüzeylerini çizerek de aşınma miktarını artırır [112].

#### **4.2.2.4. Kavite Aşınması**

Kavite aşınması çukurcuk aşınması olarak da isimlendirilmektedir. Bu aşınmada; metal yüzeyinde kabarcıklar oluşmakta ve ani bir hız etkisi altında kalan bölgelerde çökmeler oluşmasıyla aşınma meydana gelmektedir. Kavite aşınması genelde, gemi ve pompa pervanelerinde, ayrıca kompresör silindirlerinin cidarlarında oluşmaktadır [105].

#### **4.2.2.5. Yorulma Aşınması**

Bu aşınma tekrarlı ve değişken yükler altında gerçekleşir. Aşınma sürecinde malzeme yüzeyleri değişken yük ve gerilmelere maruz kaldığından, bu aşınma tipi aşınmaya maruz kalan birçok makine parçasında görülebilir. Yorulma aşınmasında aşınma süresince, malzeme yüzeylerinde küçük çatlaklar oluşur. Bu çatlaklarda kırılarak yüzeyden parça kopmasına, çukur ve olukların meydana gelmesine sebebiyet verir [72].

Yorulma aşınmasında, yüzeyde oluşan kayma gerilmelerinin en yüksek değere ulaştığı bölgelerde plastik deformasyon ve dislokasyon neticesinde küçük çatlak ve boşluklar oluşur. Bu boşluk ve çatlaklar zamanla yüzeye doğru ilerler ve çukurlar oluşturur. Yorulma aşınması genellikle; dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmalarda görülür [72, 112].

#### **4.2.2.6. Eroziyon Aşınma**

Eroziyon aşınmada aşındırıcı parçacıklar sıvı veya gaz bir ortam vasıtasıyla malzeme yüzeyine çarparak, yüzeyden malzeme koparılır. Bu aşınmada, normal şartlarda aşınma hızları düşüktür, fakat yüksek sıcaklıklarda malzemenin akma dayanımı düştüğünden eroziyon aşınma miktarı artmaktadır. Eroziyon aşınmada, aşındırıcı parçacıkların yüzeye çarpma açısı oldukça etkilidir. Düşük püskürtme açılarında, yumuşak malzemelerin aşınma miktarları yüksek olurken, sert ve gevrek malzemeler yüksek püskürtme açılarında eroziyon aşınma dirençleri yüksektir [105]. Bu tip aşınma genellikle, buhar ve jet türbinleri, boru hatları, parçacık madde taşıyıcı valfler gibi sistemlerde görülmektedir [107].

#### **4.2.2.7. Ögütme Aşınma**

Bu aşınma, yüksek basınca maruz kalan parçacıkların malzeme yüzeyleri ile düşük hızlarda karşı karşıya gelmeleri sonucu oluşur. Bu durumda, malzeme yüzeyinden parçacıklar kesilir veya küçük çizikler oluşarak yüzeyden malzeme kaybolur [91].

#### **4.2.2.8. Oymalı Aşınma**

Bu aşınmada, yüzeyler kütleli olarak deformasyona uğrar. Oymalı aşınmada, malzeme yüzeyleri yüksek gerilmelerdeki çarpmaya maruz kalırlar ve yüzeyden parçacıklar kesilerek kopar. Aşırı yüklemelerden dolayı meydana gelen oymalı aşınmaya örnek olarak, ağır koşullar altında çalışan kazıcı ve kırıcı gibi makineler gösterilebilir [90, 91].

#### **4.2.2.9. Kazımalı Aşınma**

Bu aşınma şekli korozyonla birlikte oluşan aşınma türleri arasında en yaygın olanıdır ve iki yüzey arasındaki hafif titreşimli hareket neticesinde meydana gelir. Bu titreşim oksitlenmiş yüzeylerde oyuklar meydana getirir. İki metal birbiriyle temas ettiğinde, yüküm etkisiyle yüzeylerde bulunana düzensizlikler birbirine yapışır. Hareket devam ettikçe bu yapışkan bağlantılar yüzeyden koparlar. Yüzeyden kopan parçacıklar hareketlerin küçük olması nedeniyle yüzeyden uzaklaşamaz ve oksitlenerek yüksek sertliklere ulaşırlar. Bu parçacıklar, abrasif karakterli olmalarından dolayı yüzeyleri kazıyarak aşındırırlar. Kazımalı aşınma genelde gemi, uzun süre çalışan makine ve uzun yol giden araçlarda görülür [90].

#### **4.2.2.10. Termik Aşınma**

Bu aşınmada, yüksek sıcaklıkla birlikte darbe ve gazların etkisiyle görülen aşınmadır. Bu tip aşınma genellikle buhar ve gaz valflerinin oturduğu yüzeylerde, valf eteklerinde, sıcak haddeleme silindirlerinde ve merdanelerinde görülmektedir [53].

#### **4.2.2.11. Yuvarlanma Aşınması**

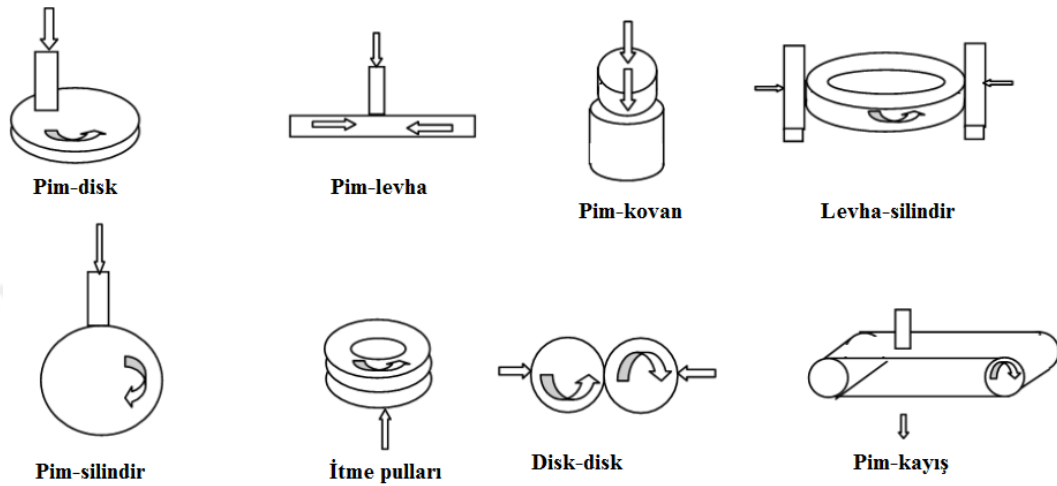
Bu aşınmaya birbiri üzerinde yuvarlanma hareketi yapan malzemelerde rastlanır. Yuvarlanma esnasında aşınma her iki malzeme de oluşabilir. Yuvarlanma aşınmasında yüzeylerin kuruluk veya ıslaklığı aşınma üzerinde oldukça etkilidir [53].

#### **4.2.3. Aşınma Deneyleri**

Malzemelerin aşınma ve sürtünme davranışları mikroyapılarının yanı sıra tribolojik sistemle de bağlantılıdır. Örneğin; temas şekli, aşınan ve aşındırıcı malzemelerin çeşidi, malzemelerin yüzey özellikleri, uygulanan yükün büyüklüğü ve şekli vs. gibi. Bu nedenle malzemelerin çalışma ortamındaki aşınma ve sürtünme davranışlarını belirlemek için gerçek saha testlerinin yapılması gerekmektedir. Gerçek ortamda yapılan testler, maliyetli, uzun sürer ve karmaşıktır. Ayrıca sonuçların yorumlanması oldukça zordur. Tüm bu nedenlerden dolayı malzemelerin aşınma ve sürtünme davranışları, tezgâh testleri, gerçek sistemden izole edilmiş tekil bileşen testleri ve basitleştirilmiş, aşınma mekanizmasını



simule etmeye yarayan testler gibi laboratuvar testleriyle gerçekleştirilmektedir. Bu testler, hem maliyet açısından hem de zaman açısından gerçek saha testlerine oranla daha iyidir. Bunlara ek olarak test parametreleri kolay kontrol edilebilir ve sonuçların yorumlanması daha kolaydır [113]. Bazı aşınma test yöntemleri Şekil 4.7.' de verilmiştir [114].



Şekil 4.7. Aşınma test cihazları [114].

#### 4.2.4. Aşınma Kaybı Tespit Yöntemleri

##### 4.2.4.1. Ağırlık Farkı Metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün kolay hesaplanabilmesi nedeniyle en fazla kullanılan metottur. En büyük dezavantajı ise her ölçümde numunenin tekrar çıkarılıp takılmasıdır. Bu metotta aşınma sonrası ağırlık kayıpları hassas teraziler yardımıyla ölçülür [53].

##### 4.2.4.2. Kalınlık Farkı Metodu

Aşınma esnasında malzeme boyutunda meydana gelen değişiklikler başlangıç değeriyle karşılaştırılarak tespit edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen değerden yola çıkılarak hacimsel kayıplar ve birim hacimde meydana gelen aşınma miktarları ölçülebilir. Aşınma öncesi ve sonrası malzeme kalınlıkları, hassas ölçüm yapan aletler yardımıyla ölçülmelidir (-1, +1  $\mu\text{m}$  hassasiyetinde). Bu metot ölçüm zorluğundan dolayı fazla tercih edilmemektedir [53].

#### **4.2.4.3. İz Değişimi Metodu**

Aşınma sonrası, aşınan yüzeylerin plastik deformasyon geometrisinin ölçümüyle tespit edilir. Testlerde iz bırakıcı olarak en çok kullanılan uçlar Vickers ve Rockwell sertlik ölçme uçlarıdır. Piramit veya konik uçların iz boyutlarındaki değişim mikroskop vasıtasıyla ölçülür [53, 113].

#### **4.2.4.4. Radyoizotop Metodu**

Aşınma ve sürtünme yüzey bölgeleri proton, nötron veya yüklü  $\alpha$ - parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilir. Aşınmanın çok büyük hassasiyetle ölçülebilmesine imkân tanır. Çalışma şartları değişmeden ölçümler alınabilir. En büyük dezavantajı maliyetli olmasıdır. Hassas yerlerde kullanılacak özel parçaların aşınma davranışlarının belirlenmesinde kullanılmakla beraber yaygın bir ölçüm metodu değildir [53].

## 5. MATERYAL VE METOT

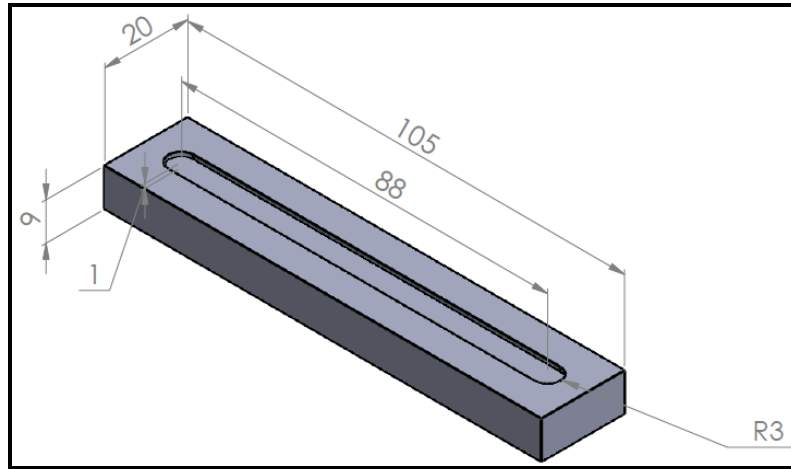
Bu tez çalışmasında, düşük karbonlu AISI 1020 çeliğinin yüzeyi yüksek kromlu FeCrC, FeW, FeB ferro alaşımları ve bu tozlara C katıldıktan sonra sinterlenmiş toz karışımı kullanılarak, farklı ısı girdilerinde ve farklı toz karışım oranlarında alaşımlandı. Piyasadan alyaj halinde temin edilen alaşımlar, öğütme değirmeninde öğütülerek yaklaşık 38 µm boyutuna getirildi. Tablo 5.1.' de AISI 1020 çeliğinin ve ferro alaşım tozlarının (% ağırlık) kimyasal kompozisyonları verilmiştir.

**Tablo 5.1.** AISI 1020 ve ferro alaşımların kimyasal kompozisyonları (% ağırlık)

Malzeme	Cr	B	C	P	Si	W	Mn	Fe
AISI 1020	-	-	0.2	0.02	0.286	-	0.356	Kalan
FeCrC	66.77	-	7.95	0.007	0.55	-	-	Kalan
FeW	-	-	0.045	0.05	0.52	79.26	-	Kalan
FeB	-	18.22	0.3	0.05	0.5	-	-	Kalan

### 5.1. Yüzeyi Alaşımlanacak Numunelerin Hazırlanması

Altlık malzeme olarak kullanılacak AISI 1020 çeliği piyasadan 20x10x1000 mm<sup>3</sup> ebatlarında temin edildikten sonra, giyotinle 105 mm uzunluğunda parçalara bölündü. Parçaların yüzeyindeki oksitlerin giderilmesi için CNC frezeyle parçaların yüzeyinden ilk önce, 1 mm' lik talaş alındı ve daha sonra Şekil 5.1.' de verilen ölçülerde işlendi.



**Şekil 5.1.** Altlık malzemenin boyutları (mm)

İşlenen numunelerin yüzeylerindeki çapaklar eğre ile giderildikten sonra, yüzeyde kalan tozların uzaklaştırılması için basınçlı hava tutuldu. Yüzeyde kalan kir ve yağ aseton ile temizlendikten sonra, üzerindeki nemin giderilmesi için fırında 60 °C de 30 dakika kurutuldu. FeCrC, FeW ve FeB ferro alaşım tozlarının ve C tozunun nemini gidermek için bu tozlar ayrı ayrı seramik kaplara yerleştirildi ve fırın içerisinde 110 °C’ de 1 saat kurutuldu. Bu tozlar daha sonra Tablo 5.2.’ de verilen oranlarda, hassas terazi ile tartılarak toz karışımları oluşturuldu.

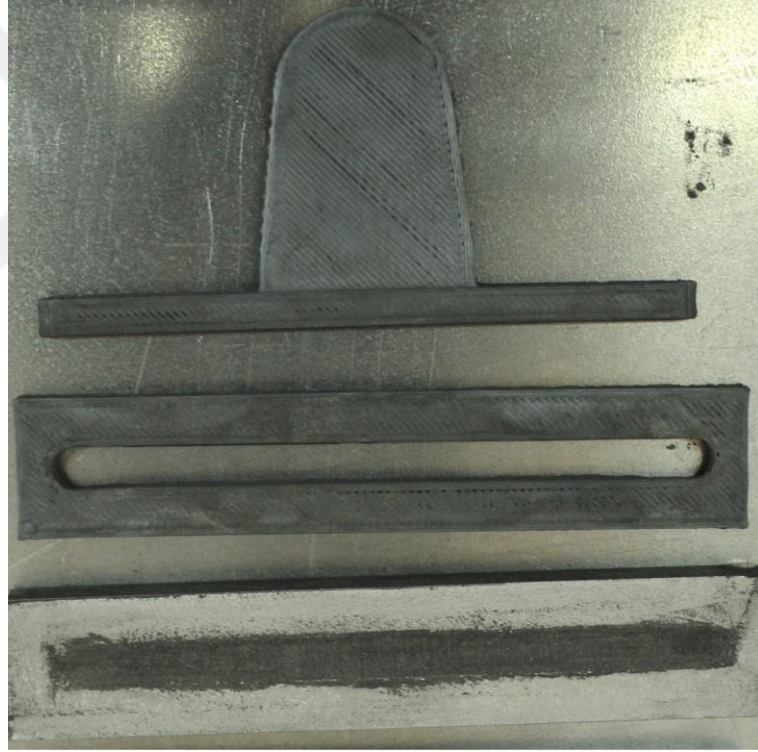
**Tablo 5.2.** Yüzey alaşımlama tozları karışım oranları (% ağı.)

Toz Karışımı	FeCrC	FeW	FeB	C
1	%80	%10	%10	-
2	%60	%20	%20	-
3	%50	%20	%30	-
4	%70		%30	-
5	%50		%50	-
6	%49	%19.6	%29.4	2

Bu karışımlar ayrı ayrı mekanik karıştırıcıda 150 d/dk’ da 1 saat karıştırıldı. 6 numaralı toz karışımı hidrolik presle 30 ton yükü ve 10 mm çapında preslendikten sonra, argon atmosferi altında Şekil 5.2.’ de görülen Protherm marka sinterleme fırınında, 1100 °C’ de iki saat sinterlendi. Elde edilen toz karışımları, ayrı ayrı altlık malzeme üzerinde açılmış kanala yerleştirildi ve sıkıştırıldı (Şekil 5.3.). Kaynak esnasında alaşım tozlarının uçmaması için toz karışımları alkolle yüzeye yapıştırıldı. Bu işlemde sonra, nemin giderilmesi için deneysel numuneler fırına yerleştirildi ve kurumaması için 100 °C’ de 1 saat bekletildi.



**Şekil 5.2.** Sinterleme fırını



**Şekil 5.3.** Kanala yerleştirildikten sonra sıkıştırılmış toz karışımı

Numuneler fırından çıkarıldıktan sonra, oda sıcaklığına gelinceye kadar beklendi ve Şekil 5.4.' de görülen Thermal Dynamics WC100B marka PTA kaynak cihazı kullanılarak Tablo 5.3.' de verilen sabit parametrelerle ve Tablo 5.4.' de verilen ısı girdilerinde yüzey alaşımlama işlemleri gerçekleştirildi. Yüzey alaşımlama işlemlerinden sonra, numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı.



Şekil 5.4. PTA kaynak cihazı

Tablo 5.3. PTA yüzey alaşımlamada kullanılan sabit parametreler

Volt (V)	18-20
Plazma gazı debisi (lt/dk)	0.5
Koruyucu gaz debisi (lt/dk)	8
Parça ve torc arası mesafe (mm)	2
Elektrot Türü	%2 Toryumlu elektrot

**Tablo 5.4.** PTA yüzey alaşımlamada kullanılan üretim parametreleri

Numune No.	Toz karışımı	İlerleme hızı (m/dk)	Akım (A)	Isı girdisi (kJ/mm)
N1	1	0.15	120 A	0.475
N2	1	0.15	140 A	0.585
N3	1	0.15	160 A	0.704
N4	1	0.1	120 A	0.713
N5	1	0.1	140 A	0.878
N6	1	0.1	160 A	1.056
N7	2	0.15	120 A	0.704
N8	2	0.15	140 A	0.585
N9	2	0.15	160 A	0.704
N10	2	0.1	120 A	0.713
N11	2	0.1	140 A	0.878
N12	2	0.1	160 A	1.056
N13	3	0.15	120 A	0.475
N14	3	0.15	140 A	0.585
N15	3	0.15	160 A	0.704
N16	3	0.1	120 A	0.713
N17	3	0.1	140 A	0.878
N18	3	0.1	160 A	1.056
N19	4	0.15	120 A	0.475
N20	4	0.15	140 A	0.585
N21	4	0.15	160 A	0.704
N22	4	0.1	120 A	0.713
N23	4	0.1	140 A	0.878
N24	4	0.1	160 A	1.056
N25	5	0.15	120 A	0.475
N26	5	0.15	140 A	0.585
N27	5	0.15	160 A	0.704
N28	5	0.1	120 A	0.713
N29	5	0.1	140 A	0.878
N30	5	0.1	160 A	1.056
N31	6	0.15	140 A	0.585
N32	6	0.15	160 A	0.704

## 5.2. Mikroyapı Numunelerinin Hazırlanması ve İncelenmesi

Mikroyapı analizleri için gerekli olan numuneler, yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşım yüzeyine dik doğrultuda ve ortasından 10x9x10 mm<sup>3</sup> ölçülerinde Struers marka Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kesme diskiyle kesildi. Sonra bu numuneler sırasıyla 60, 120, 180, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 meshlik SiC zımpara kâğıtlarıyla zımparalandı ve 3 µm' lik elmas pasta kullanılarak çuha ile parlatıldı. Parlatılan numuneler alkolle yıkandı ve kurutuldu. Bu işlemden sonra numuneler 15g FeCl<sub>3</sub>, 15 ml HCl ve 100 ml saf su karışımı ile (% ağırlık) 80FeCrC-10FeW-10FeB ve sinterlenmiş toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numuneler 1 dakika, diğer numuneler ise 2 dakika dağlandı. Dağlanan numuneler sabunla yıkandıktan sonra alkolle temizlendi ve sıcak hava ile kurutuldu. Dağlanan alaşımlanmış yüzey

tabakaları Nikon Eclipse NA200 marka optik mikroskop (OM) (Şekil 5.5) ile farklı büyütmelerde incelendi. Alaşımlandırılan yüzeyleri oluşturan fazların boyutları ve yüzdeleri x200 büyütmedeki OM görüntülerinden yararlanılarak Clemex Vision Lite&Pe 6.0 programı kullanılarak tespit edildi. Yapıyı oluşturan fazların taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri JEOL JSM-7001F (Şekil 5.6.) ve ZEISS EVO-MA10 (Şekil 5.7.) SEM cihazları kullanılarak elde edildi. Alaşımlandırılmış yüzeyleri meydana getiren bileşiklerin kimyasal kompozisyonu, JEOL JSM-7001F SEM cihazına bağlı Inca marka enerji dağılımlı X-ışınları (EDS) dedektörü ve ZEISS EVO-MA10 SEM cihazına bağlı Bruker marka EDS dedektörü kullanılarak ölçüldü. Alaşımlandırılmış yüzeyleri oluşturan fazların çeşidi ise, BRUKER AXS D8 ADVANCE marka X-ışını kırınımı (XRD) cihazında bakır  $\alpha$ -ışını tüpüne sahip cihazda 1.5406 Å dalga boyunda  $2\theta = 10$  derece açısında, 40 kV ve 40 mA' de Cu-K $\alpha$  radyasyonu kullanılarak tespit edildi.

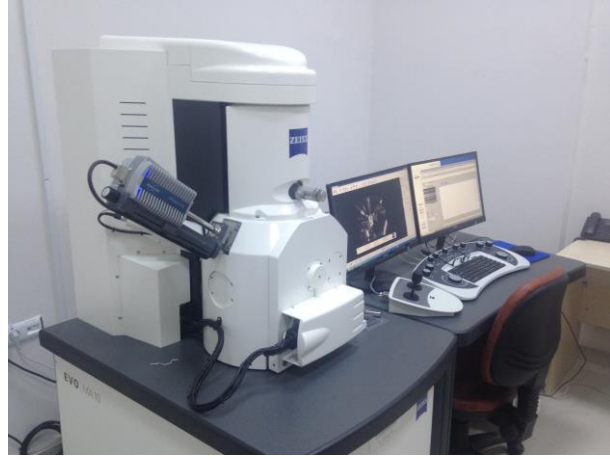


Şekil 5.5. Optik mikroskop





Şekil 5.6. JEOL JSM-7001F SEM cihazı



Şekil 5.7. ZEISS EVO-MA10 SEM cihazı

### 5.3. Sertlik Ölçümleri

Alaşımlanmış yüzey tabakalarının sertliği Şekil 5.8.' de görülen EMCO TEST marka mikrosertlik test cihazı kullanılarak alaşım tabakasının üst yüzeyinin orta noktasından ana malzemeye doğru 0.25 mm aralıklarla 200 gf kuvvet uygulanarak ölçüldü.



Şekil 5.8. EMCO TEST marka mikrosertlik cihazı

#### 5.4. Adhesiv Aşınma Testi

Adhesiv aşınma testi için gerekli numuneler yüzeyi alaşımlanmış numunelerin orta noktasına yakın bölgelerinden  $6 \times 9 \times 6 \text{ mm}^3$  ölçülerinde kesildi. Aşınma testinden önce numunelerin alaşımlanmış yüzeyleri 400 meshlik zımpara ile zımparalandı ve alkol ile temizlendi. Aşınma testleri blok-on-disk tip adhesif aşınma test cihazında kuru şartlarda 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N normal yükte gerçekleştirildi. Aşındırıcı olarak 15 mm çapında literatürde de benzer çalışmada kullanılan AISI 52100 çeliği kullanıldı [19]. Numuneler her bir yükte toplam 900 m kayma mesafesinde aşındırıldı. Ağırlık kayıpları her 300 m' de bir  $10^{-5}$  g hassasiyetinde terazi ile ölçüldü. Aşınma deneyi süresince sürtünme kuvvetinin kayma mesafesine bağlı değişimi kaydedildi ve Esit marka data logger ile bilgisayara aktarıldı. Son olarak aşındırılan numunelerin aşınma yüzeyleri SEM mikroskobu kullanılarak analiz edildi. Tüm deneysel işlemler oda sıcaklığında gerçekleştirildi.

## 6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 6.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları

#### 6.1.1. (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Mikroyapısı

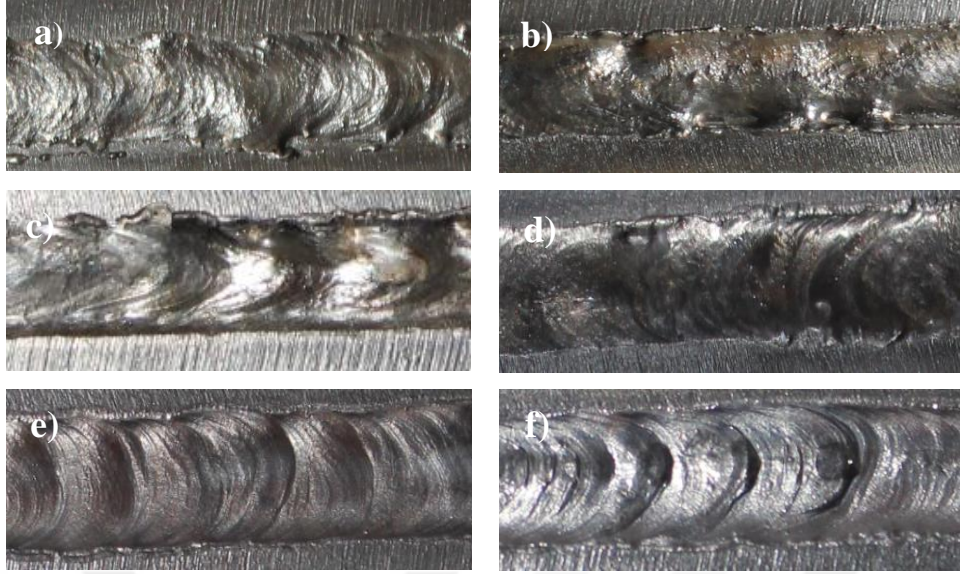
Tablo 6.1' de (% ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımı ile farklı ilerleme ve akım değerlerinde yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının bazı genel özellikleri verilmiştir. Karbürlerin mikroyapıdaki yüzdesi ısı girdisi arttıkça düşmüştür. Karbürlerin ortalama yüzey alanı ve ortalama karbür genişliği de ısı girdisinin artmasıyla azalmıştır. Yine dendritik katılaşma gösteren numunelerde dendritlerin yüzdesinin ve ortalama yüzey alanlarının ısı girdisinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Ayrıca dendrit kolları da ısı girdisi arttıkça genişlemiştir. Bu durumun altlık malzemenin artan ısı girdisiyle daha yoğun ergimesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Isı girdisi arttıkça yapıya giren Fe oranı ve katılaşma zamanı artar. Isı girdisinin artmasıyla katılaşma zamanının arttığı literatür çalışmalarında da belirtilmiştir [44]. Yüzey alaşımlama derinliği 1.87 mm ile 2.5 mm arasında değişmiştir, yüksek ısı girdilerinde ve akım değerlerinde altlık malzemenin ergime yoğunluğunun artmasından dolayı yüzey alaşımlama derinliğinin arttığı görülmüştür. Literatürdeki çalışmalarda da ısı girdisinin artmasıyla yüzey alaşımlama derinliğinin arttığı belirtilmiştir [41].

**Tablo 6.1.** (% ağı.) 80FeCrC-10FeW-10FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların genel özellikleri

Numune	V	A	Q	h	h <sub>a</sub>	F	Cr/Fe	Y	A <sub>ort.</sub>	G <sub>ort.</sub>
N1	0.15 m/dk	120 A	0.475 kJ/mm	1874 μm	3.12 μm	M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	1.24	43.1	349.9 μm <sup>2</sup>	6.5 μm
N2	0.15 m/dk	140 A	0.585 kJ/mm	1913 μm	3.2 μm	M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	1.20	33.2	113.2 μm <sup>2</sup>	5.8 μm
N3	0.15 m/dk	160 A	0.704 kJ/mm	2120 μm	4.84 μm	M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	1.14	31.2	78.6 μm <sup>2</sup>	4.7 μm
N4	0.1 m/dk	120 A	0.713 kJ/mm	2000 μm	4.72 μm	M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	1.02	25	72.2 μm <sup>2</sup>	4.5 μm
N5	0.1 m/dk	140 A	0.878 kJ/mm	2001 μm	8 μm	Dendrit	0.15	51.4	132.5 μm <sup>2</sup>	1.5 μm
						Ötektik	0.35			
N6	0.1 m/dk	160 A	1.056 kJ/mm	2522 μm	10.85 μm	Dendrit	0.13	58.1	140.2 μm <sup>2</sup>	3.3 μm
						Ötektik	0.33			

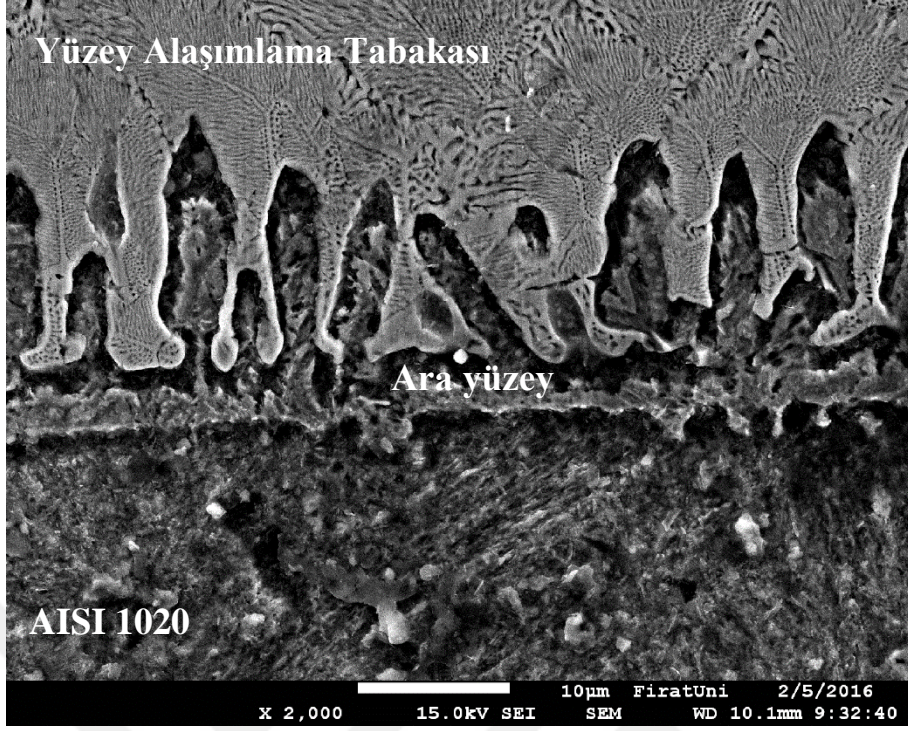
Tabloda **V**: ilerleme hızı (m/dk); **A**: Akım (A); **Q**: Isı girdisi (kJ/mm); **h**: Yüzey alaşımlamanın en derin noktasından alınan yaklaşık yüzey alaşımlama derinliği (μm); **h<sub>a</sub>**: Beş farklı noktadan alınan ortalama ara yüzey yüksekliği (μm); **F**: Yapıda yoğun bulunan faz; **Cr/Fe**: Yapıda yoğun bulunan fazın Cr/Fe oranı (Üç farklı noktadan alınan sonuçların ortalama değeri); **Y**: Yapıda bulunan karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin yüzdesi; **A<sub>ort.</sub>**: Karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin ortalama yüzey alanı (μm<sup>2</sup>); **G<sub>ort.</sub>**: Karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin ortalama genişliği (μm).

Şekil 6.1.' de verilen (ağı.) 80FeCrC-10FeW-10FeB ile farklı ilerleme hızları ve akım değerlerinde yüzeyi alaşımlanmış numunelerin makro fotoğraflarından yüzeylerde çatlak veya porozite oluşmadığı ve Fe-Cr-W-B-C takviye toz karışımının altlık malzeme ile birlikte ergiyerek yüzeyin modifiye edildiği görülmektedir. Yüzey alaşımlama kaynak dikişleri de düşük ilerleme hızlarında ergime yoğunluğunun artmasından dolayı daha düzgün bir hale gelmiştir.



**Şekil 6.1.** N1-N6 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları a) N1, b) N2, c) N3, d) N4, e) N5 ve f) N6

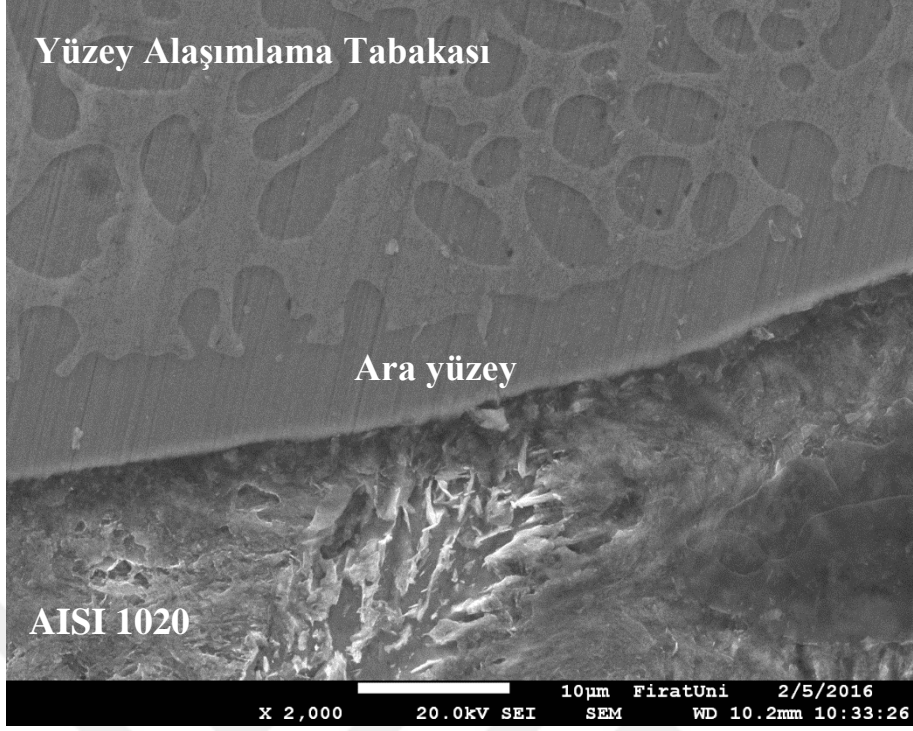
Yüzeyi alaşımlanmış numunelerin (N1-N6) ara yüzey SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 6.2.-6.7.' de verilmiştir. Görüldüğü gibi tüm numunelerde AISI 1020 ile alaşımlama bölgesi arasında çatlak, porozite ve boşluk oluşmamıştır. Ayrıca yüzey alaşımlama tabakaları altlık malzeme ile geçiş bölgesi oluşturacak biçimde bir yapı oluşturmuştur. N1 numunesinde alaşımlama ara yüzeyinin hemen üstündeki bölgede ötektik katılaşma gösteren yapılar oluşmuştur (Şekil 6.2.). Diğer numunelerin ara yüzeylerinin hemen üzerindeki bölgelerde ise dendritik ve dendritler arası ötektik yapılar mevcuttur. Ayrıca yüksek akım ve ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin ara yüzey geçiş bölgeleri ergime yoğunluğunun artmasından dolayı daha geniştir.



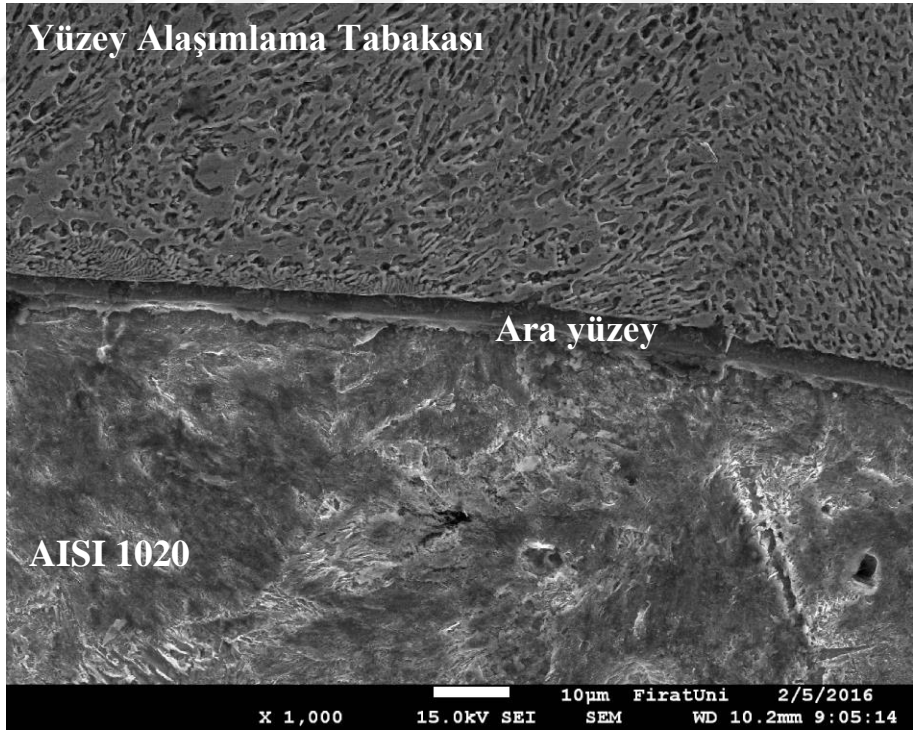
Şekil 6.2. N1 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



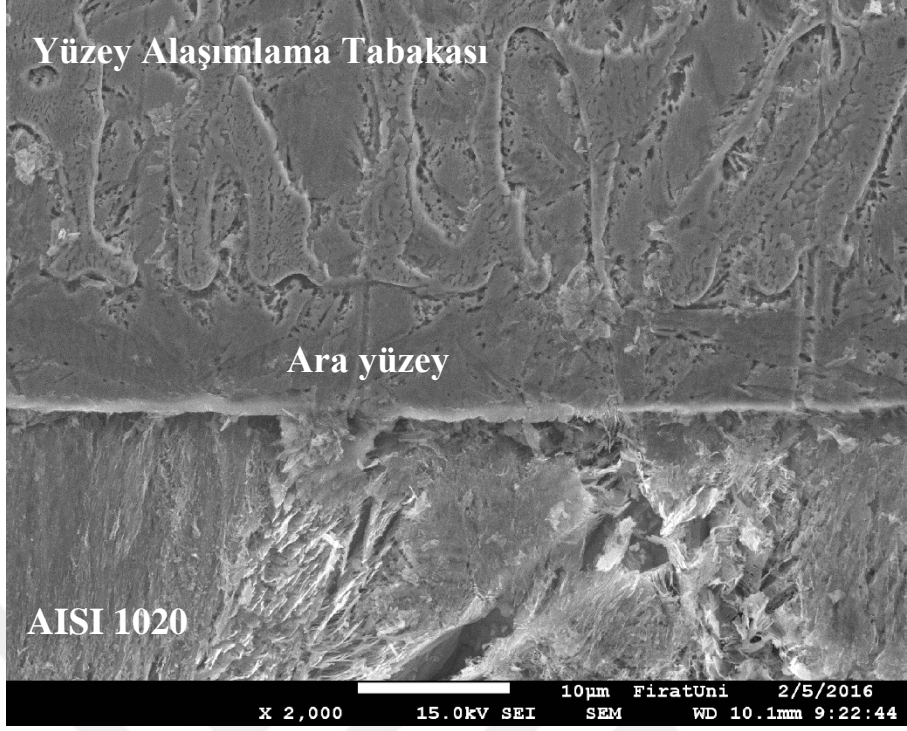
Şekil 6.3. N2 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



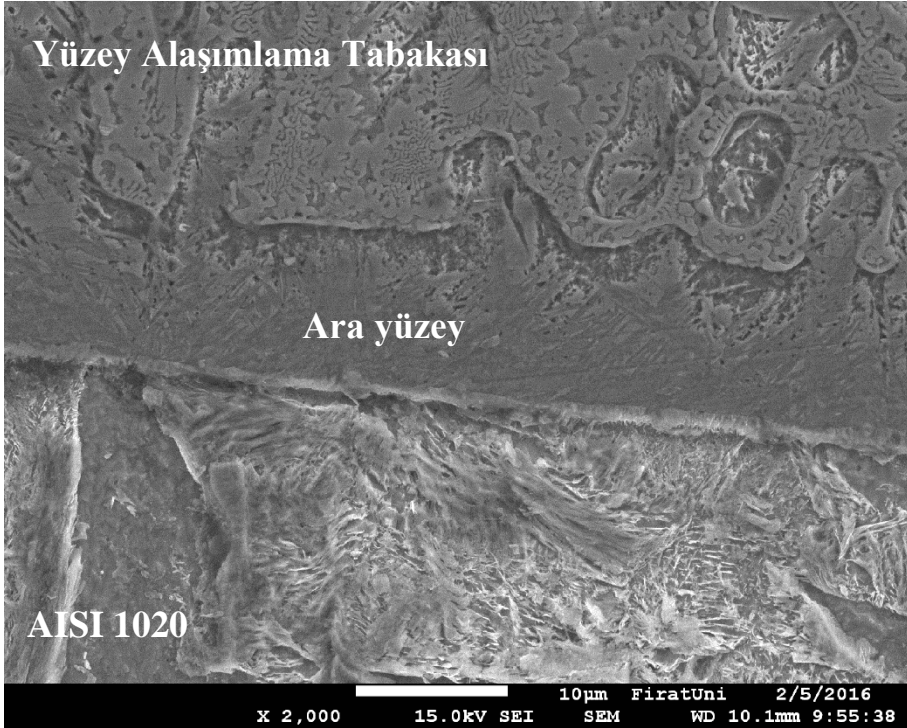
Şekil 6.4. N3 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



Şekil 6.5. N4 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x1000)



Şekil 6.6. N5 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



Şekil 6.7. N6 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)

Yüzey alaşım tabakalarının kimyasal kompozisyonunu belirlemek için alaşımlanmış bölgelerden bölgesel olarak alınan EDS sonuçlarına göre Cr/Fe ve W/Fe



oranları Tablo 6.2' de verilmiştir. Cr/Fe ve W/Fe oranları, ısı girdisinin artmasıyla altlık malzemenin daha yoğun ergimesiyle yüzey alaşım tabakası içerisindeki Fe konsantrasyonunun artmasından dolayı azalmıştır. Yüzey alaşımlama bölgelerindeki bor ve karbon oranları atom numaraları düşük olduğundan EDS ile tespit edilememiştir. Yüzey alaşım tabakalarındaki bor içeren bileşikler Şekil 6.8.' de verilen XRD analizi ile tespit edilmiştir.

**Tablo 6.2.** N1-N6 numunelerinin Cr/Fe ve W/Fe oranları

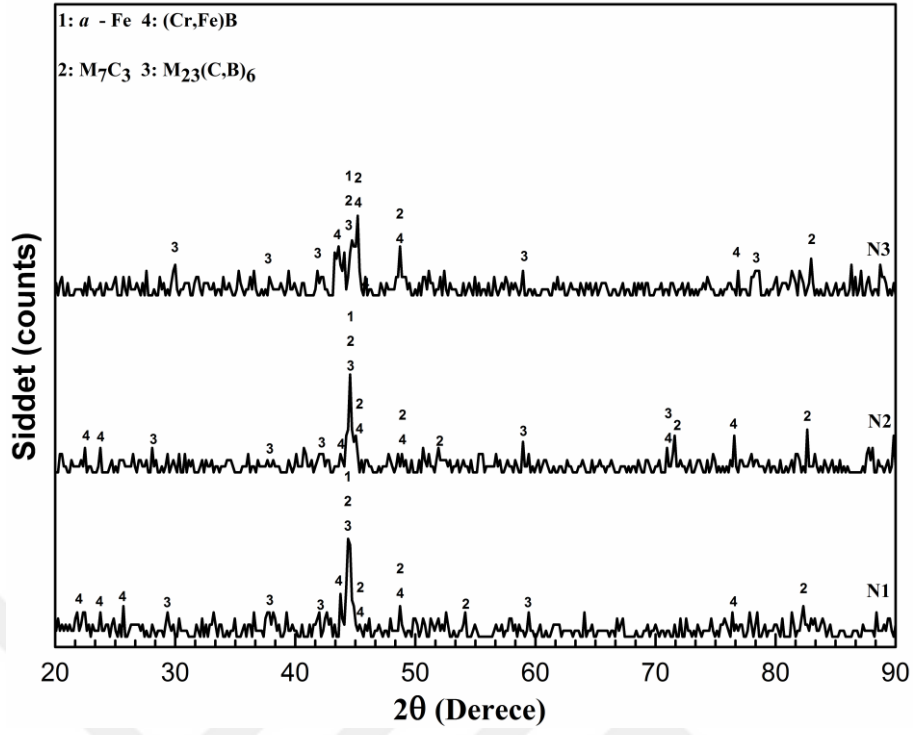
Numune	Cr/Fe	W/Fe
N1	1.64	0.24
N2	1.19	0.16
N3	0.99	0.13
N4	0.69	0.11
N5	0.37	0.07
N6	0.28	0.04

XRD analiz sonuçlarına göre 0.15 m/dk ilerleme hızıyla 0.704 kJ/mm ısı girdisi ve altındaki ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N1-N3), alaşımlanmış yüzey tabakaları  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürü,  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü ve (Cr, Fe)B borüründen oluşmaktadır. Literatür çalışmalarında da benzer yapılar rastlanmıştır [19, 36]. Bu numunelerin yapılarında, yine bir miktarda kalıntı  $\alpha$ -Fe demiri tespit edilmiştir. Numunelerin içerdikleri bileşikler aynı olmasına rağmen, XRD grafiklerindeki piklerde görüldüğü gibi bu yapıların alaşımlanmış yüzey tabakası içerisindeki yoğunlukları ve boyutları farklı ısı girdilerinin etkisiyle değişmektedir. Bunun nedeni olarak, ısı girdisinin değişmesiyle katılma zamanlarının birbirinden farklı olması gösterilebilir [44].

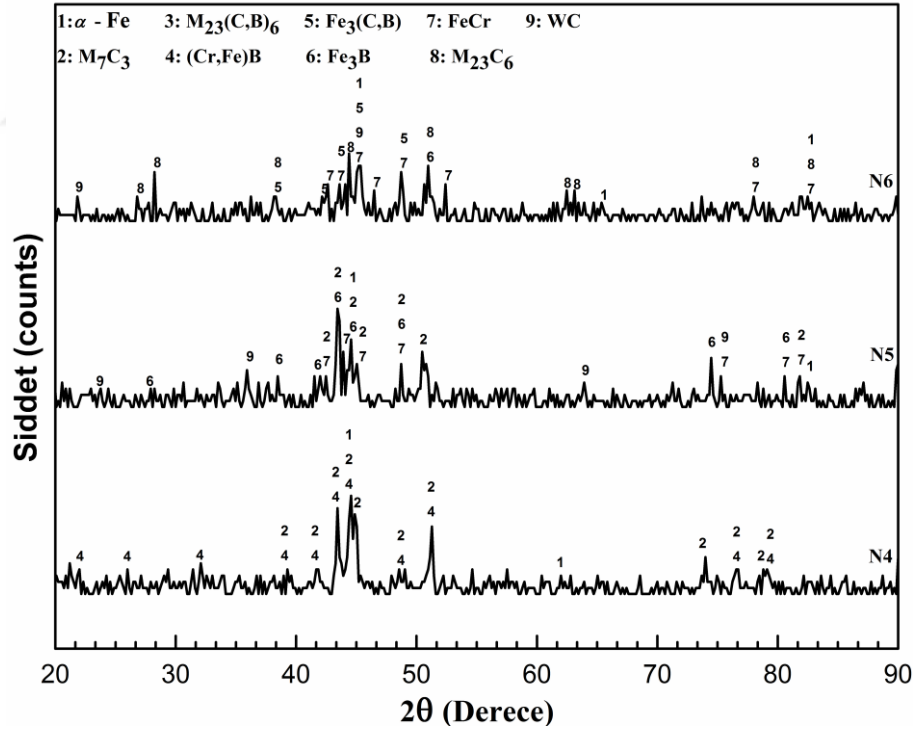
0.1 m/dk ilerleme hızı ve 120 A akım değerinde yüzeyi alaşımlanan numunenin (N4) alaşımlanmış yüzey tabakası  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürü, (Cr, Fe)B borürü ve bir miktarda  $\alpha$ -Fe demirinden oluşmaktadır. N4' de N1, N2 ve N3 numunelerinin aksine  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürüne rastlanmamasının ısı girdisinin artmasına bağlı olarak altlık malzemenin daha yoğun ergimesiyle kimyasal kompozisyon farkından ve katılma zamanının değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca  $M_7C_3$  karbürünün  $M_{23}C_6$  karbürüne dönüşümü yüksek krom içeriklerinde gözlenebilir ve M:C oranının değişmesiyle yapıda  $M_7C_3$ ,  $M_3C$ ,  $M_{23}C_6$  ve  $M_6C$  karbürleri oluşabilir [40, 115-117]. 0.878 kJ/mm ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N5 numunesinden alınan XRD sonuçlarına göre alaşımlanmış yüzey tabakası  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürü,  $Fe_3B$  borürü, WC karbürü ve

FeCr' den meydana gelmektedir. Yine yapıda bir miktar  $\alpha$ -Fe de tespit edilmiştir. En yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan numune olan N6 numunesinin alaşımlanmış yüzey tabakası ise çoğunlukla  $M_{23}C_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü,  $Fe_3(C, B)$  karbürü, bir miktar ise WC karbürü ve FeCr' den meydana gelmiştir. WC karbürü sadece düşük ilerleme hızı ve yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlandırılan numunelerde oluşmuştur (N5 ve N6). Bunun nedeni olarak WC' ün yüksek sıcaklıklarda oluşması ve artan ısı girdisi ile katılma hızlarının farklı olması gösterilebilir [47].





a)



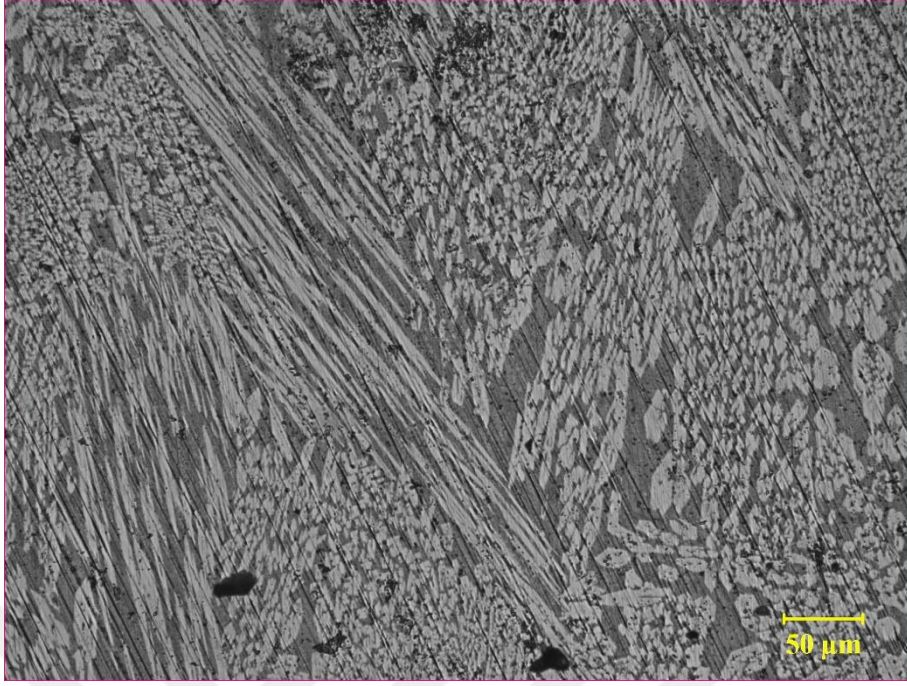
b)

Şekil 6.8. XRD analiz sonuçları a) (N1-N3) ve b) (N4-N6)

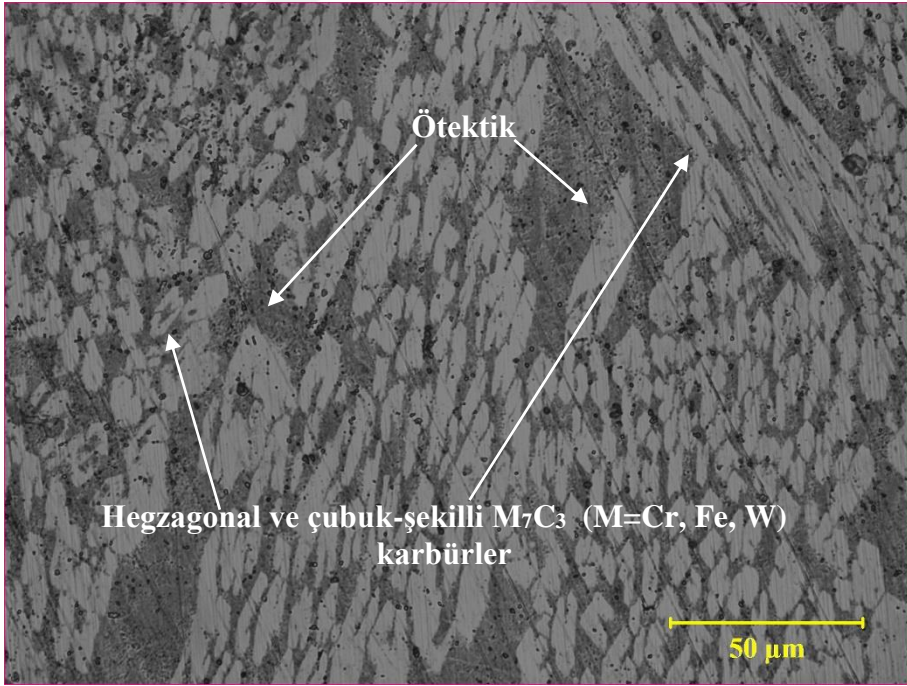
N1 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntüleri Şekil 6.9.' da verilmiştir. Görüldüğü gibi yüzey alaşımlama tabakası çoğunlukla hegzagonal ve çubuk

şekilli karbürlerden oluşmaktadır. Karbürler matris içerisinde neredeyse homojen olarak dağılım göstermiştir. Yüzey alaşımlama tabakasının orta bölgelerinde soğuma hızının yavaş olmasından dolayı karbürlerin boyutunun büyüdüğü görülmektedir. Bu durum soğuma hızının düşük olmasına bağlı olarak katılaşma için geçen sürenin daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Yüzey alaşımlama tabakasındaki hegzagonal şekilli  $M_7C_3$  ( $M=Cr, Fe, W$ ) karbürlerinin yoğunluğu oldukça fazladır (Şekil 6.9b.). Yüksek krom içeriklerinde bu tip karbürlere sıklıkla rastlanmaktadır [17].

Şekil 6.10.' da N1 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasından alınan SEM görüntüleri, Şekil 6.11.' de ise farklı noktalardan alınan EDS analiz grafikleri görülmektedir. 1 ile gösterilen noktadan alınan EDS sonuçlarına göre, şerit şekilli karbür kimyasal kompozisyon olarak ağırlıkça yüzde (%ağ.) 20.4C-40.5Cr-36.07Fe-3.03W elementi içermektedir (Şekil 6.10a.). Literatürde yapılan çalışmalardaki Cr/Fe oranıyla, şerit şekilli yapının Cr/Fe oranı karşılaştırıldığında bu yapının  $M_7C_3$  ( $M=Cr, Fe, W$ ) karbürü olduğu anlaşılmaktadır [118, 119]. Şekil 6.10a.' da gösterilen 2 numaralı ötektik bölgeden alınan EDS analiz sonuçlarına göre, bu bölge kimyasal kompozisyon olarak (%ağ.) 20.94C-29.83Cr-42.46Fe-6.77W elementlerinden oluşmaktadır. 3 ile gösterilen hegzagonal şekilli karbürden alınan EDS analiz sonucuna göre ise (Şekil 6.10b.), bu yapı (%ağ.) 18.90C-42.94Cr-33.72Fe-4.44W içermektedir. Bu sonuçlara göre, bu karbür de  $M_7C_3$  ( $M=Cr, Fe, W$ ) karbürüdür.

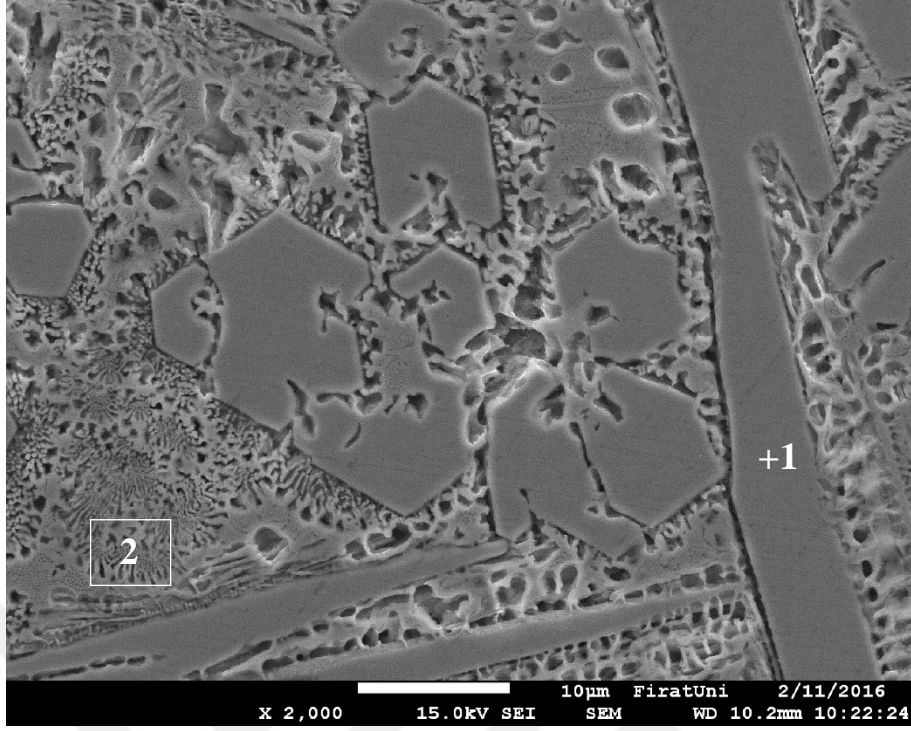


a)

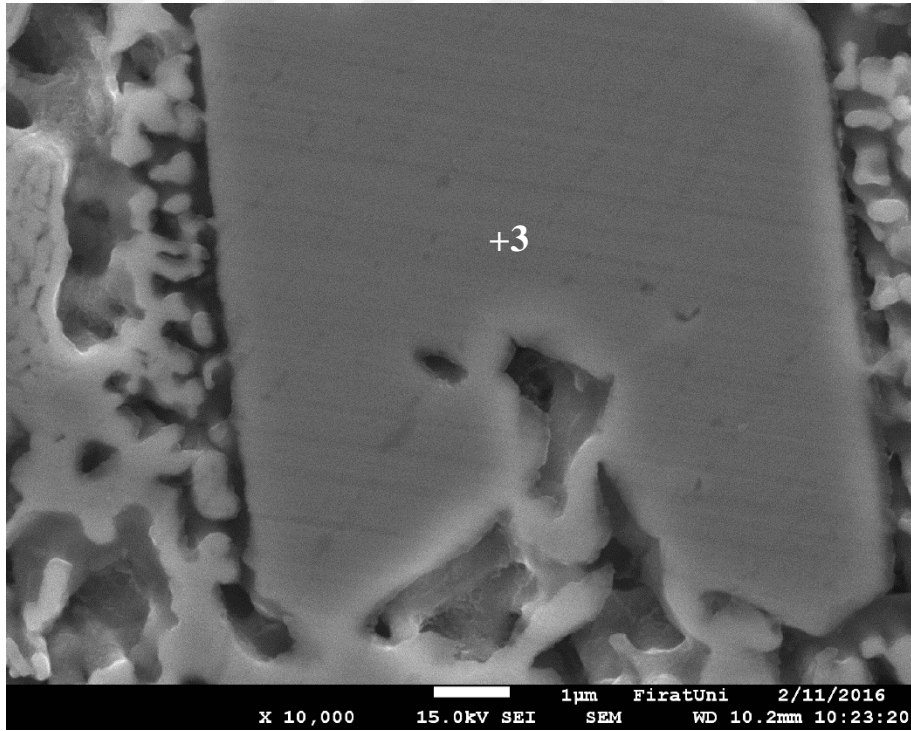


b)

Şekil 6.9. N1 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

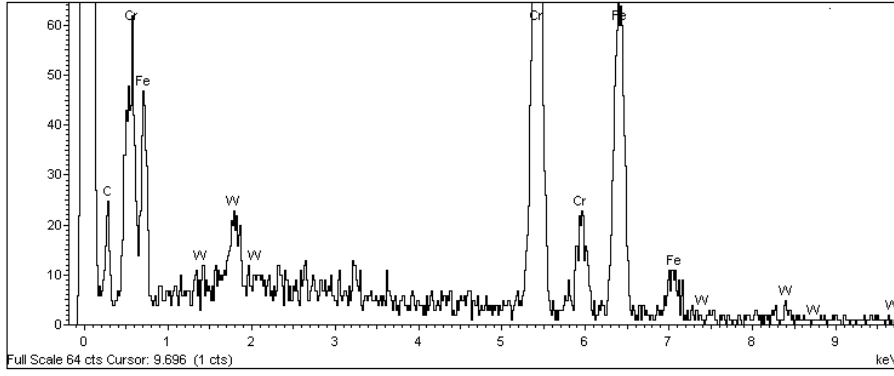


a)

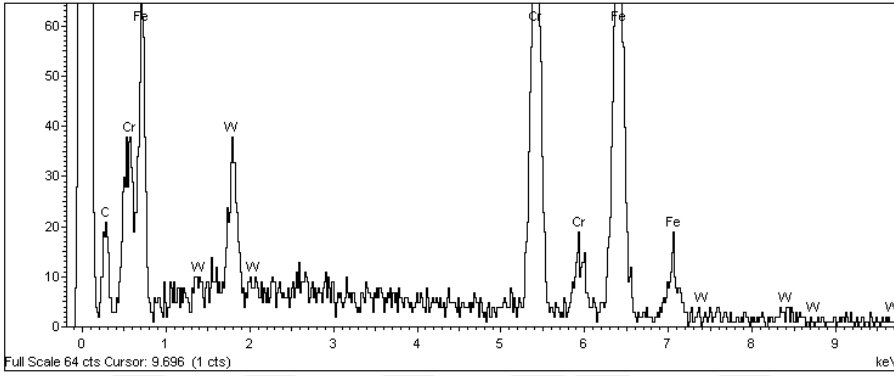


b)

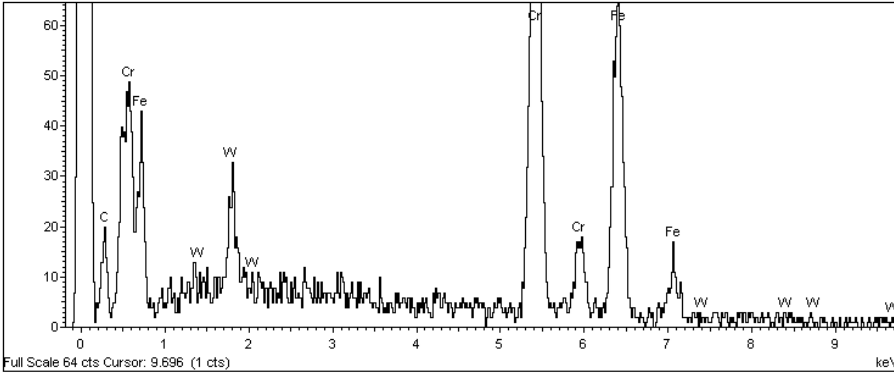
Şekil 6.10. N1 numunesinin SEM görüntüleri a) x2000 ve b) x10000



**a) 1. nokta**



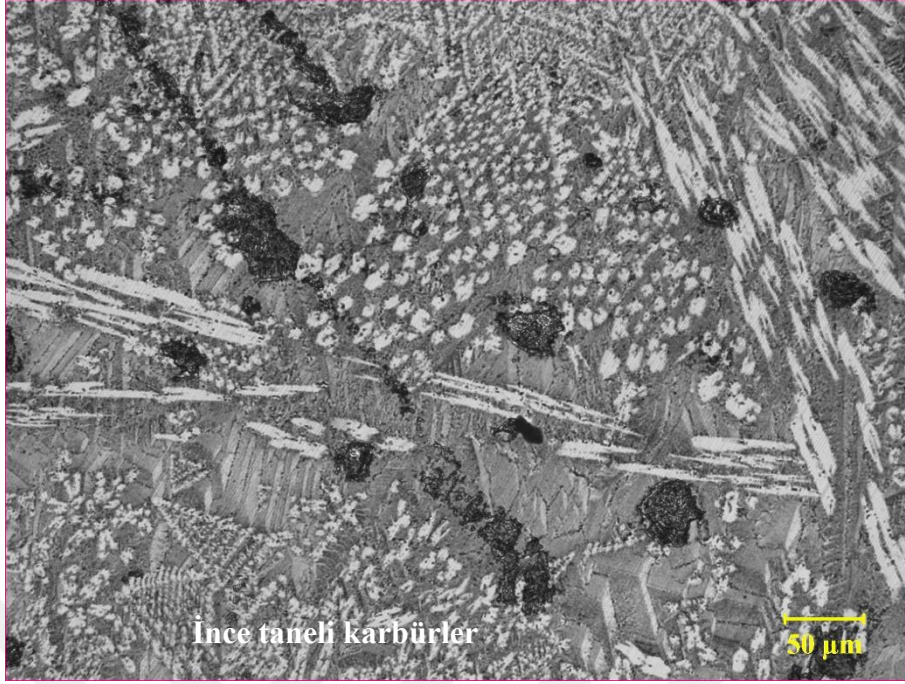
**b) 2. bölge**



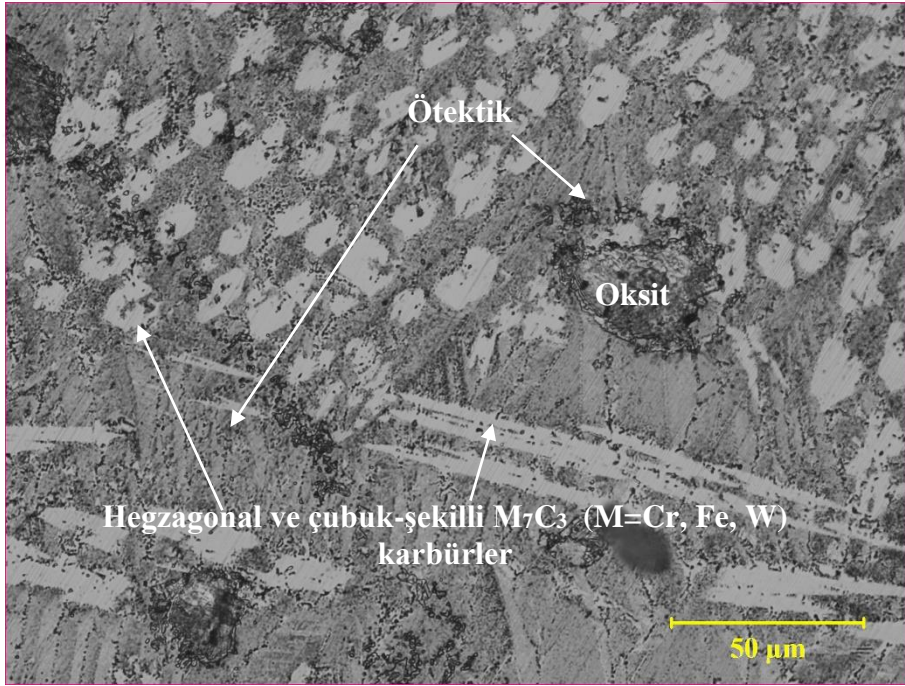
**c) 3. nokta**

**Şekil 6.11.** N1 numunesinin EDS grafikleri

Şekil 6.12.' de verilen N2 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntülerinden görüldüğü gibi, yüzey alaşımlama tabakası genelde hegzagonal şekilli  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürlerinden oluşmaktadır. Bu numunedeki karbürlerin büyüklükleri soğuma hızının yavaş olduğu orta bölgelerde daha fazladır. Soğuma hızının yüksek olduğu alt bölgelerde ise karbürlerin daha ince taneli olduğu görülmektedir (Şekil 6.12a.).  $M_7C_3$  karbürleri arasındaki bölgede ise matris içerisinde dağılmış  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürleri bulunmaktadır.



a)



b)

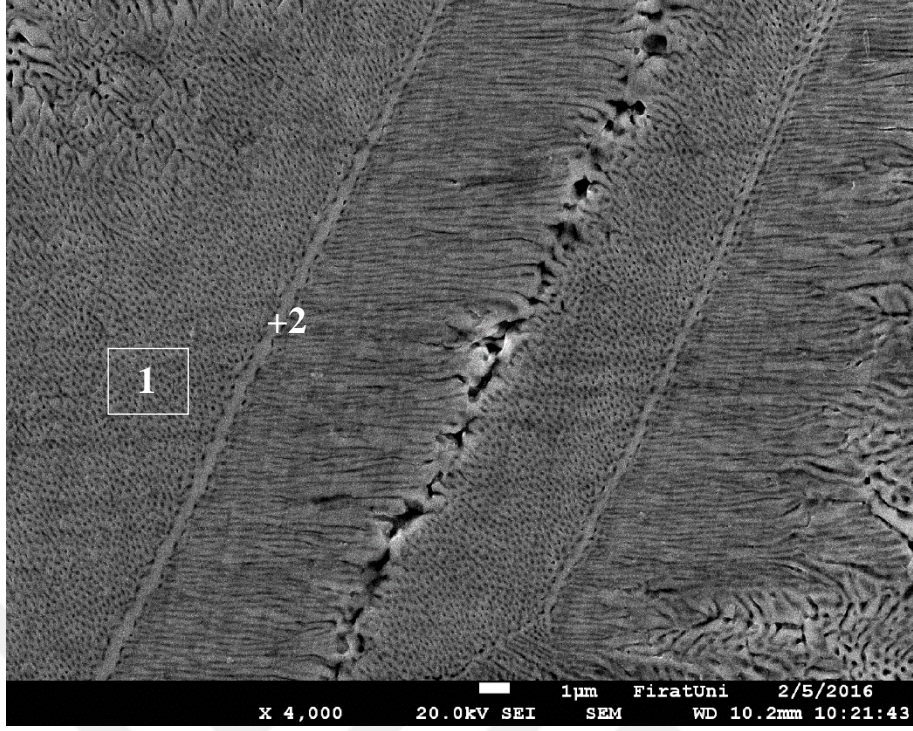
Şekil 6.12. N2 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

Şekil 6.13.' de N2 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri, Şekil 6.14.' de ise EDS grafikleri görülmektedir. 1 ile gösterilen ötektik bölge (Şekil 6.13a) kimyasal kompozisyon olarak (%ağ.) % 20.86 C, % 24.64 Cr, % 50.59 Fe ve % 3.92 W

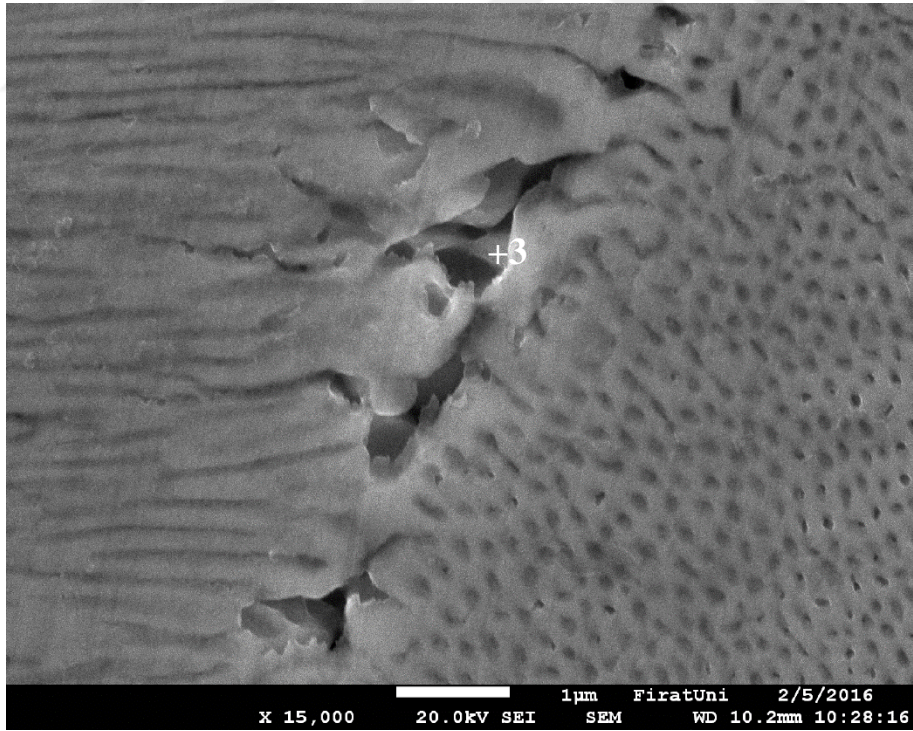


elementi içermektedir. 2 numaralı nokta ise (%ağ.) 21.86C-22.42Cr-51.39Fe-4.33W elementinden meydana gelmiştir. Cr/Fe oranı göz önünde bulundurulduğunda çizgi şeklindeki bu yapının  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü olduğu düşünülmektedir. Literatürde de çubuk şekilli bu yapıya benzer şekilli mikroyapının  $M_{23}C_6$  karbürü olduğu belirtilmiştir [38]. Bu tip karbürler genellikle tane sınırlarında bulunurlar [120]. Şekil 6.13b.' de 3 ile gösterilen nokta ise (%ağ.) 27.95C-22.82Cr-45.14Fe-4.09W elementi içermektedir.



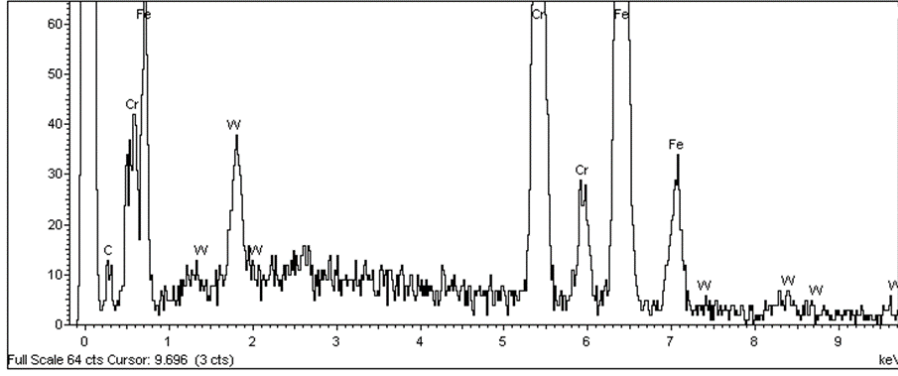


a)

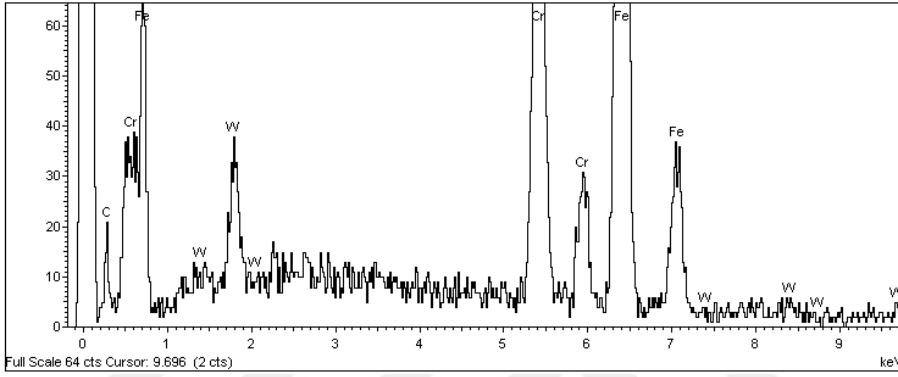


b)

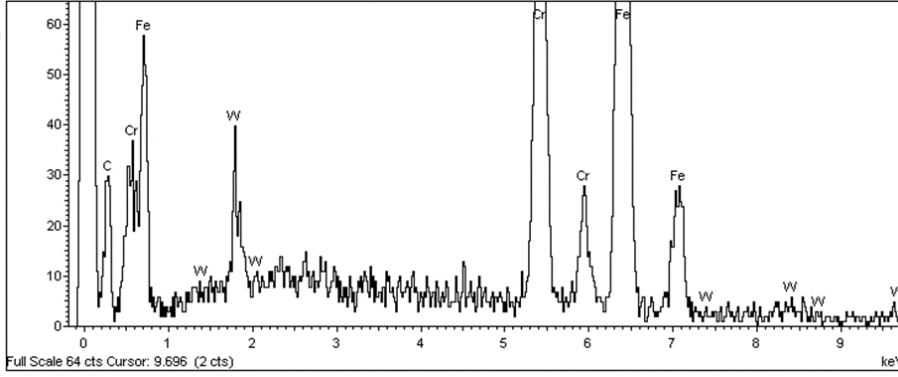
Şekil 6.13. N2 numunesinin SEM görüntüleri a) x4000 ve b) x15000



**a) 1. bölge**



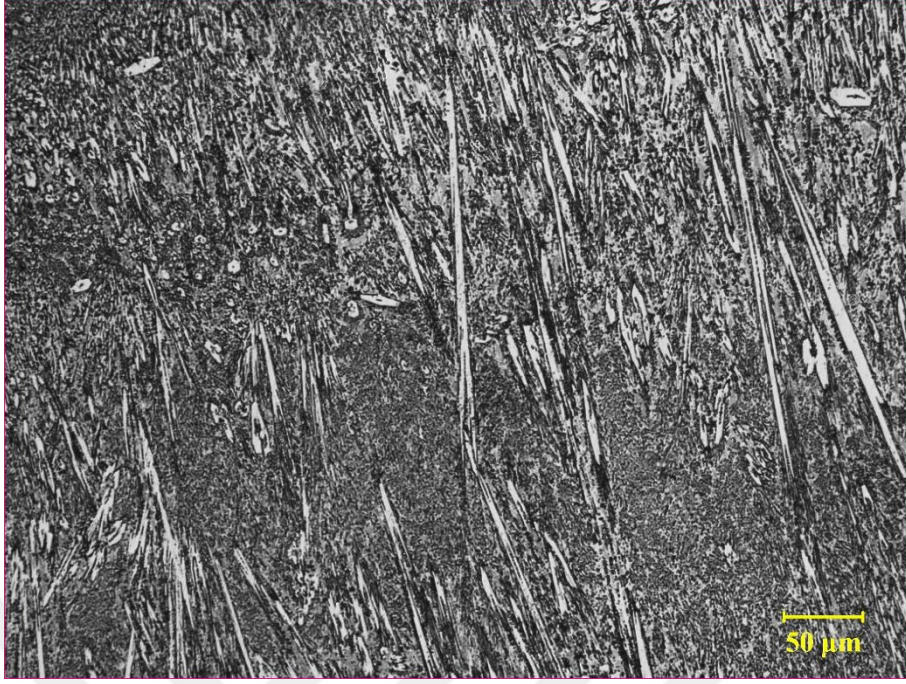
**b) 2. nokta**



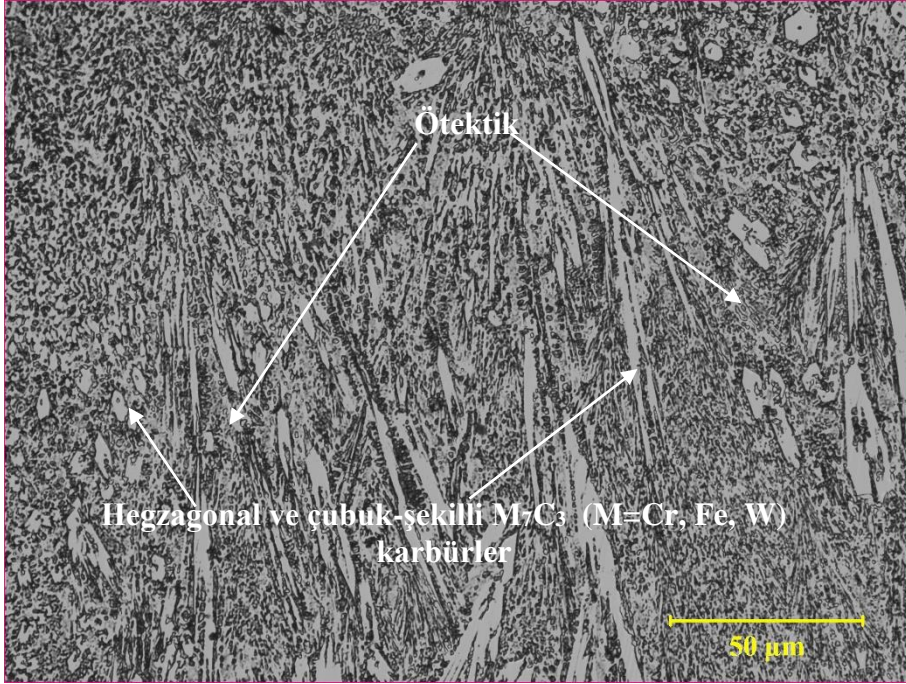
**c) 3. nokta**

**Şekil 6.14.** N2 numunesinin EDS grafikleri

Şekil 6.15.' de N3 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntülerinden görüldüğü gibi 0.15 m/dk ilerleme hızı ve 160 A akım değerinde yüzeyi alaşımlanan bu numunenin yüzey alaşımlama tabakası, genelde çubuk şekilli karbürlerden oluşmaktadır. Bu karbürlerin arasındaki bölgelerde ise, matris içerisinde dağılmış birincil karbürler ince taneli olarak oluşmuştur. Benzer mikroyapılar literatür çalışmalarında da mevcuttur [39, 44].



a)

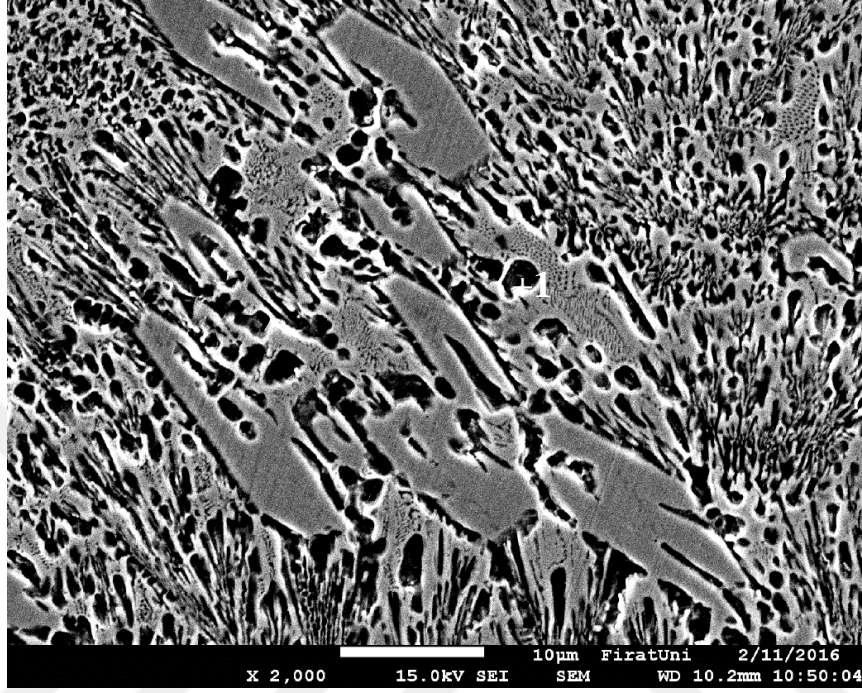


b)

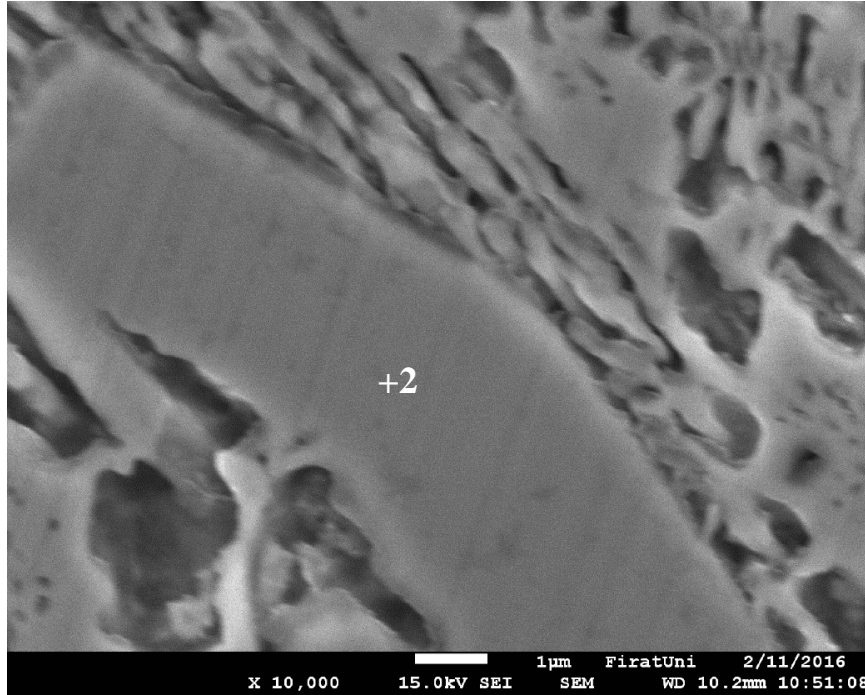
Şekil 6.15. N3 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

Şekil 6.16.' da N3 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri, Şekil 6.17.' de ise EDS grafikleri görülmektedir. EDS analiz sonuçlarına göre, 1 Numaralı noktanın (%ağ.) 39.28C-10.23Cr-47.72Fe-2.77W elementlerinden oluşan, kromca fakir

ötektik faz olduğu düşünülmektedir. Şekil 6.16b.'deki hegzagonal şekilli karbür ise (%ağ.) 19.32C-36.88Cr-39.98Fe-3.82W elementinden oluşan  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürüdür [31].

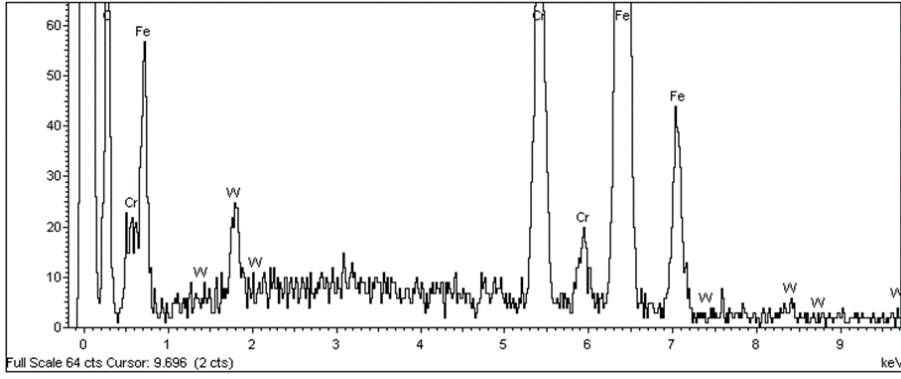


a)

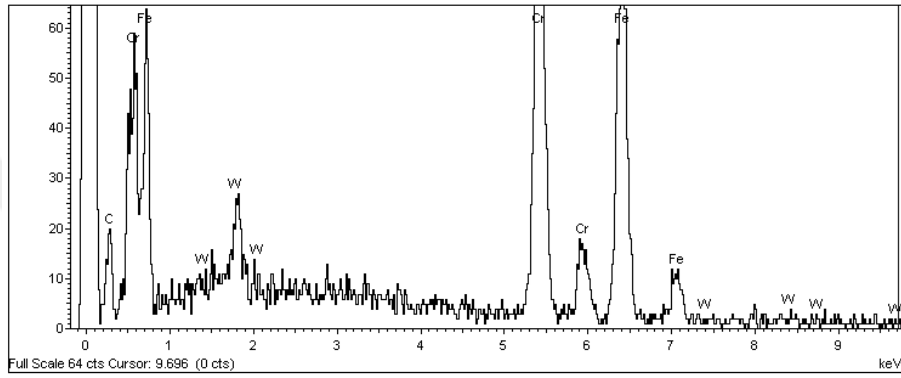


b)

Şekil 6.16. N3 numunesinin SEM görüntüleri a) x2000 ve b) x10000



a) 1. nokta

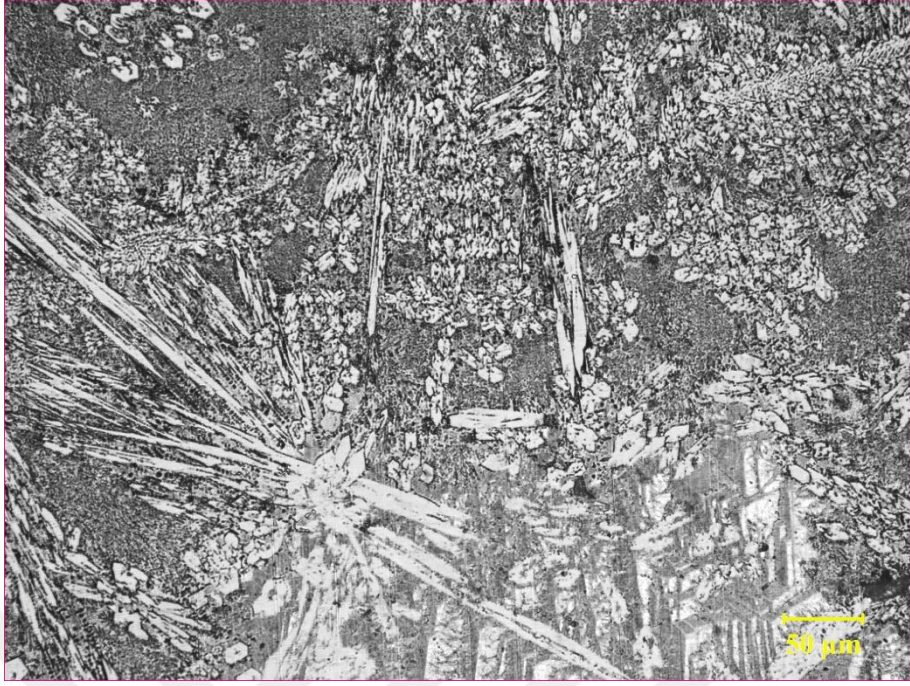


b) 2. nokta

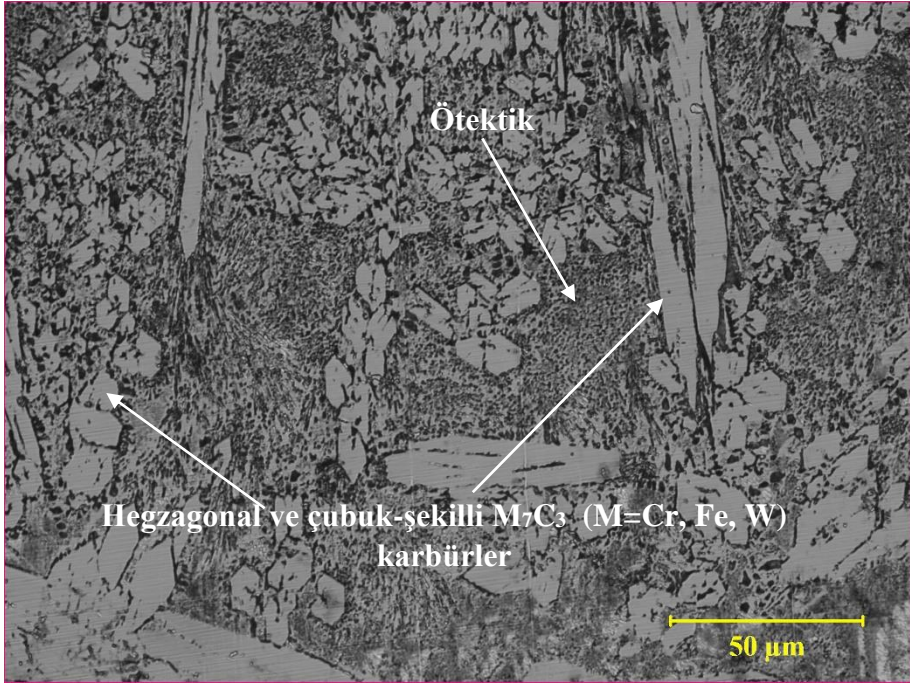
Şekil 6.17. N3 numunesinin EDS grafikleri

Şekil 6.18.' de N4 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntüleri verilmiştir. 0.1m/dk ilerleme hızı ve 120 A akım değerinde yüzeyi alaşımlanan bu numunenin yüzey alaşımlama tabakası, çoğunlukla hegzagonal ve çubuk şekilli karbürlerden oluşmuş ve yapılar matris içerisinde gelişi güzel dağılmış ve kümelenmiş halde bulunmaktadır.

Şekil 6.19.' da N4 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri, Şekil 6.20.' de ise EDS grafikleri verilmiştir. Şekil 6.19a.' da ki karbür (nokta 1) ağırlıkça yüzde 29.68C-33.83Cr-32.02Fe-0.17Sr-4.29W içermektedir. Cr/Fe oranına göre bu karbür, XRD sonuçlarında da verildiği gibi  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürüdür. 2 numaralı noktanın ise, kimyasal kompozisyon olarak ağırlıkça % 12.85 Cr ve % 37.42 Fe elementi içeren, kromca fakir ötektik faz olduğu düşünülmektedir. Çubuk şekilli karbür ise (Şekil 6.19b.- nokta 3), (%ağ.) 39.49C-31.70Cr-25.64Fe-3.16W elementinden meydana gelen kromca zengin  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürüdür.

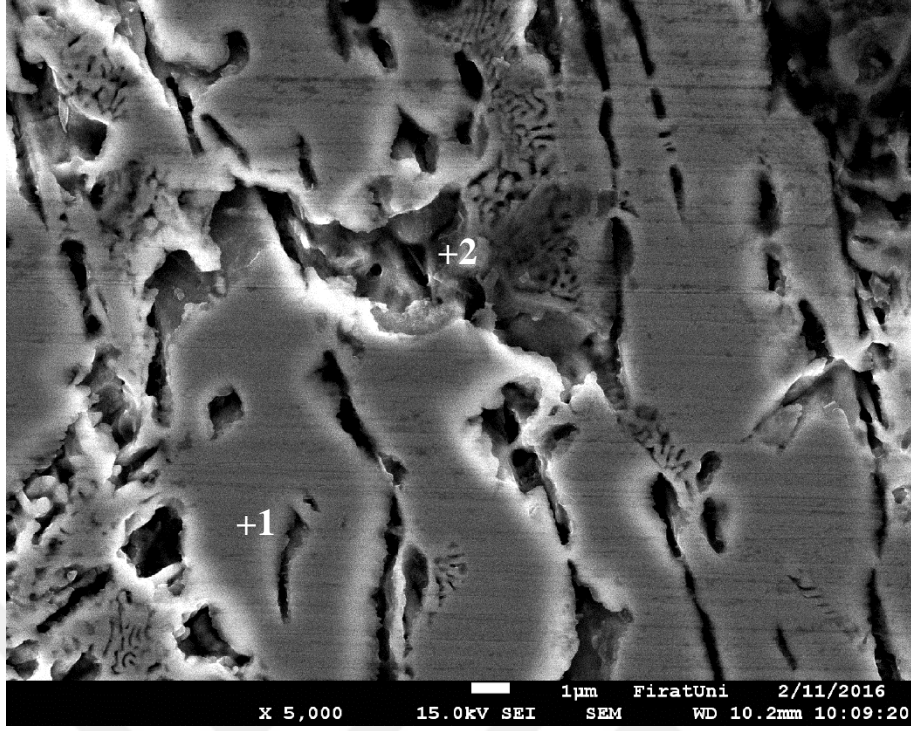


a)

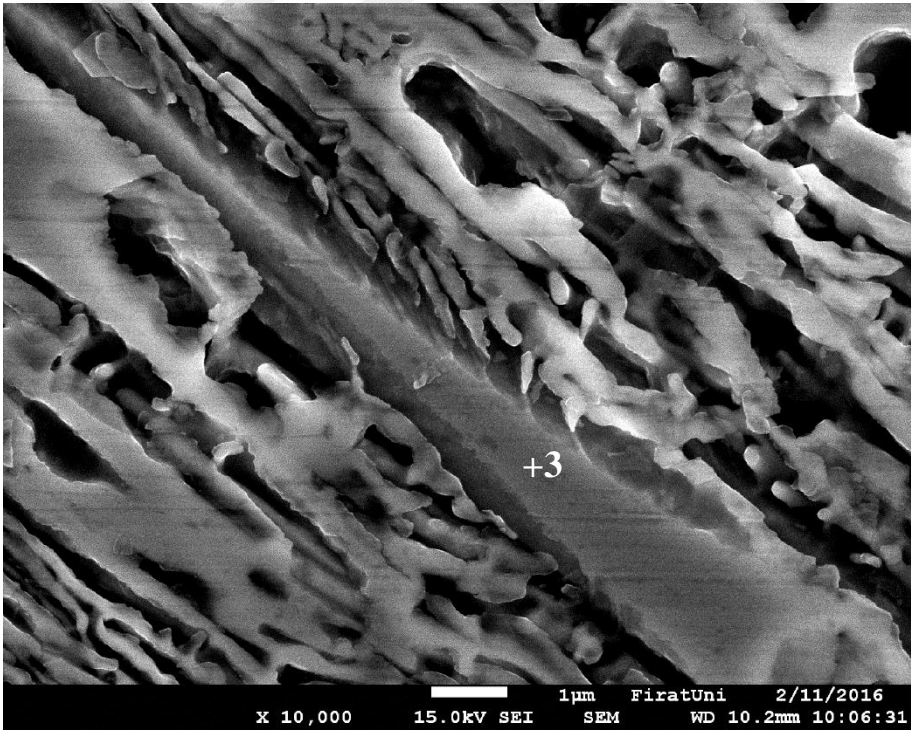


b)

Şekil 6.18. N4 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500



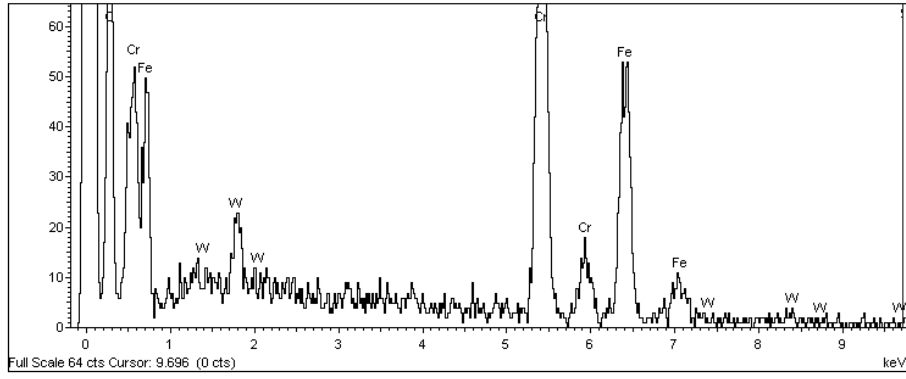
a)



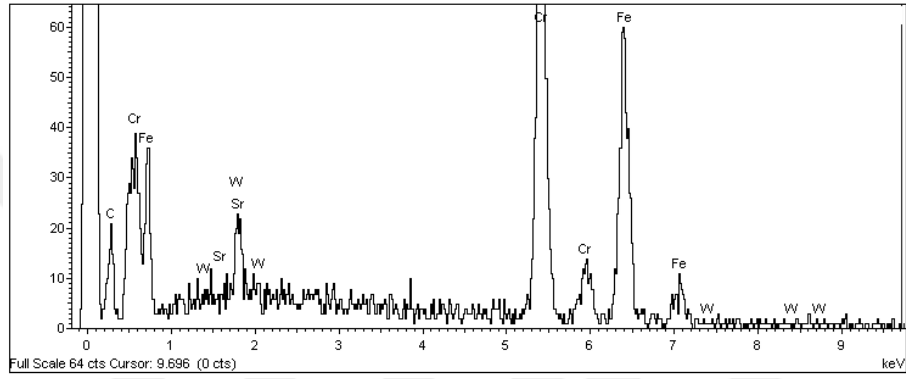
b)

Şekil 6.19. N4 numunesinin SEM görüntüleri a) x5000 ve b) x10000

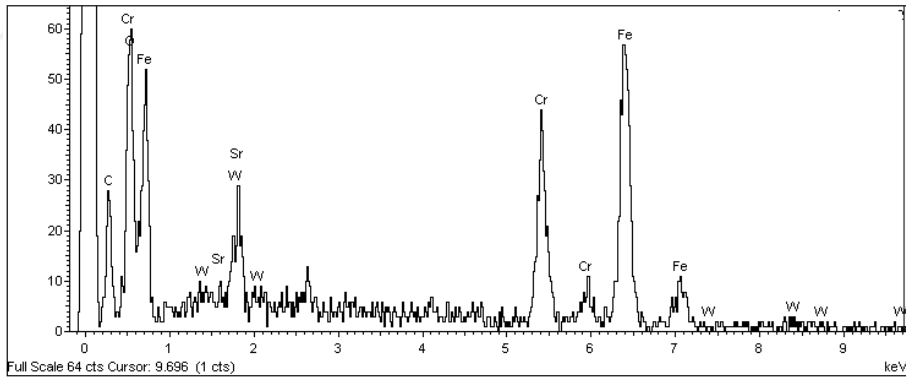




a) 1. nokta



b) 2. nokta

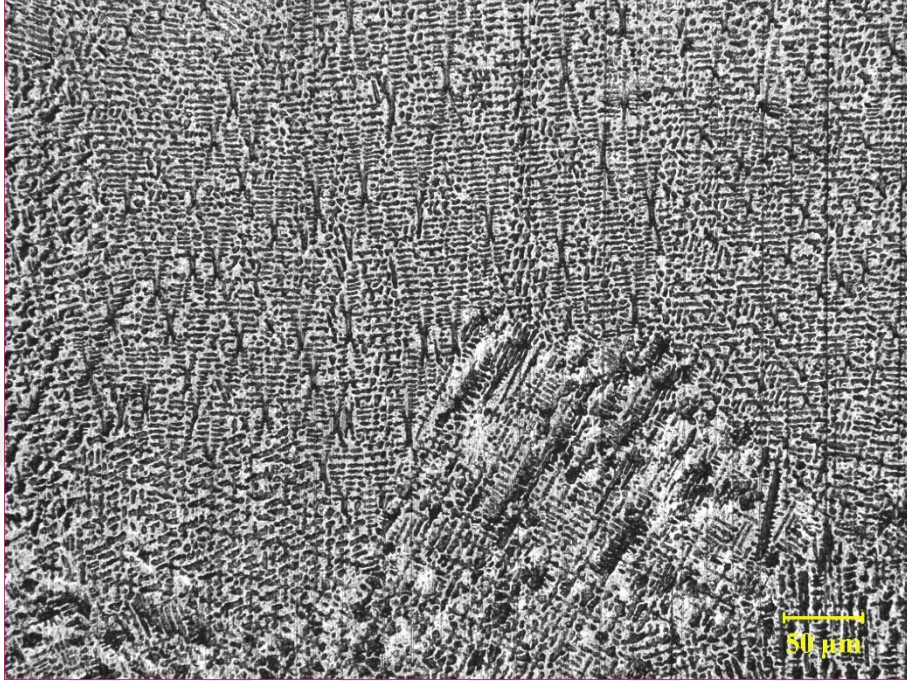


c) 3. nokta

Şekil 6.20. N4 numunesinin EDS grafikleri

Şekil 6.21.' de N5 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntüleri görülmektedir. Görüldüğü gibi, ilerleme hızının düşük ve ısı girdisinin yüksek olduğu bu numunede mikroyapı hızlı soğumanın da etkisiyle ince taneli dendritik olarak katılaşma göstermiştir. Dendritler arasında kalan bölgelerde ise ötektik fazlar bulunmaktadır (Şekil 6.21b.). Ayrıca birincil dendrit kollarının yatay yönde yönelmiş şekilde oluştukları ve dendritlerin yüzey alaşımlama tabakası içerisinde neredeyse homojen bir dağılım

gösterdikleri görülmektedir. Benzer mikroyapıya literatürde gerçekleştirilen PTA yöntemi ile düşük karbonlu çelik yüzeyinin alaşımlanması da rastlanmıştır [15].



a)

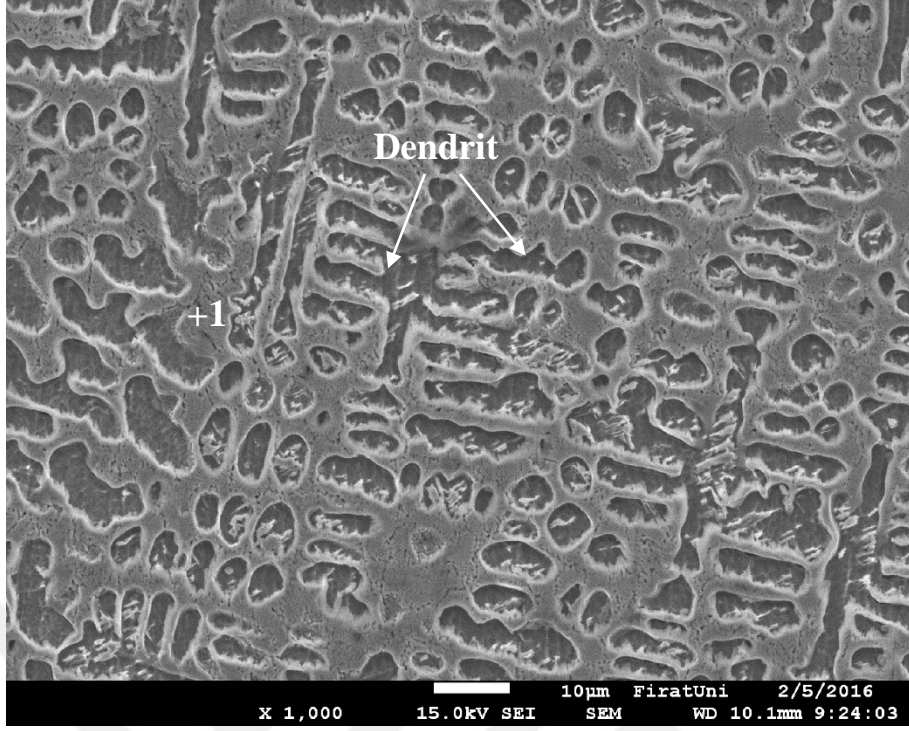


b)

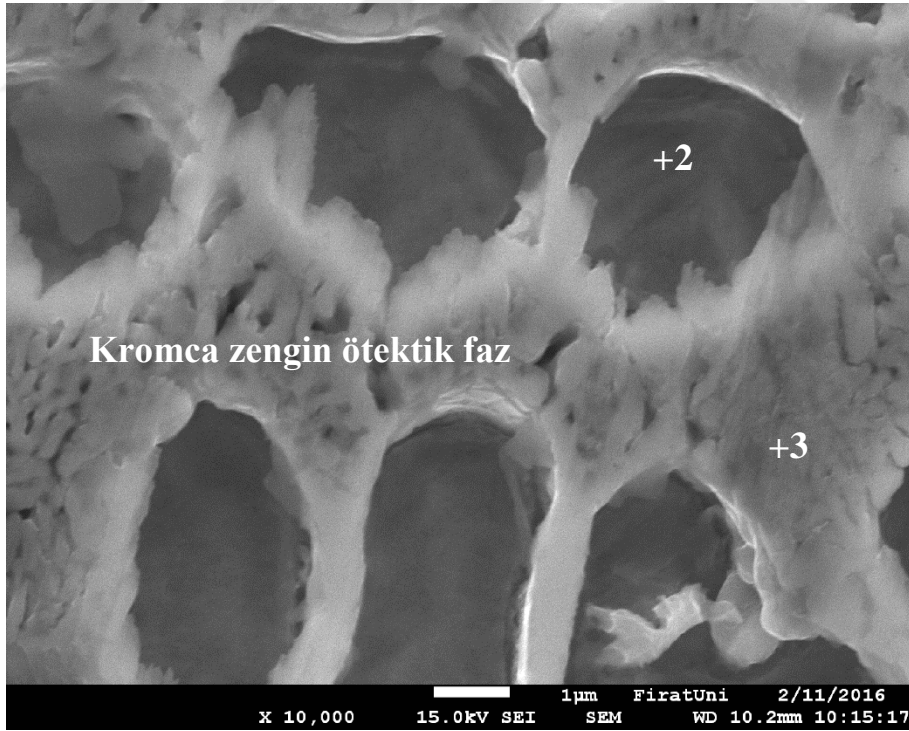
Şekil 6.21. N5 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

N5 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri ve EDS grafikleri, sırasıyla Şekil 6.22. ve Şekil 6.23.' de verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre, 1 numaralı noktadaki ötektik faz (Şekil 6.22a) (%ağ.) 19.90C-19.83Cr-56.33Fe-3.95W elementlerinden oluşmuştur. Şekil 6.22b.' deki 2 numaralı dendritik faz ise, (%ağ.) 18.24C-2.30O-10.40Cr-67.08Fe-1.97W elementi içermektedir. Dendritik faz EDS analiz sonuçlarından görüldüğü gibi Cr ve W elementleri bakımından ötektik faza göre fakirdir. Şekil 6.22b.' de 3 numaralı ötektik noktadan alınan EDS analiz sonuçlarına göre ise, bu nokta (%ağ.) 23.79C-20.40Cr-52.55Fe-3.26W içermektedir.



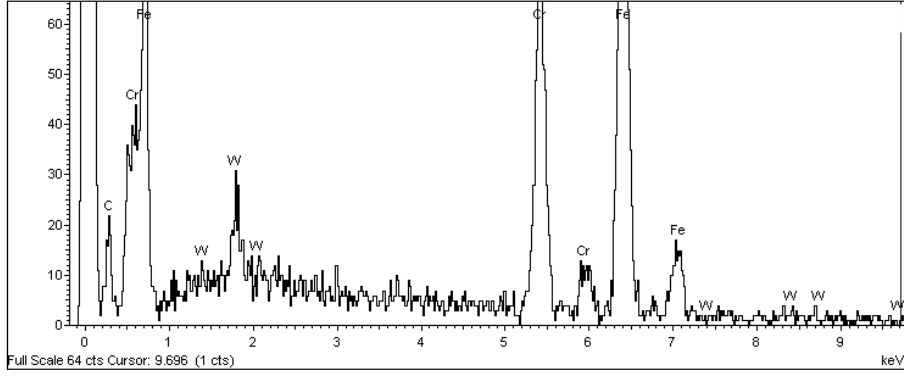


a)

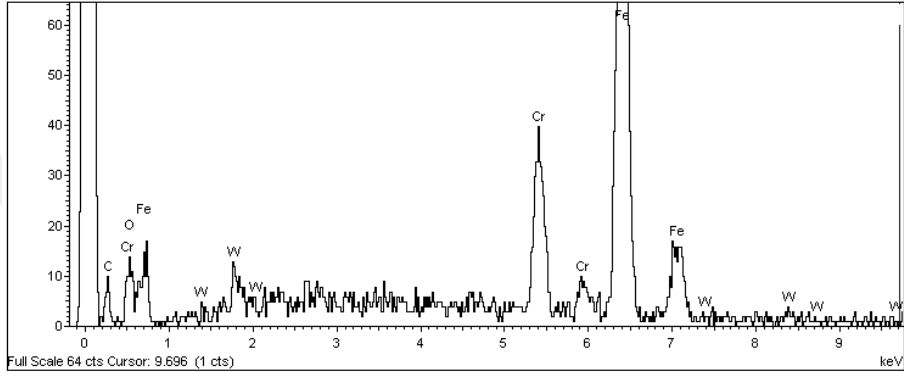


b)

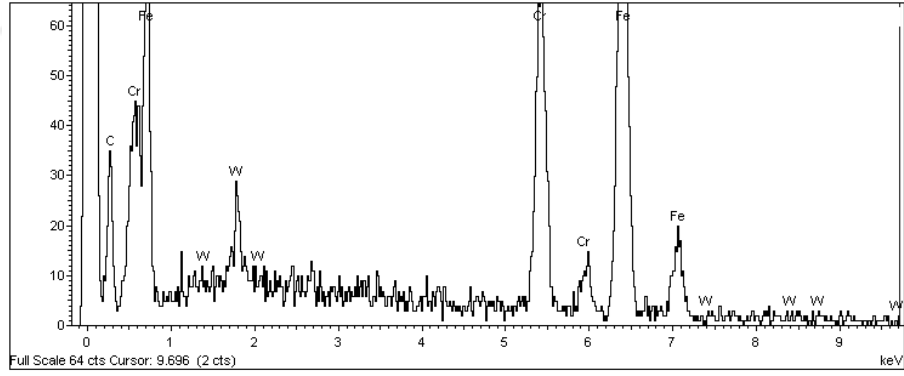
Şekil 6.22. N5 numunesinin SEM görüntüleri a) x1000 ve b) x10000



a) 1. nokta



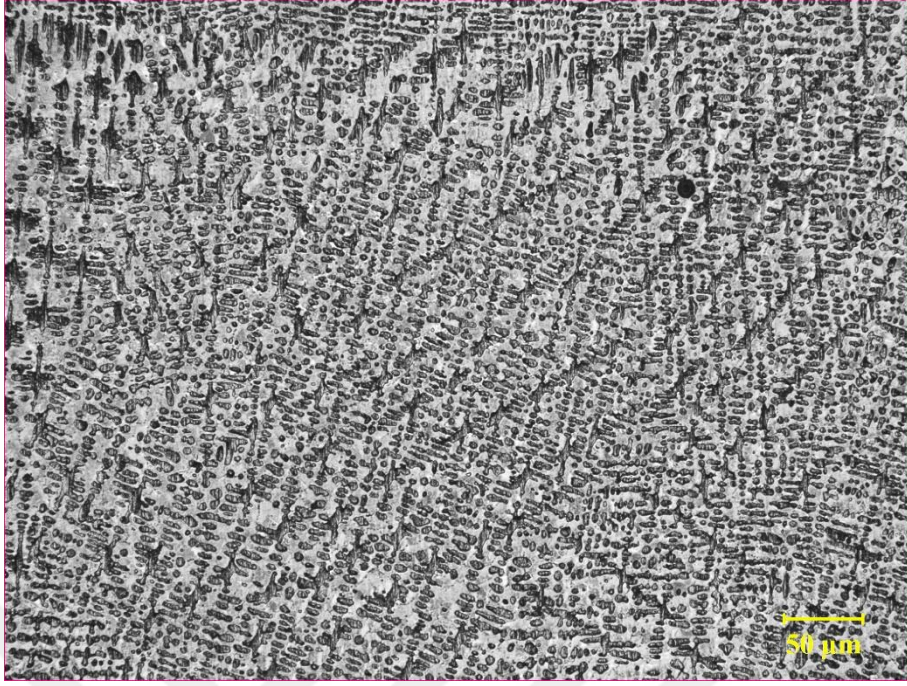
b) 2. nokta



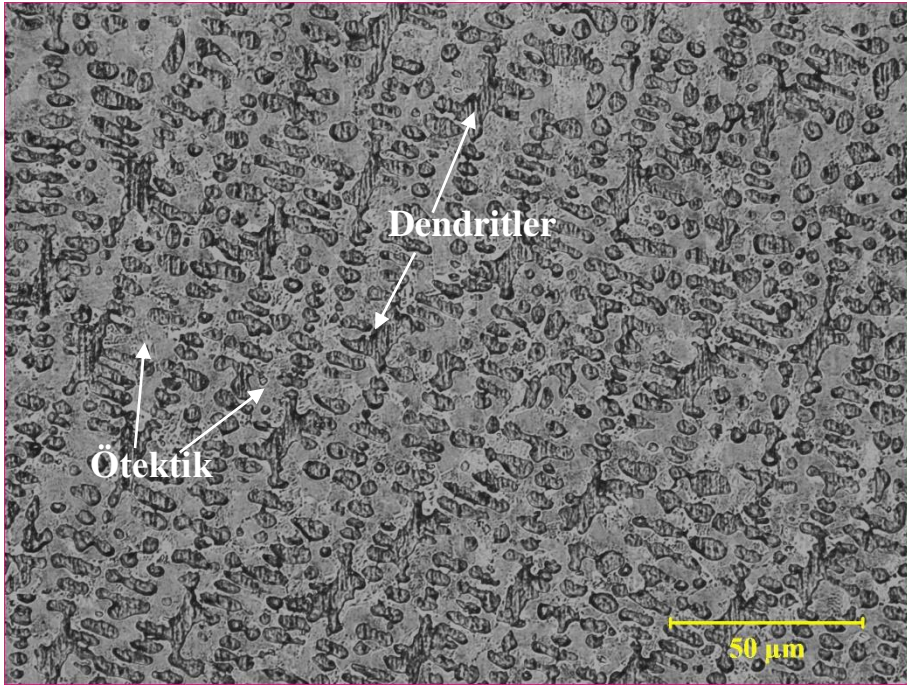
c) 3. nokta

Şekil 6.23. N5 numunesinin EDS grafikleri

Şekil 6.24.' de N6 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntülerinden görüldüğü gibi en yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan bu numunenin de yüzey alaşımlama tabakası, N5 numunesine benzer şekilde dendritik olarak katılmıştır. Dendrit kolları ısı girdisinin yükselmesiyle katılma zamanının uzamasından dolayı, N5 numunesine göre daha geniştir (Şekil 6.24a.).



a)

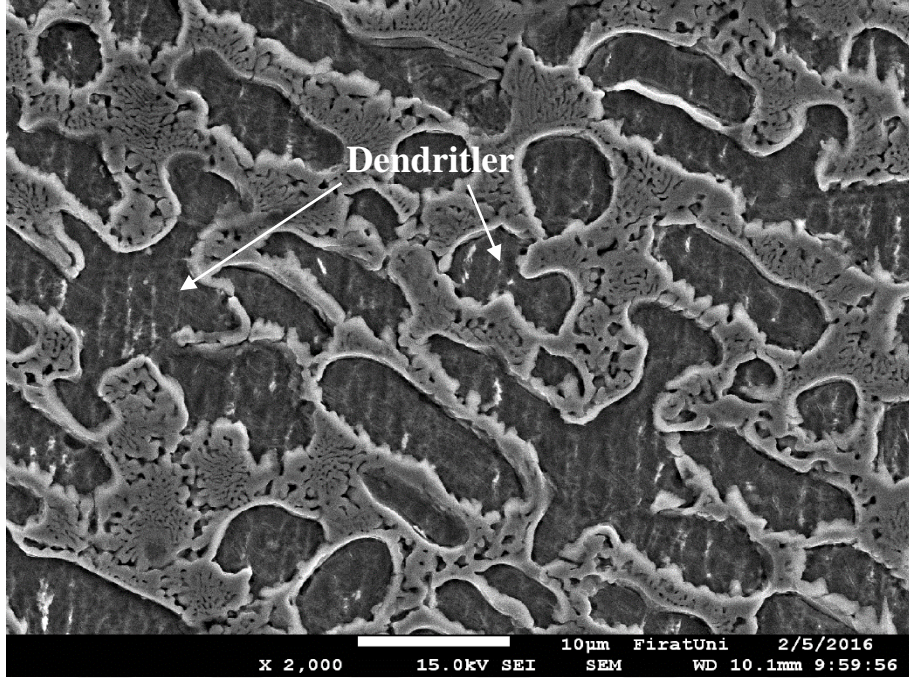


b)

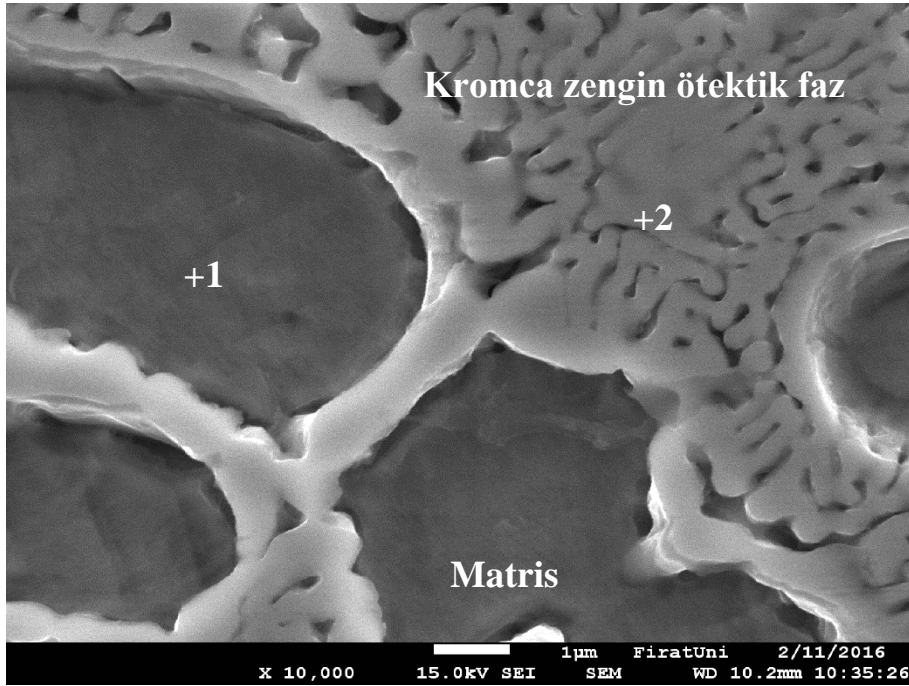
Şekil 6.24. N6 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

Şekil 6.25.' de N6 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri, 6.26.' da ise EDS grafikleri verilmiştir. N6 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasından alınan EDS analiz sonuçlarına göre, 1 numaralı noktadaki dendritik faz (Şekil 6.25b.)

(%ağ.) 22.77C-10.03Cr-64.78Fe-2.42W ve 2 numaralı ötektik bölge ise, (%ağ.) 18.41C-23.01Cr-54.90Fe-3.69W elementi içermektedir.

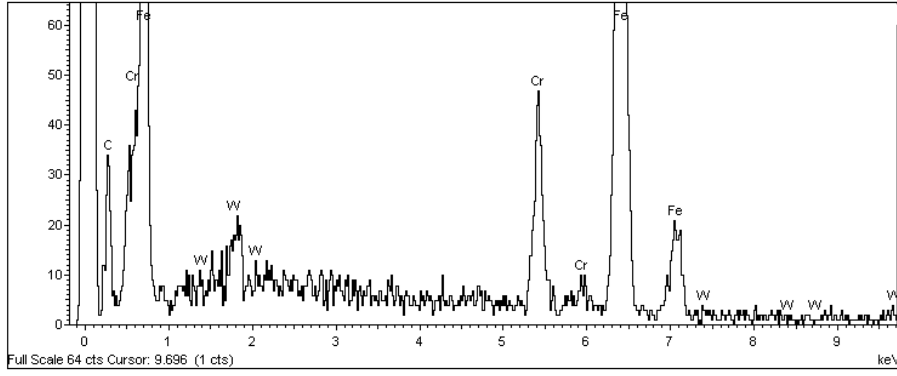


a)

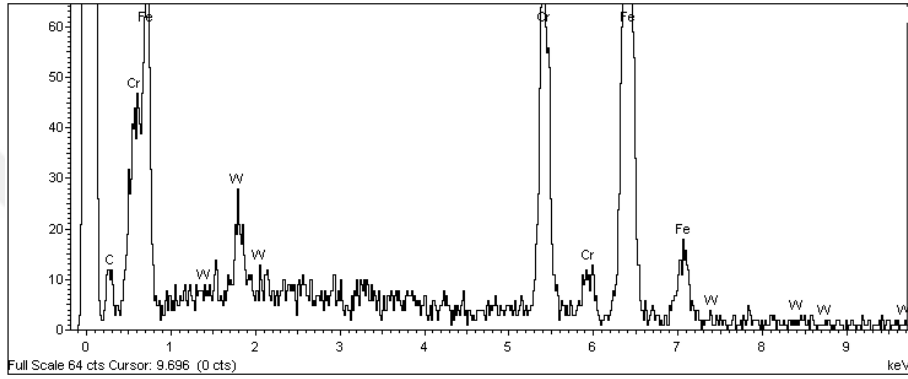


b)

Şekil 6.25. N6 numunesinin SEM görüntüleri a) x2000 ve b) x10000



a) 1. nokta



b) 2. nokta

Şekil 6.26. N6 numunesinin EDS grafikleri

### 6.1.2. (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen YüzeY AlaşımLamaların Mikroyapısı

Tablo 6.3' de, (% ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB toz karışımı ile farklı ilerleme ve akım değerlerinde yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının genel özellikleri verilmiştir. Bu yüzey alaşımlamada (% ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelere göre ergime ısısı FeCrC' ye göre daha yüksek olan FeW ve FeB elementlerinin oranının artmasından dolayı yüzey alaşımlama derinlikleri düşmüştür. En yüksek karbür genişliği 0.1 m/dk ilerleme hızı ve 120 A akım değerinde yüzeyi alaşımlanan N10 numunesinde elde edilmiştir. Daha düşük ısı girdilerinde yüzeyi alaşımlanan numunelere göre bu numunenin karbür genişliğinin fazla olmasının sebebinin, ısı girdisinin artmasıyla katılaşma zamanının yükselmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Böylelikle karbürlerin büyümesi için gerekli zaman artmıştır. Yine dendrit kollarının genişlikleri ve ortalama yüzey alanları da ısı girdisinin artmasıyla artmıştır.



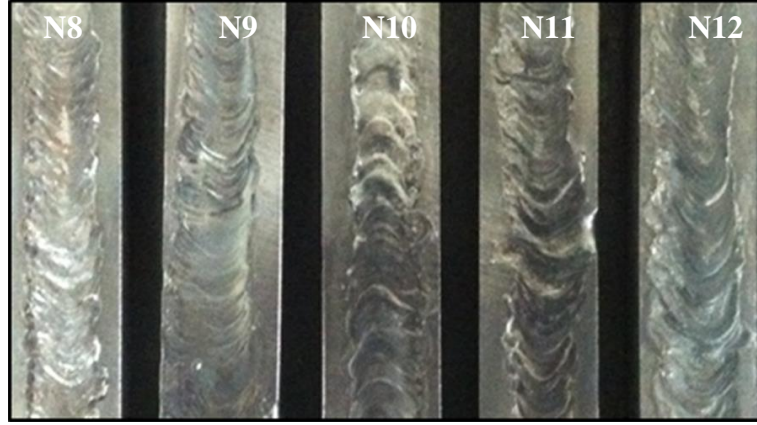
**Tablo 6.3.** (% ağı.) 60FeCrC-20FeW-20FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların genel özellikleri

Numune	V	A	Q	h	h <sub>a</sub>	F	Cr/Fe	Y	A <sub>ort.</sub>	G <sub>ort.</sub>
N7	0.15 m/dk	120 A	0.475 kJ/mm	Bu ısı girdisi değerinde yüzey alaşımlama gerçekleşmedi						
N8	0.15 m/dk	140 A	0.585 kJ/mm	1391 µm	5.816 µm	M <sub>23</sub> (C,B) <sub>6</sub>	0.38	12	40.8 µm <sup>2</sup>	3.4 µm
N9	0.15 m/dk	160 A	0.704 kJ/mm	1539 µm	10.43 µm	Dendrit	0.1	40.6	61.9 µm <sup>2</sup>	5.2 µm
						Ötektik	0.21			
N10	0.1 m/dk	120 A	0.713 kJ/mm	1563 µm	6.891 µm	M <sub>23</sub> (C,B) <sub>6</sub>	0.36	57.8	372 µm <sup>2</sup>	4.6 µm
N11	0.1 m/dk	140 A	0.878 kJ/mm	1631 µm	7.034 µm	Dendrit	0.19	18.9	62.4 µm <sup>2</sup>	6.2 µm
						Ötektik	0.25			
N12	0.1 m/dk	160 A	1.056 kJ/mm	1882 µm	12.84 µm	Dendrit	0.18	27.1	64.2 µm <sup>2</sup>	6.5 µm
						Ötektik	0.23			

Tabloda **V:** ilerleme hızı (m/dk); **A:** Akım (A); **Q:** Isı girdisi (kJ/mm); **h:** Yüzey alaşımlamanın en derin noktasından alınan yaklaşık yüzey alaşımlama derinliği (µm); **h<sub>a</sub>:** Beş farklı noktadan alınan ortalama ara yüzey yüksekliği (µm); **F:** Yapıda yoğun bulunan faz; **Cr/Fe:** Yapıda yoğun bulunan fazın Cr/Fe oranı (Üç farklı noktadan alınan sonuçların ortalama değeri); **Y:** Yapıda bulunan karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin yüzdesi; **A<sub>ort.</sub>:** Karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin ortalama yüzey alanı (µm<sup>2</sup>); **G<sub>ort.</sub>:** Karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin ortalama genişliği (µm).

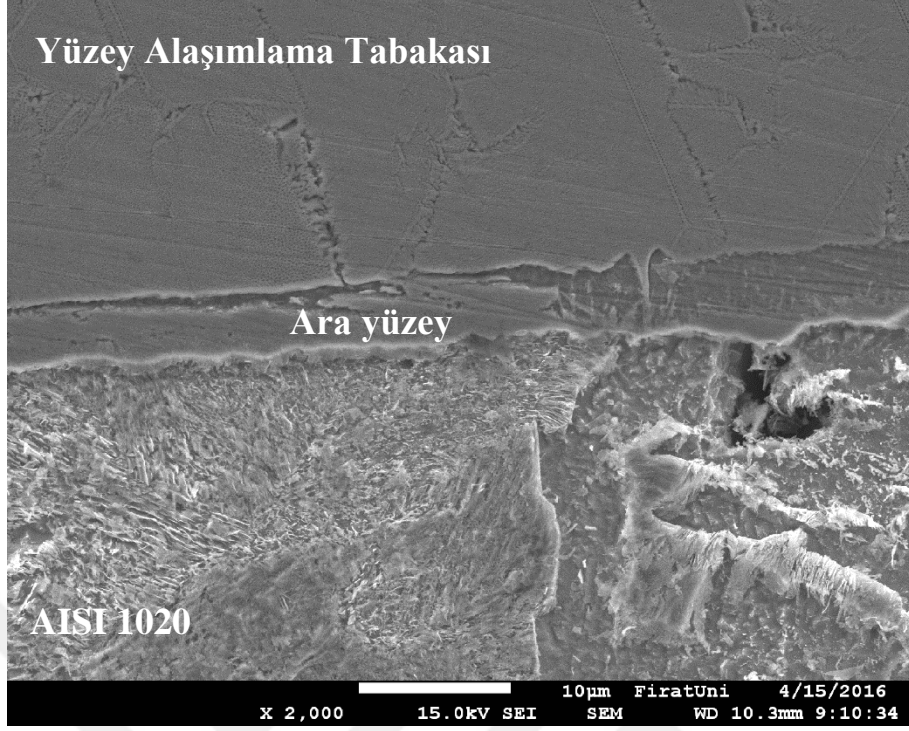
Şekil 6.27.' de verilen (% ağı.) 60FeCrC-20FeW-20FeB toz karışımı ile 0.475 kJ/mm ısı girdisinde yüzeyi alaşımlanmış numunenin makro fotoğrafları incelendiğinde, tozların ve altlık malzemenin tam olarak birlikte erгийemediği görülmüştür. Bu durumun bu toz oranında ergime ısıları yüksek olan FeW ve FeB elementinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 6.28.' de ise N8-N12 numunelerine ait alaşımlanmış yüzeylerin makro fotoğrafları verilmiştir. Bu fotoğraflardan alaşım tozlarının altlık malzeme ile birlikte erгийerek yüzeyin modifiye edildiği görülmektedir. Yine yüzeyde herhangi bir çatlak veya poroziteye rastlanmamıştır. Kaynak dikişleri düzgün bir şekilde ilerlemiştir. Bu numunelerin yüzey alaşımlama derinliği ise, ısı girdisi arttıkça artmış ve 1391 µm ile 1882 µm arasında değişmiştir.

**Şekil 6.27.** 0.475 kJ/mm ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N7 numunesinin makro fotoğrafı

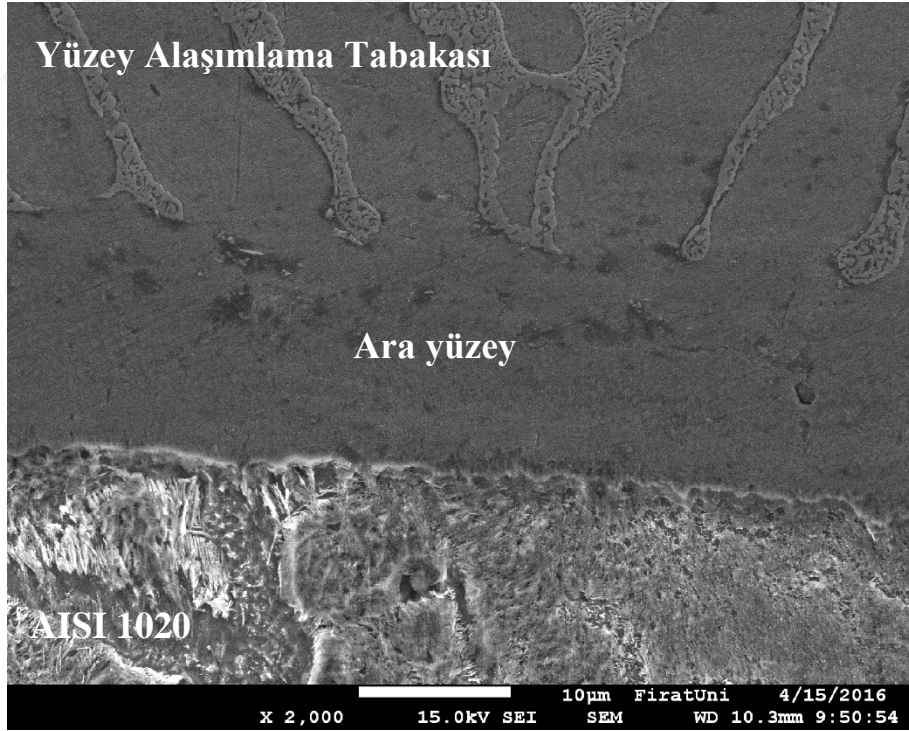


**Şekil 6.28.** N8-N12 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları

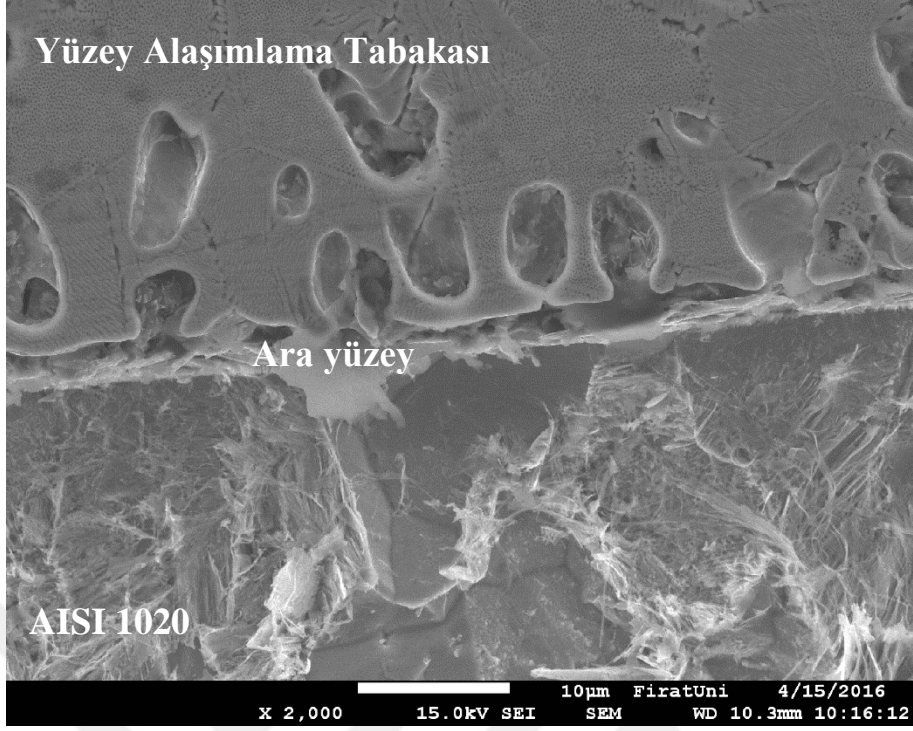
(% ağı.) 60FeCrC-20FeW-20FeB ile yüzeyi alaşımlanmış numunelerin (N8-N12), ara yüzey SEM görüntüleri Şekil 6.29.-6.33.' de verilmiştir. Görüldüğü gibi, bu numunelerin alaşımlama ara yüzeylerinde herhangi bir çatlak, porozite ve boşluk oluşmamıştır. Ayrıca yüzey alaşımlama tabakaları altlık malzeme ile geçiş bölgesi oluşturacak biçimde bir yapı oluşturmuştur. N8 numunesinde alaşımlama ara yüzeyinin hemen üstündeki bölgede, ötektik katılaşma gösteren yapılar oluşmuştur (Şekil 6.29.). Diğer numunelerde ise (N9-N12), ara yüzeyin hemen üzerindeki bölgede dendritik ve dendritler arası ötektik bir yapının oluştuğu gözlemlenmiştir.



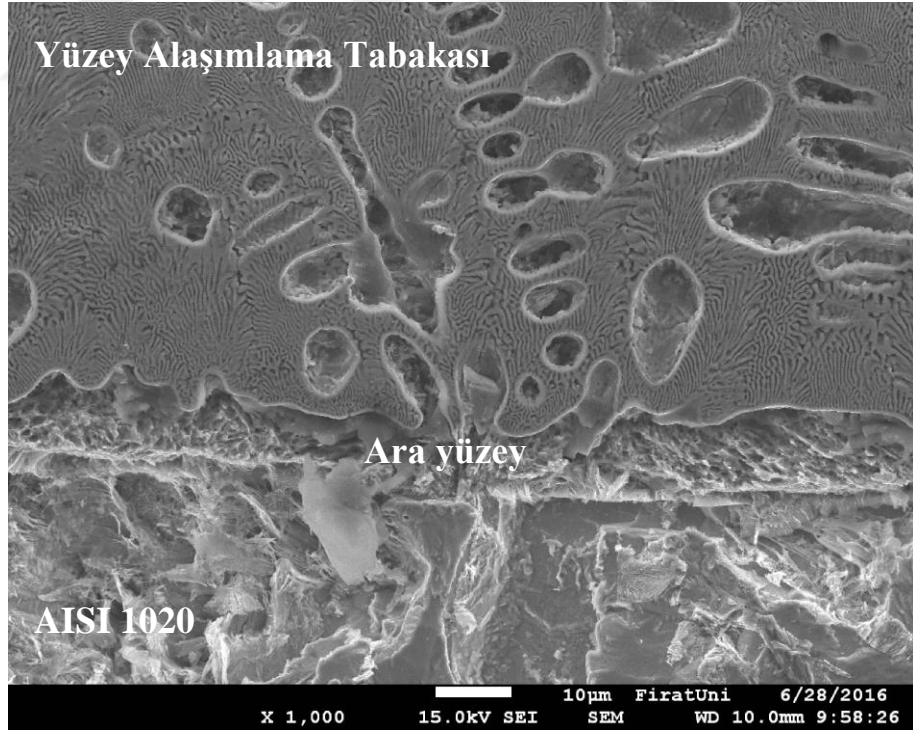
Şekil 6.29. N8 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



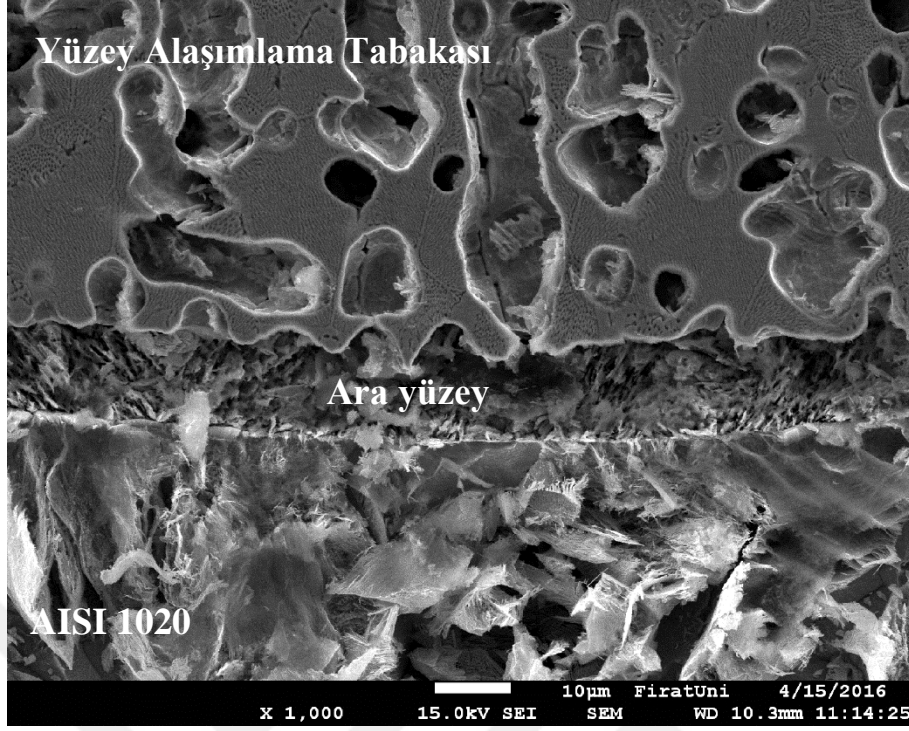
Şekil 6.30. N9 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



Şekil 6.31. N10 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



Şekil 6.32. N11 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x1000)



Şekil 6.33. N12 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x1000)

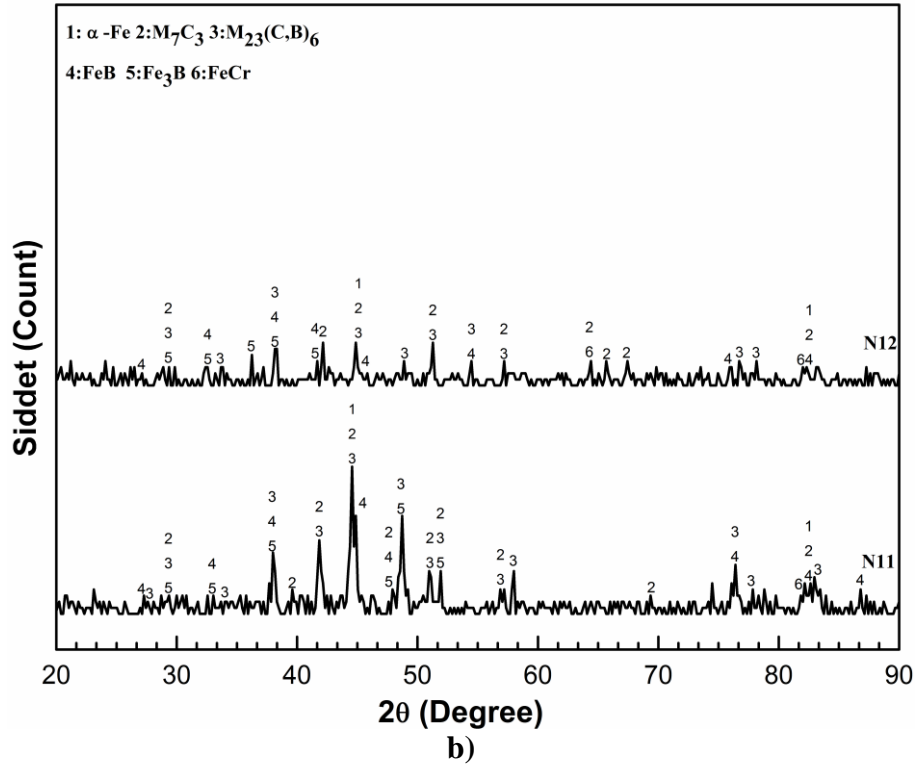
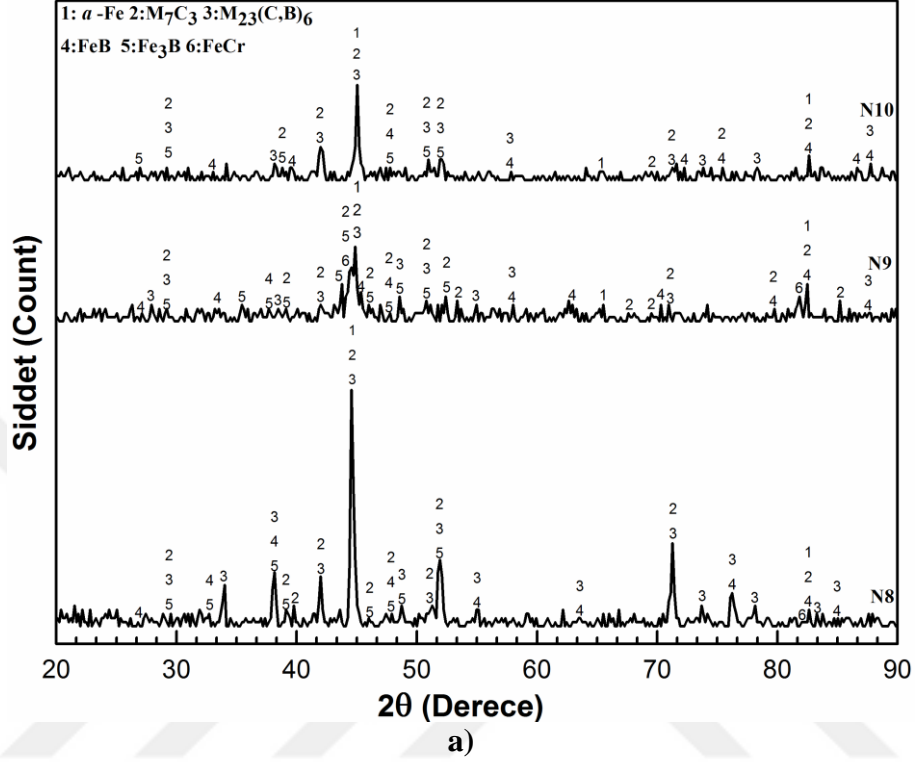
N8-N12 numunelerinin alaşımlanmış bölgelerinden bölgesel olarak alınan EDS sonuçlarına göre, Cr/Fe ve W/Fe oranları Tablo 6.4’ de verilmiştir. Cr/Fe ve W/Fe oranları, ısı girdisi arttıkça Fe konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak düşmüştür.

**Tablo 6.4.** N8-N12 numunelerinin Cr/Fe ve W/Fe oranları

Numune	Cr/Fe	W/Fe
N8	0.39	0.17
N9	0.32	0.15
N10	0.28	0.14
N11	0.24	0.12
N12	0.22	0.11

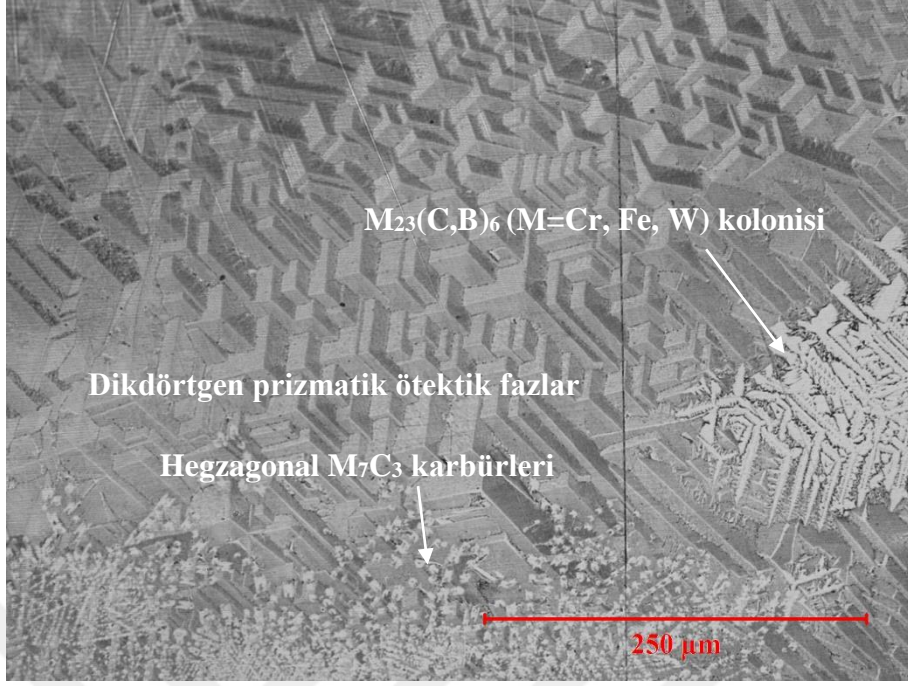
N8-N12 numunelerinin yüzey alaşım tabakalarını oluşturan bileşikler, Şekil 6.34.’ de verilen XRD analiz sonuçlarında görülmektedir. XRD analiz sonuçlarına göre, bu numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürü,  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü, FeB borürü ve  $Fe_3B$  borüründen oluştuğu tespit edilmiştir. Yine bu numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarında bir miktar  $\alpha$ -Fe ve FeCr bulunmaktadır. Benzer yapılar, literatürde yapılan çalışmalarda da bulunmuştur [36, 121]. Alaşımlanmış

yüzey tabakaları içerisindeki yapıların yoğunlukları ve boyutları ise, ısı değişimine bağlı olarak farklılaşmıştır.

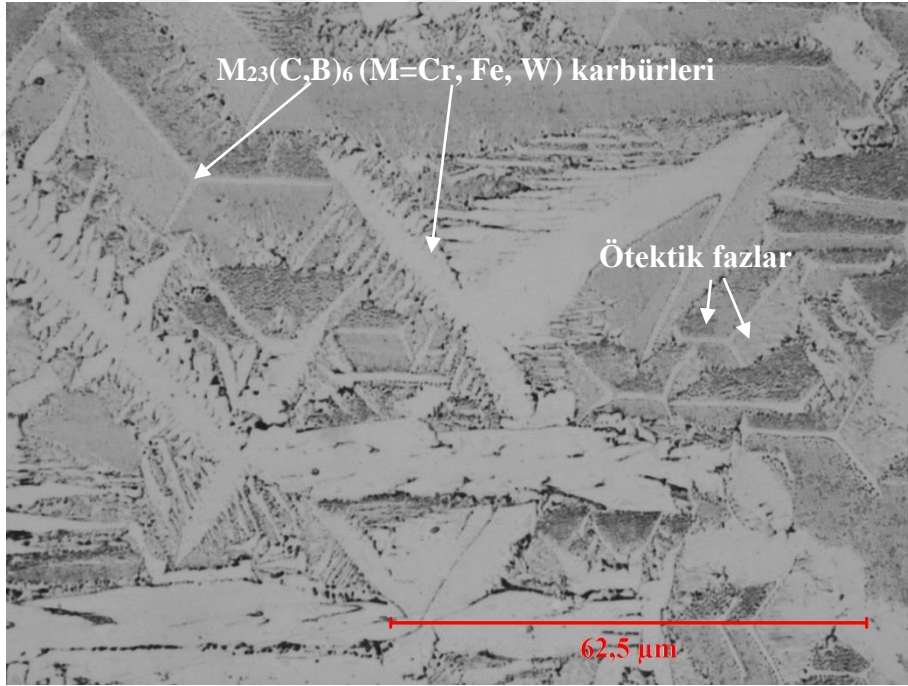


Şekil 6.34. XRD analiz sonuçları a) (N8-N10) ve b) (N11 ve N12)

(%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB toz karışımıyla en düşük ısı yüzeyi alaşımlanan N8 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntüleri Şekil 6.35.' de verilmiştir. Yüzey alaşımlama tabakası mikroyapısı incelendiğinde (Şekil 6.35a.), yüzey alaşımlama tabakası ara yüzeyinin hemen üstündeki bölgenin genellikle hegzagonal şekilli  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürü ve FeB borürü yapılarından oluştuğu görülmektedir. Bu yapıların alt kısımlarda oluşmasının sebebinin, yüzey alaşımlama tabakasının alt bölgesinin soğuma hızının daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Birincil  $M_7C_3$  karbürleri, katılaşma esnasında likidus sıcaklığının altına inildiğinde oluşacak ilk fazdır [39, 40]. Bu yapıların arasında ise dikdörtgen prizma şeklinde ötektik fazlar bulunmaktadır. Yüzey alaşımlama tabakasının bazı bölgelerinde ise,  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürleri koloni halinde bulunmaktadır. Yüzey alaşımlama tabakasının büyük bölümü ise, neredeyse homojen olarak dağılmış dikdörtgen prizma şeklinde ötektik fazlardan oluşmaktadır. Bu fazların tane sınırlarında ise, çubuk şeklindeki  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürleri bulunmaktadır. Benzer fazlara literatürde çok fazla rastlanmamıştır ve yönlendirilmiş katılaşma sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Literatürde yapılan bir çalışmada da bu yapıya benzeyen yapılara rastlanmıştır ve bu yapılar ötektik hücre olarak tanımlanmıştır [45]. Yine ötektik bölgelerin sınırlarında olan çubuk şekilli fazların da ısı akışına paralel yönde uzadığı belirtilmiştir. Şekil 6.35a.' da görüldüğü gibi, yüzey alaşımlama tabakasının üst yüzeyine doğru çubuk şekilli  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürlerinin uzadığı görülmektedir. Bazı  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürleri ise, genişleyerek yüzey alaşımlama tabakasında yayılmıştır (Şekil 6.35b.) Bu dağılımın, söz konusu bölgelerde dönüşüm için gerekli sürenin fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



a)



b)

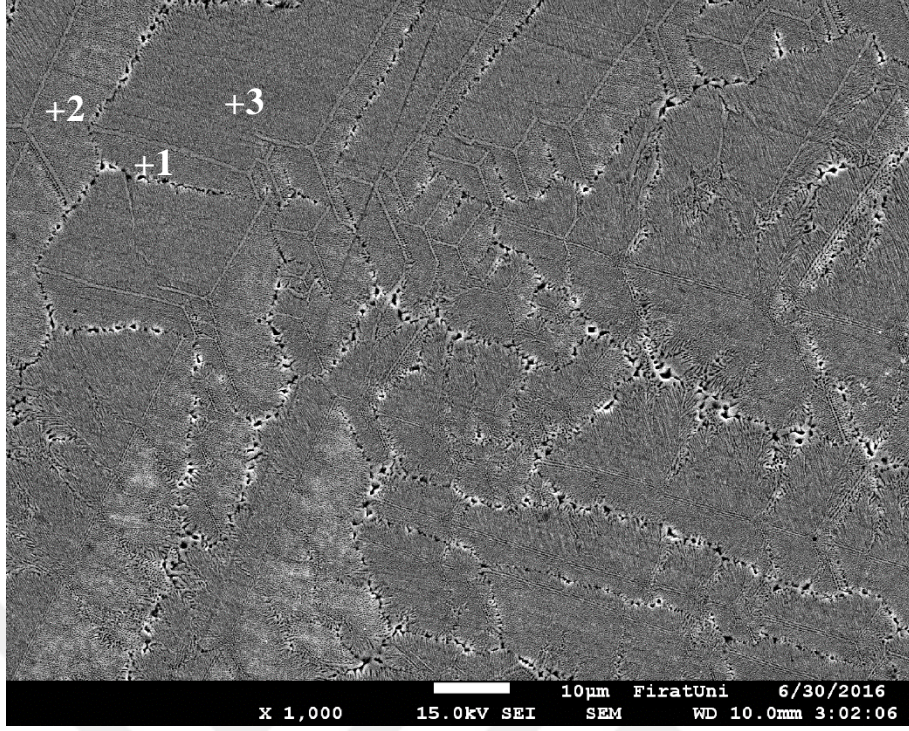
Şekil 6.35. N8 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x1000

Şekil 6.36.' da N8 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri, Şekil 6.37.' de ise EDS grafikleri verilmiştir. Şekil 6.36a.' da 1 noktasından alınan EDS sonuçlarına göre, bu nokta 23.65% C, 17.38% Cr, 51.12% Fe ve 7.85% W elementi

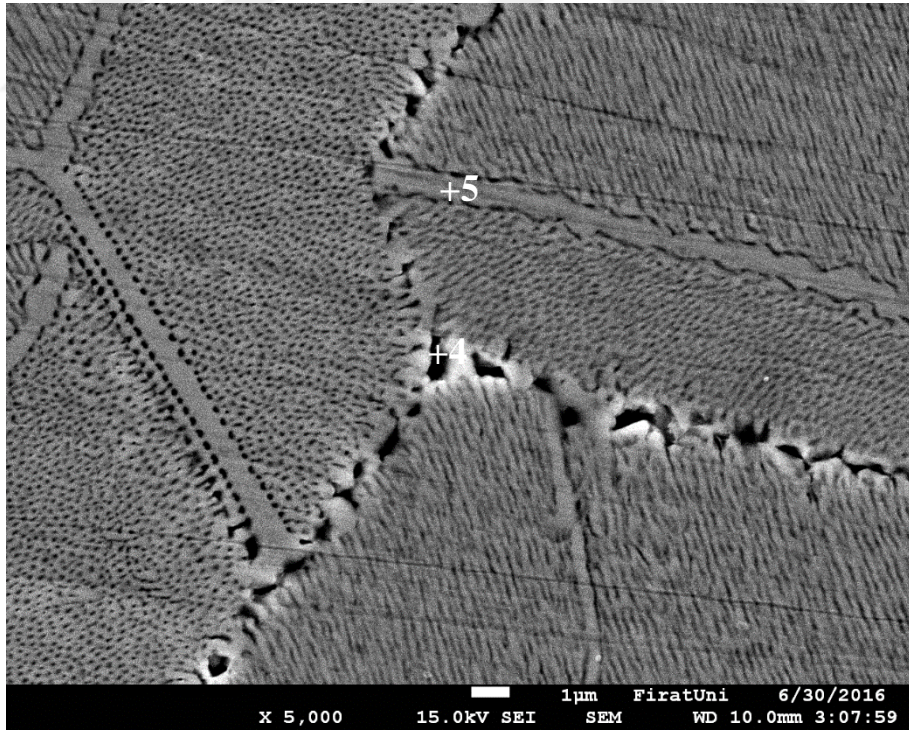


içermektedir. 2 ve 3 noktası ise, sırasıyla, 24.46% C, 14.55% Cr, 54.52% Fe, 6.47% W ve 21.97% C, 16.81% Cr, 54.76% Fe, 6.46% W elementi içermektedir. Görüldüğü gibi, ötektik prizmatik yapının farklı noktalarının kimyasal kompozisyonu benzerdir. Dikdörtgen prizmatik şekilli yapının tane sınırlarından alınan EDS sonuçlarına göre ise (Şekil 6.36b.); 4 noktası kimyasal kompozisyon olarak (%ağ) 19.50C-22.85Cr-55.55Fe-2.09W ve 5 noktası (%ağ.) 16.50C-18.20Cr-57.83Fe-7.47W içermektedir. Cr/Fe oranına göre bu noktalar, 5 noktası  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürüdür.



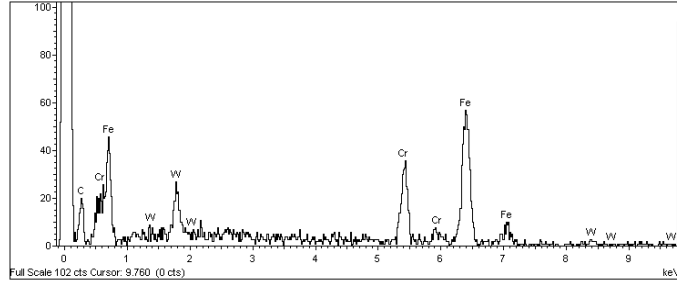


a)

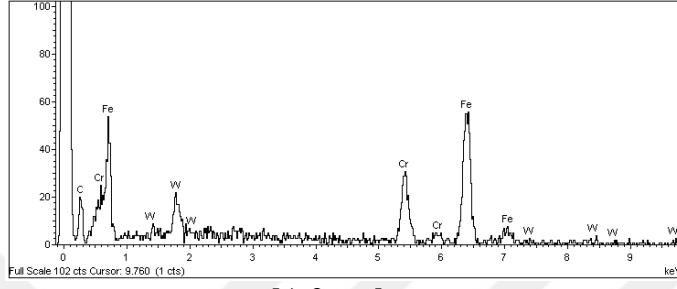


b)

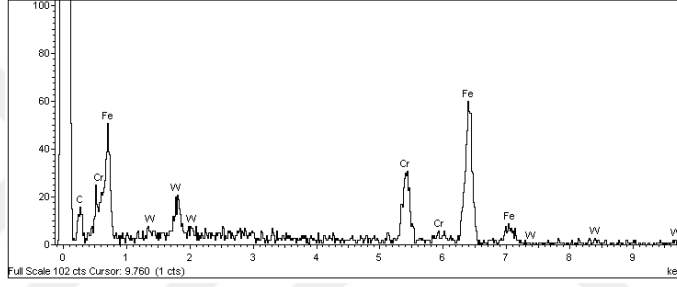
Şekil 6.36. N8 numunesinin SEM görüntüleri a) x1000 ve b) x5000



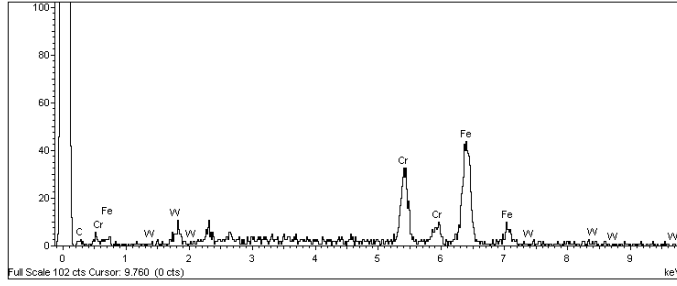
**a) 1. nokta**



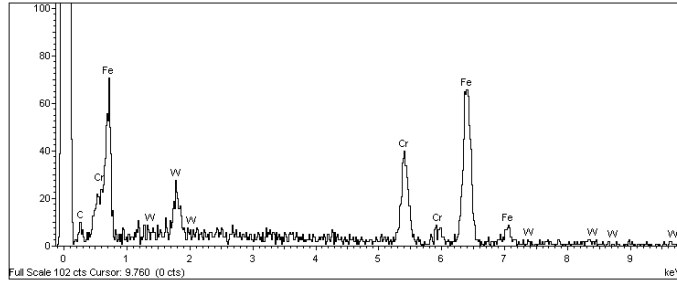
**b) 2. nokta**



**c) 3. nokta**



**d) 4. nokta**

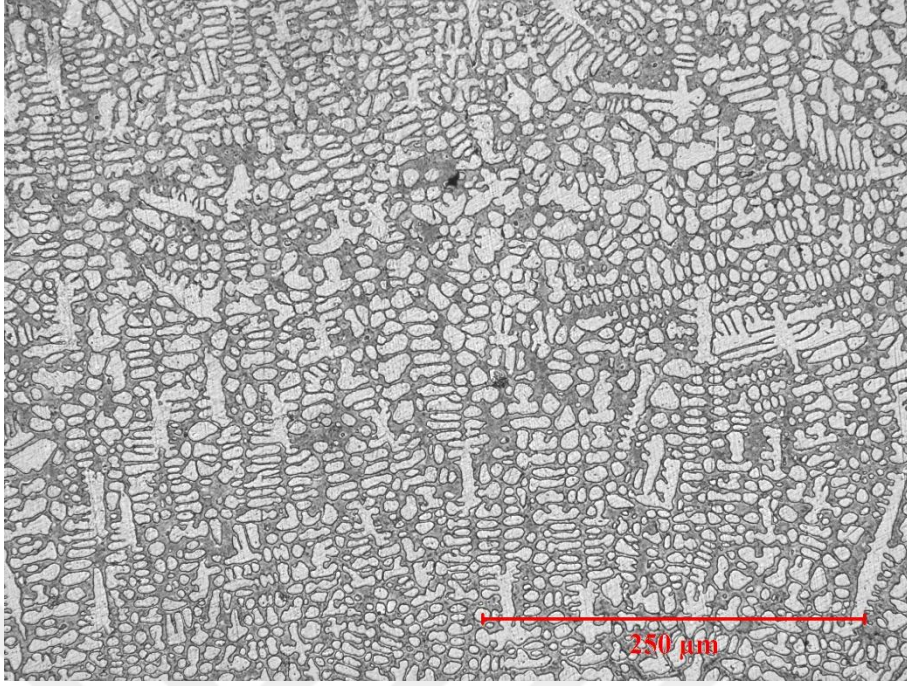


**e) 5. nokta**

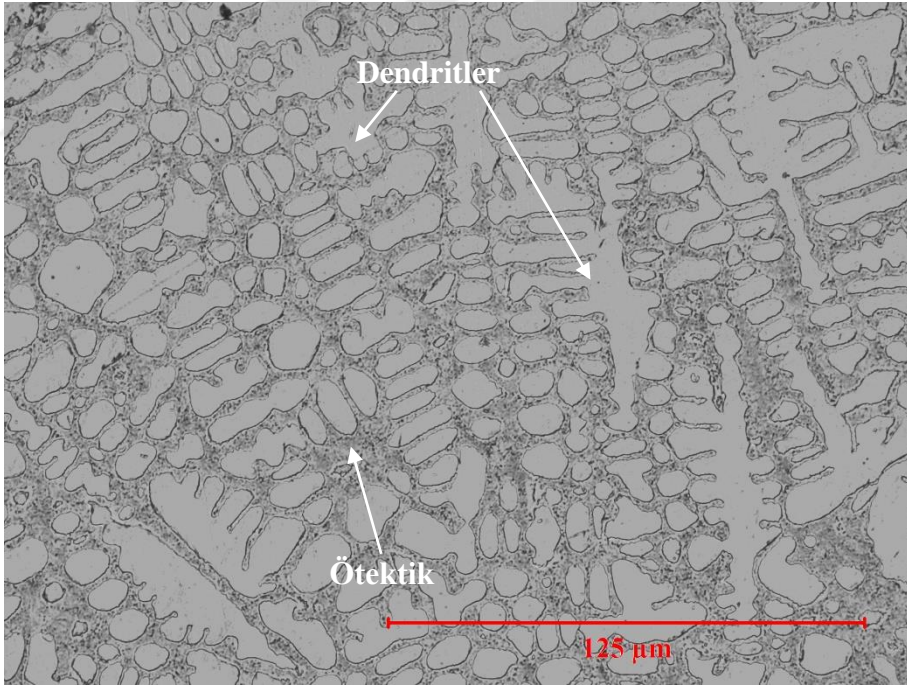
**Şekil 6.37. N8 numunesinin EDS grafikleri**

Şekil 6.38.' de N9 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntüleri verilmiştir. Alaşımlanmış yüzey tabakasının mikroyapısı incelendiğinde, alaşımlanmış yüzey tabakasının dendritik ve dendritler arası ötektik bir yapıdan oluştuğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak, artan ısı yoğunluğuyla altlık malzemenin daha fazla ergimesi ve hızlı soğuma neticesinde yapının dendritik olarak katılaşması gösterilebilir. Dendritler, altlık malzemedan alaşım tabakasına doğru dikey yönde katılaşma göstermiş ve dendrit kolları altlık malzemeye paralel yönde uzamıştır. PTA yöntemiyle FeCrC tozu kullanılarak gerçekleştirilen yüzey alaşımlamada da katılaşma benzer şekilde gerçekleşmiştir [122].





a)

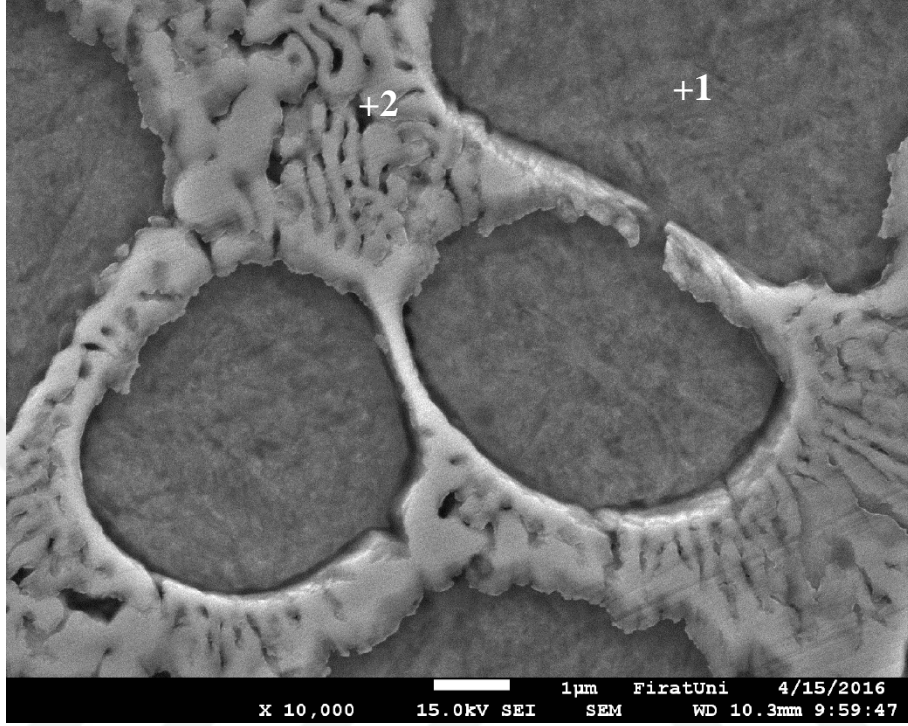


b)

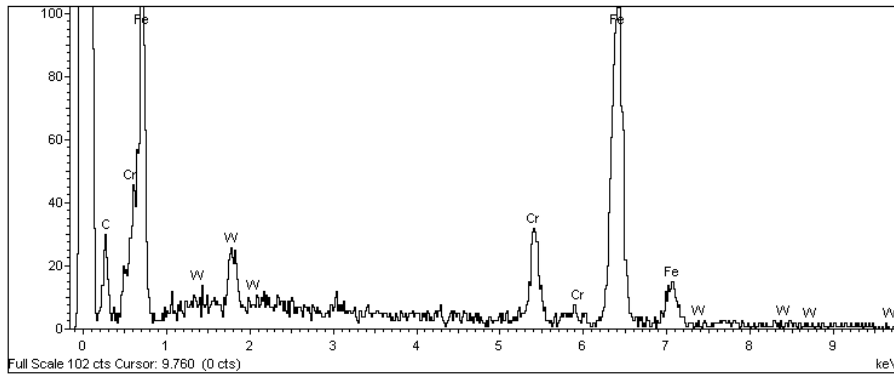
Şekil 6.38. N9 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

Şekil 6.39.' da N9 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüsü, Şekil 6.40.' da ise ötektik noktanın EDS grafiği verilmiştir. EDS sonuçlarına göre dendritik bölge (Şekil 6.39-nokta 1) (%ağ.) 19.82C-6.68Cr-70.95Fe-2.55W elementi, ötektik yapı ise

(Şekil 6.39-nokta 2); (%ağ.) 24.55C-9.02Cr-60.93Fe-5.49W elementi içermektedir. Ötektik yapı Cr ve W elementi bakımından dendritik bölgeye nazaran daha zengindir.

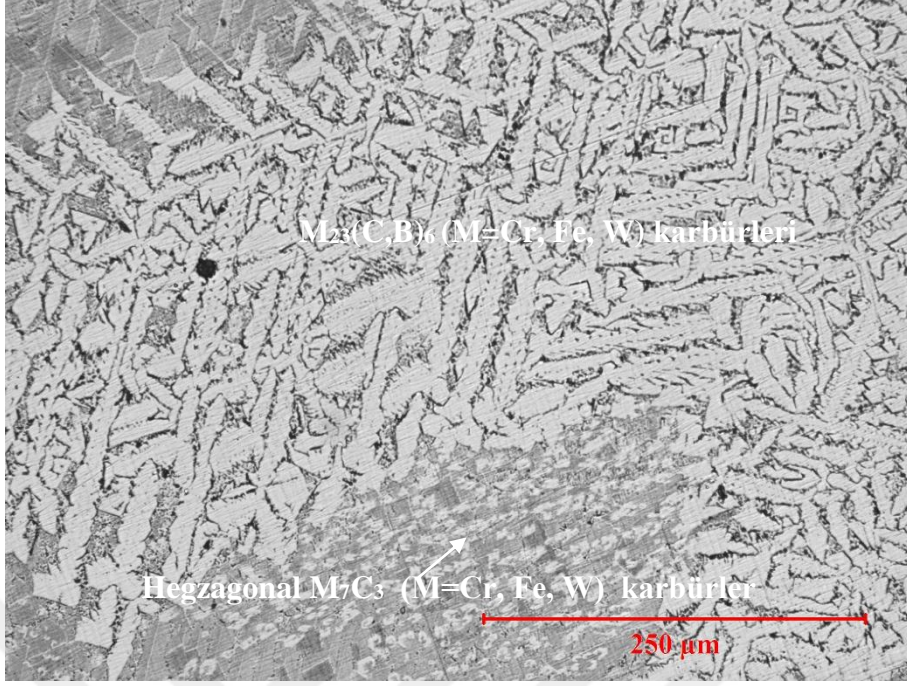


Şekil 6.39. N9 numunesinin SEM görüntüsü x10000

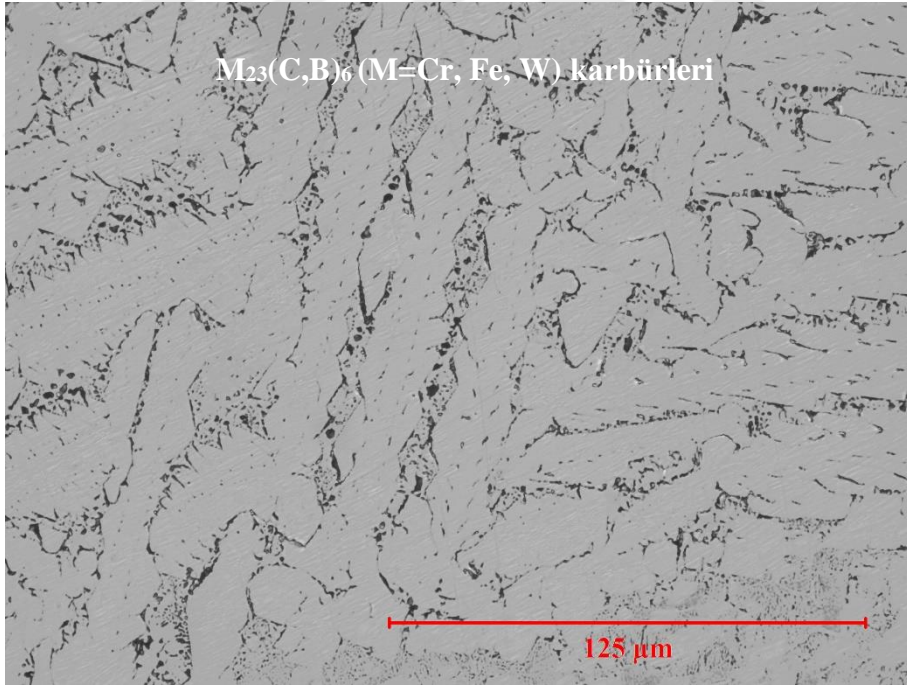


Şekil 6.40. N9 numunesinin EDS analiz grafiği

Şekil 6.41.' de N10 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntülerinden görüldüğü gibi, yüzey alaşımlama tabakası genellikle neredeyse homojen olarak dağılmış geniş  $M_{23}(C, B)_6$  ( $M=Cr, Fe, W$ ) karbürlerinden oluşmuştur. Bu yapıların arasındaki bazı bölgelerde ise hegzagonal  $M_7C_3$  karbürü ve dikdörtgen prizmatik ötektik yapılar dağılmış halde bulunmaktadır.



a)



b)

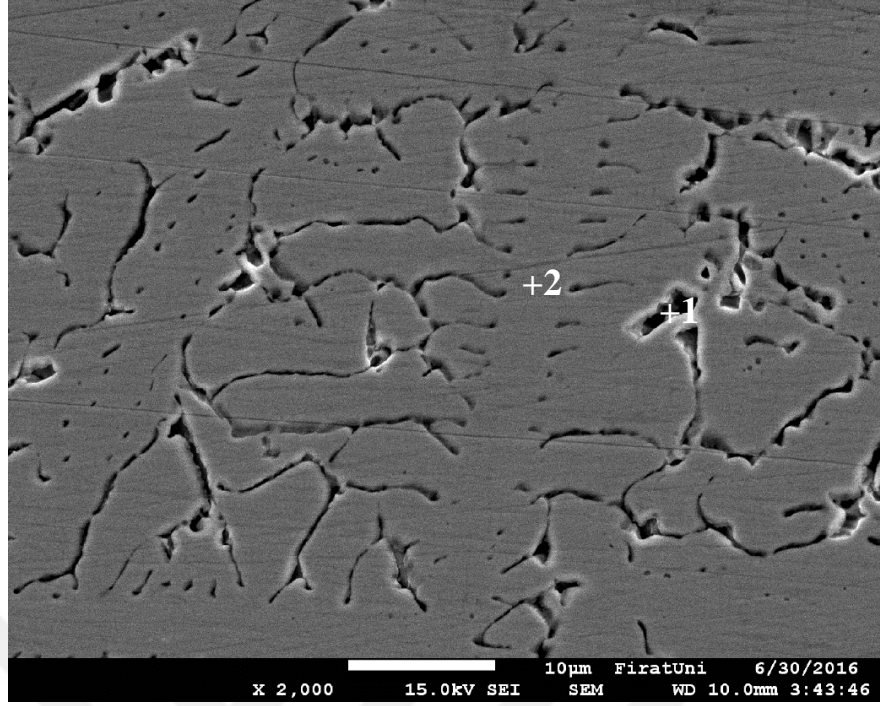
Şekil 6.41. N10 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

N10 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri ve EDS grafikleri, sırasıyla Şekil 6.42. ve Şekil 6.43.' de verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre, 1 ve 2 noktaları kimyasal kompozisyon olarak sırasıyla (%ağ.) 25.11C-15.92Cr-57.27Fe-

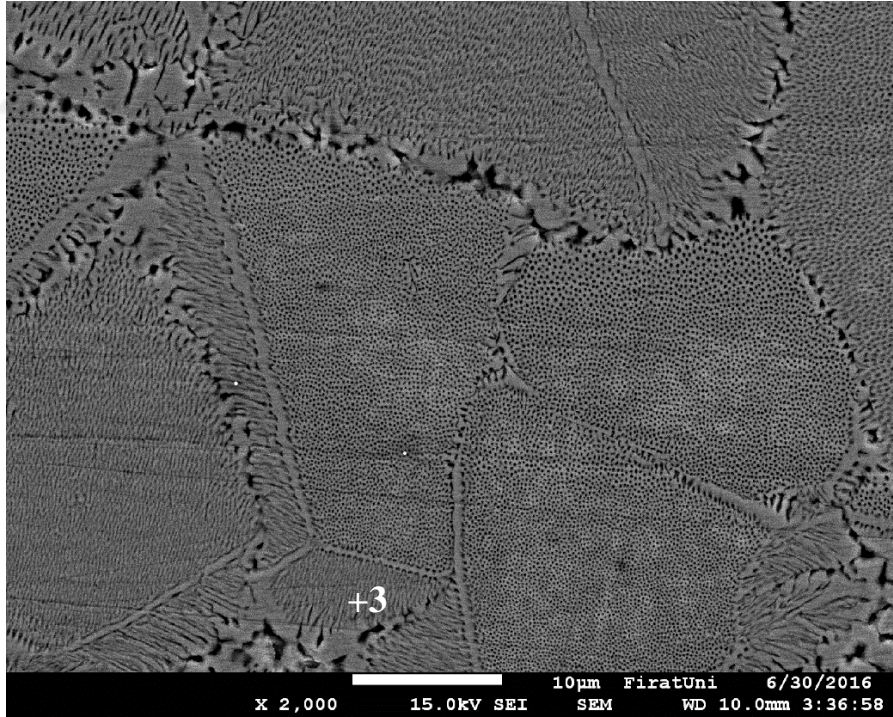
1.70W, (%ağ.) 37.15C-15.68Cr-42Fe-5.17W elementlerinden oluşmaktadış. 1 numaralı noktada görülen siyah faz, literatürde de belirtildiği gibi matris fazıdır [123]. Cr/Fe oranına göre, 2 numaralı noktadaki yapı ise,  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürüdür. 3 numaralı noktadaki ötektik faz ise (şekil 6.42b.), (%ağ.) 37.28C-11.57Cr-45.58Fe-5.57W elementlerinden oluşmuştur.





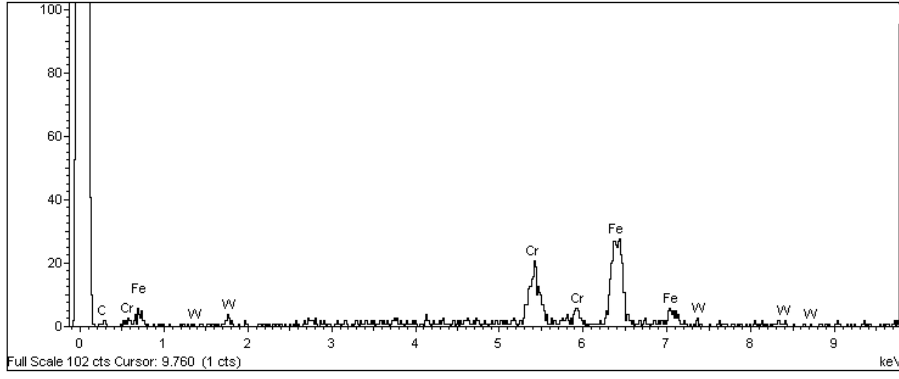


a)

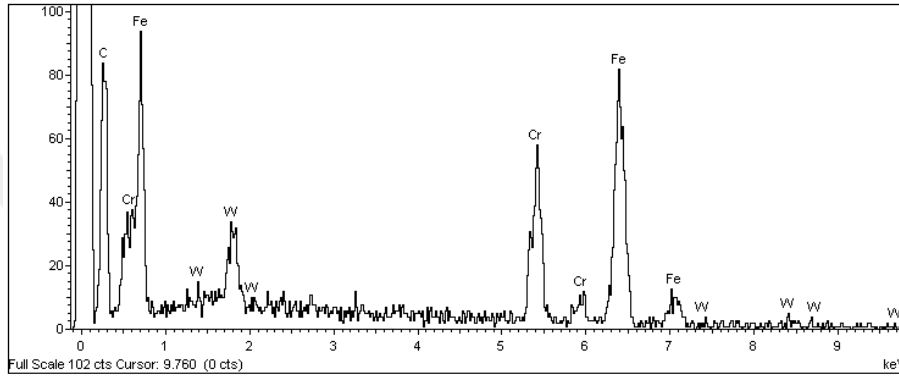


b)

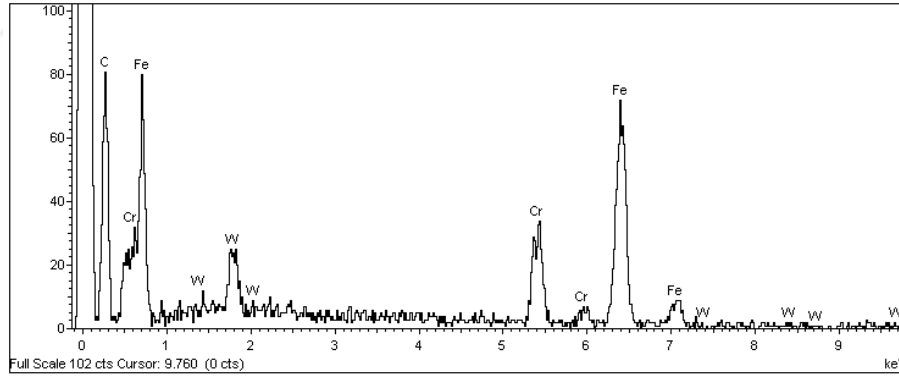
Şekil 6.42. N10 numunesinin SEM görüntüleri a) x2000 ve b) x2000



**a) 1. nokta**



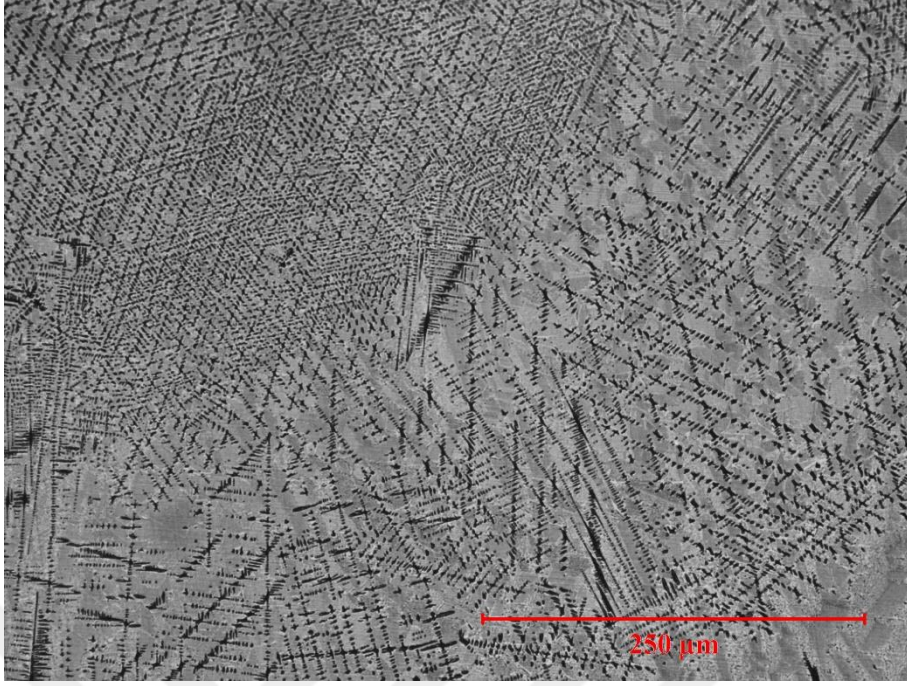
**b) 2. nokta**



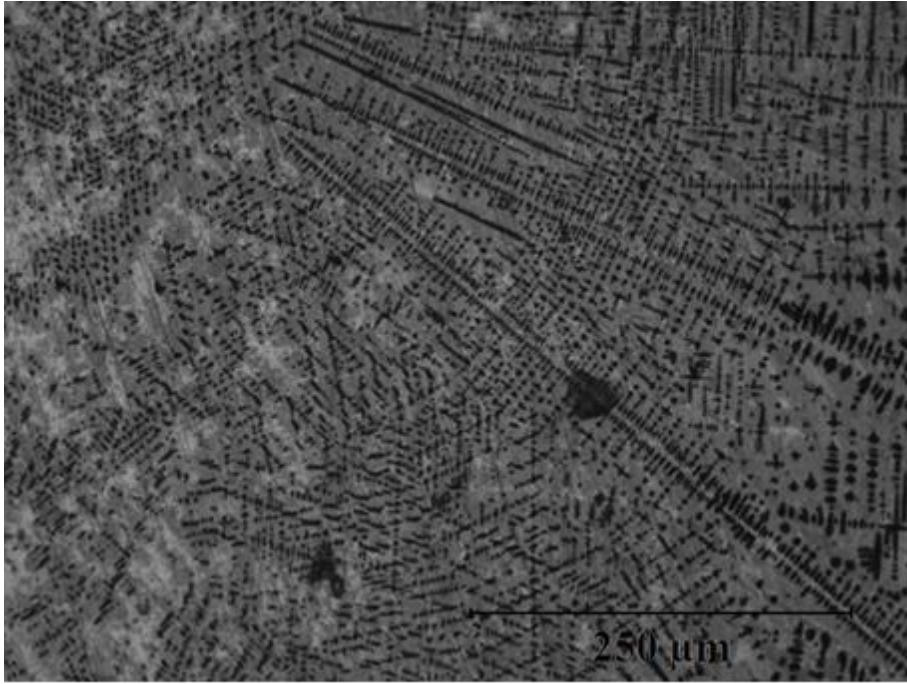
**c) 3. nokta**

**Şekil 6.43.** N10 numunesinin EDS grafikleri

0.1m/dk ilerleme hızında 140 ve 160 A akım değerinde yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N11 ve N12) OM görüntüleri incelendiğinde (Şekil 6.44.), mikroyapılarının birbirlerine benzer şekilde ince taneli dendritler ve bu dendritler arasındaki ötektik fazlardan oluştuğu görülmüştür. Ötektik fazların tane sınırlarında yine çubuk şekilli  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürleri mevcuttur.



a)



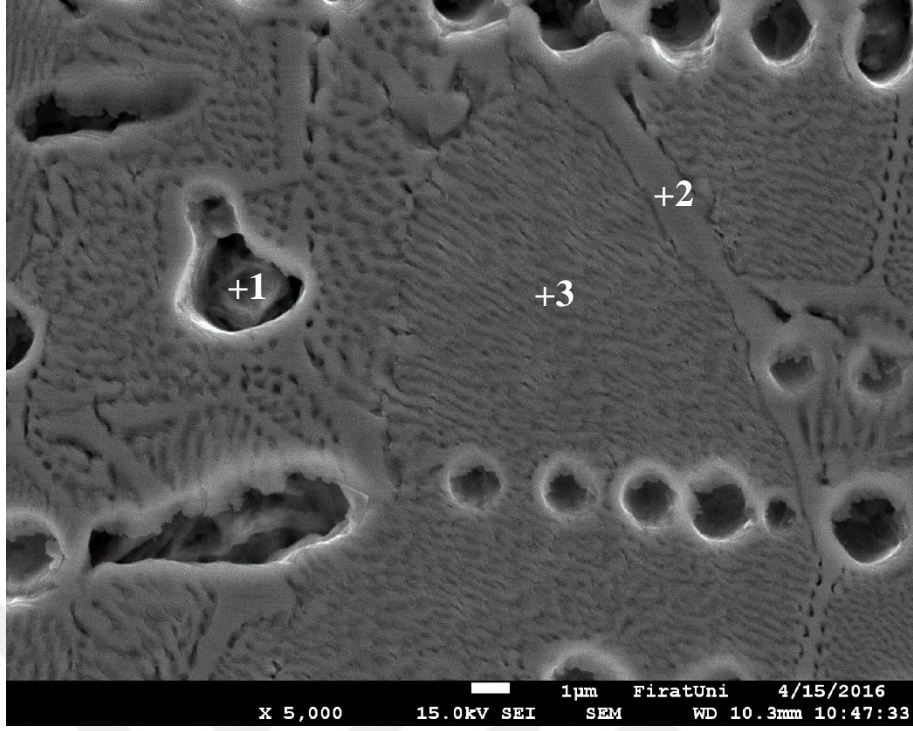
b)

Şekil 6.44. N11 ve N12 numunelerinin OM görüntüleri a) N11 x200 ve b) N12 x200

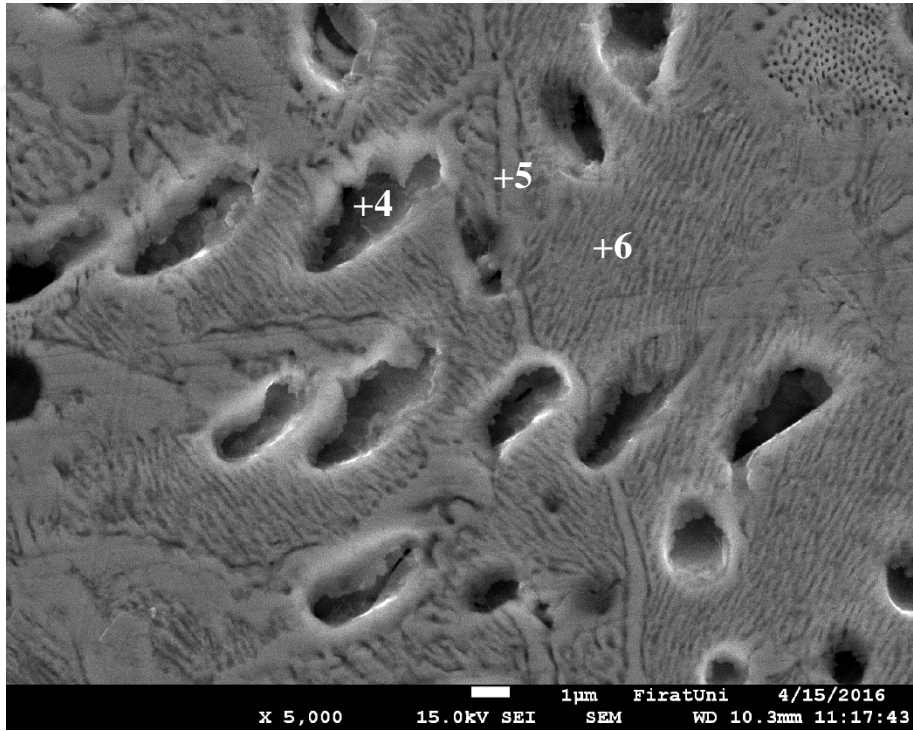
Şekil 6.45.' de N11 ve N12 numunelerine ait yüzey alaşımlama tabakalarının SEM görüntüleri, Şekil 6.46. ve 6.47. de ise, EDS analiz grafikleri verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre, 1 numaralı nokta, (%ağ) 23.99C-13.21Cr-60.33Fe-2.47W elementinden,

benzer yapıdaki 4 numaralı nokta ise, (%ağ) 19.17C-17.88Cr-59.71Fe-3.25W elementlerinden oluşmaktadır. 2 noktasındaki  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü (Şekil 6.45a.), (%ağ) 18.51C-14.87Cr-59.32Fe-7.3W elementlerinden oluşurken, 3 noktası (Şekil 6.45a) (%ağ) 19.7C-14.30Cr-59.09Fe-6.91W elementlerinden meydana gelmiştir. Şekil 6.45b.' de 5 noktasındaki  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü, (%ağ) 23.91C-14.84Cr-53.52Fe-7.73W ve 6 noktasındaki ötektik faz (%ağ) 19.77C-15.71Cr-57.45Fe-7.07W elementleri içermektedir. EDS analiz sonuçlarından görüldüğü gibi, benzer yapılar ısı girdisinin değişmesiyle farklı erime yoğunluklarından dolayı farklı kimyasal kompozisyonlardadır.



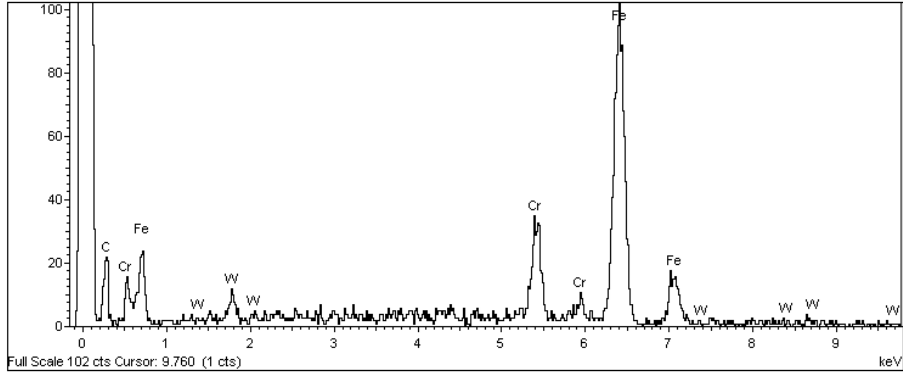


a)

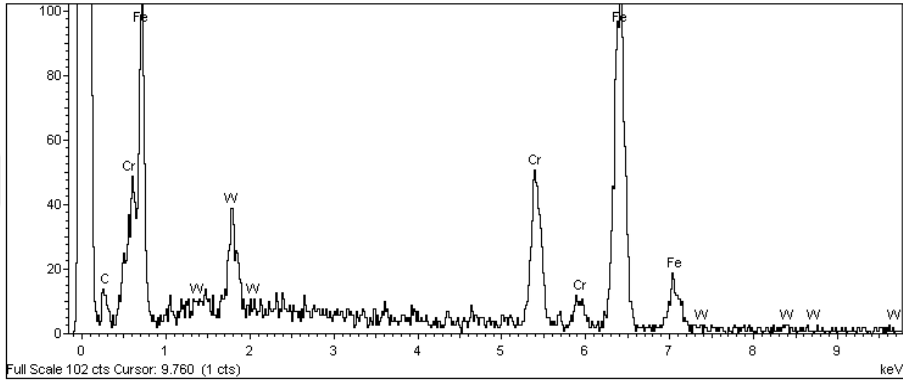


b)

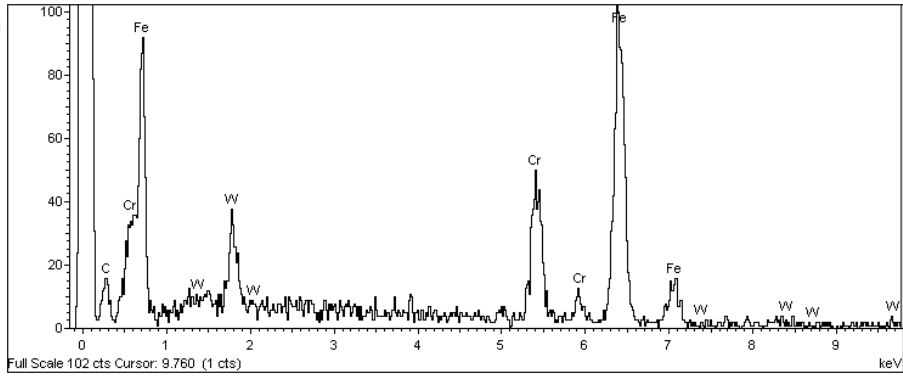
Şekil 6.45. N11 ve N12 numunelerinin SEM görüntüleri a) N11 x5000 ve b) N12 x5000



**a) 1. nokta**

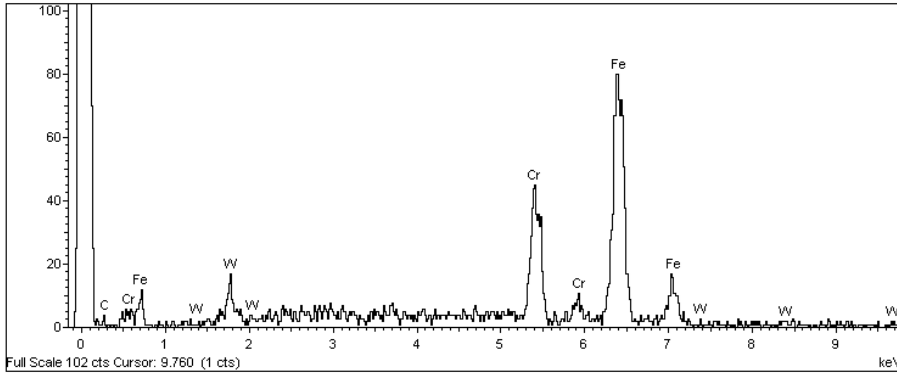


**b) 2. nokta**

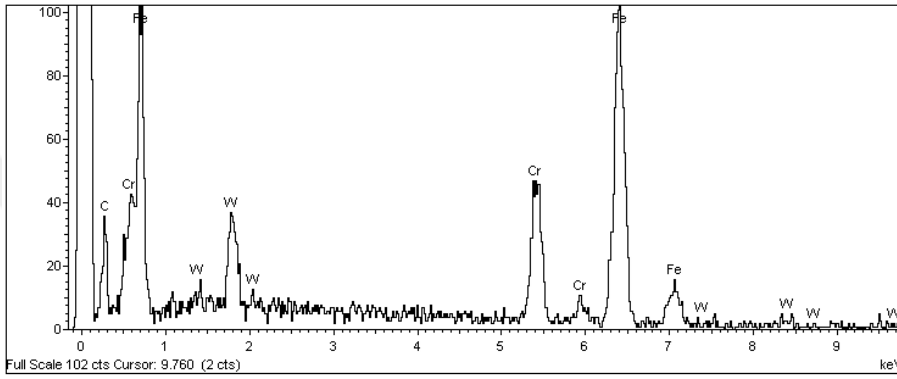


**c) 3. nokta**

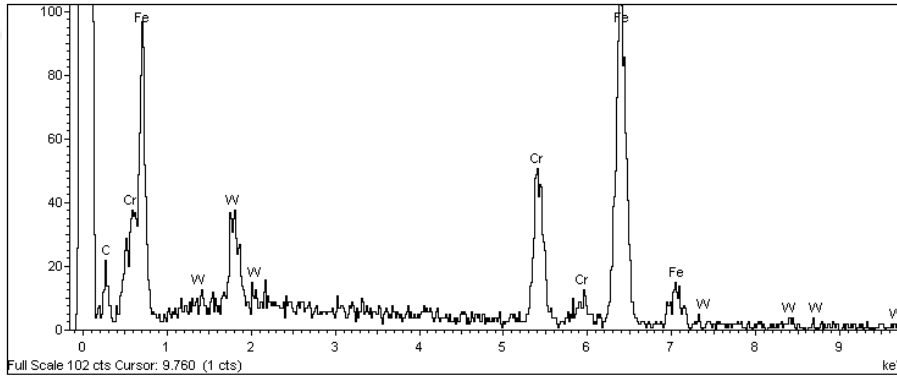
**Şekil 6.46.** N11 numunesinin EDS grafikleri



a) 4. nokta



b) 5. nokta



c) 6. nokta

Şekil 6.47. N12 numunesinin EDS grafikleri

### 6.1.3. (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Mikroyapısı

Tablo 6.5' de, (% ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB toz karışımı ile farklı ilerleme ve akım değerlerinde yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının genel özellikleri verilmiştir. Düşük ilerleme hızlarıyla ve yüksek ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin, yüzey alaşımlama tabakaları daha derindir. Yapıdaki karbür ve

borür ve borürlerin yüzdesi, ısı girdisi arttıkça azalmıştır. Yine karbür ve borürlerin boyutları, ısı girdisi arttıkça düşmüştür. Dendritik katılaşma gösteren numunelerin ise, dendrit kolları ısı girdisi artınca genişlemiş ve mikroyapı içerisindeki yüzdesi artmıştır.

**Tablo 6.5.** (% ağı.) 50FeCrC-20FeW-30FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların genel özellikleri

Numune	V	A	Q	h	h <sub>a</sub>	F	Cr/Fe	Y	A <sub>ort.</sub>	G <sub>ort.</sub>
N13	0.15 m/dk	120 A	0.475 kJ/mm	Bu ısı girdisi değerinde yüzey alaşımlama gerçekleşmedi						
N14	0.15 m/dk	140 A	0.585 kJ/mm	1440 µm	2.24 µm	M <sub>23</sub> (C,B) <sub>6</sub>	0.40	45.4	674.5 µm <sup>2</sup>	5.3 µm
N15	0.15 m/dk	160 A	0.704 kJ/mm	1510 µm	8.02 µm	M <sub>23</sub> (C,B) <sub>6</sub>	0.24	32	20.2 µm <sup>2</sup>	2.7 µm
N16	0.1 m/dk	120 A	0.713 kJ/mm	1600 µm	8.38 µm	M <sub>23</sub> (C,B) <sub>6</sub>	0.22	27	12.3 µm <sup>2</sup>	1.8 µm
N17	0.1 m/dk	140 A	0.878 kJ/mm	1610 µm	13.06 µm	Dendrit	0.15	25	75.7 µm <sup>2</sup>	5.9 µm
						Ötektik	0.22			
N18	0.1 m/dk	160 A	1.056 kJ/mm	1690 µm	14.26 µm	Dendrit	0.14	34.1	151 µm <sup>2</sup>	8.4 µm
						Ötektik	0.20			

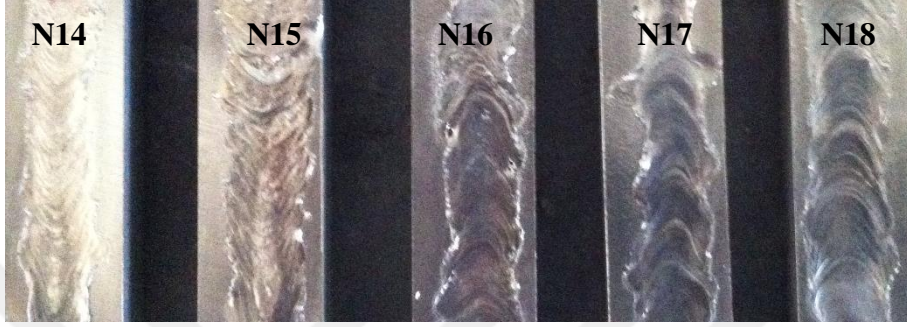
Tabloda **V:** ilerleme hızı (m/dk); **A:** Akım (A); **Q:** Isı girdisi (kJ/mm); **h:** Yüzey alaşımlamanın en derin noktasından alınan yaklaşık yüzey alaşımlama derinliği (µm); **h<sub>a</sub>:** Beş farklı noktadan alınan ortalama ara yüzey yüksekliği (µm); **F:** Yapıda yoğun bulunan faz; **Cr/Fe:** Yapıda yoğun bulunan fazın Cr/Fe oranı (Üç farklı noktadan alınan sonuçların ortalama değeri); **Y:** Yapıda bulunan karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin yüzdesi; **A<sub>ort.</sub>:** Karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin ortalama yüzey alanı (µm<sup>2</sup>); **G<sub>ort.</sub>:** Karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin ortalama genişliği (µm).

Şekil 6.48.' de verilen (% ağı.) 50FeCrC-20FeW-30FeB toz karışımı ile 0.475 kJ/mm ısı girdisinde yüzeyi alaşımlanan numunenin makro fotoğrafları incelendiğinde, bu ısı girdisinin yüzeyi alaşımlandırmak için yetersiz olduğu görülmüştür. Şekil 6.49.' da ise, N14-N18 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları verilmiştir. Bu fotoğraflardan alaşım tozlarının altlık malzeme ile birlikte ergiyerek yüzeyin modifiye edildiği görülmektedir. Alaşımlanmış yüzeylerde herhangi bir çatlağa rastlanmamıştır sadece N16 numunesinde, tozlar ve altlık malzeme arasındaki küçük bir bölgede üretim anındaki osilasyon hatasından kaynaklı boşluk oluştuğu görülmüştür. Yüzey alaşımlamanın mikroyapı analizleri neticesindeki genel durumuyla karşılaştırıldığında, bu durum ihmal edilebilir.



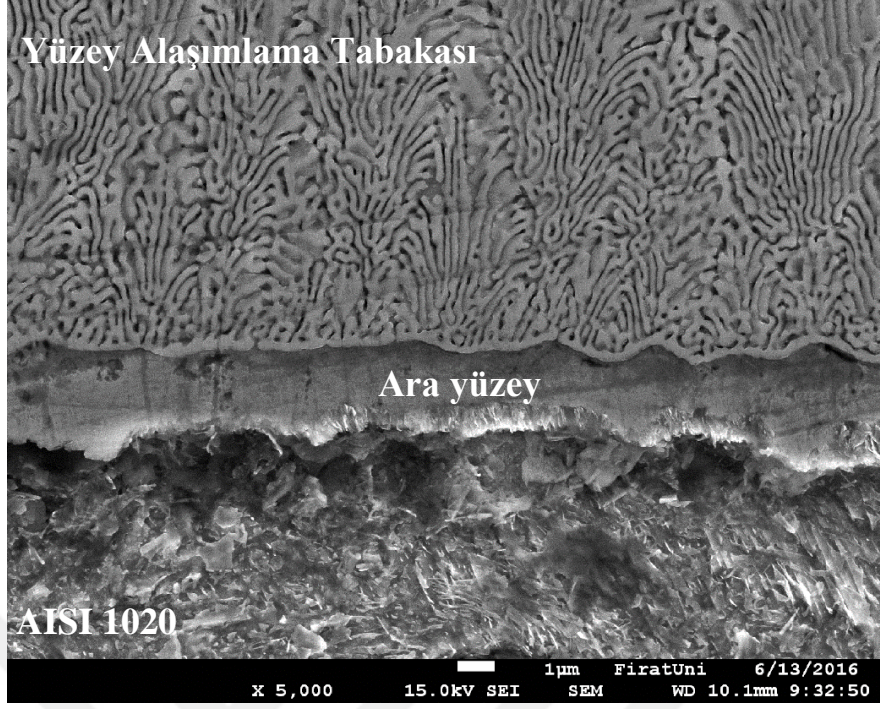


**Şekil 6.48.** 0.475 kJ/mm ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N13 numunesinin makro fotoğrafı

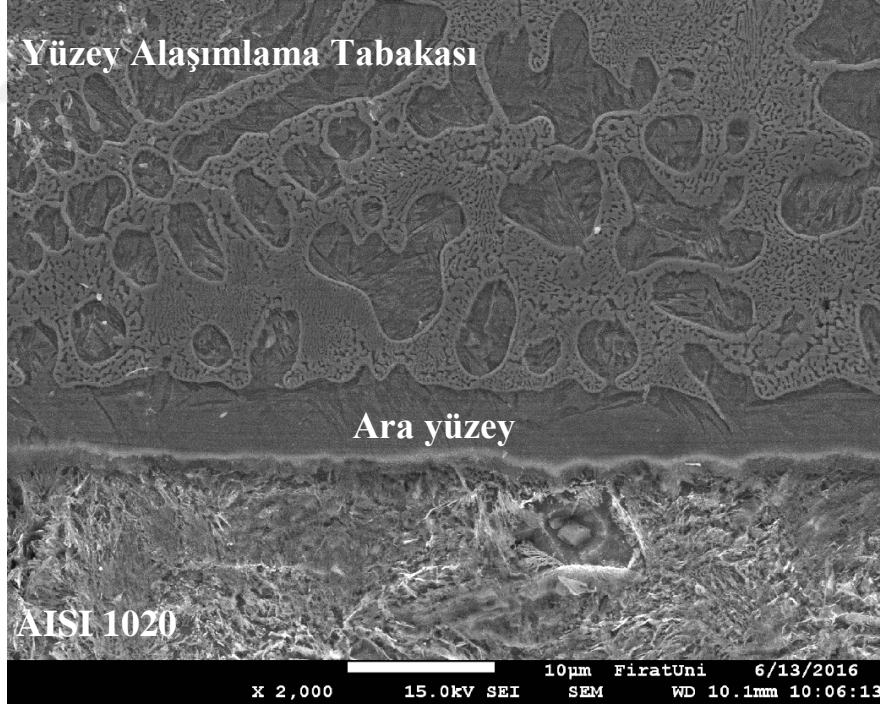


**Şekil 6.49.** N14-N18 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları

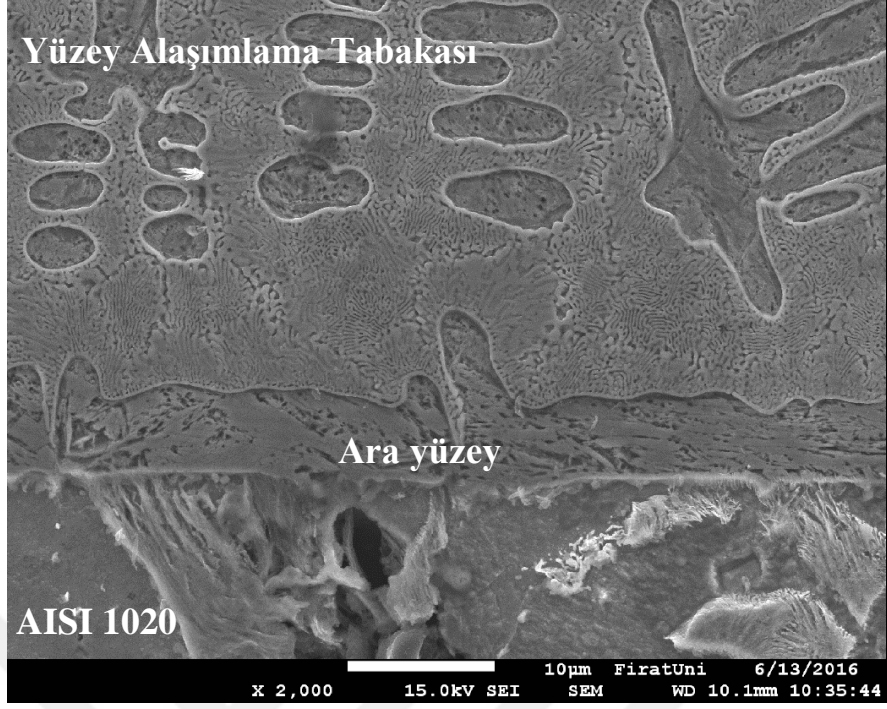
(% ağırlık) 50FeCrC-20FeW-30FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanmış numunelerin (N14-N18) ara yüzey SEM görüntüleri, Şekil 6.50.-6.54.' de verilmiştir. SEM görüntülerinden görüldüğü gibi, tüm numunelerde AISI 1020 ile alaşım bölgesi arasında çatlak, porozite ve boşluk oluşmamıştır. Düşük ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N14 numunesinin ara yüzeyinin hemen üzerindeki bölgede, katılaşmanın ötektik olarak gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 6.50.). Diğer numunelerin ara yüzeylerinin hemen üzerindeki bölge ise, dendritik ve dendritler arası ötektik bir katılaşma göstermiştir.



Şekil 6.50. N14 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x5000)



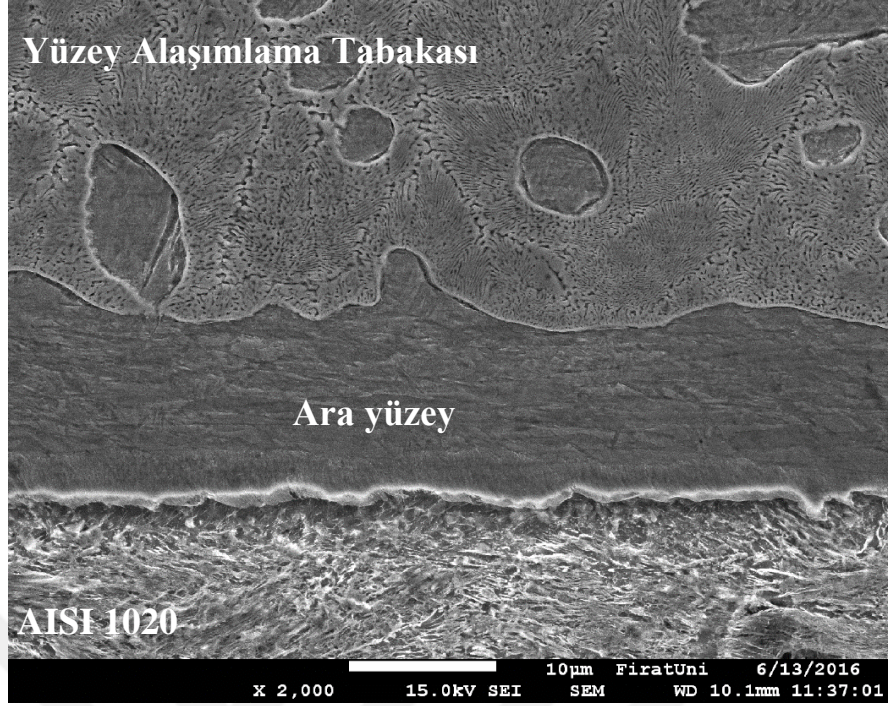
Şekil 6.51. N15 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



Şekil 6.52. N16 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



Şekil 6.53. N17 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



Şekil 6.54. N18 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)

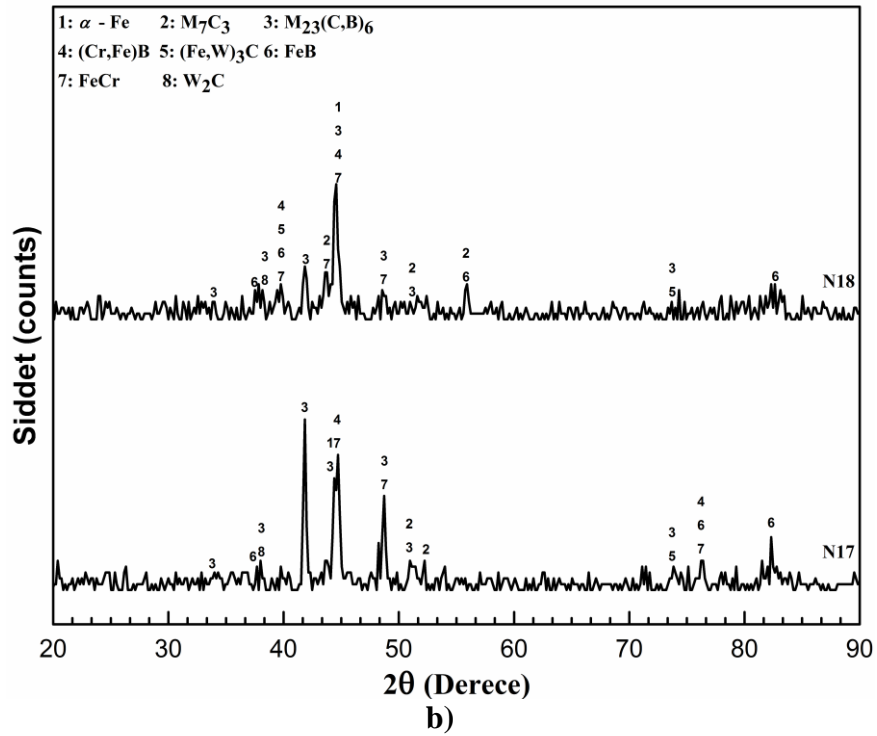
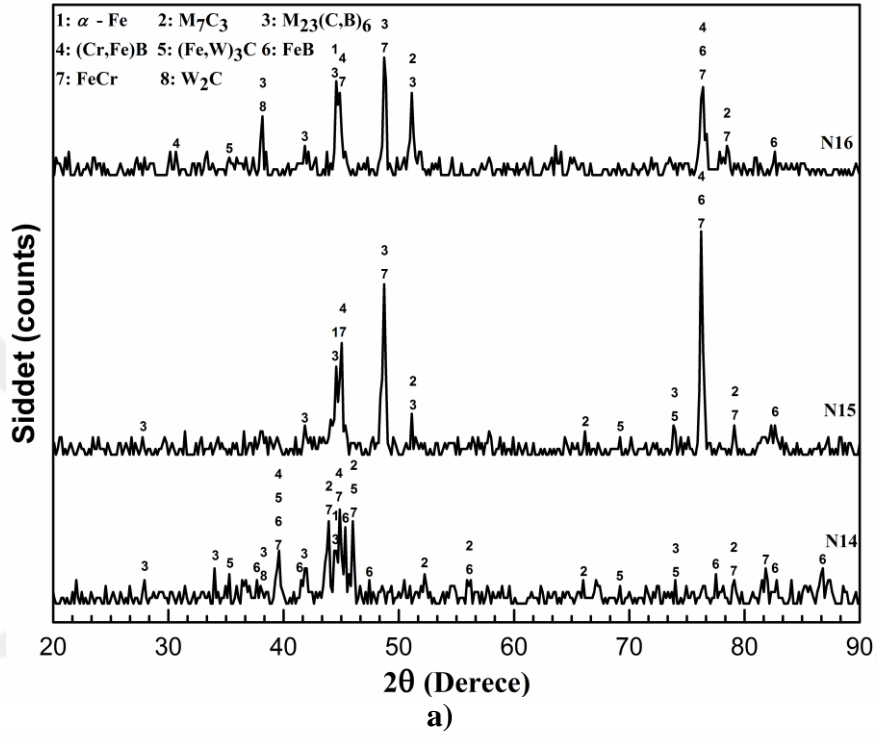
N14-N18 numunelerinin alaşımlanmış bölgelerinden bölgesel olarak alınan EDS sonuçlarına göre, Cr/Fe ve W/Fe oranları Tablo 6.6’ da verilmiştir. Bu numunelerde FeCrC konsantrasyonunun Fe-Cr-W-B-C elementleriyle yüzeyi alaşımlanan diğer numunelere göre daha düşük olmasından dolayı, Cr/Fe oranı diğer Fe-Cr-W-B-C ile alaşımlandırılmış numunelerden daha düşüktür.

Tablo 6.6. N14-N8 numunelerinin Cr/Fe ve W/Fe oranları

Numune	Cr/Fe	W/Fe
N14	0.36	0.14
N15	0.23	0.12
N16	0.22	0.11
N17	0.19	0.10
N18	0.18	0.09

Şekil 6.55.’ de, N14-N18 numunelerinin XRD analiz sonuçları verilmiştir. XRD analiz sonuçlarına göre bu numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakaları genelde,  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü,  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürü, (Cr, Fe)B borürü, FeB borürü ve FeCr’ den oluşmaktadır. Bu yapılara ilaveten XRD analizlerinde, yapıda bir miktar da  $\alpha$ -Fe, (Fe, W) $_3$ C karbürü ve  $W_2C$  karbürü tespit edilmiştir. Benzer yapılar literatür

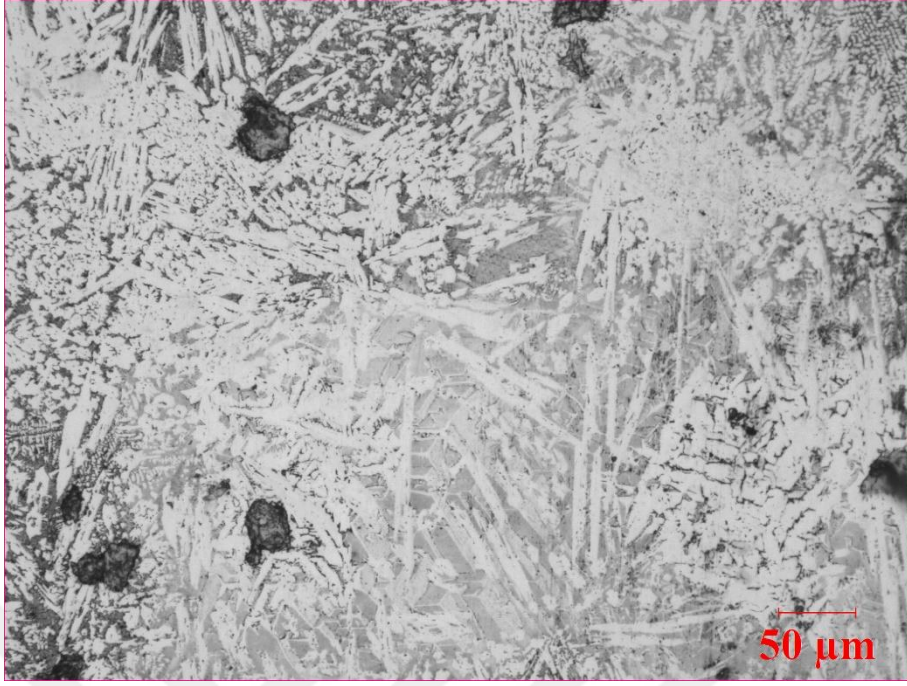
çalışmalarında da tespit edilmiştir [124, 125]. Isı girdisinin farklılaşmasıyla yüzey aşınma tabakalarında oluşan fazların yoğunlukları ve boyutları, katılma için geçen sürenin ve altlık malzemeden transfer olan element miktarının değişmesinden dolayı birbirinden farklı olmuştur.



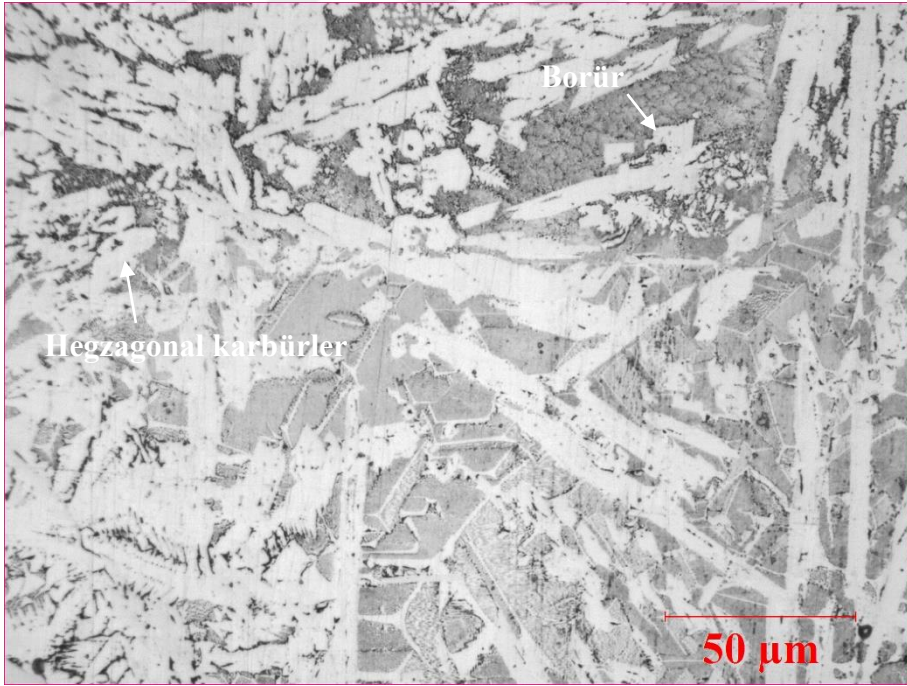
Şekil 6.55. XRD analiz sonuçları a) (N14-N16) ve b) (N17 ve N18)

N14 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntüleri, Şekil 6.56.' da verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde yüzey alaşımlama tabakasında borürler, karbürler ve karbürlerin dağılmış ve yoğun halde bulunduğu görülmektedir. Karbürler genelde hegzagonal ve çubuk şeklindedir. Yüzey alaşımlama tabakasının orta bölgelerinde bir önceki toz karışımıyla gerçekleştirilen yüzey alaşımlama tabakasının mikroyapılarında görülen prizmatik ötektik yapılar bulunmaktadır ve bu yapıların tane sınırlarında, ince taneli  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürleri mevcuttur.





a)



b)

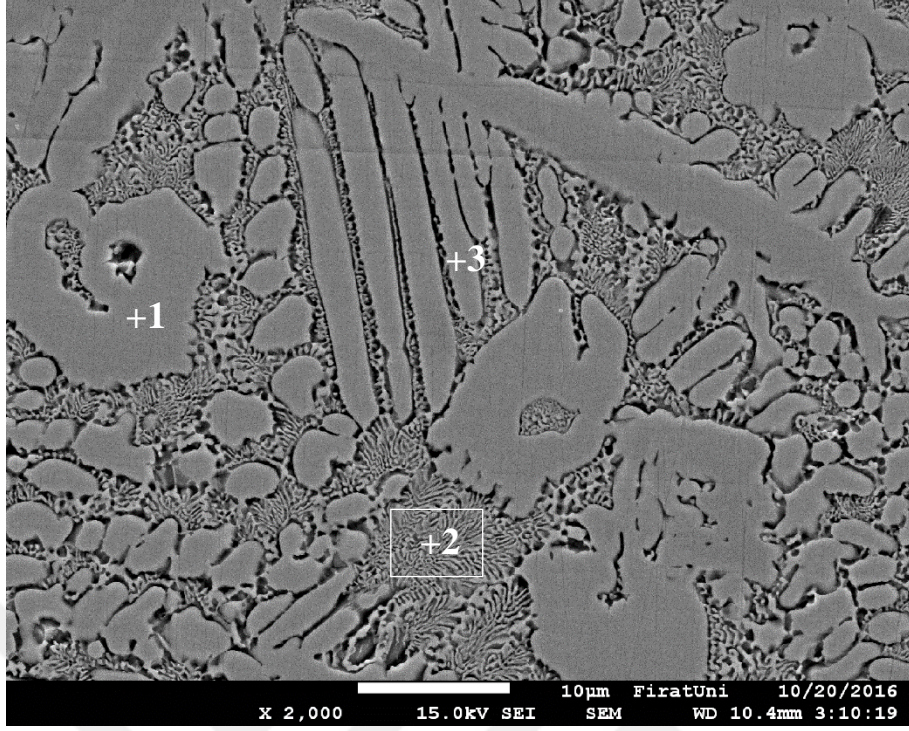
Şekil 6.56. N14 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

N14 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri ve EDS grafikleri sırasıyla Şekil 6.57. ve Şekil 6.58.' de verilmiştir. N14 numunesinden alınan EDS analiz sonuçlarına göre, 1 numaralı nokta (Şekil 6.57a.), (%ağ.) 30.20C-25Cr-39.67Fe-5.13W

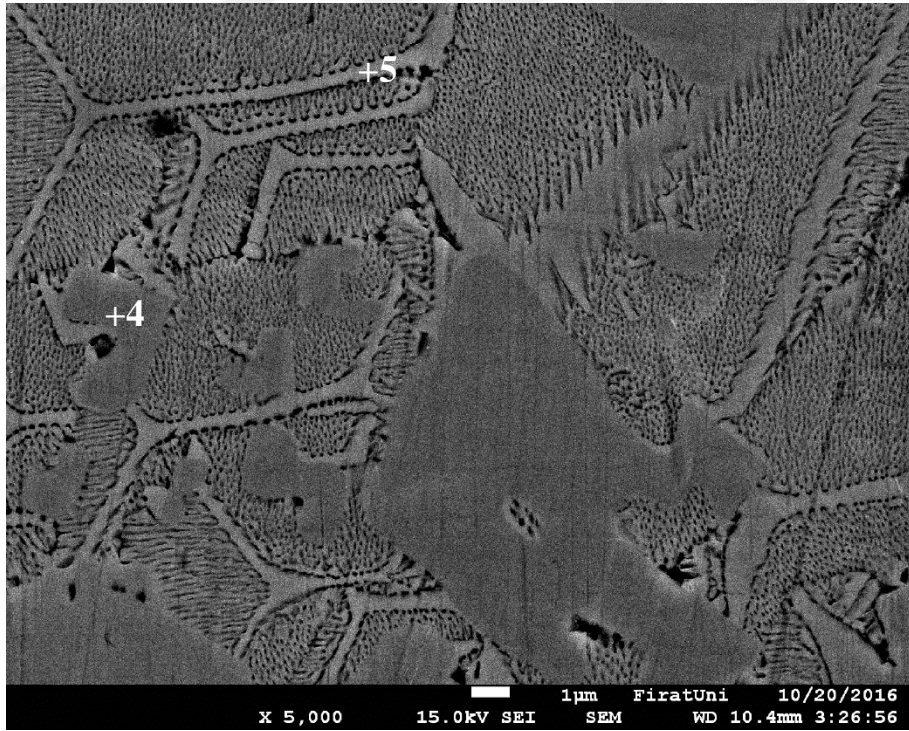
elementleri içermektedir. Cr/Fe oranına göre bu yapı,  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürüdür. 2 numaralı ötektik faz (Şekil 6.57a.) (%ağ.) 29.89C-12.25Cr-48.36Fe-9.49W elementlerinden oluşmaktadır. Şekil 6.57.' de ki 3 numaralı noktadan alınan EDS sonuçlarına göre ise, bu yapı (%ağ.) 31.40C-15.95Cr-46.26Fe-6.39W elementlerinden oluşan  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürüdür. 4 numaralı noktadaki yapı (Şekil 6.57b.), literatür çalışmalarında da belirtildiği gibi borürdür [46]. XRD analiz sonuçlarına ve bu yapıdan alınan EDS sonuçlarına göre, bu borürün (%ağ.) 31.16C-24.63Cr-44.22Fe elementlerinden oluşan (Cr, Fe)B borürü olduğu tespit edilmiştir. 5 numaralı noktadaki tane sınırında bulunan  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü ise, (%ağ.) 16.69C-13.09Cr-59.96Fe-10.25W elementlerinden oluşmaktadır.





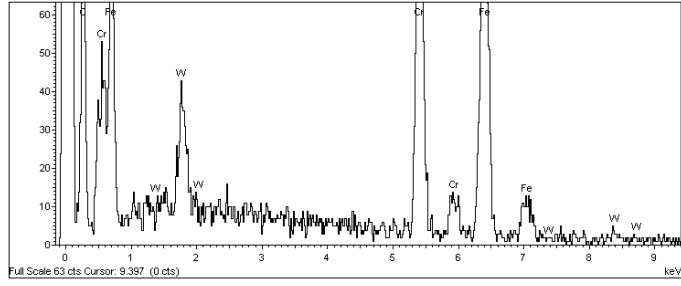


a)

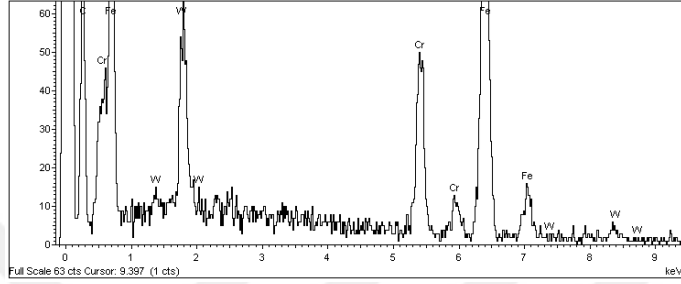


b)

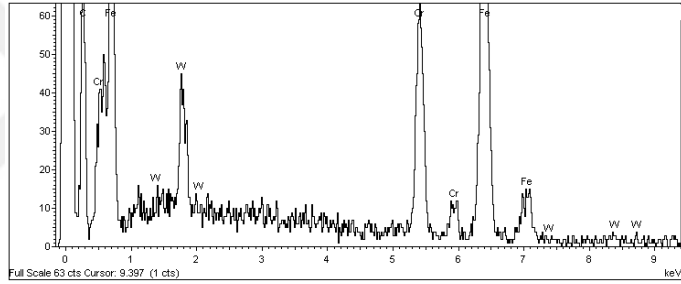
Şekil 6.57. N14 numunesinin SEM görüntüleri a) x2000 ve b) x5000



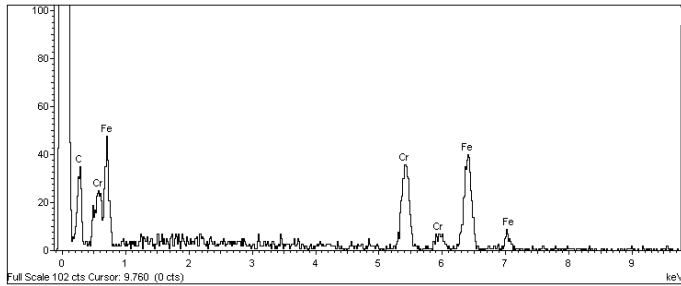
**a) 1. nokta**



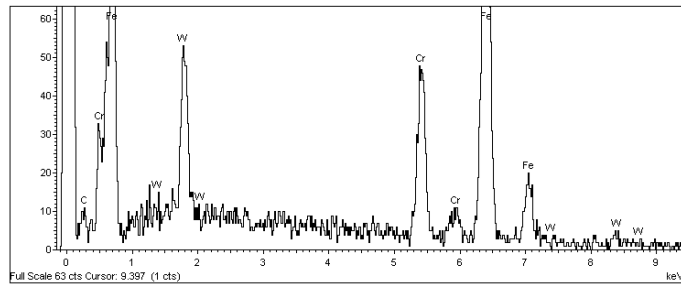
**b) 2. bölge**



**c) 3. nokta**



**d) 4. nokta**

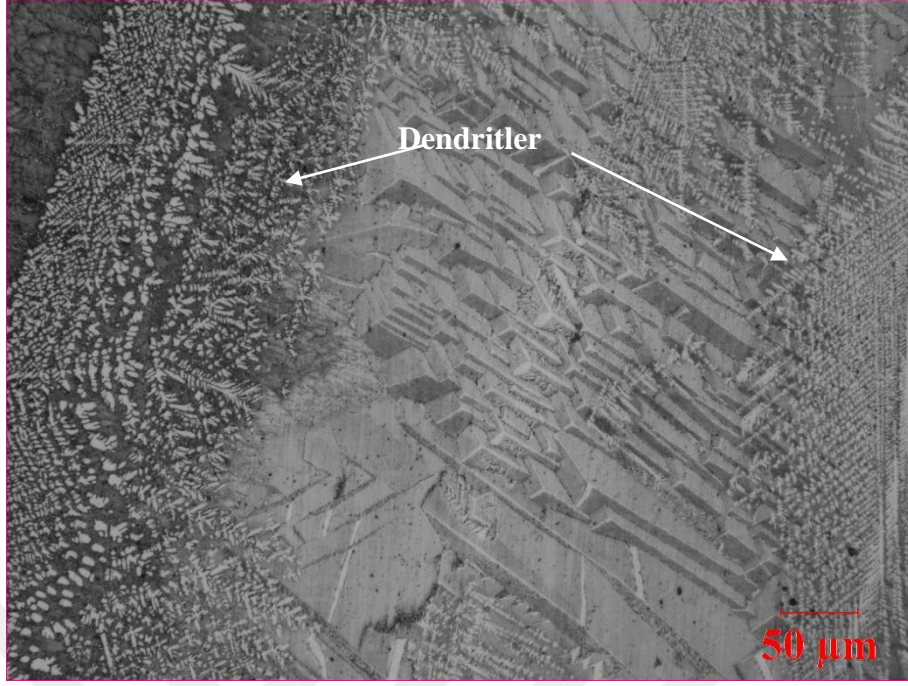


**e) 5. nokta**

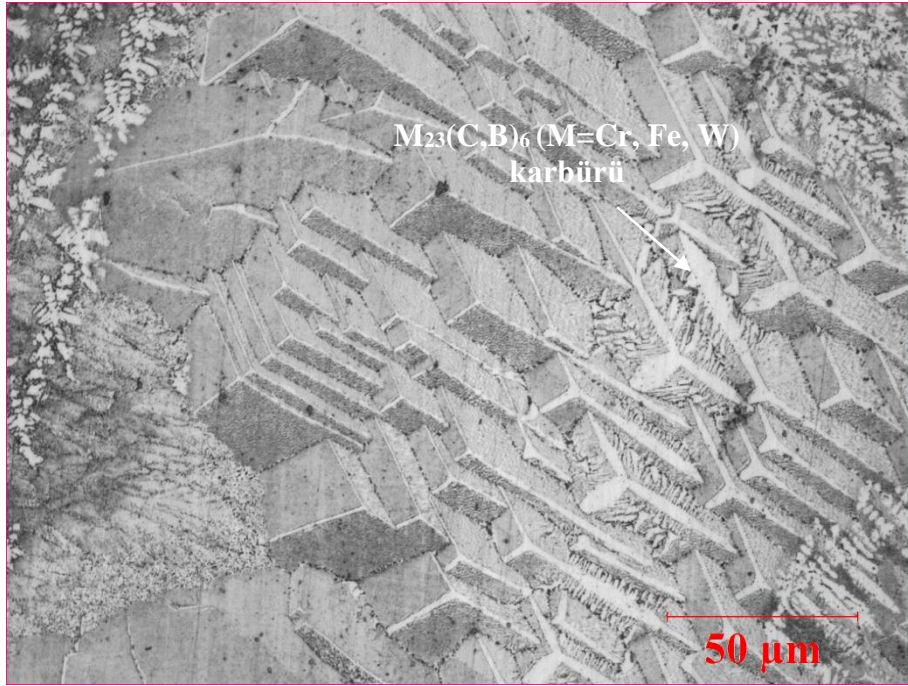
**Şekil 6.58.** N14 numunesinin EDS grafikleri

Şekil 6.59.' da verilen N15 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntülerinden görüldüğü gibi, yüzey alaşımlama tabakasının üst ve alt bölgelerinin soğuma hızının daha yüksek olmasından dolayı, dendrit şekilli karbürler ve dendritler arası ötektik yapılardan oluşmaktadır. Orta kısım ise, daha önceki numunelerde de görülen, prizmatik şekilli ötektik yapılardan ve bu yapıların tane sınırlarında oluşan,  $M_{23}(C,B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürlerinden oluşmuştur.





a)



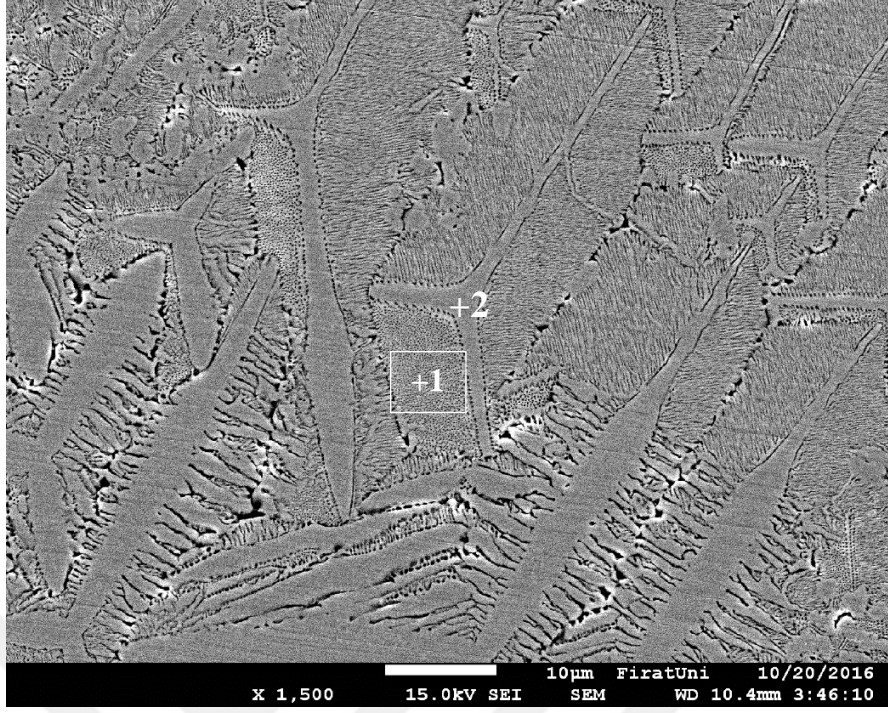
b)

Şekil 6.59. N15 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

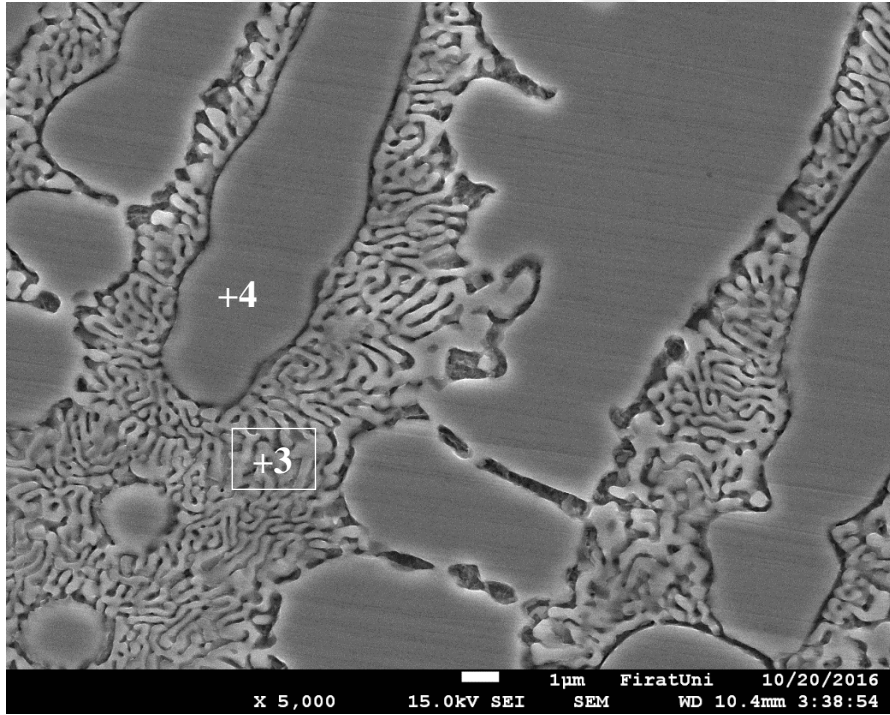
Şekil 6.60.' da N15 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri, Şekil 6.61.' de ise EDS grafikleri verilmiştir. 1 ile gösterilen ötektik bölge (Şekil 6.60a), kimyasal kompozisyon olarak (%ağ.) 17.48C-13.96Cr-60.19Fe-8.38W elementleri

içermektedir. 2 numaralı noktadaki  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü ise, (%ağ.) 18.31C-12.30Cr-62.21Fe-7.18W elementlerinden meydana gelmiştir. Şekil 6.60b.' de ki 3 ve 4 numaralı noktalardan alınan EDS sonuçlarına göre ötektik yapı (3. bölge) (%ağ.) 17.16C-13.51Cr-61.43Fe-7.9W elementlerinden, dendritik yapı ise (4. nokta) (%ağ.) 23.55C-15.74Cr-55.46Fe-5.25W elementlerinden oluşmaktadır.



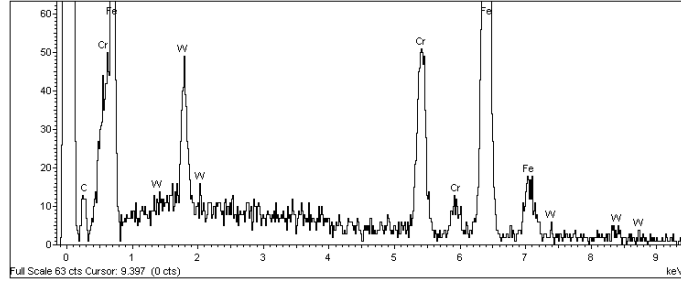


a)

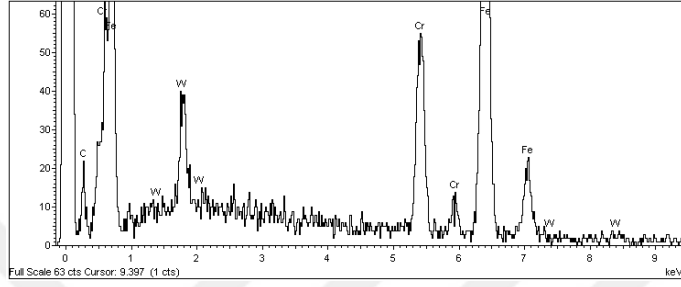


b)

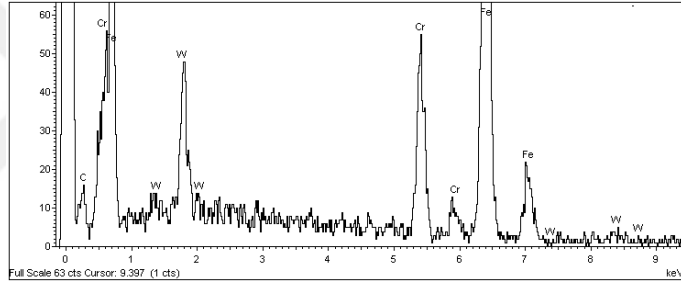
Şekil 6.60. N15 numunesinin SEM görüntüleri a) x1500 ve b) x5000



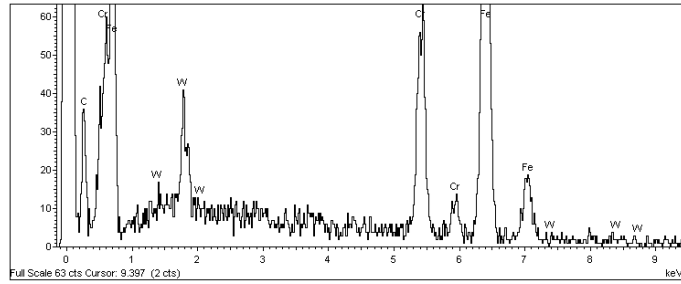
a) 1. bölge



b) 2. nokta



c) 3. bölge

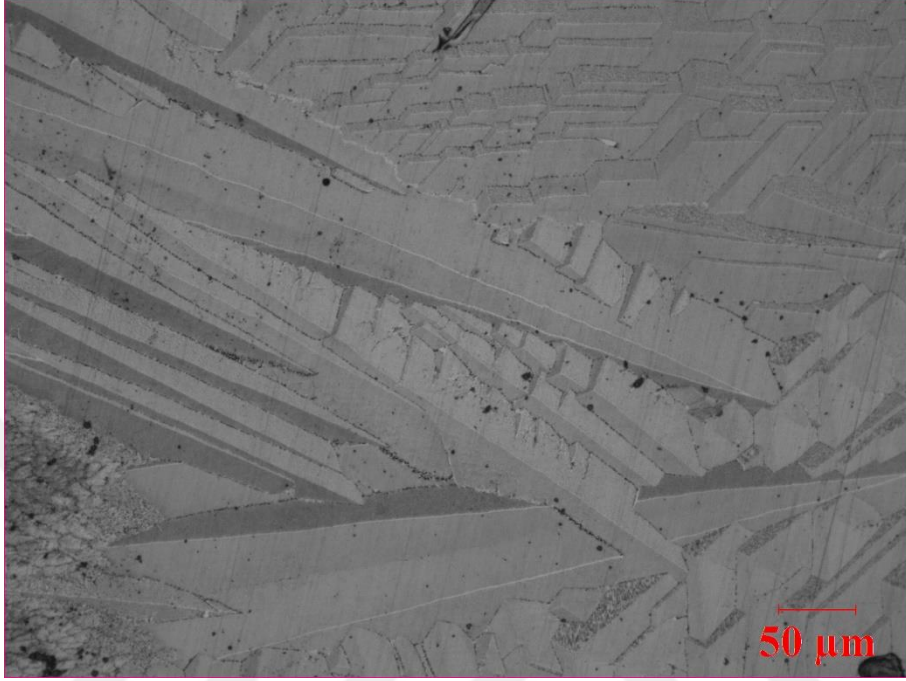


d) 4. nokta

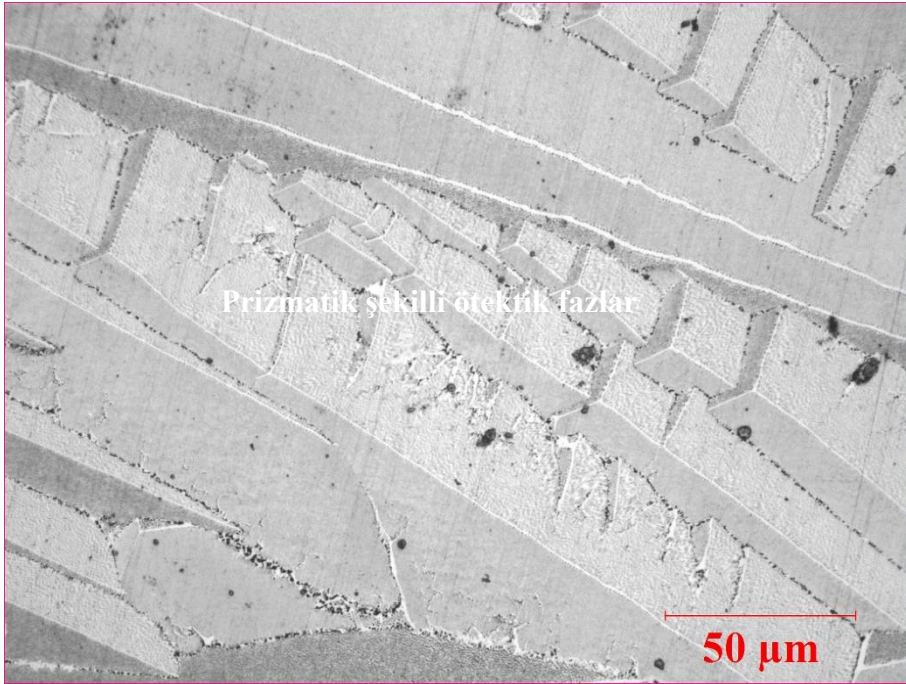
Şekil 6.61. N15 numunesinin EDS grafikleri

N16 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntülerinden (Şekil 6.62.) görüldüğü gibi, mikroyapı farklı büyüklüklerdeki prizmatik şekilli ötektik yapılardan meydana gelmiştir. Bu yapıların tane sınırlarında, N15 numunesinde olduğu gibi  $M_{23}(C, B)_6$  ( $M=Cr, Fe, W$ ) karbürleri mevcuttur. Bu numunede prizmatik yapılar N15 numunesine göre daha uzundur. Bunun katılaşma süresinin bir miktar daha uzamasından

kaynaklandığı düşünölmektedir. Yine bu karbürler daha önce literatür çalışmalarında belirtildiği gibi, ısı transferine paralel yönde uzamıştır.



a)



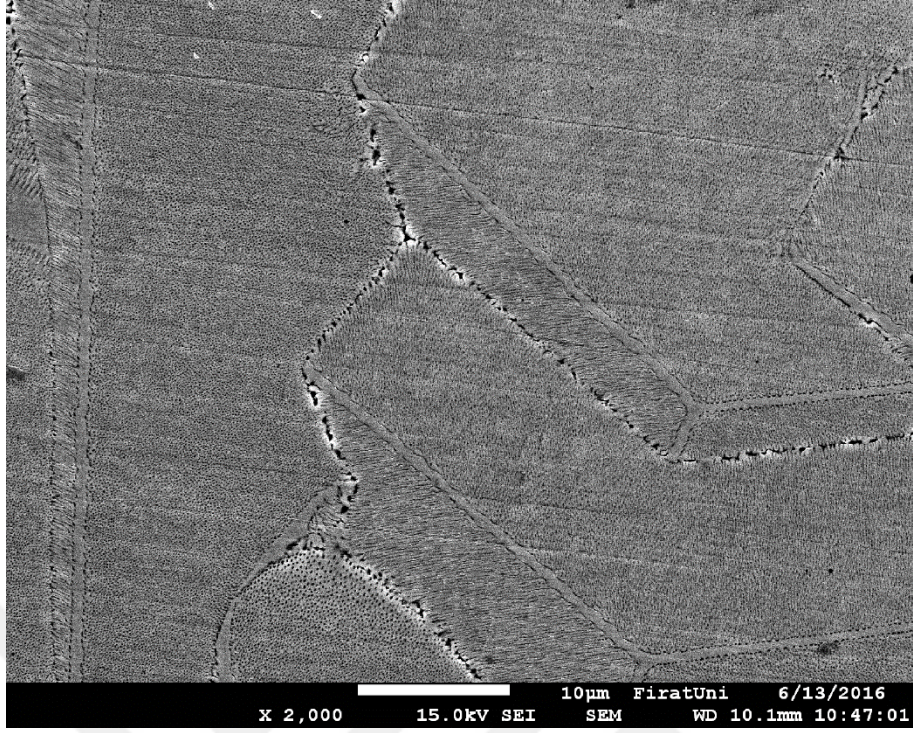
b)

Şekil 6.62. N16 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

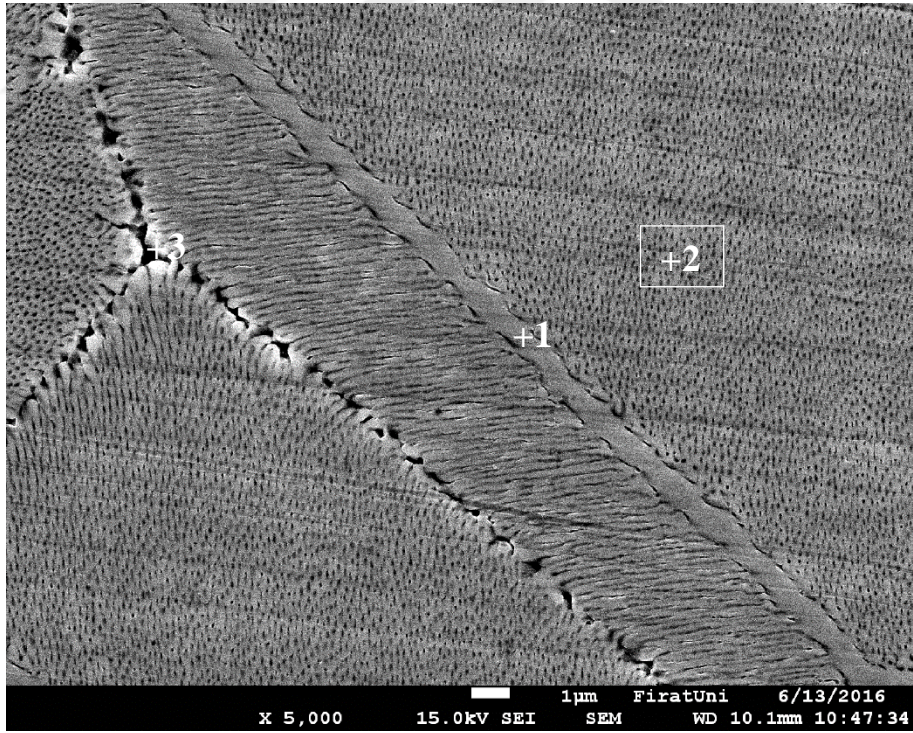


Şekil 6.63. ve Şekil 6.64.' de, sırasıyla N16 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri ve EDS grafikleri verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre 1 Numaralı noktadaki (Şekil 6.62b.)  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü, (%ağ.) 26.98C-13.13Cr-53.40Fe-6.48W elementlerinden oluşmaktadır. 2 numaralı bölgeden alınan EDS sonuçlarına göre ise (Şekil 6.63b.); ötektik yapının (%ağ.) 20.54C-14.50Cr-58.61Fe-6.36W elementlerinden oluştuğu tespit edilmiştir. 3 numaralı noktanın (Şekil 6.63b.) kimyasal kompozisyonu ise, (%ağ.) 25.59C-12.19Cr-58.26Fe-3.96W dır.



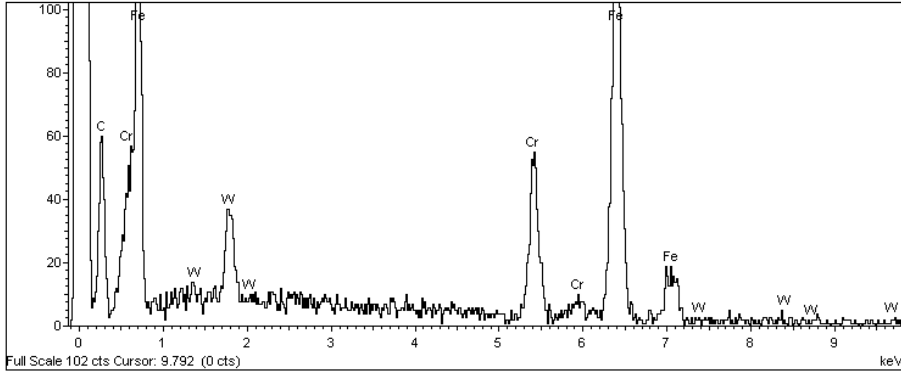


a)

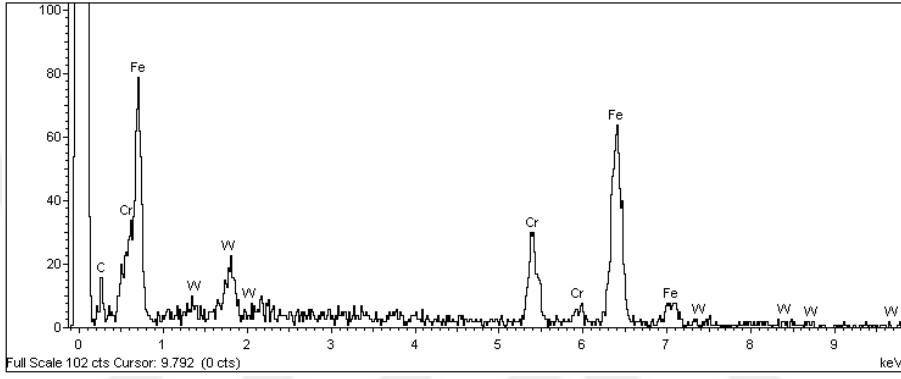


b)

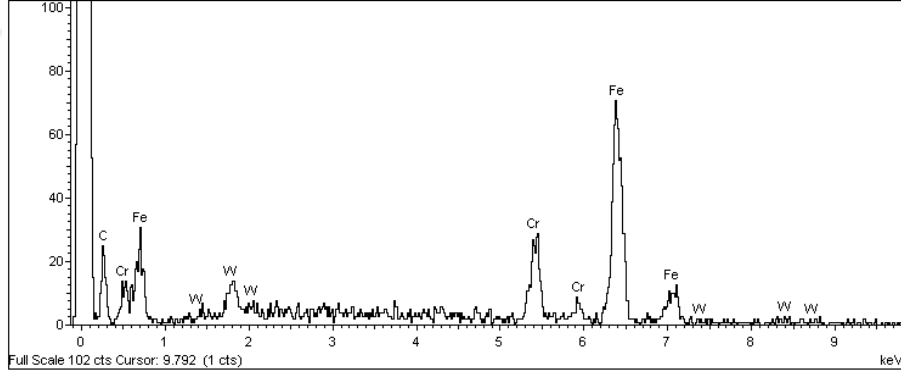
Şekil 6.63. N16 numunesinin SEM görüntüleri a) x2000 ve b) x5000



**a) 1. nokta**



**b) 2. bölge**

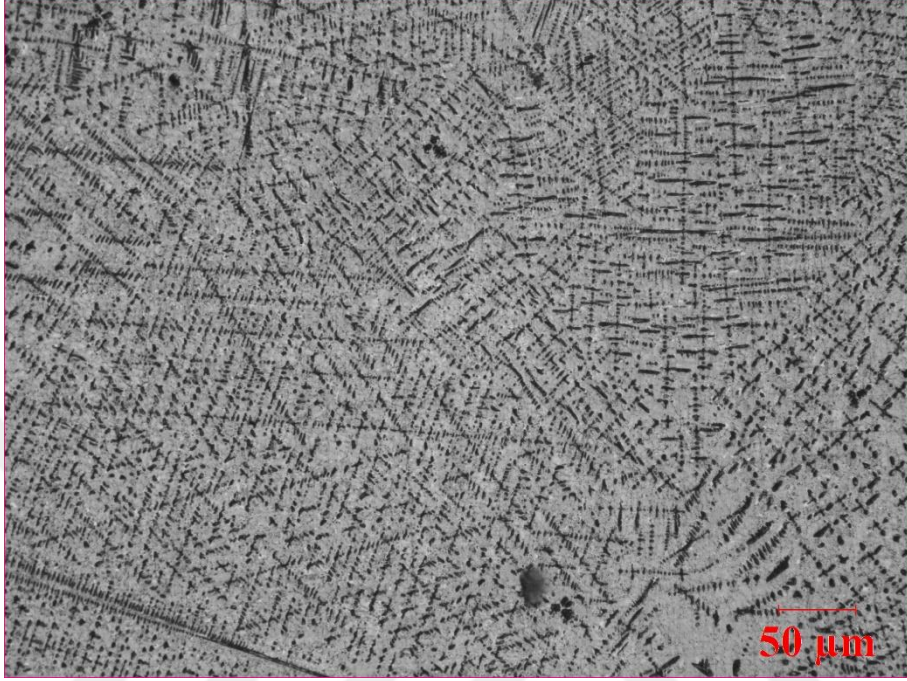


**c) 3. nokta**

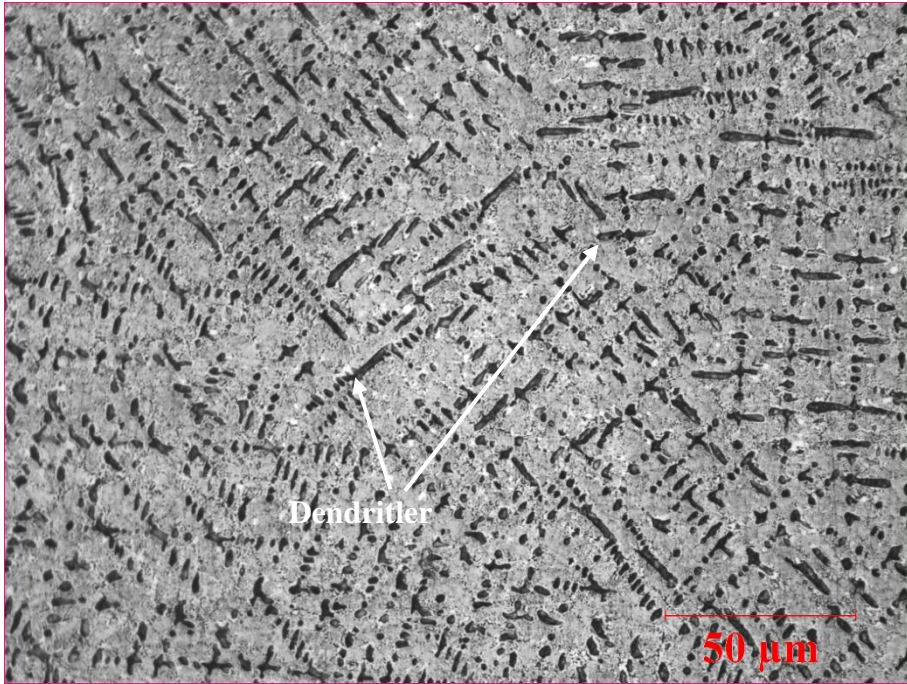
**Şekil 6.64.** N16 numunesinin EDS grafikleri

Şekil 6.65. ve Şekil 6.66.' de, sırasıyla N17 ve N18 numunelerine ait yüzey alaşımlama tabakalarının OM görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerden görüldüğü gibi, her iki numunede dendritik bir katılaşma göstermiştir. Dendritler arasında ise dendritler arası ötektik yapılar mevcuttur. Dendritler (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB toz karışımıyla aynı ısı girdilerinde yüzeyi alaşımlanan N11 ve N12 numunelerine benzer şekilde ince tanelidir.

Isı girdisinin artmasıyla katılaşma zamanının yükselmesinden dolayı, N18 numunesindeki dendritler N17 numunesine oranla daha geniş ve yoğundur.

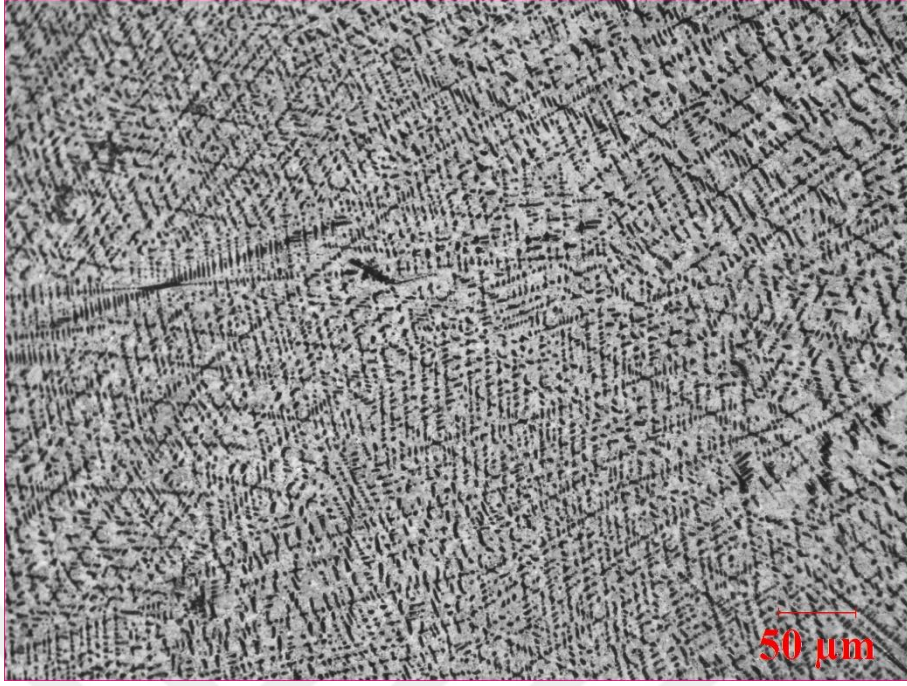


a)

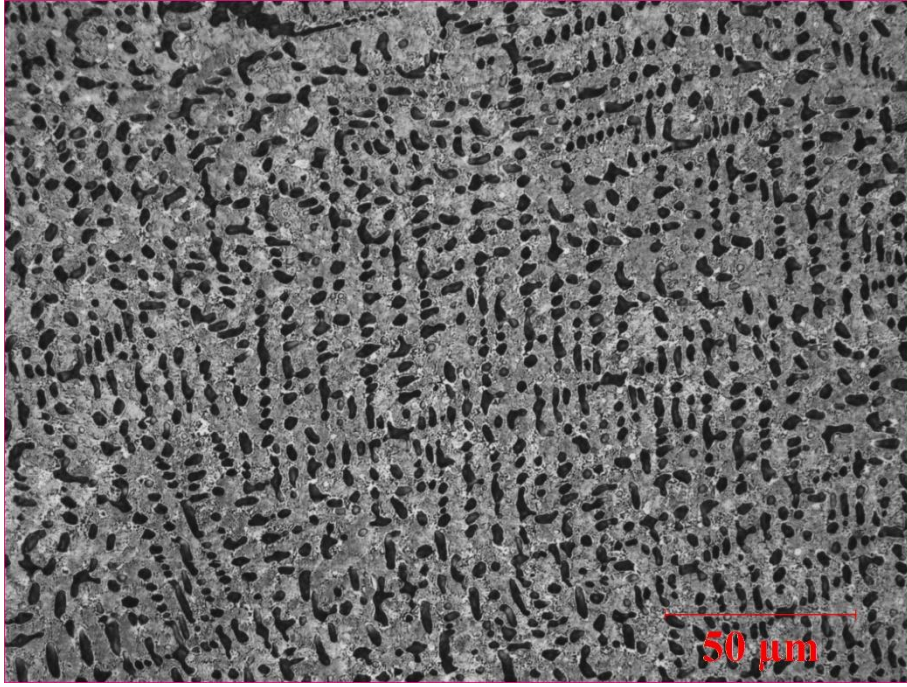


b)

Şekil 6.65. N17 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500



a)

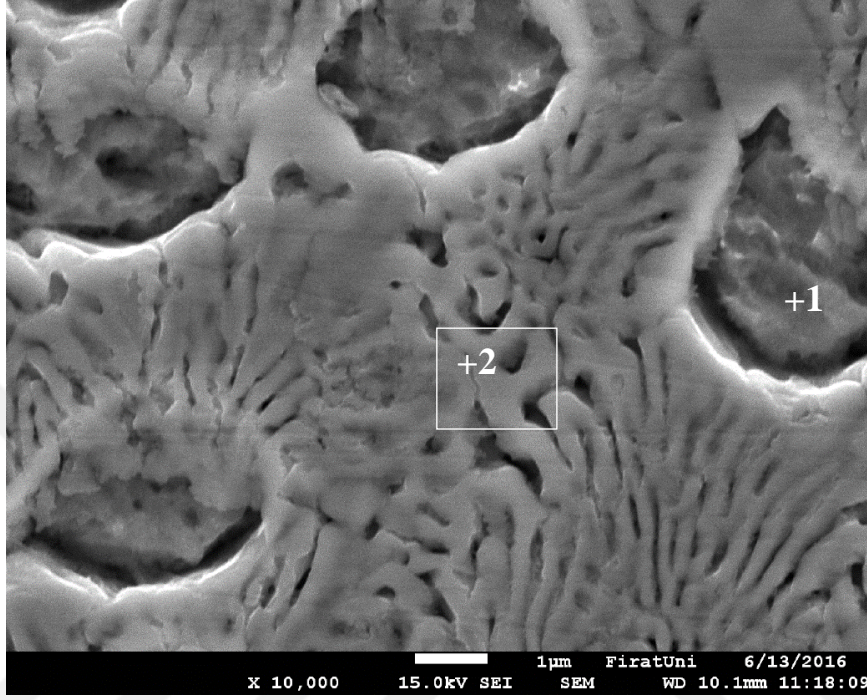


b)

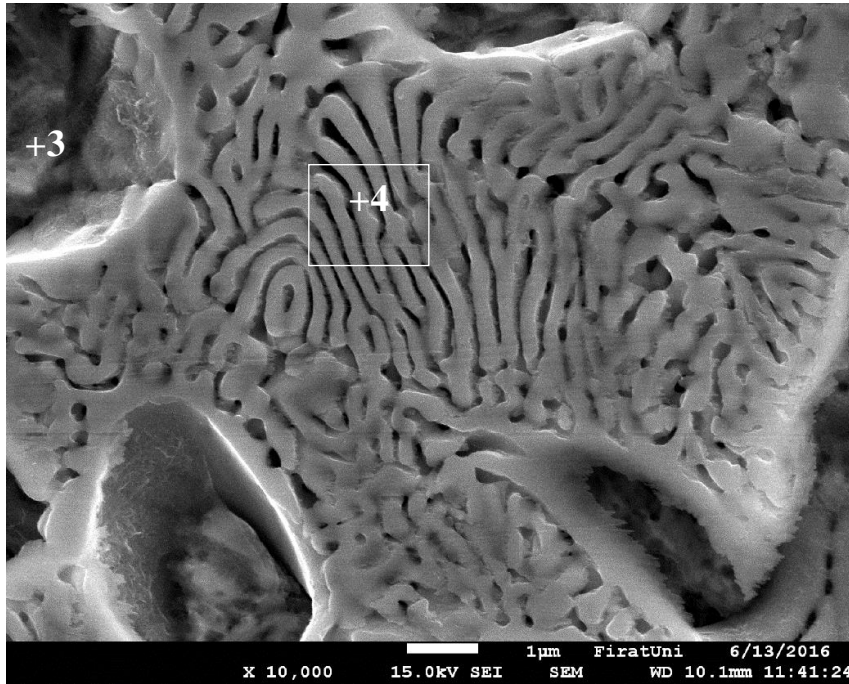
Şekil 6.66. N18 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

Şekil 6.67.' de N17 ve N18 numunelerine ait SEM görüntüleri, Şekil 6.68.' de ise EDS analizleri verilmiştir. 1 ve 3 numaralı noktalardan alınan EDS analizlerine göre matris fazları, sırasıyla (%ağ.) 19.00C-6.41Cr-71.74Fe-2.86W, (%ağ.) 16.23C-6.40Cr-73.88Fe-

3.49W elementleri içermektedir. 2 ve 4 numaralı ötektik bölgeler ise, kimyasal kompozisyon olarak sırasıyla (%ağ.) 14.16-15.12Cr-63.43Fe-7.29W, (%ağ.) 16.65C-13.02Cr-64.41Fe-5.92W elementlerinden oluşmaktadır.

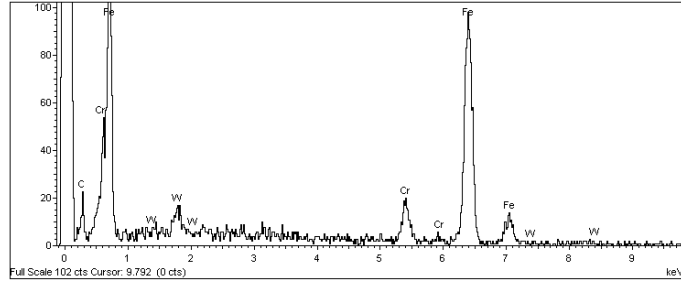


a)

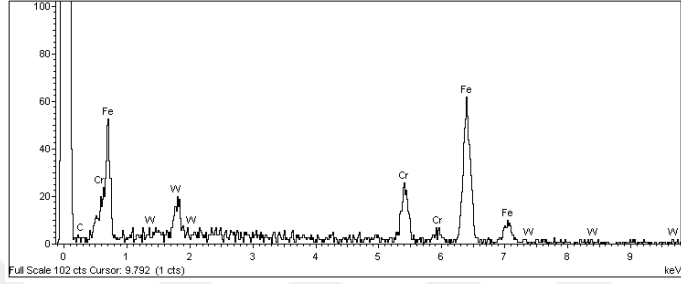


b)

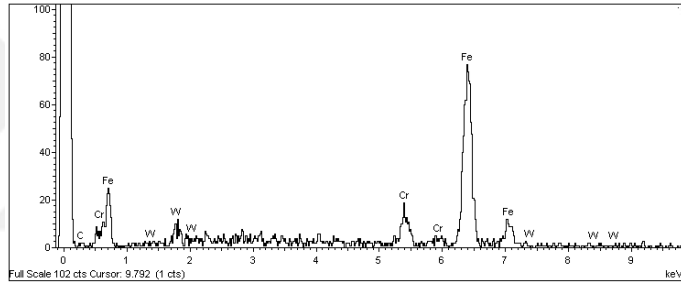
Şekil 6.67. N17 ve N18 numunelerinin SEM görüntüleri a) N17 x10000 ve b) N18 x10000



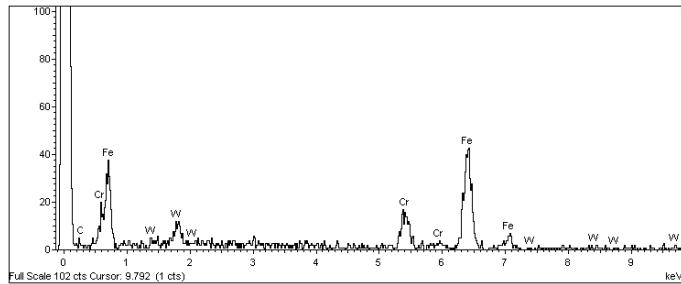
a) 1. nokta



b) 2. bölge



c) 3. nokta



d) 4. bölge

Şekil 6.68. N17 ve N18 numunelerinin EDS grafikleri

#### 6.1.4. (%ağ.) 70FeCrC-30FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzeysel Alaşımlamaların Mikroyapısı

Tablo 6.7' de, (% ağ.) 70FeCrC-30FeB toz karışımı ile farklı ilerleme ve akım değerlerinde yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının genel

özellikleri verilmiştir. Isı girdisi arttıkça yüzey alaşımlama derinliği ve ara yüzey yüksekliği artmıştır. Dendritler, ısı girdisinin artmasıyla genişlemiş ve büyümüştür.

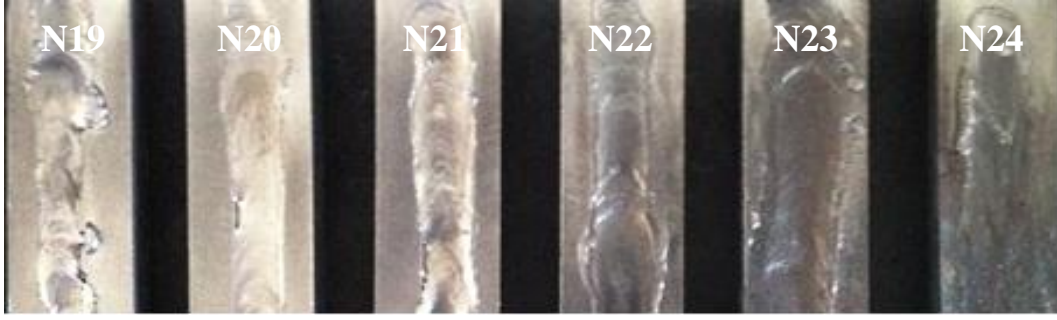
**Tablo 6.7.** (% ağı.) 70FeCrC-30FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların genel özellikleri

Numune	V	A	Q	h	h <sub>a</sub>	F	Cr/Fe	Y	A <sub>ort.</sub>	G <sub>ort.</sub>
N19	0.15 m/dk	120 A	0.475 kJ/mm	1410 µm	1.875 µm	M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	0.98	62	445.5 µm <sup>2</sup>	2.7 µm
N20	0.15 m/dk	140 A	0.585 kJ/mm	1470 µm	7.295 µm	Dendrit	0.13	31.5	75.2 µm <sup>2</sup>	6.2 µm
						Ötektik	0.27			
N21	0.15 m/dk	160 A	0.704 kJ/mm	1560 µm	9.975 µm	Dendrit	0.10	42	364.2 µm <sup>2</sup>	9 µm
						Ötektik	0.16			
N22	0.1 m/dk	120 A	0.713 kJ/mm	2170 µm	17.8 µm	Dendrit	0.08	45.6	486.6 µm <sup>2</sup>	16.8 µm
						Ötektik	0.15			
N23	0.1 m/dk	140 A	0.878 kJ/mm	3490 µm	38.31 µm	Dendrit	0.07	54.5	2561.7 µm <sup>2</sup>	31.1 µm
						Ötektik	0.14			
N24	0.1 m/dk	160 A	1.056 kJ/mm	4610 µm	42.33 µm	Dendrit	0.05	70.2	2621.3 µm <sup>2</sup>	34.2 µm
						Ötektik	0.13			

Tabloda **V**: ilerleme hızı (m/dk); **A**: Akım (A); **Q**: Isı girdisi (kJ/mm); **h**: Yüzey alaşımlamanın en derin noktasından alınan yaklaşık yüzey alaşımlama derinliği (µm); **h<sub>a</sub>**: Beş farklı noktadan alınan ortalama ara yüzey yüksekliği (µm); **F**: Yapıda yoğun bulunan faz; **Cr/Fe**: Yapıda yoğun bulunan fazın Cr/Fe oranı (Üç farklı noktadan alınan sonuçların ortalama değeri); **Y**: Yapıda bulunan karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin yüzdesi; **A<sub>ort.</sub>**: Karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin ortalama yüzey alanı (µm<sup>2</sup>); **G<sub>ort.</sub>**: Karbürlerin, karbürlerin ve borürlerin veya dendritlerin ortalama genişliği (µm).

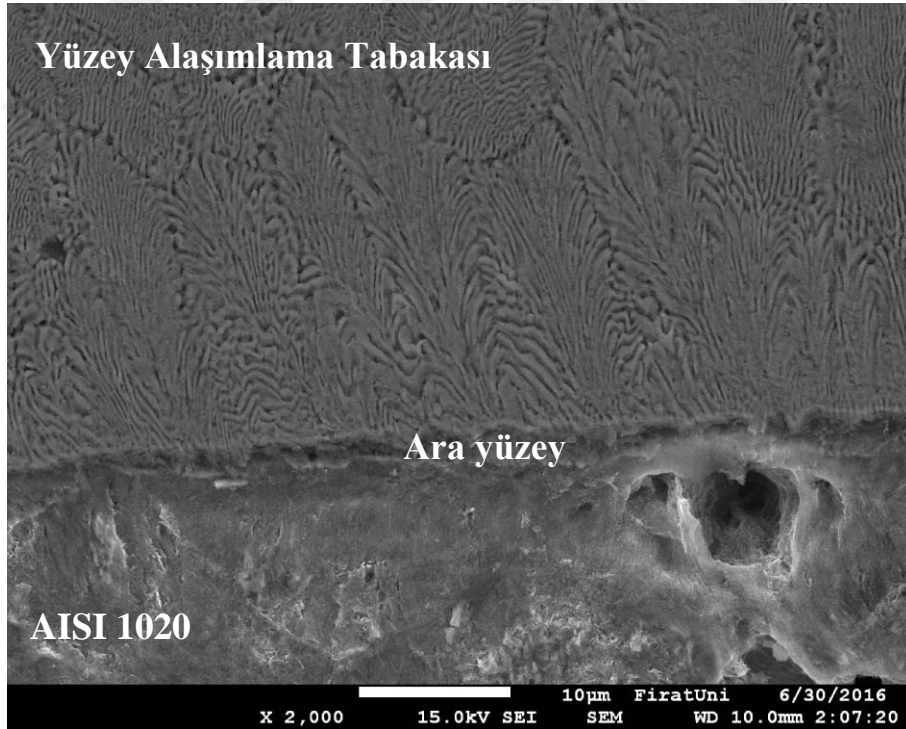
Şekil 6.69.' da N19-N24 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları verilmiştir. Düşük ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N19 numunesinde, altlık malzemede sınırlı ergimeyle birlikte yüzeyin modifiye edildiği görülmektedir. Diğer numunelerde ise alaşım tozları altlık malzeme ile birlikte ergiyerek yüzey modifiye edilmiştir. Alaşımlanmış yüzeylerde herhangi bir çatlığa ve poroziteye rastlanmamıştır. Diğer numunelere oranla, yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N23-N24) yüzeylerinde oksitleşme daha fazla olmuştur.





Şekil 6.69. N19-N24 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları

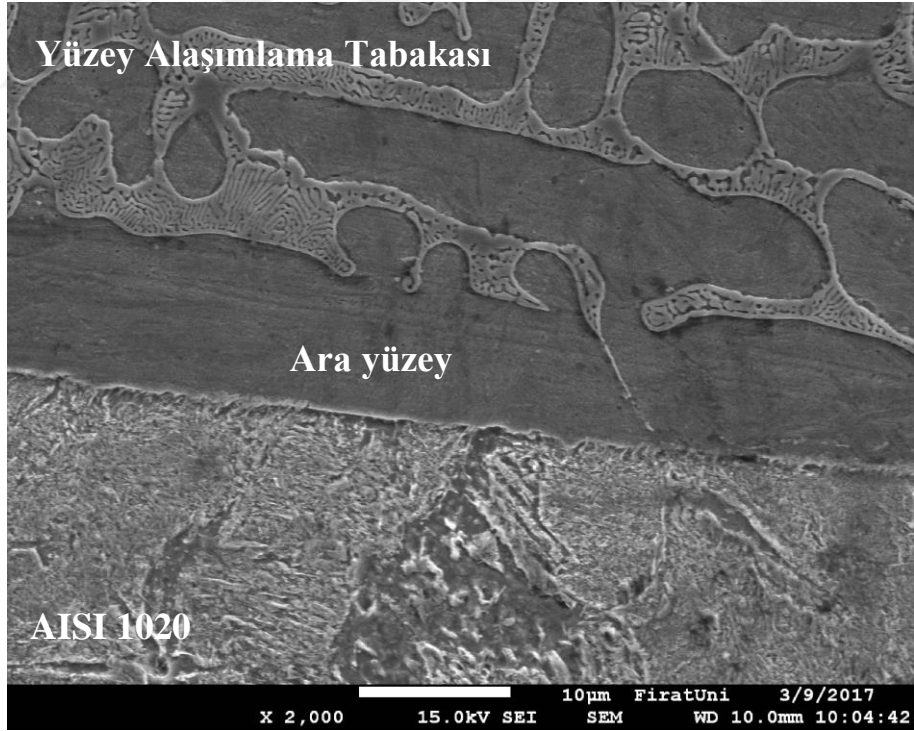
(% ağırlık) 70FeCrC-30FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N19-N24) ara yüzey SEM görüntüleri Şekil 6.70.-6.75.' de verilmiştir. SEM görüntülerinden görüldüğü gibi, tüm numunelerde AISI 1020 ile alaşım bölgesi arasında çatlak, porozite ve boşluk oluşmamıştır. N19 numunesinin alaşımlama ara yüzeyinin hemen üzerindeki bölge ötektik yapılardan oluşmuştur (Şekil 6.70.). Diğer numunelerin ara yüzeylerinin hemen üzerindeki bölgeler ise, dendritler ve dendritler arası ötektik yapılardan oluşmuştur.



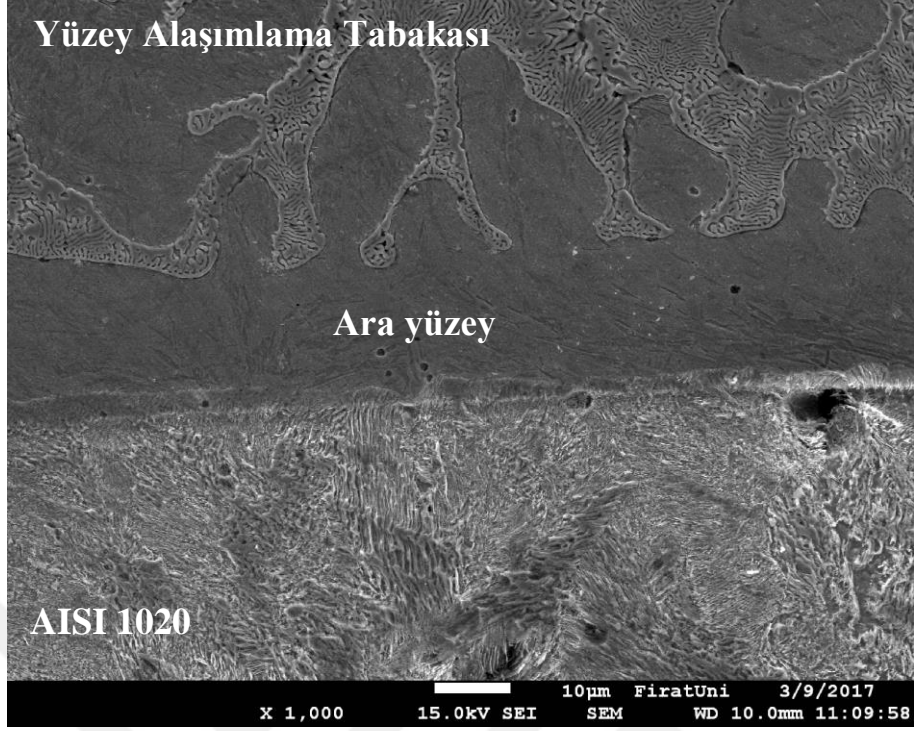
Şekil 6.70. N19 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



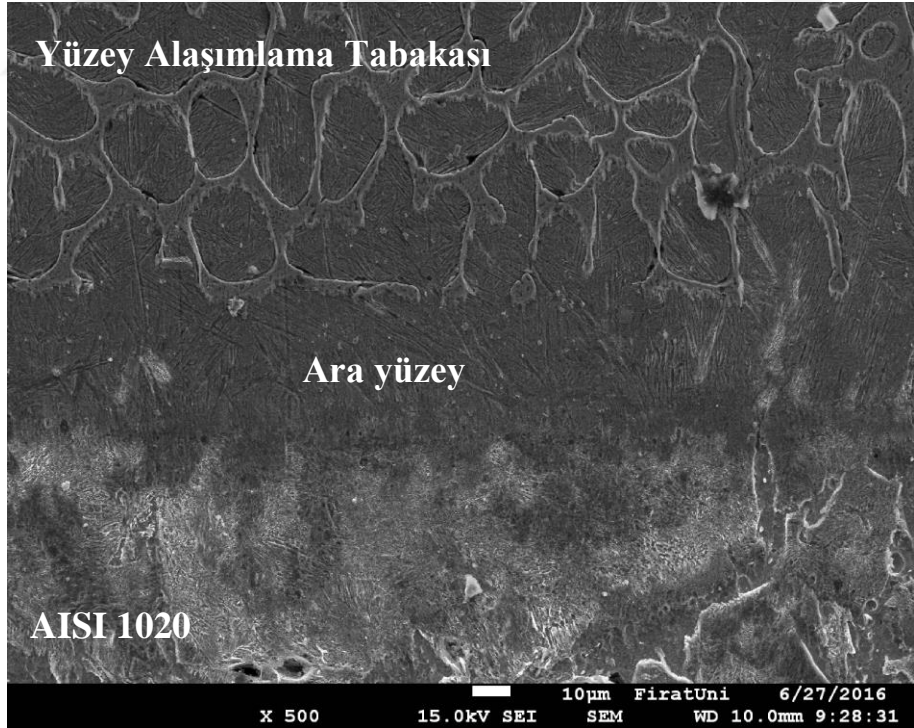
Şekil 6.71. N20 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



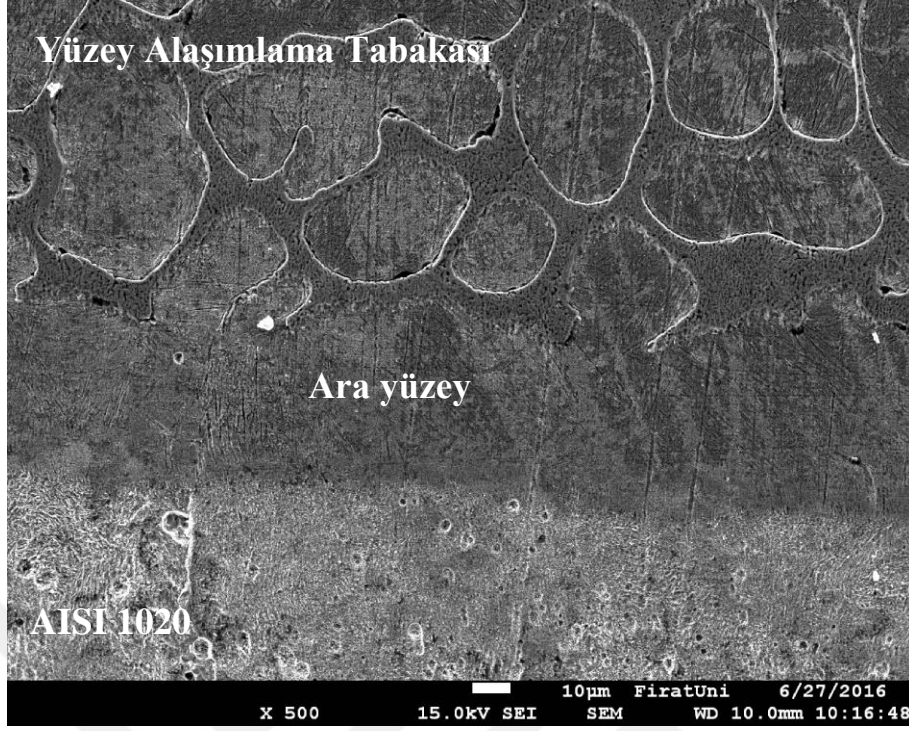
Şekil 6.72. N21 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



Şekil 6.73. N22 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x1000)



Şekil 6.74. N23 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x500)



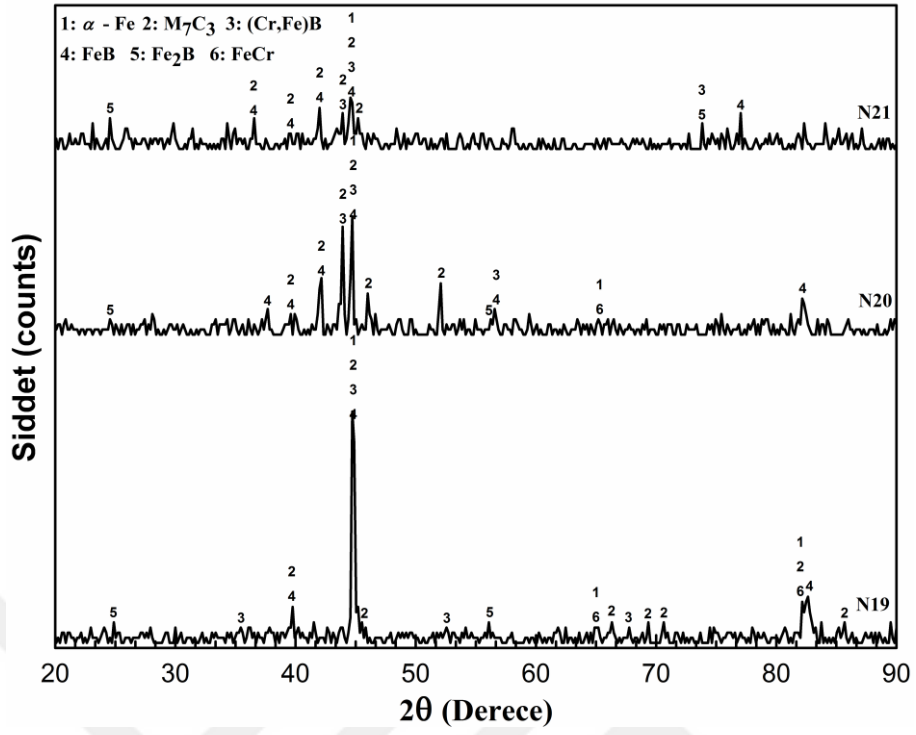
Şekil 6.75. N24 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x500)

N19-N24 numunelerinin alaşımlanmış bölgelerinden bölgesel olarak alınan EDS sonuçlarına göre Cr/Fe oranları Tablo 6.8’ de verilmiştir. Sonuçlar, ısı girdisinin artmasıyla Cr/Fe oranının düştüğünü göstermektedir.

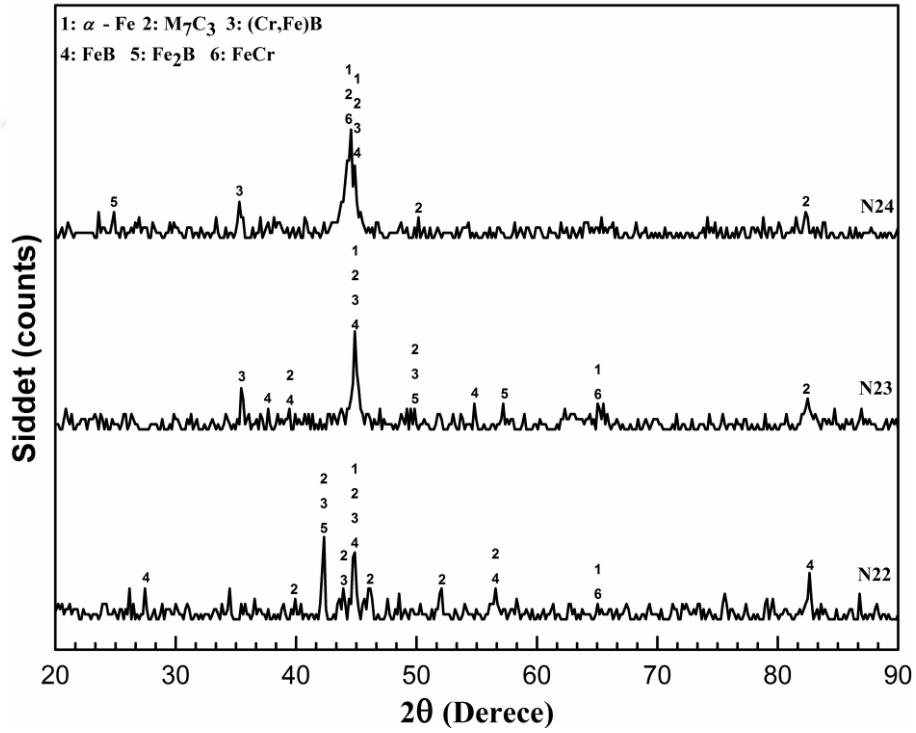
**Tablo 6.8.** N19-N24 numunelerinin Cr/Fe oranları

Numune	Cr/Fe
N19	0.46
N20	0.35
N21	0.22
N22	0.12
N23	0.10
N24	0.07

Şekil 6.76.’ da N19-N24 numunelerinin XRD analiz sonuçları verilmiştir. XRD analiz sonuçlarına göre bu numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakaları, genelde  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe) karbürü, (Cr, Fe)B, FeB,  $Fe_2B$  borürü ile bir miktarda  $\alpha$ -Fe ve FeCr’ den oluşmaktadır. Benzer yapılar, literatürde Fe-Cr-B-C elementleriyle gerçekleştirilen yüzey alaşımlamalarda da görülmüştür [24, 126].



a)

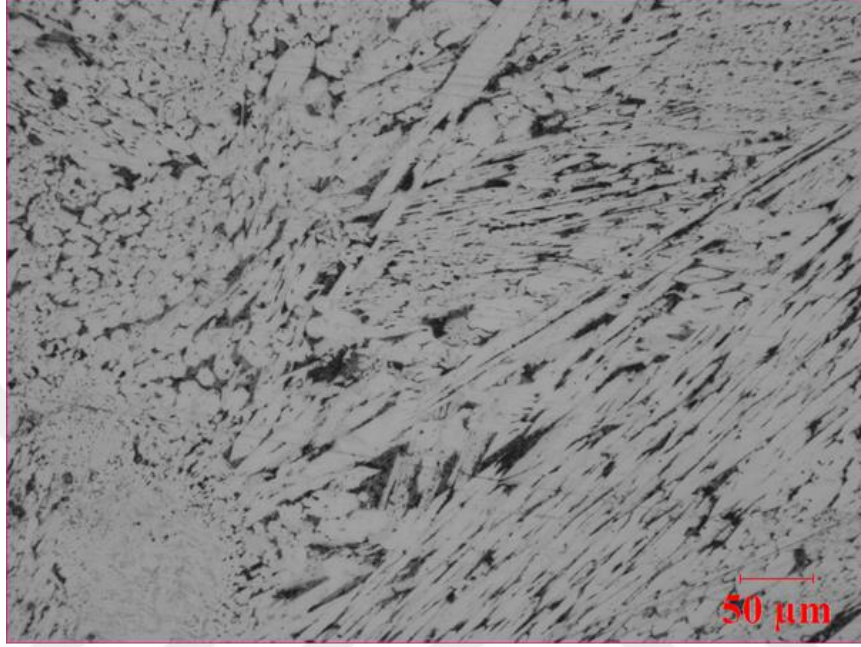


b)

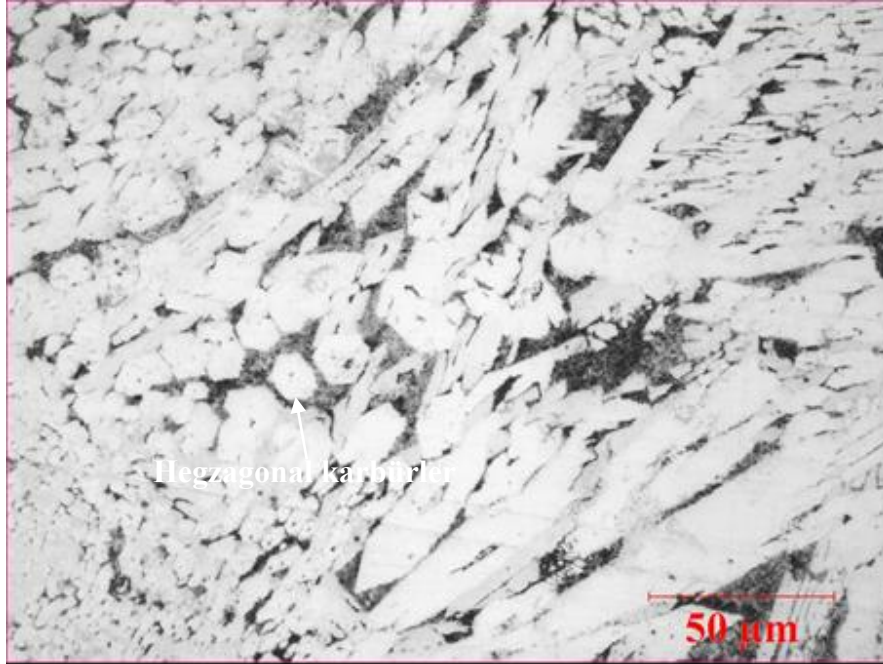
Şekil 6.76. XRD analiz sonuçları a) (N19-N21) ve b) (N22-N24)

N19 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntüleri Şekil 6.77.' de verilmiştir. Görüldüğü gibi yüzey alaşımlama tabakasında borürler ve karbürler, ısı

girdisinin düşük olmasından dolayı katılaşma zamanı kısa olduğundan koloni halinde katılaşmıştır. Altlık malzemedeki ergimenin düşük olmasından dolayı, matris fazı borür ve karbürler arasında dar bölgelerde oluşmuştur.



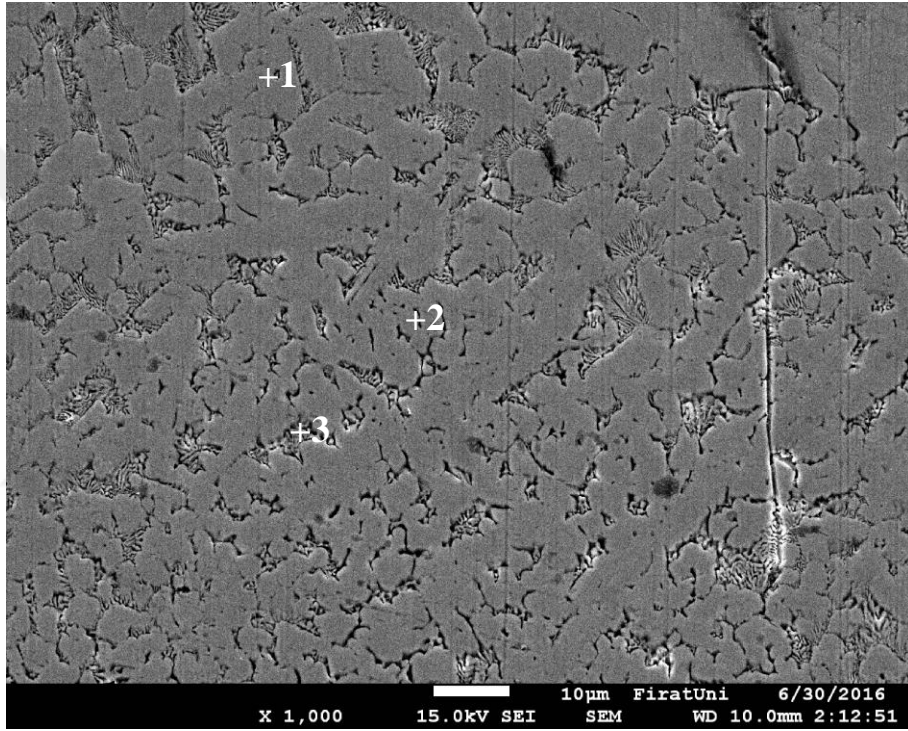
a)



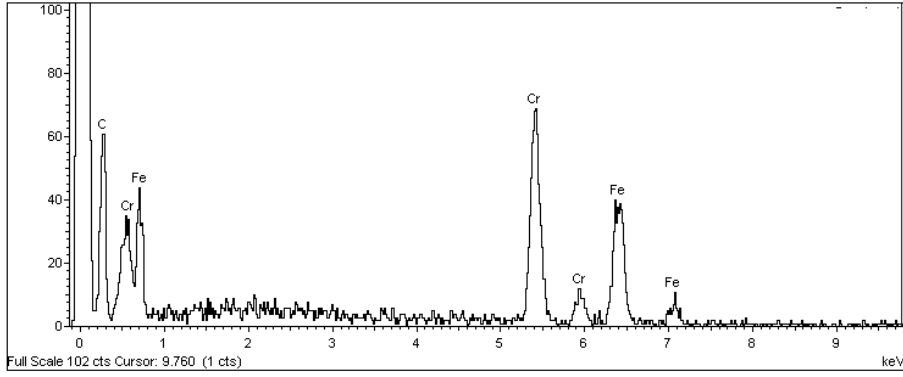
b)

Şekil 6.77. N19 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

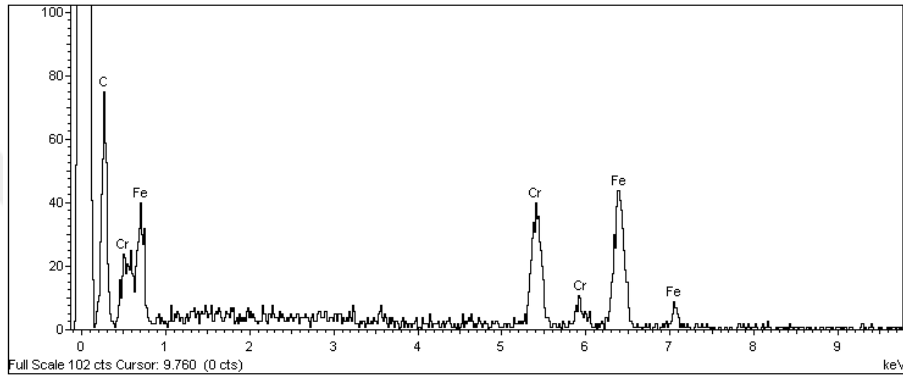
N19 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüsü ve EDS grafikleri sırasıyla Şekil 6.78. ve Şekil 6.79.' da verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre 1 numaralı nokta, (%ağ.) 32.82Fe-31.23Cr-35.95C elementlerinden oluşmaktadır. Cr/Fe oranına göre bu yapı hegzagonal  $M_7C_3$  (M=Fe, Cr) karbürüdür. 2 numaralı noktadaki yapının ise, (%ağ.) 38.43Fe-20.82Cr-40.75C elementlerinden oluşan (Cr, Fe)B borürü olduğu düşünülmektedir. 3 numaralı noktadaki ötektik faz ise, (%ağ.) 45.69Fe-13.15Cr-41.16C elementlerinden meydana gelmiştir.



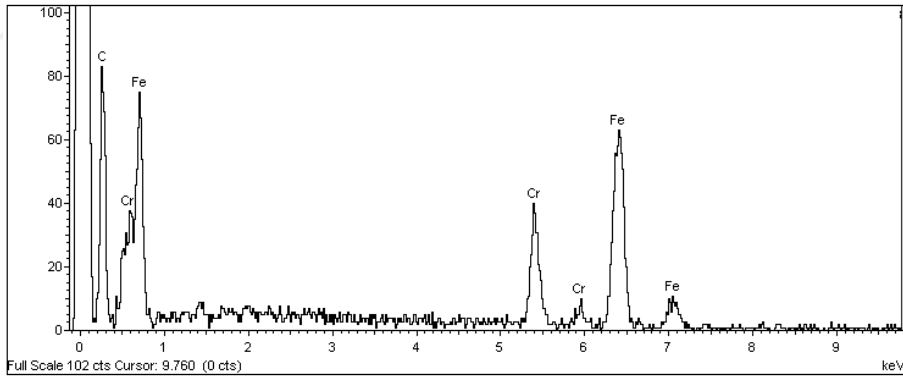
Şekil 6.78. N19 numunesinin SEM görüntüsü x1000



a) 1. nokta



b) 2. nokta



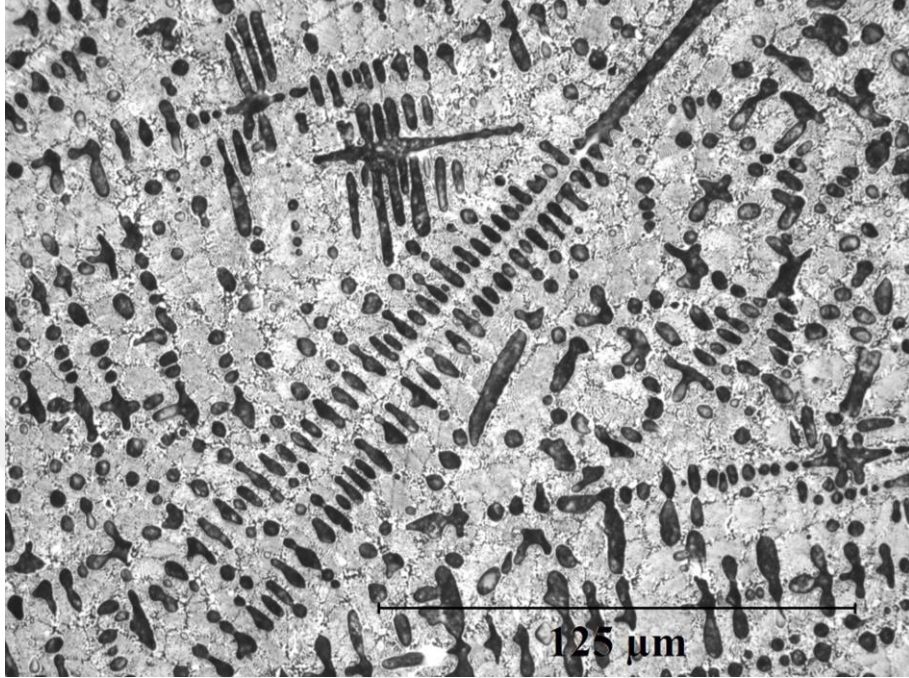
c) 3. nokta

Şekil 6.79. N19 numunesinin EDS grafikleri

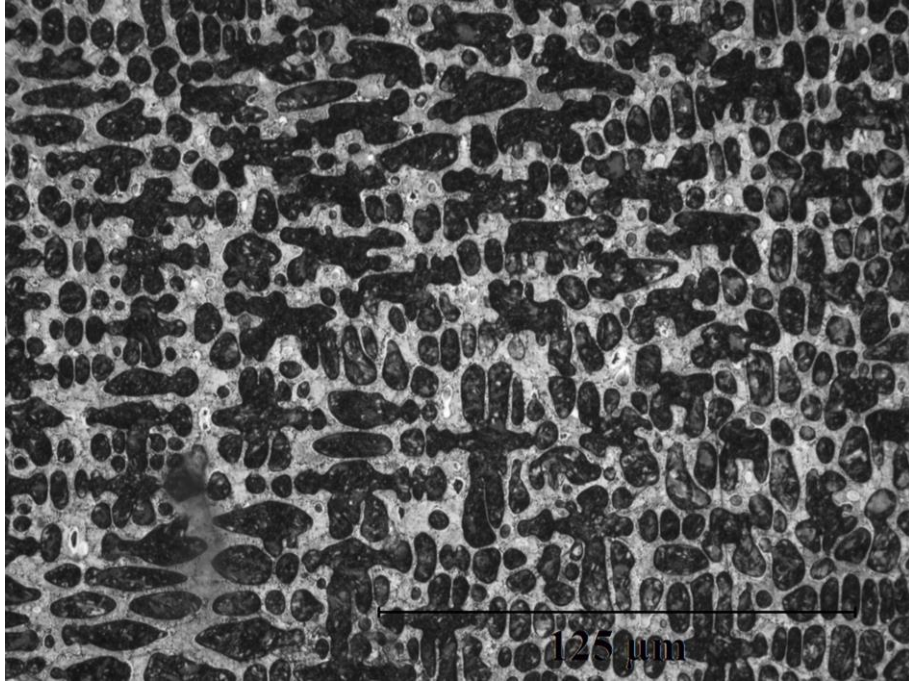
Şekil 6.80.-Şekil 6.84.' de N20-N24 numunelerine ait OM görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerden, bu numunelerin tamamının dendritler ve dendritler arası ötektik yapılardan oluştuğu görülmektedir. Bu toz karışımında ergime ısısı yüksek olan FeW elementinin kullanılmaması altlık malzeme ve tozların daha yoğun ergimesine neden olmuş ve ani soğumayla dendritik katılaşma meydana gelmiştir. Dendrit kolları ısı girdisinin artmasıyla genişlemiş ve uzamıştır. Ayrıca dendritler ısı girdisinin artmasına



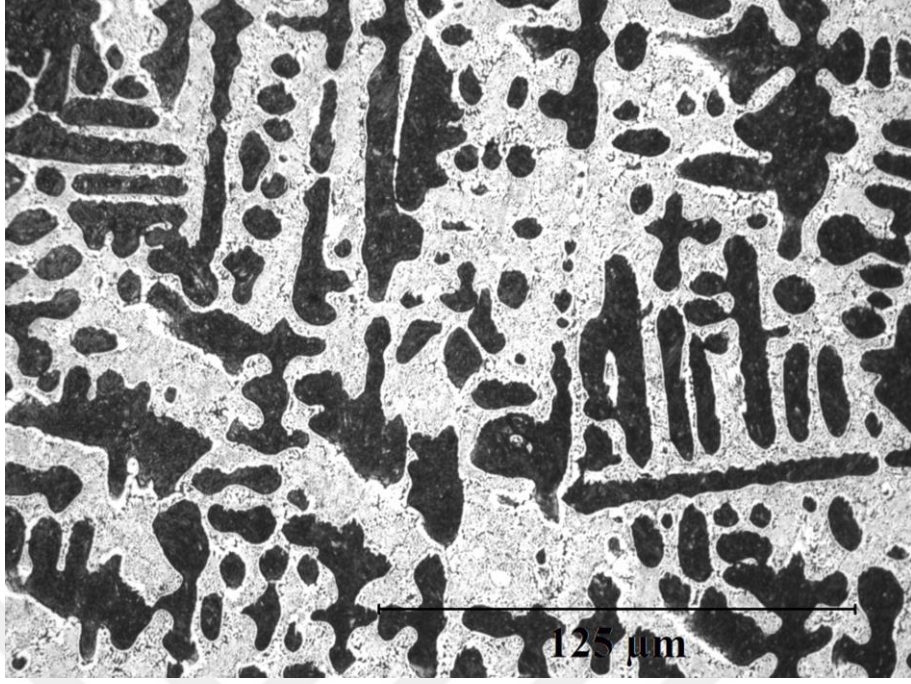
paralel olarak altlık malzemedan daha fazla Fe elementinin yapıya geçmesinden dolayı daha geniş yer kaplamıştır.



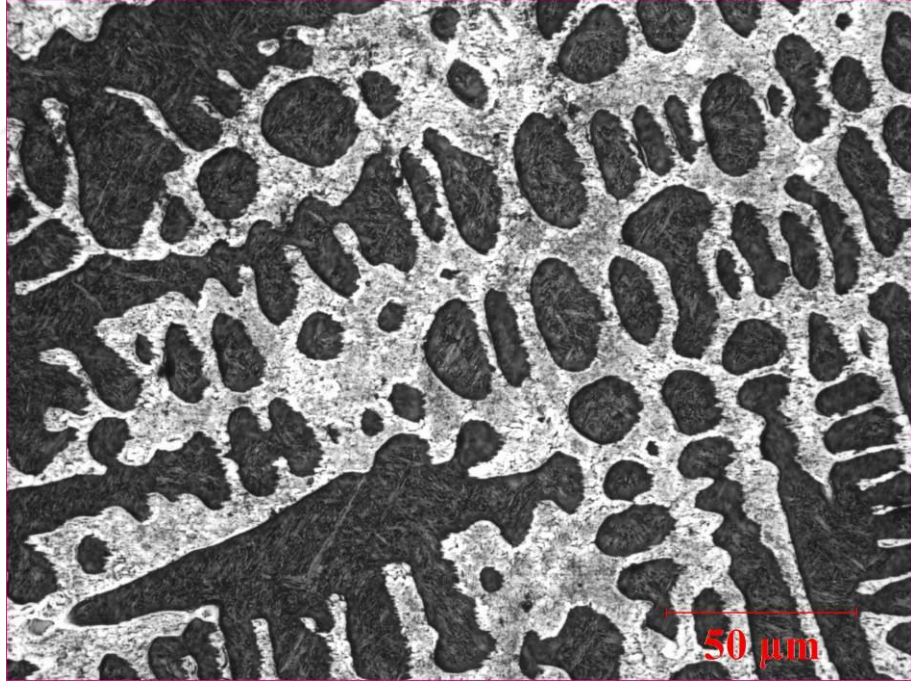
Şekil 6.80. N20 numunesinin OM görüntüsü x500



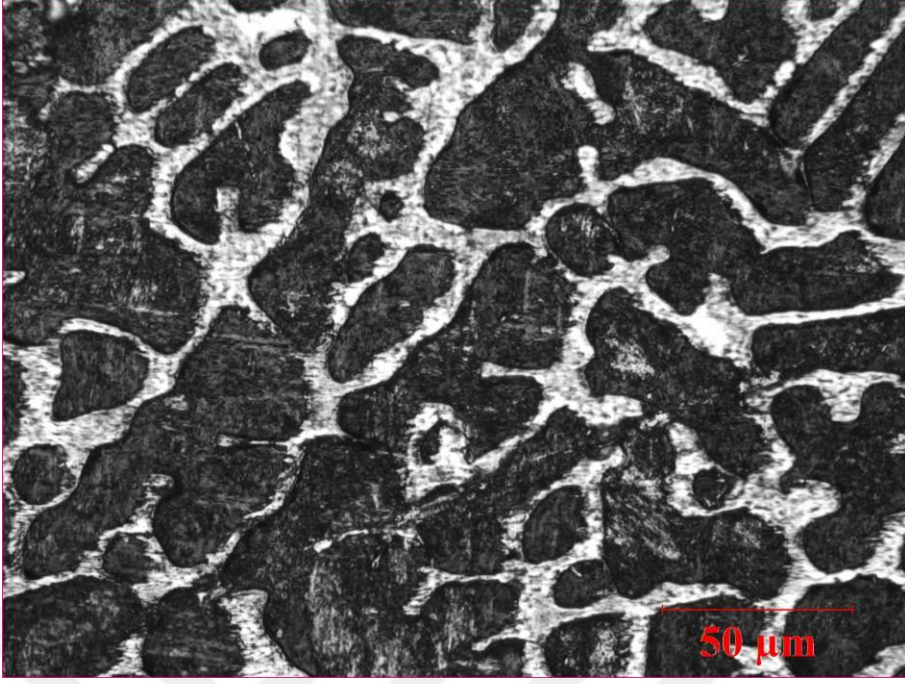
Şekil 6.81. N21 numunesinin OM görüntüsü x500



Şekil 6.82. N22 numunesinin OM görüntüsü x500

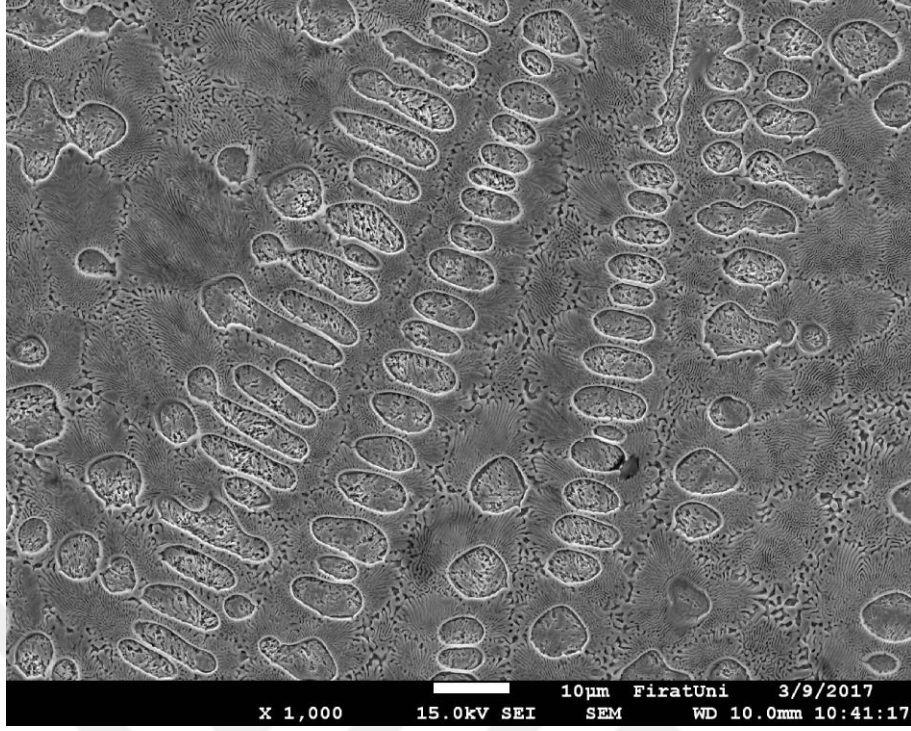


Şekil 6.83. N23 numunesinin OM görüntüsü x500



Şekil 6.84. N24 numunesinin OM görüntüsü x500

N20 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri ve EDS grafikleri, sırasıyla Şekil 6.85. ve Şekil 6.86.' da verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre 1 numaralı noktadaki dendritik faz, (%ağ.) 73.24Fe-8.54Cr-18.22C elementlerinden oluşmaktadır. 2 numaralı bölgedeki ötektik yapı ise, (%ağ.) 63.50Fe-16.51Cr-19.99C elementleri içermektedir.

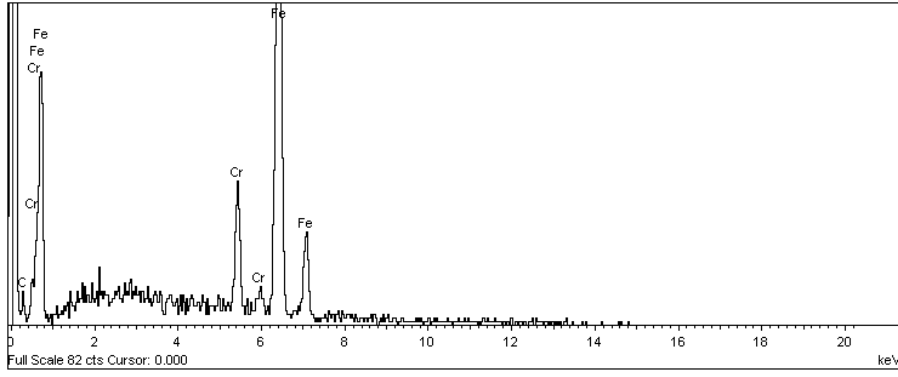


a)

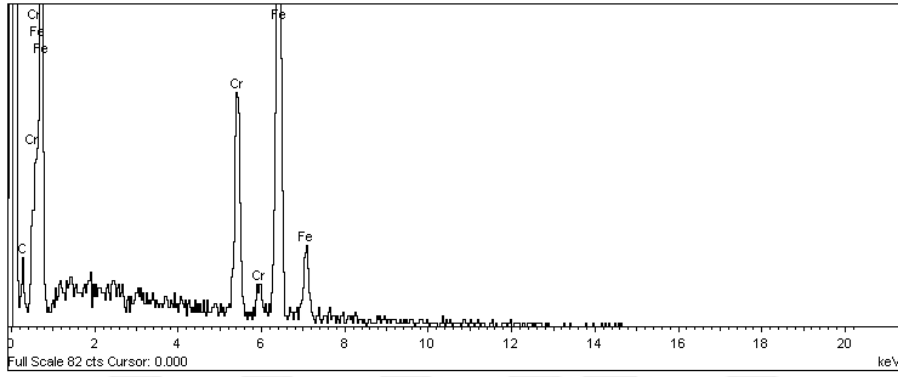


b)

Şekil 6.85. N20 numunesinin SEM görüntüleri a) x1000 ve b) x2000



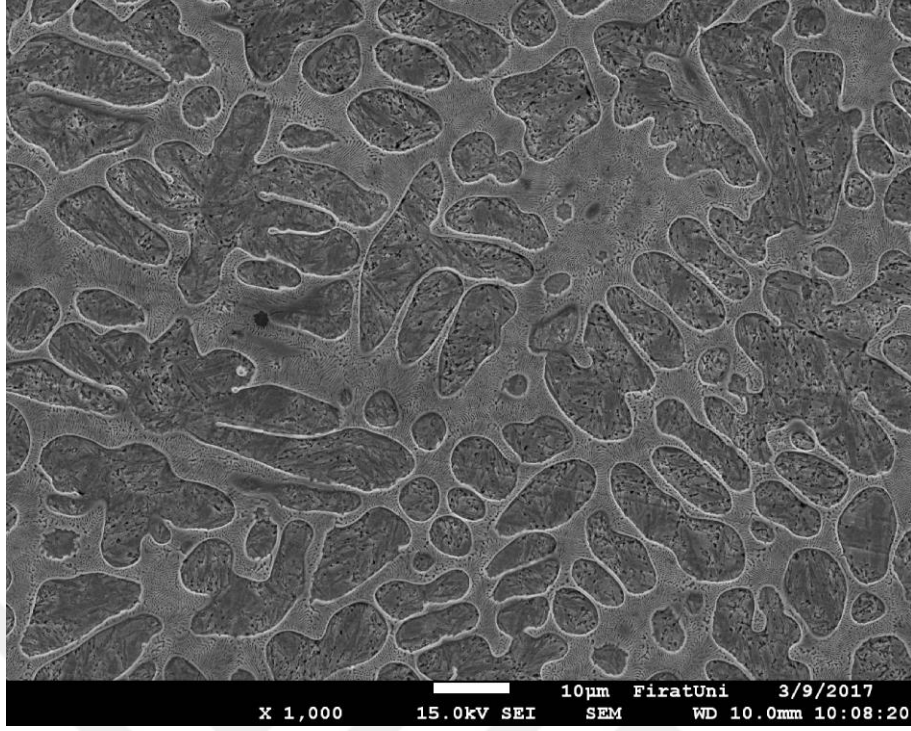
**a) 1. nokta**



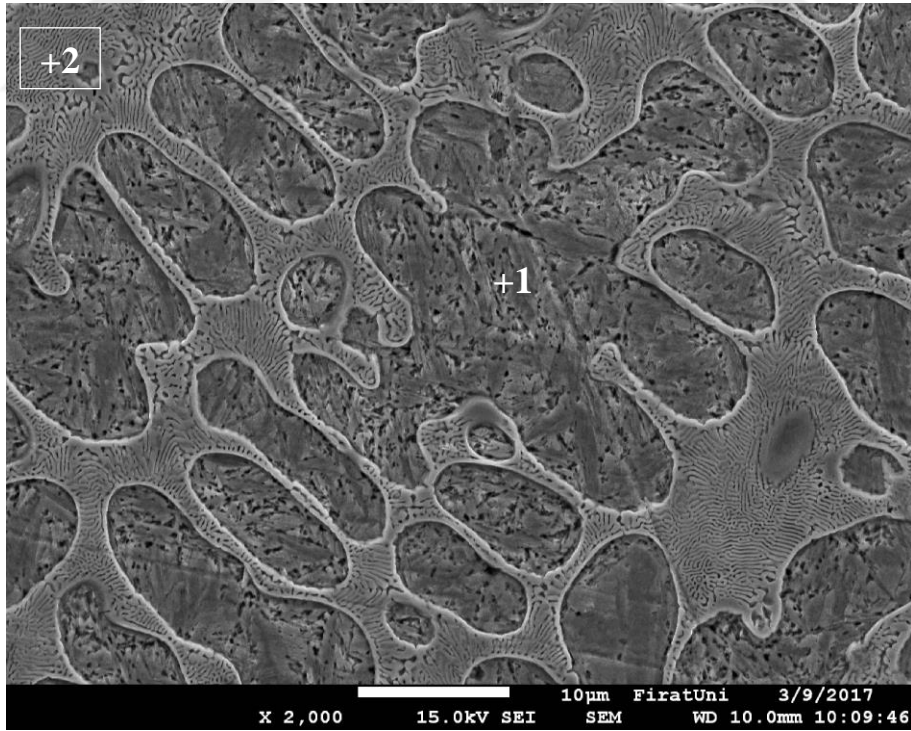
**b) 2. bölge**

**Şekil 6.86.** N20 numunesinin EDS grafikleri

N21 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri ve EDS grafikleri sırasıyla Şekil 6.87. ve Şekil 6.88.' de verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre 1 numaralı noktadaki dendritik faz, (%ağ.) 65.84Fe-4.76Cr-29.4C elementlerinden ve 2 numaralı bölgedeki ötektik yapı ise, (%ağ.) 68.79Fe-10.49Cr-20.72C elementlerinden oluşmaktadır.

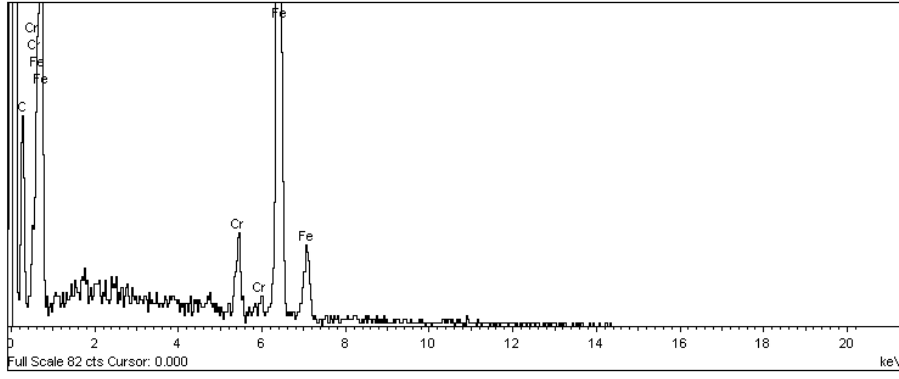


a)

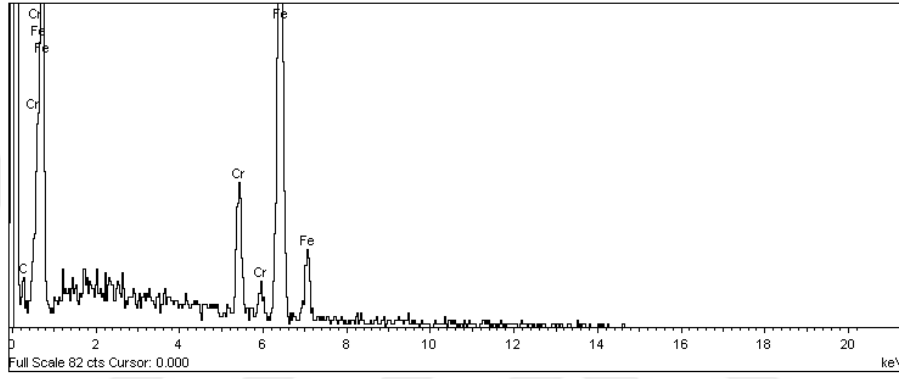


b)

Şekil 6.87. N21 numunesinin SEM görüntüleri a) x1000 ve b) x2000



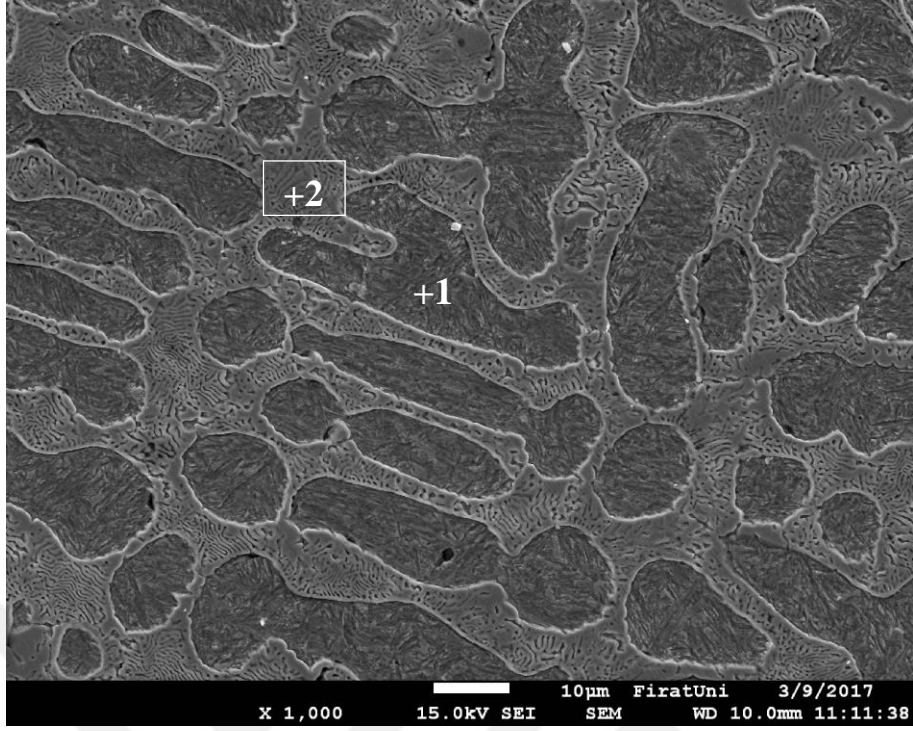
**a) 1. nokta**



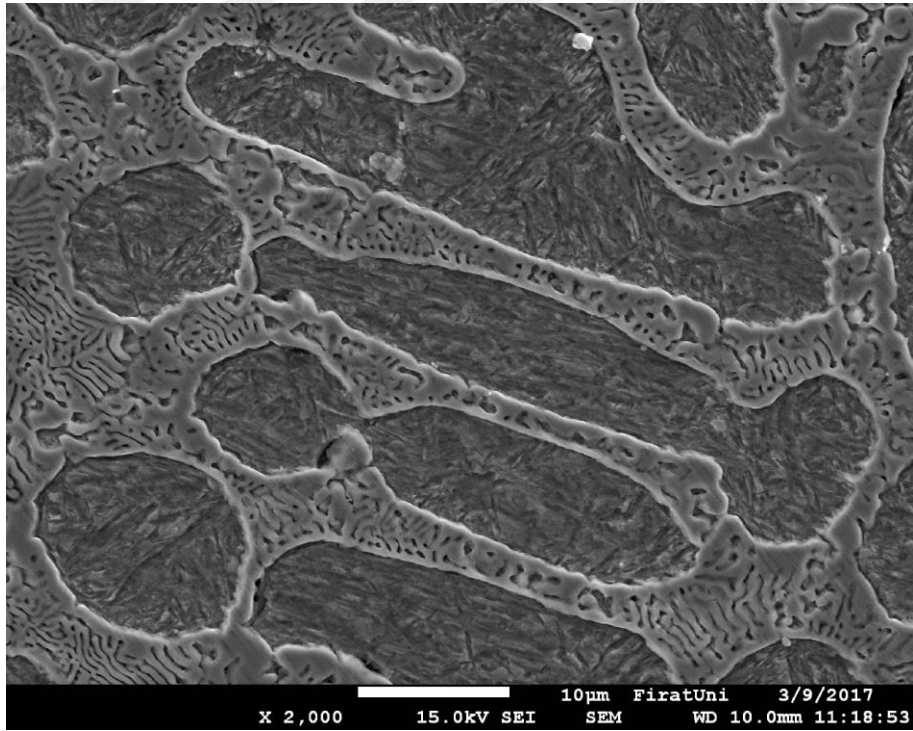
**b) 2. bölge**

**Şekil 6.88.** N21 numunesinin EDS grafikleri

N22 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri ve EDS grafikleri sırasıyla Şekil 6.89. ve Şekil 6.90.' da verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre 1 numaralı noktadaki dendritik faz, (%ağ.) 66.52Fe-5.08Cr-28.4C elementlerinden ve 2 numaralı bölgedeki ötektik yapı ise, (%ağ.) 64.69Fe-9.37Cr-25.94C elementlerinden oluşmaktadır.



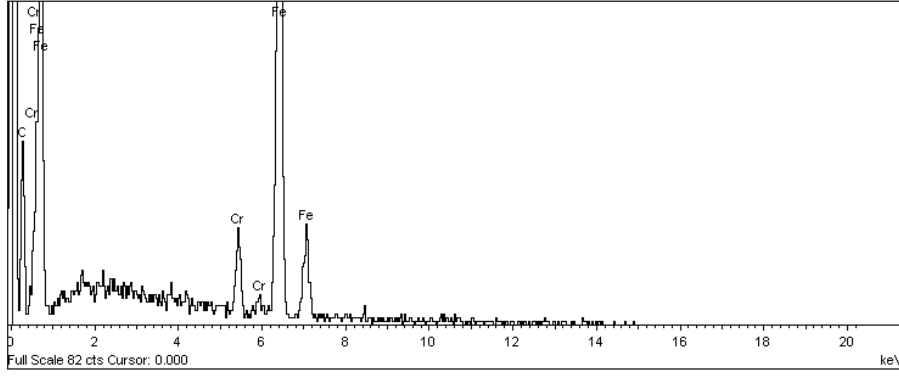
a)



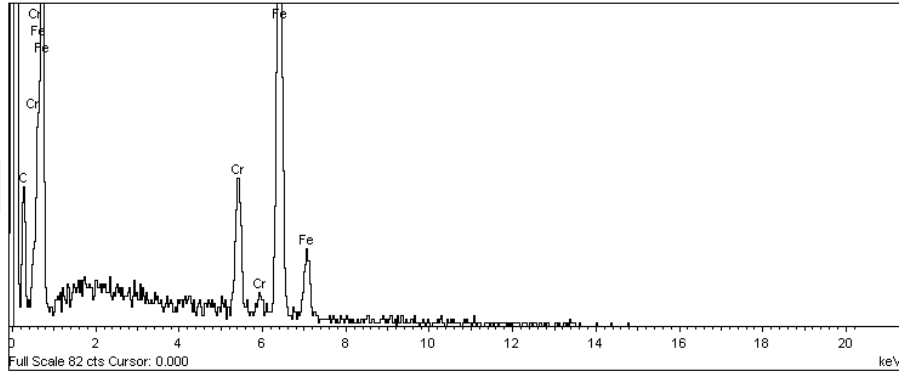
b)

Şekil 6.89. N22 numunesinin SEM görüntüleri a) x1000 ve b) x2000





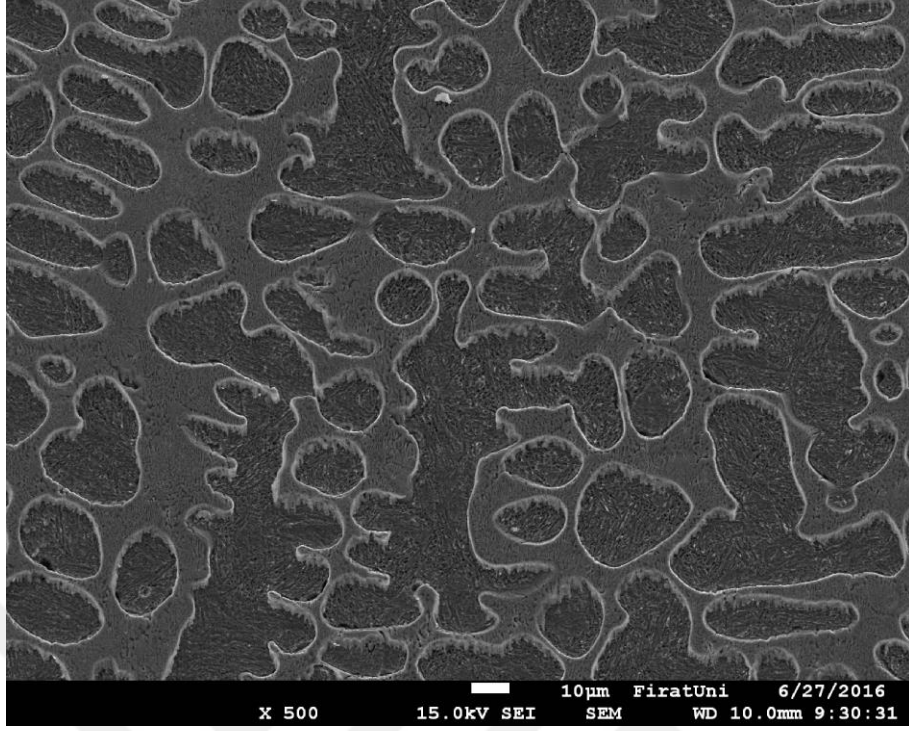
**a) 1. nokta**



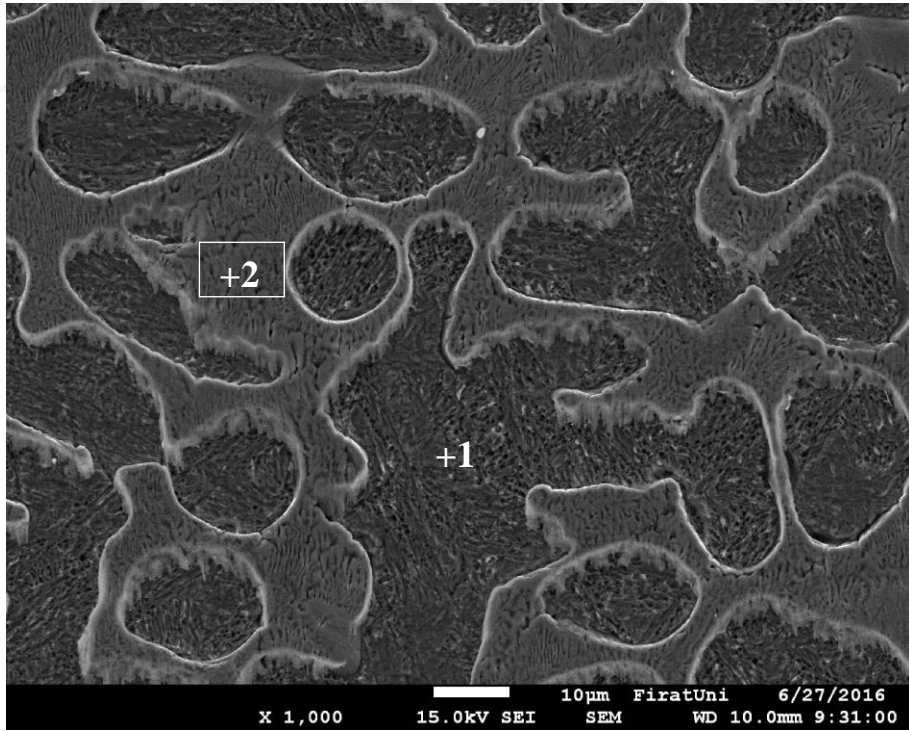
**b) 2. bölge**

**Şekil 6.90.** N22 numunesinin EDS grafikleri

N23 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri ve EDS grafikleri sırasıyla Şekil 6.91. ve Şekil 6.92.' de verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre 1 numaralı noktadaki dendritik faz, (%ağ.) 58.92Fe-4.72Cr-36.36C elementlerinden ve 2 numaralı bölgedeki ötektik yapı ise, (%ağ.) 59.77Fe-10.16Cr-30.08C elementlerinden oluşmaktadır.

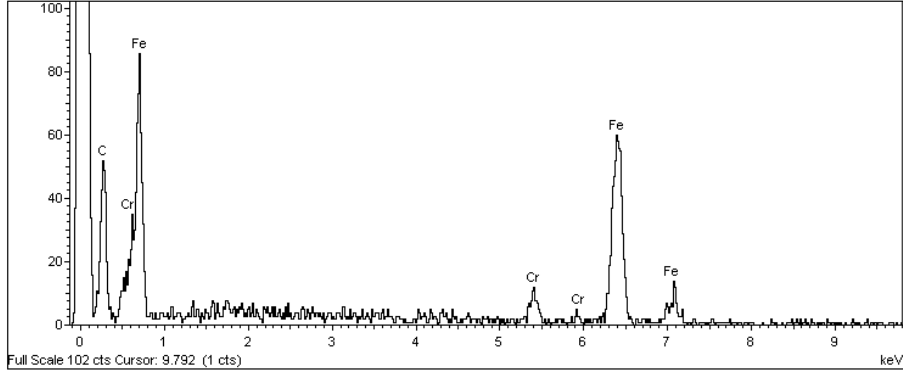


a)

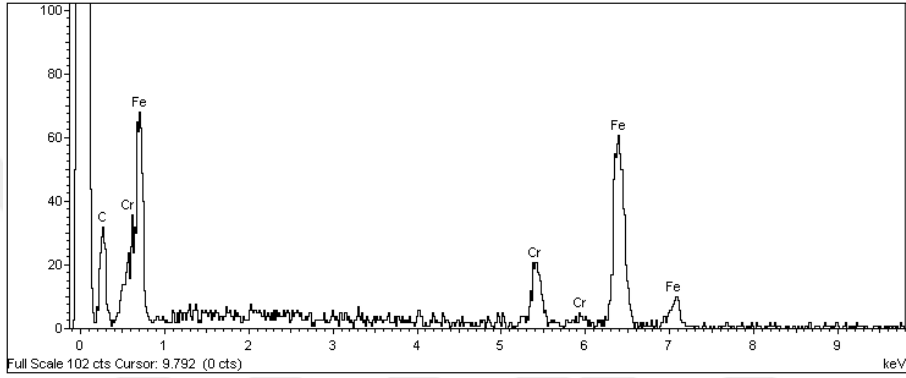


b)

Şekil 6.91. N23 numunesinin SEM görüntüleri a) x500 ve b) x1000



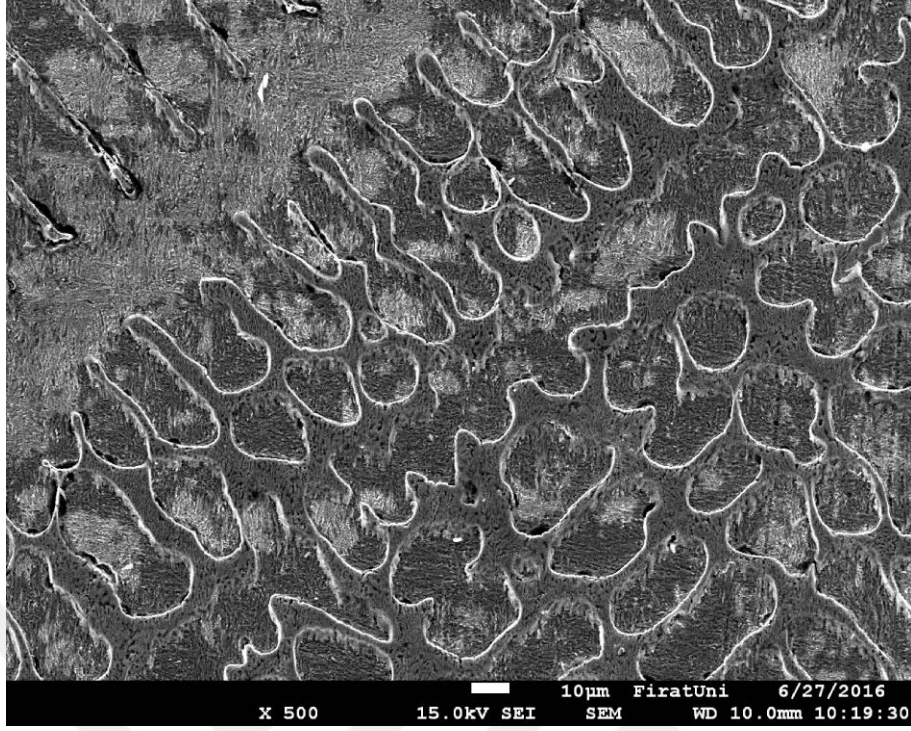
**a) 1. nokta**



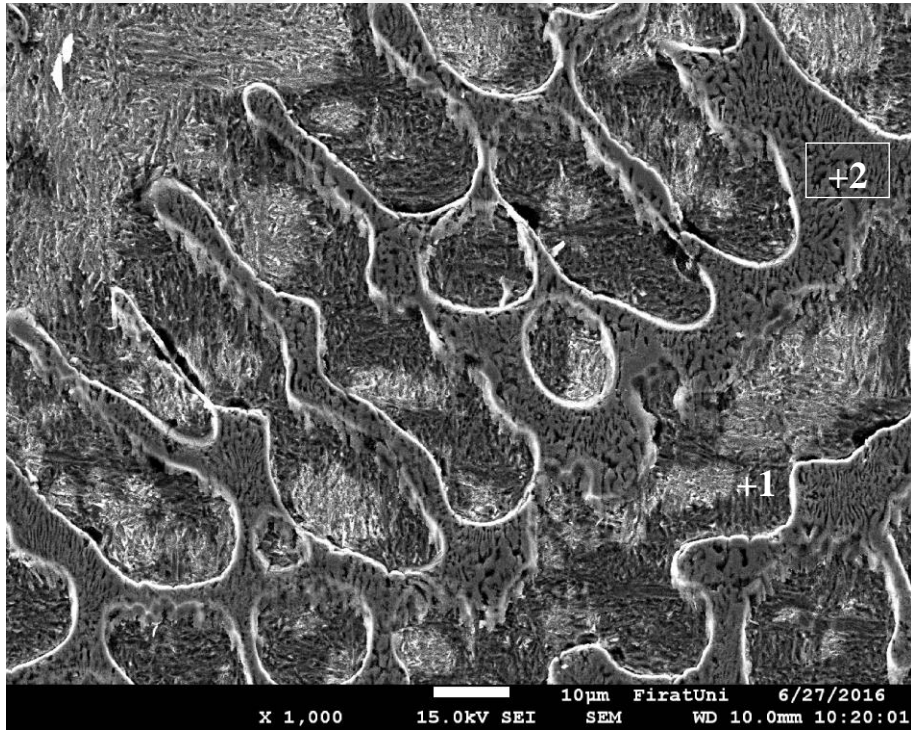
**b) 2. bölge**

**Şekil 6.92.** N23 numunesinin EDS grafikleri

N24 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri ve EDS grafikleri sırasıyla Şekil 6.93. ve Şekil 6.94.' de verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre 1 numaralı noktadaki dendritik faz, (%ağ.) 67.15Fe-3.13Cr-29.71C elementlerinden ve 2 numaralı bölgedeki ötektik yapı ise, (%ağ.) 68.09Fe-9.87Cr-22.04C elementlerinden oluşmaktadır.

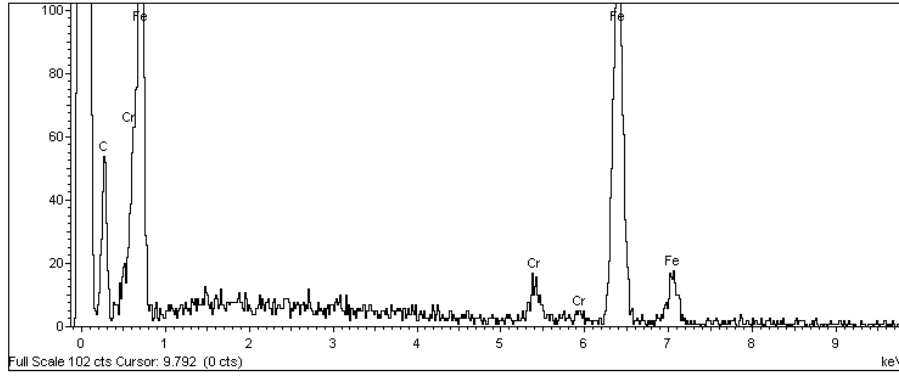


a)

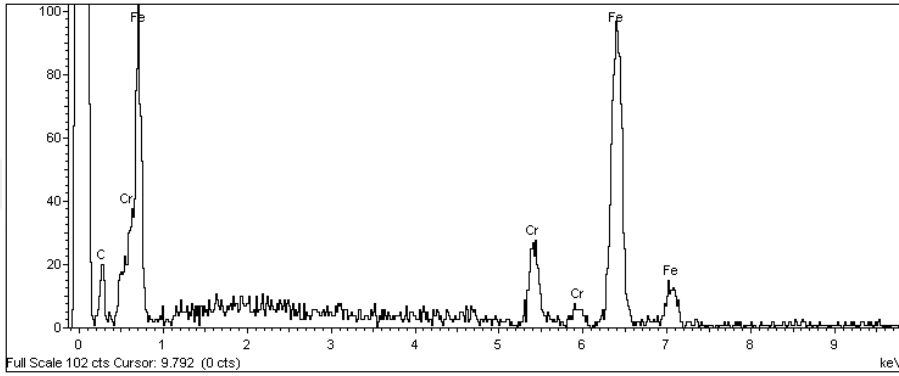


b)

Şekil 6.93. N24 numunesinin SEM görüntüleri a) x500 ve b) x1000



a) 1. nokta



b) 2. bölge

Şekil 6.94. N24 numunesinin EDS grafikleri

### 6.1.5. (%ağ.) 50FeCrC-50FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Mikroyapısı

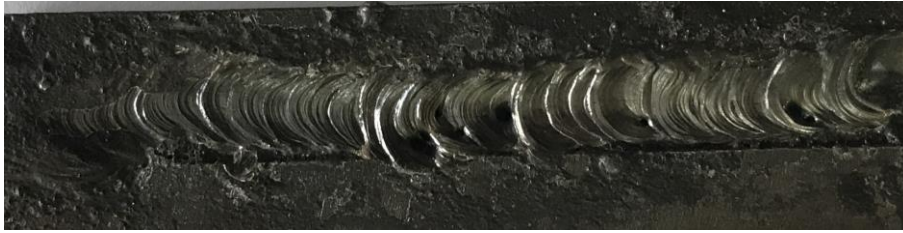
Tablo 6.9' da, (% ağ.) 50FeCrC-50FeB toz karışımı ile farklı ilerleme ve akım değerlerinde yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının genel özellikleri verilmiştir. Yüzey alaşımlama derinliği ısı girdisi arttıkça artmıştır ve derinlikler (%ağ.) 70FeCrC-30FeB toz karışımıyla yüzeyi alaşımlanan numunelere göre ergime ısısı yüksek olan FeB elementinin oranının artmasından dolayı düşmüştür. Isı girdisi arttıkça karbür ve borürlerin boyutları küçülmüş ve yapı içerisindeki yüzdeleri düşmüştür.

**Tablo 6.9.** (% ağı.) 50FeCrC-50FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların genel özellikleri

Numune	V	A	Q	h	h <sub>a</sub>	F	Cr/Fe	Y	A <sub>ort.</sub>	G <sub>ort.</sub>
N25	0.15 m/dk	120 A	0.475 kJ/mm	Bu ısı girdisi değerinde yüzey alaşımlama gerçekleşmedi						
N26	0.15 m/dk	140 A	0.585 kJ/mm	1440 μm	2.933 μm	M <sub>23</sub> (C,B) <sub>6</sub>	0.48	74	789.2 μm <sup>2</sup>	6.1 μm
N27	0.15 m/dk	160 A	0.704 kJ/mm	1490 μm	2.944 μm	(Cr, Fe)B	0.2	72	787.1 μm <sup>2</sup>	5.5 μm
N28	0.1 m/dk	120 A	0.713 kJ/mm	1670 μm	3.090 μm	(Cr, Fe)B	0.28	27.5	127.4 μm <sup>2</sup>	4 μm
N29	0.1 m/dk	140 A	0.878 kJ/mm	1700 μm	8.349 μm	Dendrit	0.21	33.4	309.2 μm <sup>2</sup>	4.6 μm
						Ötektik	0.17			
N30	0.1 m/dk	160 A	1.056 kJ/mm	2030 μm	9.734 μm	Dendrit	0.09	27.3	119.2 μm <sup>2</sup>	5.9 μm
						Ötektik	0.12			

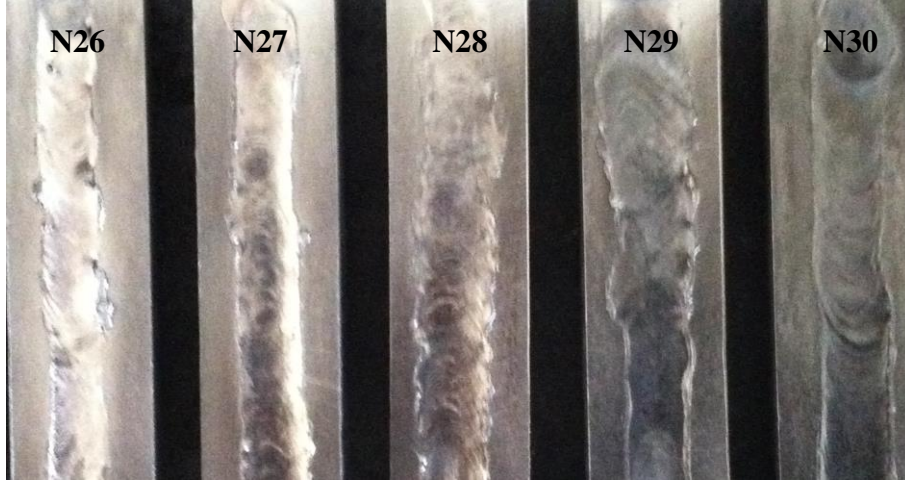
Tabloda **V**: ilerleme hızı (m/dk); **A**: Akım (A); **Q**: Isı girdisi (kJ/mm); **h**: Yüzey alaşımlamanın en derin noktasından alınan yaklaşık yüzey alaşımlama derinliği (μm); **h<sub>a</sub>**: Beş farklı noktadan alınan ortalama ara yüzey yüksekliği (μm); **F**: Yapıda yoğun bulunan faz; **Cr/Fe**: Yapıda yoğun bulunan fazın Cr/Fe oranı (Üç farklı noktadan alınan sonuçların ortalama değeri); **Y**: Yapıda bulunan karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin yüzdesi; **A<sub>ort.</sub>**: Karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin ortalama yüzey alanı (μm<sup>2</sup>); **G<sub>ort.</sub>**: Karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin ortalama genişliği (μm).

Şekil 6.95.' de verilen (% ağı.) 50FeCrC-50FeB toz karışımı ile 0.475 kJ/mm ısı girdisinde yüzeyi alaşımlanan numunenin makro fotoğrafları incelendiğinde, tozların bir kısmının ergimeden uçtuğu, yüzeyde yetersiz ergimeden kaynaklı boşluklar oluştuğu ve tozlar ile altlık malzemenin birlikte tam olarak erгийemediği görülmüştür. Bu durumun ergime ısı FeCrC' den yüksek olan FeB elementinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



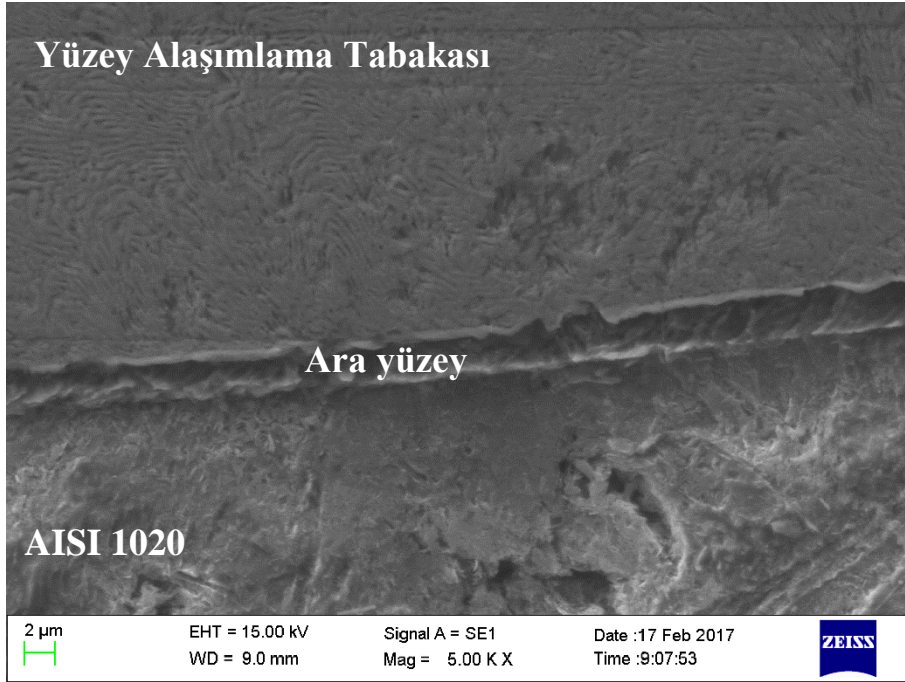
**Şekil 6.95.** 0.475 kJ/mm ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N25 numunesinin makro fotoğrafı

Şekil 6.96.' da N26-N30 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları verilmiştir. Bu fotoğraflardan alaşım tozlarının altlık malzeme ile birlikte erгийerek yüzeyin modifiye edildiği görülmektedir. Yüzeylerde herhangi bir çatlak veya poroziteye rastlanmamıştır.

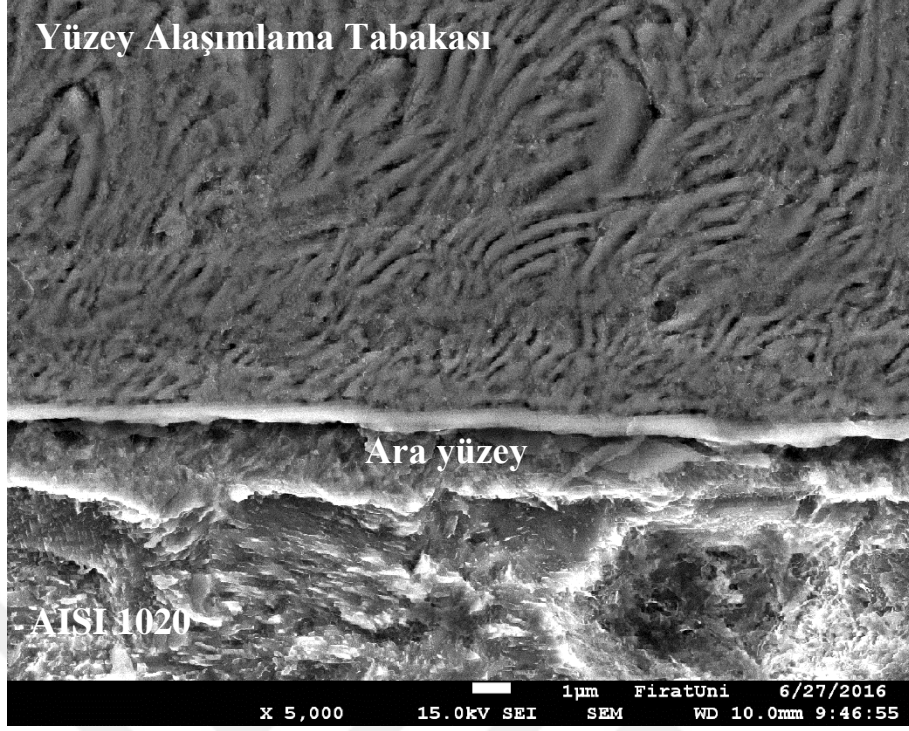


Şekil 6.96. N26-N30 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları

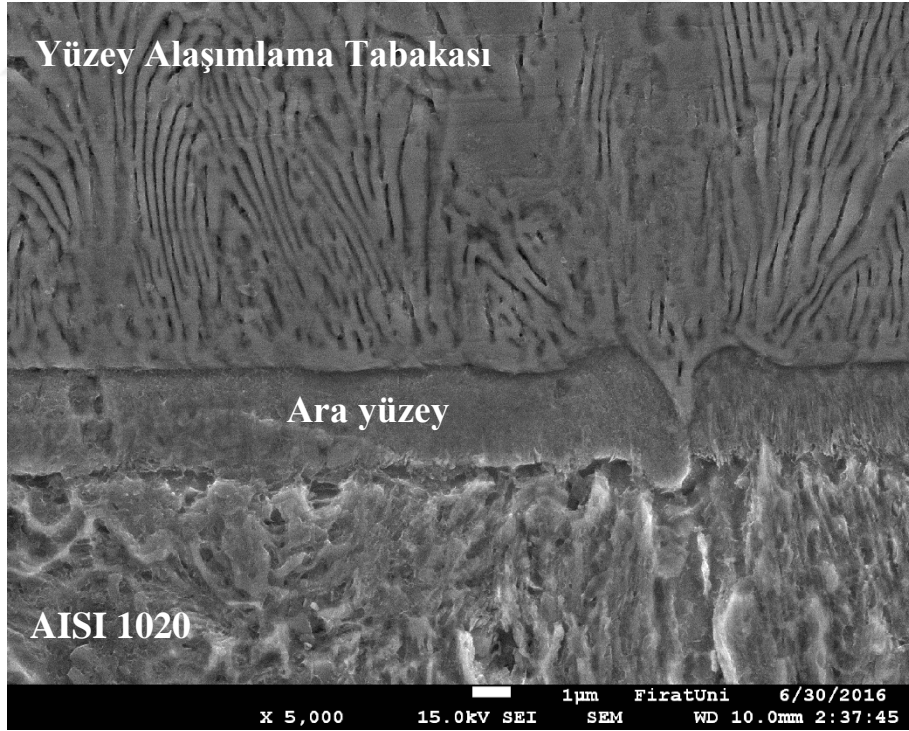
(% ağı.) 50FeCrC-50FeB ile yüzeyi alaşımlanmış numunelerin (N26-N30) ara yüzey SEM görüntüleri Şekil 6.97.-6.101.' de verilmiştir. Görüldüğü gibi bu numunelerin alaşımlama ara yüzelerinde herhangi bir çatlak, porozite ve boşluk oluşmamıştır. Yüzey alaşımlama tabakaları altlık malzeme ile geçiş bölgesi oluşturacak biçimde bir yapı oluşturmuştur. Ayrıca tüm numunelerin ara yüzeylerinin üzerindeki bölgede ötektik katılaşma meydana gelmiştir.



Şekil 6.97. N26 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x5000)

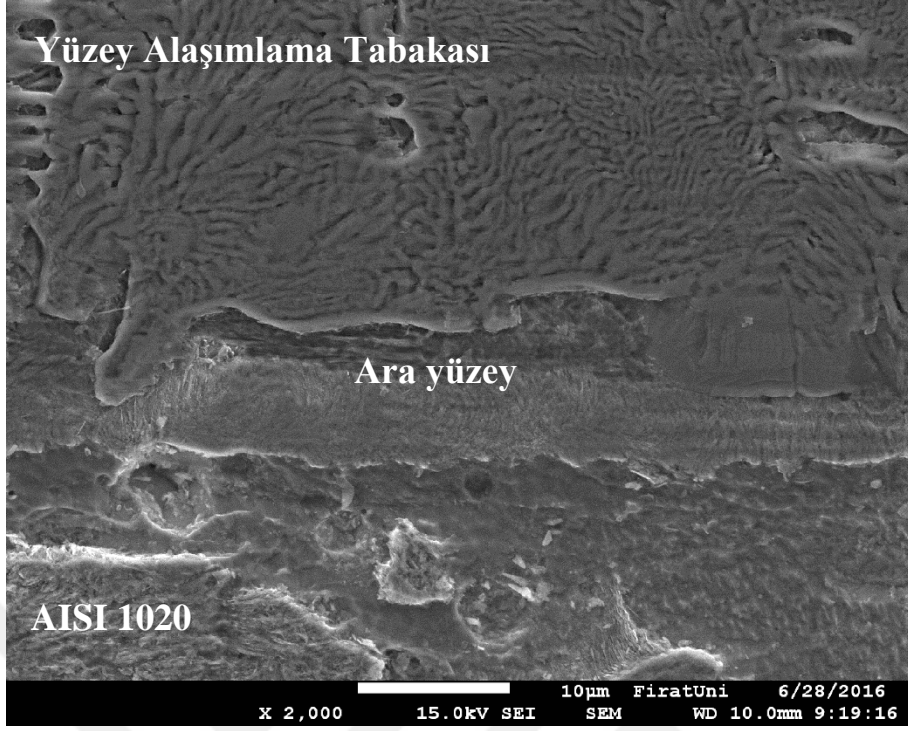


Şekil 6.98. N27 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x5000)

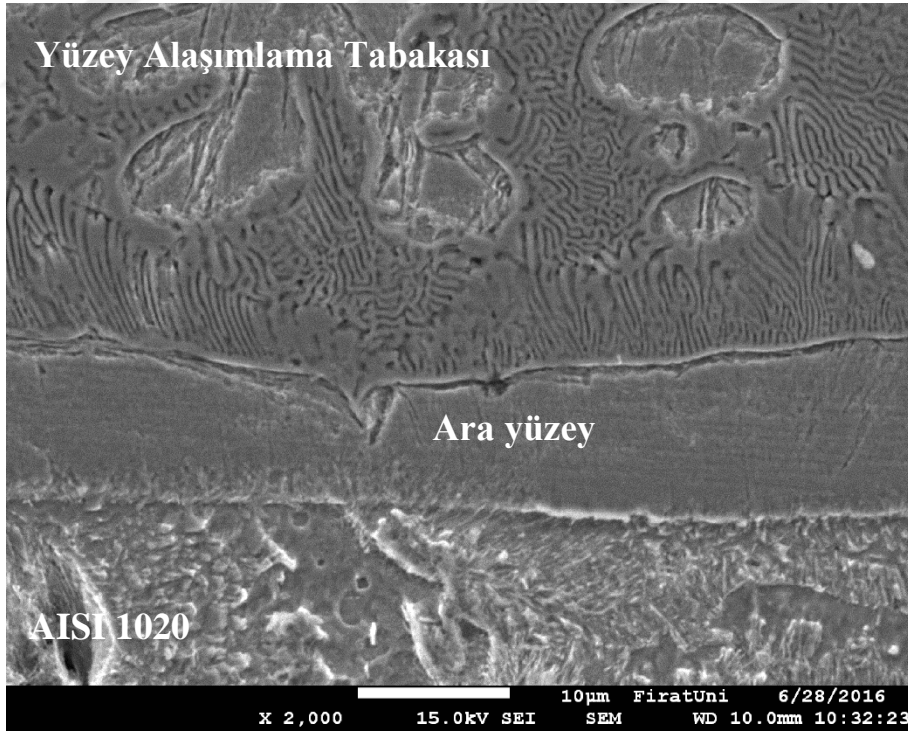


Şekil 6.99. N28 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x5000)





Şekil 6.100. N29 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)



Şekil 6.101. N30 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)

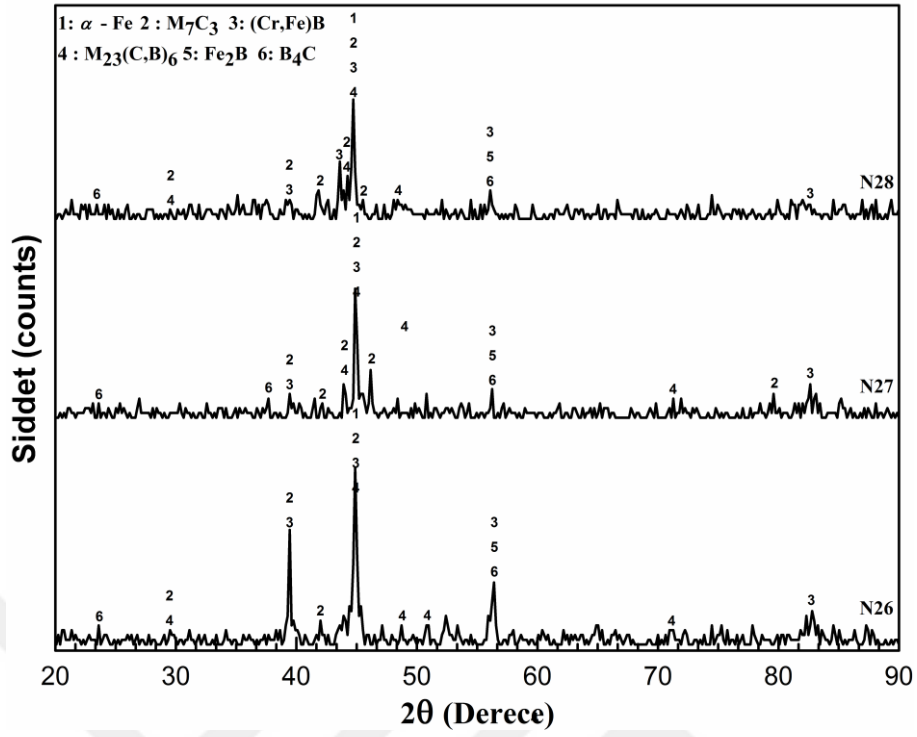
N26-N30 numunelerinin alaşımlanmış bölgelerinden bölgesel olarak alınan EDS sonuçlarına göre Cr/Fe oranı, Tablo 6.10' da verilmiştir. Cr/Fe oranı ısı girdisi arttıkça

altlık malzemenin daha yoğun ergimesinden dolayı, Fe konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak düşmüştür.

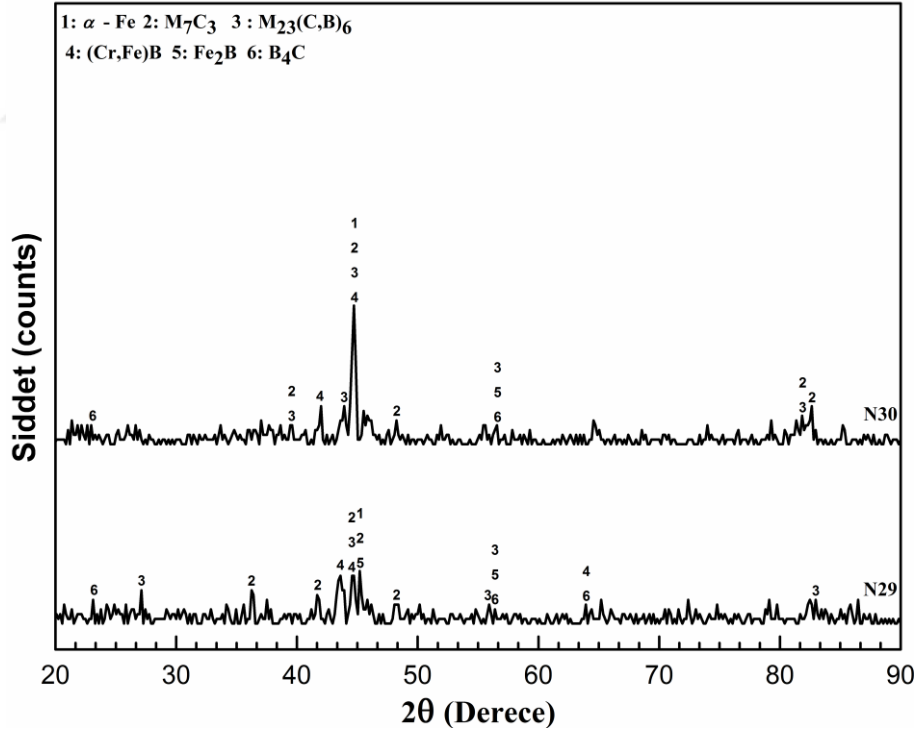
**Tablo 6.10.** N26-N30 numunelerinin Cr/Fe oranları

Numune	Cr/Fe
N26	0.32
N27	0.23
N28	0.22
N29	0.19
N30	0.13

N26-N30 numunelerinin XRD analiz sonuçları Şekil 6.102.'de verilmiştir. XRD analiz sonuçlarına göre bu numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakaları genelde,  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe) karbürü,  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe) karbürü, (Cr, Fe)B ve  $Fe_2B$  borürlerinden oluşmaktadır. Bu bileşikler dışında alaşımlanmış yüzey tabakalarında bir miktarda  $\alpha$ -Fe ve  $B_4C$  karbürü bulunmaktadır. Benzer yapılar literatürde benzer toz karışımıyla yapılan çalışmalarda da görülmüştür [24, 127, 128].



a)



b)

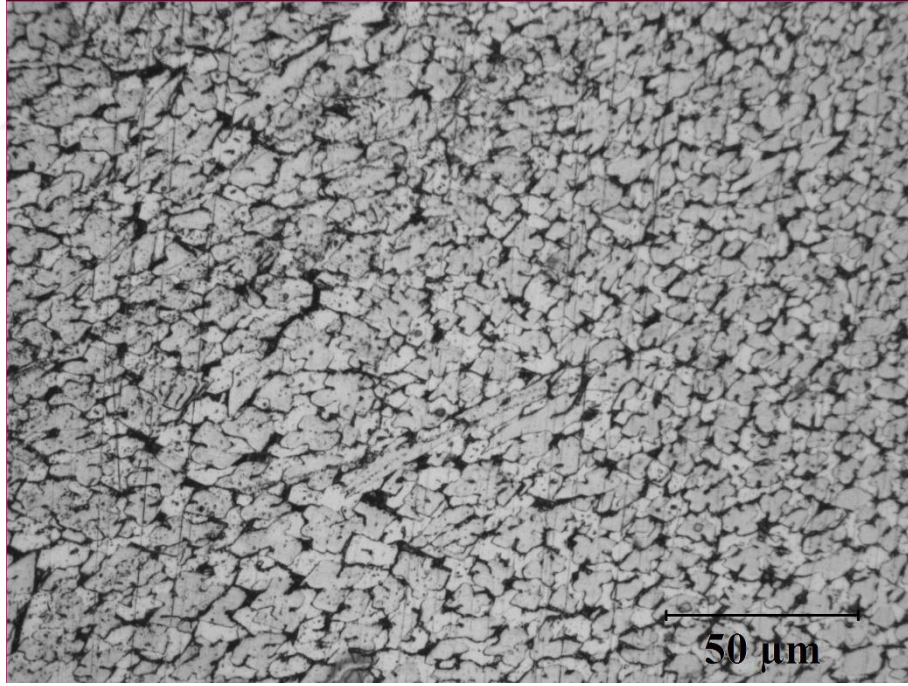
Şekil 6.102. XRD analiz sonuçları a) (N26-N28) ve b) (N29 ve N30)

N26 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntüleri Şekil 6.103.' de verilmiştir. Yüzey alaşımlama tabakası mikroyapısı incelendiğinde, karbürlerin ve borürlerin koloni halinde bulunduğu görülmektedir. Bunun nedeni ısı girdisinin düşük olmasından dolayı altlık malzemenin sınırlı ergimesindedir. Bu nedenden dolayı yapıdaki Cr ve B elementlerinin kimyasal kompozisyonu yüksek olmuş ve karbür ve borür oluşumu artmıştır. Siyah renkle görülen fazlar ise ötektik matris fazıdır.





a)

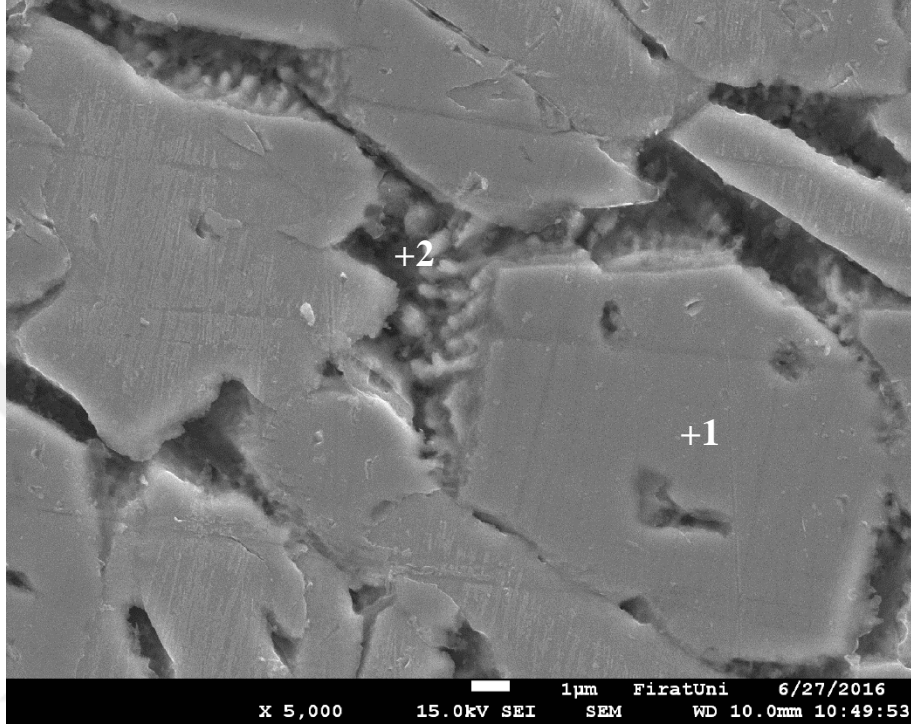


b)

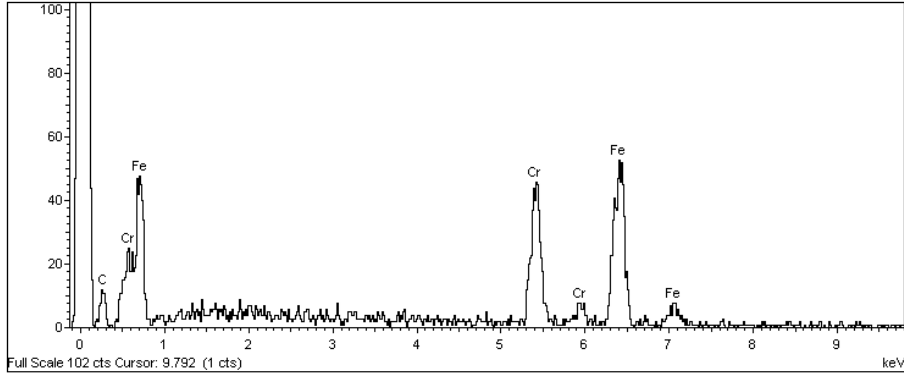
Şekil 6.103. N26 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

Şekil 6.104.' de N26 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri, Şekil 6.105.' de ise EDS grafikleri verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre 1 numaralı noktada görülen yapı kimyasal kompozisyon olarak, (%ağ) 21.29C-26.51Cr-52.20Fe

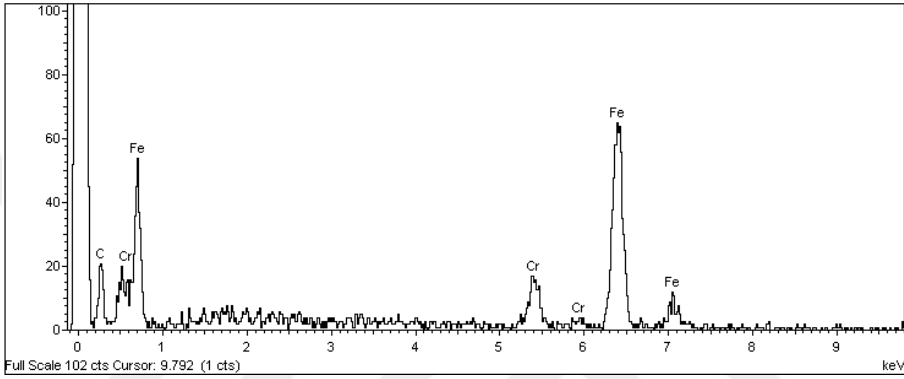
elementlerinden oluşan  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe) karbürüdür. 2 numaralı noktadan alınan EDS analiz sonuçlarına göre ise, bu nokta (%ağ) 26.32C-7.58Cr-66.10Fe elementlerinden oluşan Cr bakımından fakir matris fazıdır.



Şekil 6.104. N26 numunesinin SEM görüntüsü x5000



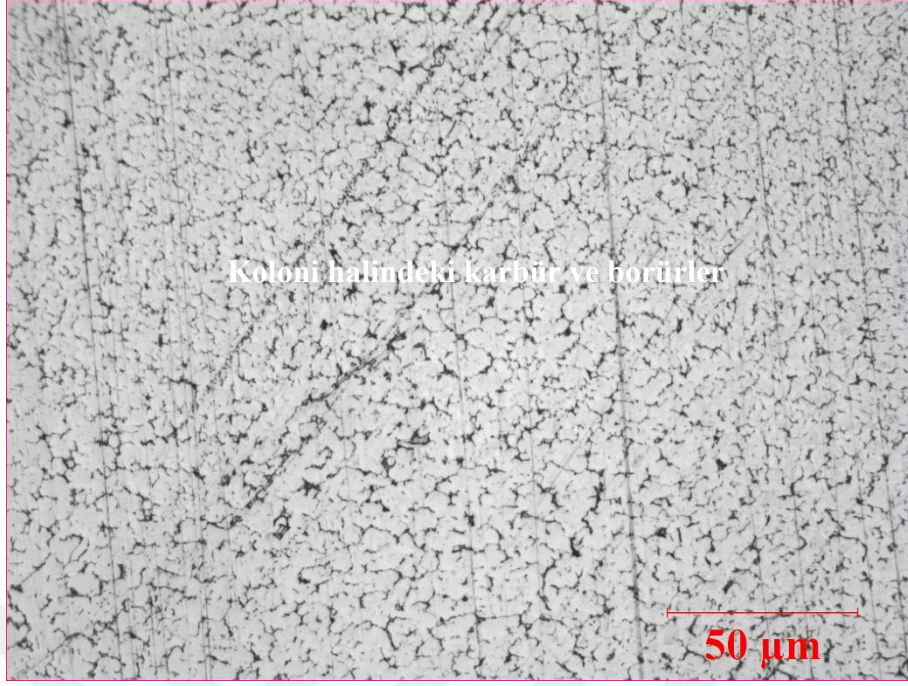
**a) 1. nokta**



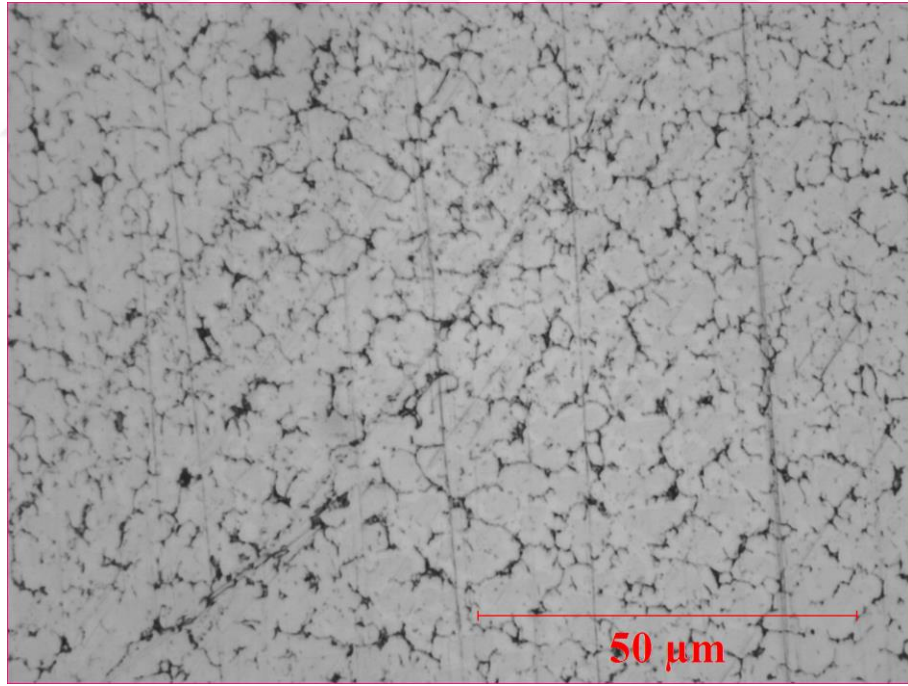
**b) 2. nokta**

**Şekil 6.105.** N26 numunesinin EDS grafikleri

Şekil 6.106.' da, N27 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntüleri verilmiştir. Bu numenin mikroyapısında N26 numunesine benzer şekildedir. Yüzey alaşımlama tabakasını oluşturan yapılar, yine koloni halinde bulunmaktadır ve bu yapıları siyah renkle görülen ötektik matris fazı ayırmaktadır.



a)



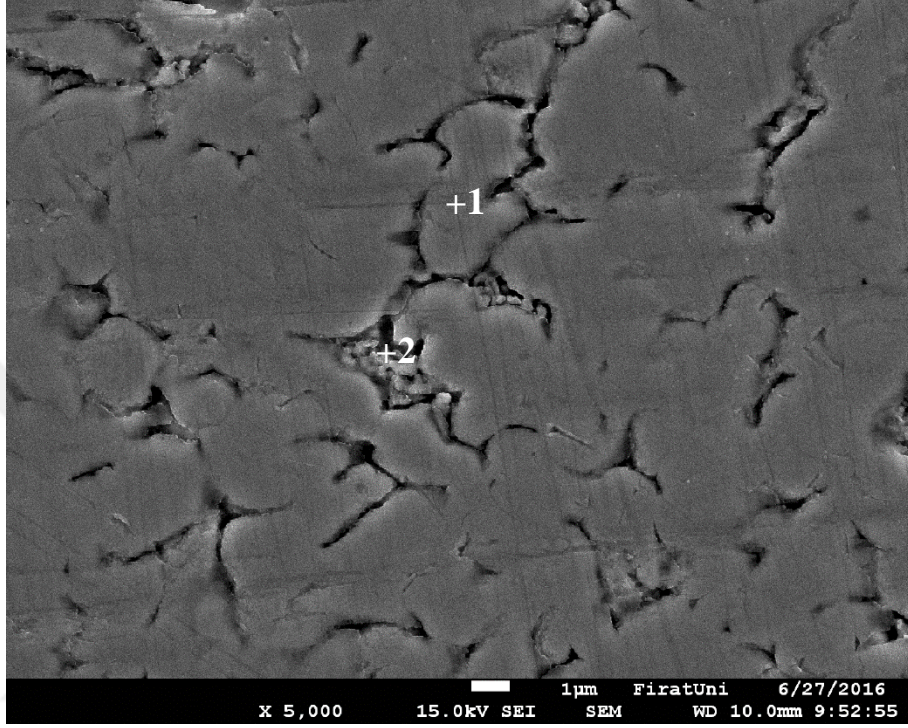
b)

Şekil 6.106. N27 numunesinin OM görüntüleri a) x500 ve b) x1000

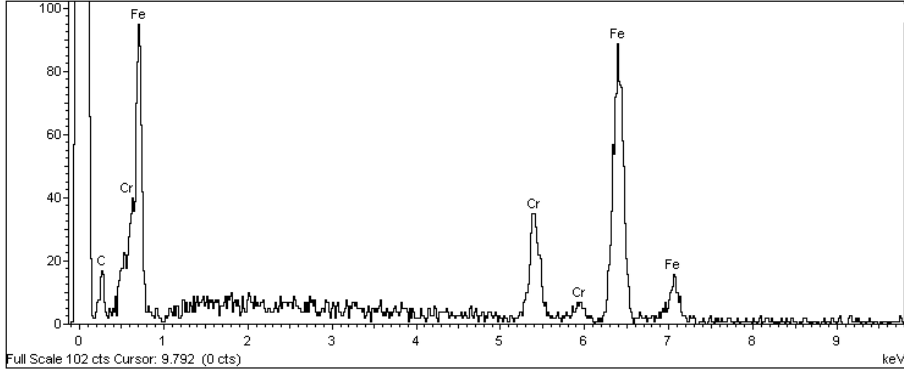
Şekil 6.107.' de N27 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri, Şekil 6.108.' de ise EDS grafikleri verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre, 1 numaralı nokta kimyasal kompozisyon olarak (%ağ) 21.51C-13.07Cr-65.42Fe elementlerinden



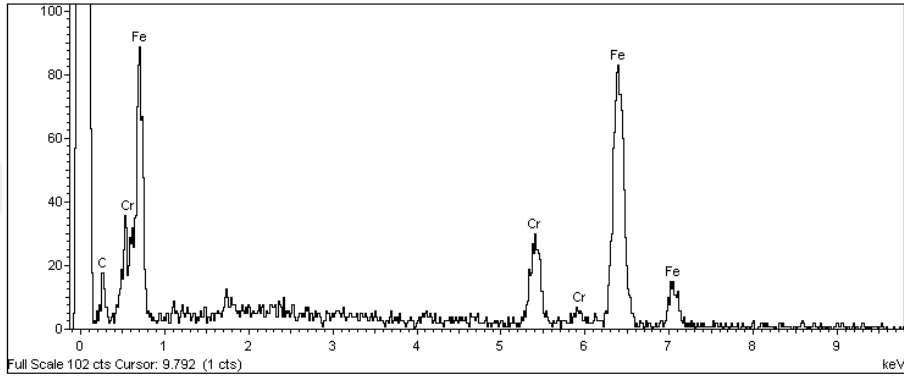
oluşmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalardaki fazlarla karşılaştırıldığında, bu yapının (Cr, Fe)B borürü olduğu düşünülmektedir [128, 129]. 2 numaralı noktadaki matris fazı ise (%ağ) 21.61C-11.61Cr-66.78Fe elementleri içermektedir.



Şekil 6.107. N27 numunesinin SEM görüntüsü x5000



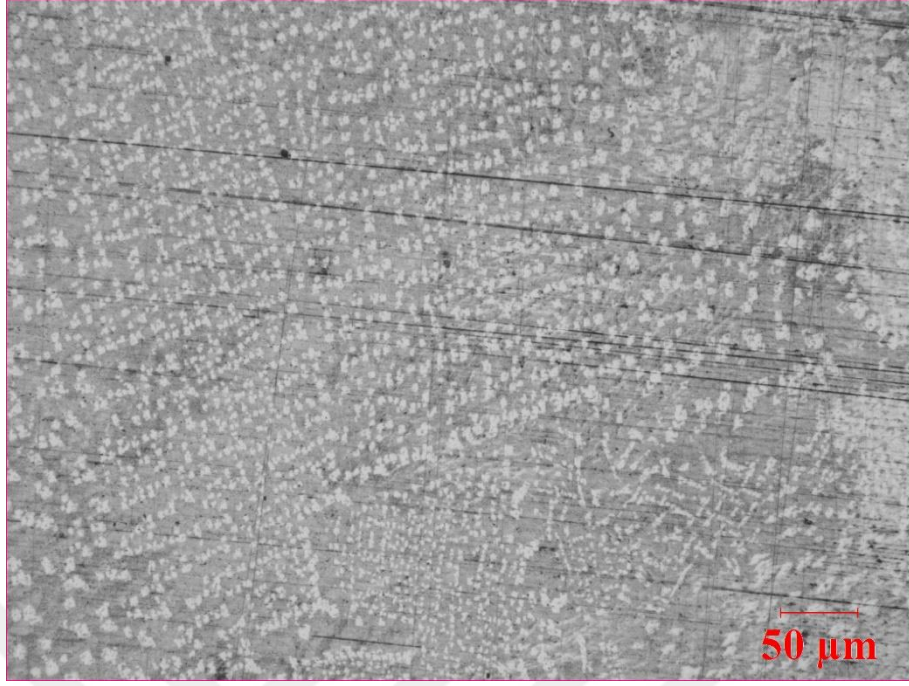
**a) 1. nokta**



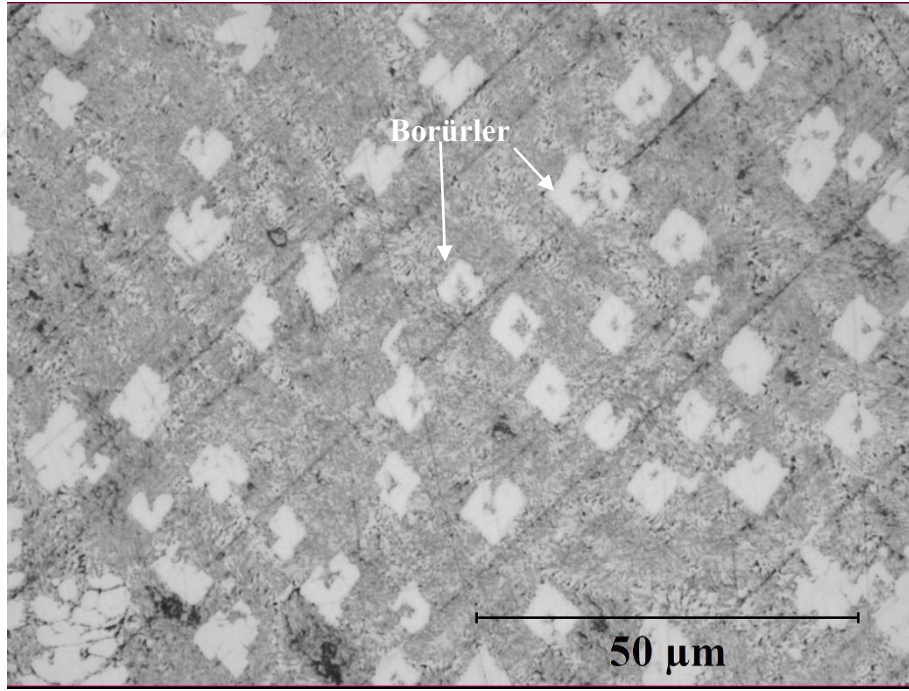
**b) 2. nokta**

**Şekil 6.108.** N27 numunesinin EDS grafikleri

Şekil 6.109.' da verilen N28 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntülerinden görüldüğü gibi karbür ve borürler ince taneli olarak matris içerisinde neredeyse homojen bir dağılım göstermiştir. Bu numune N26 ve N27 numunelerine oranla daha yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlandırıldığından, altlık malzeme daha fazla ergiyerek yapıya katılmış ve katılaşma zamanının da yükselmesiyle karbür ve borürler matris içerisinde dağılmıştır.



a)

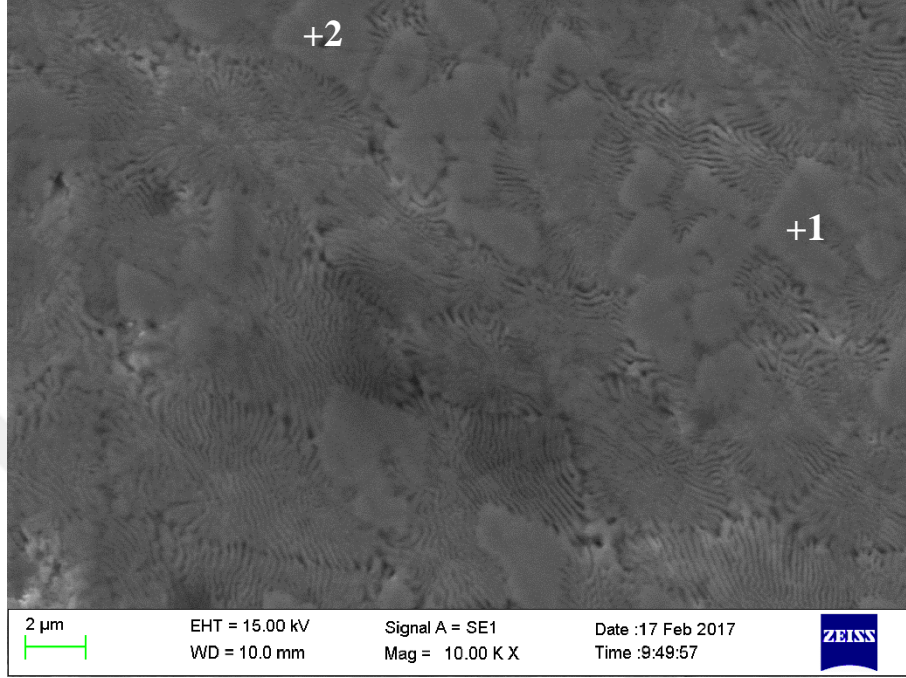


b)

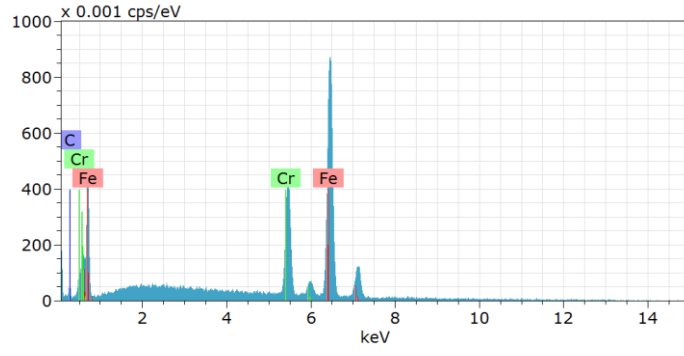
Şekil 6.109. N28 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x1000

N28 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri Şekil 6.110. ve EDS grafikleri Şekil 6.111.' da verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre 1 ve 2

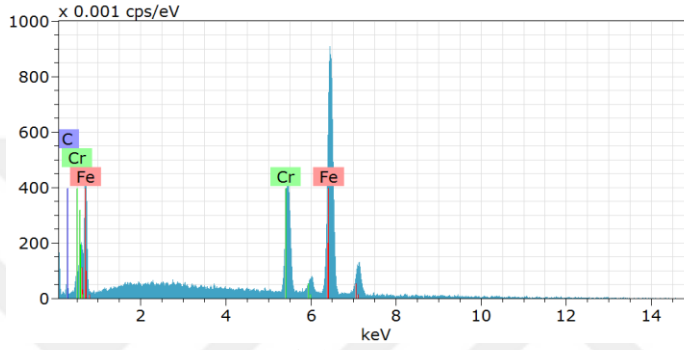
noktalarında bulunan (Cr, Fe)B borürleri kimyasal kompozisyon olarak, sırasıyla (%ağ.) 22.30Cr-77.70Fe, (%ağ.) 22.86Cr-77.14 Fe elementlerinden oluşmaktadır.



Şekil 6.110. N28 numunesinin SEM görüntüsü x10000



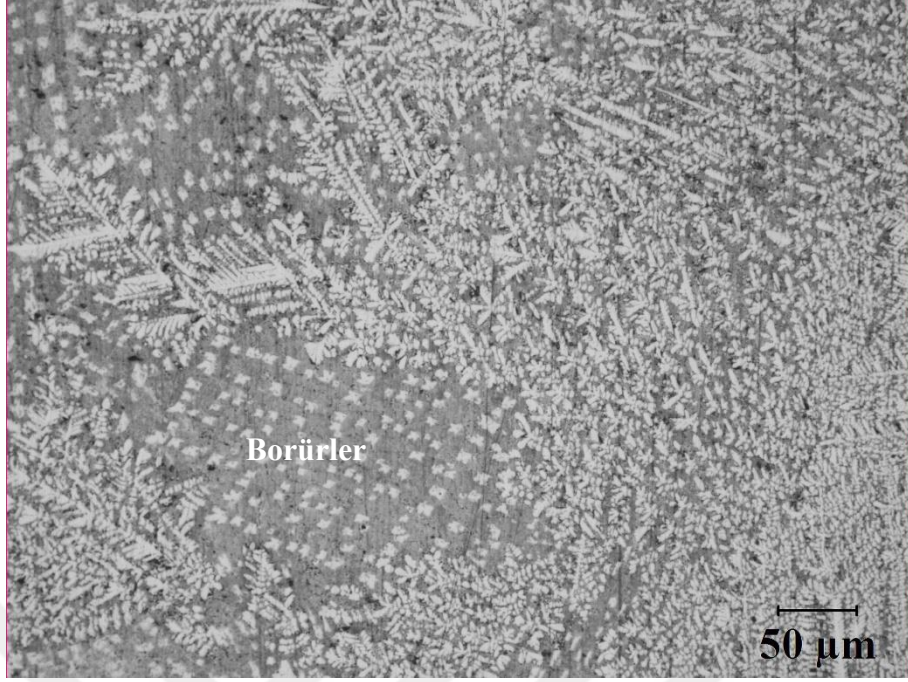
**a) 1. nokta**



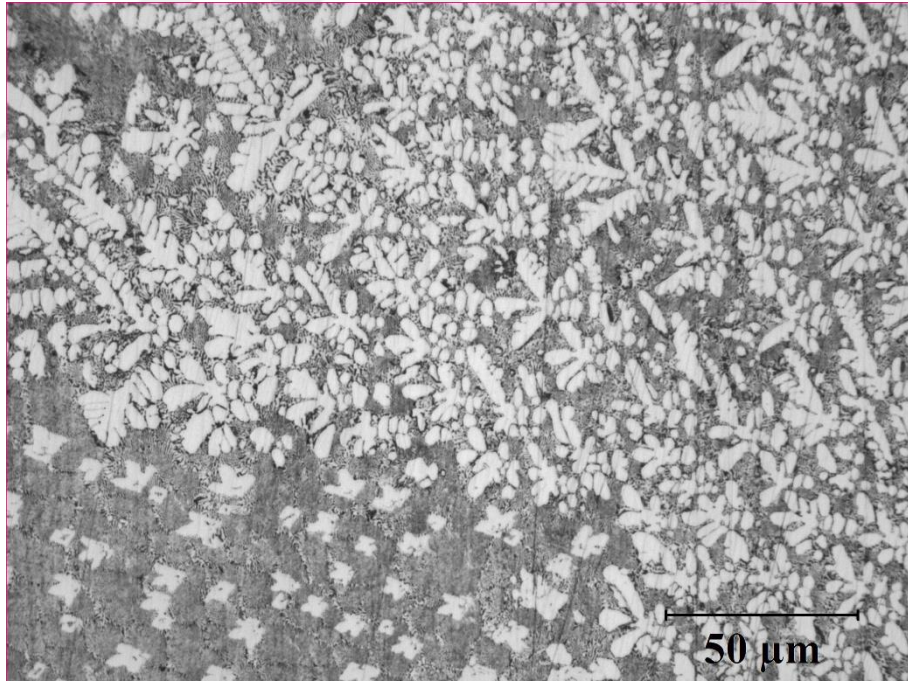
**b) 2. nokta**

**Şekil 6.111.** N28 numunesinin EDS grafikleri

Şekil 6.112.' de N29 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi yüzey alaşımlama tabakası genelde dendritik yapılar ve bu yapıların arasındaki ötektik yapılardan oluşmuştur. Yüzey alaşımlama tabakasının orta bölgelerinde, borürler matris içerisinde dağılmış halde bulunmaktadır.



a)



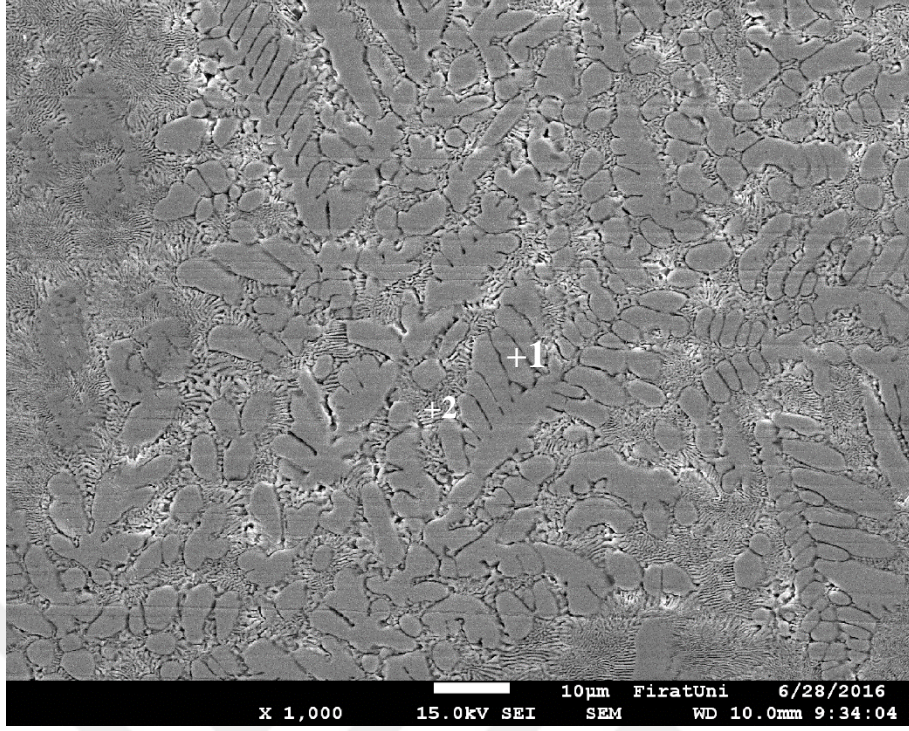
b)

Şekil 6.112. N29 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500

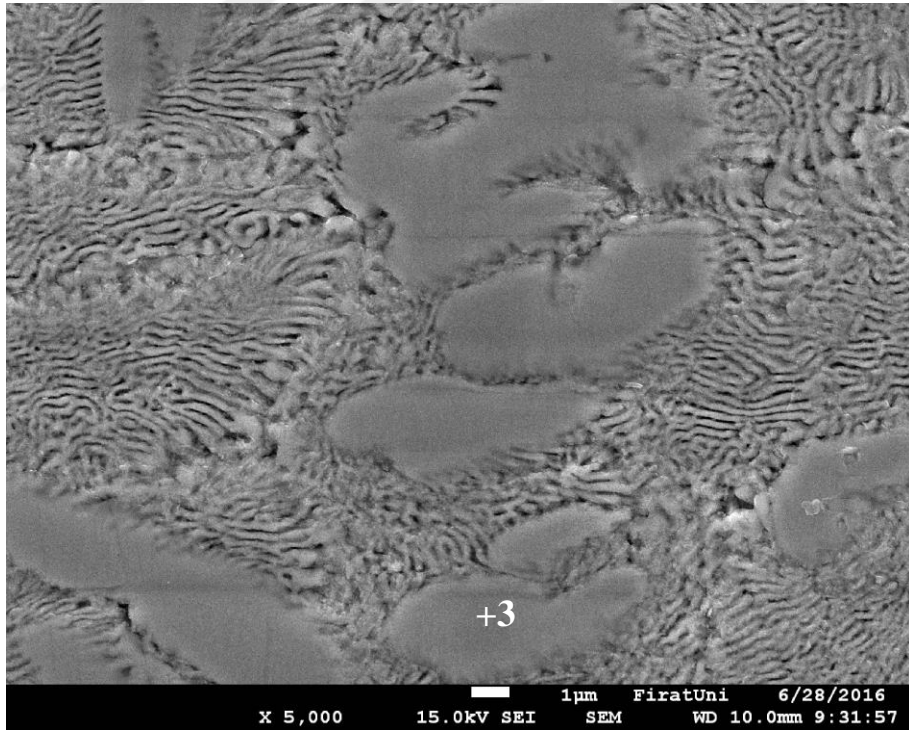
Şekil 6.113.' de N29 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının SEM görüntüleri, Şekil 6.114.' de ise EDS analiz grafikleri verilmiştir. EDS analiz sonuçlarına göre, dendrit kolu (Şekil 6.113a. nokta1) (%ağ) 24.11C-12.44Cr-63.46Fe elementlerinden oluşmaktadır.

2 numaralı noktadan alınan EDS analizine göre ise, ötektik faz (%ağ) 16.96C-10.73Cr-72.31Fe elementleri içermektedir. 3 numaralı noktadan alınan EDS analizine göre bu yapının, (%ağ) 16.79C-20.01Cr-63.21Fe elementlerinden oluşan (Cr, Fe)B borürü olduğu düşünülmektedir (Şekil 6.113b).





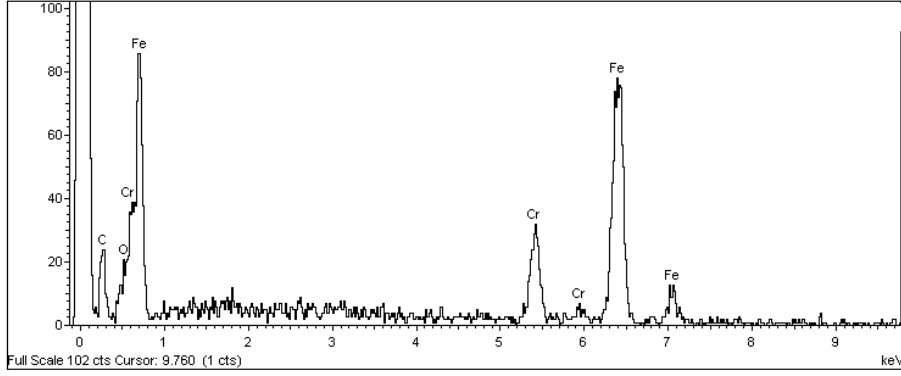
a)



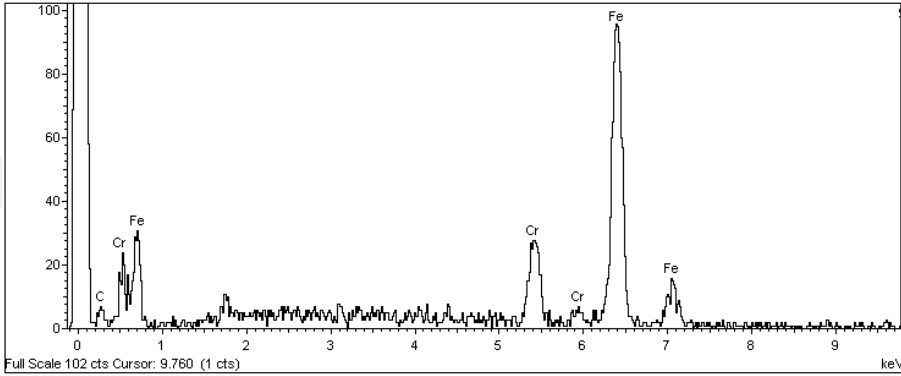
b)

Şekil 6.113. N29 numunesinin SEM görüntüleri a) x1000 ve b) x5000

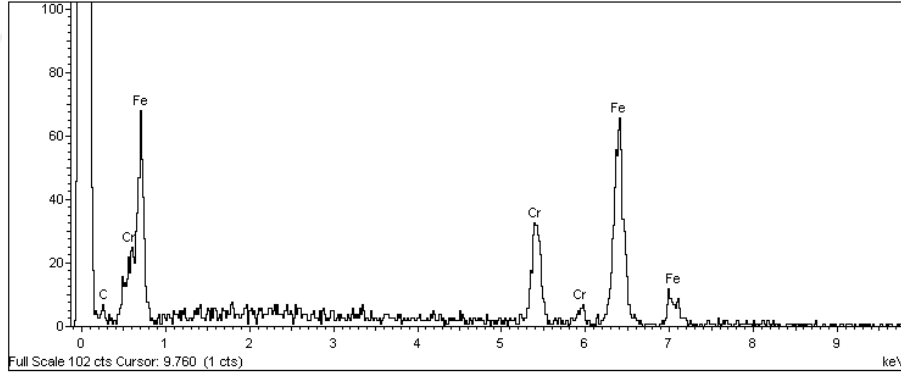




**a) 1. nokta**



**b) 2. nokta**

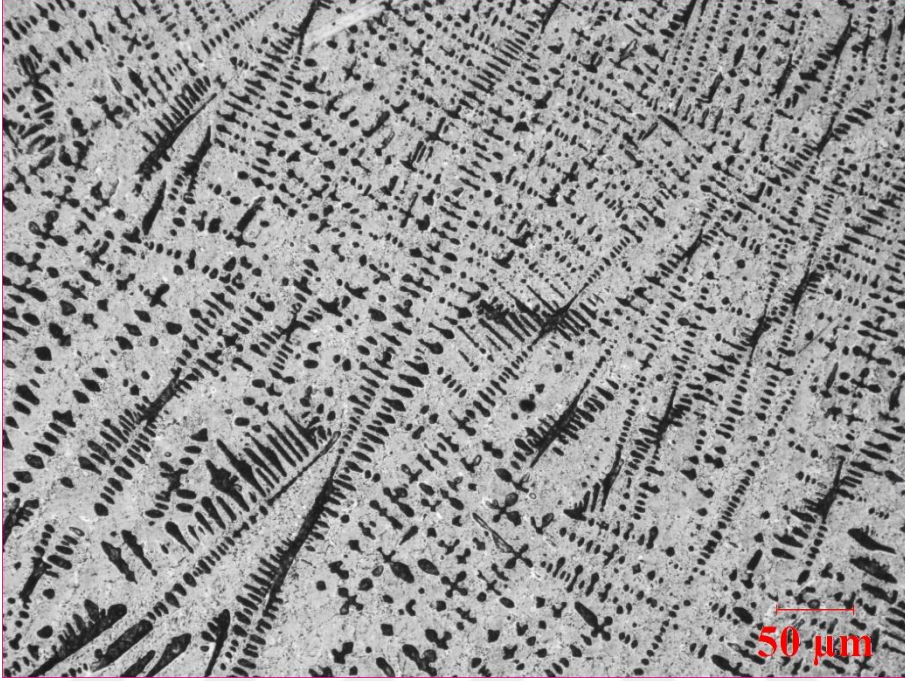


**c) 3. nokta**

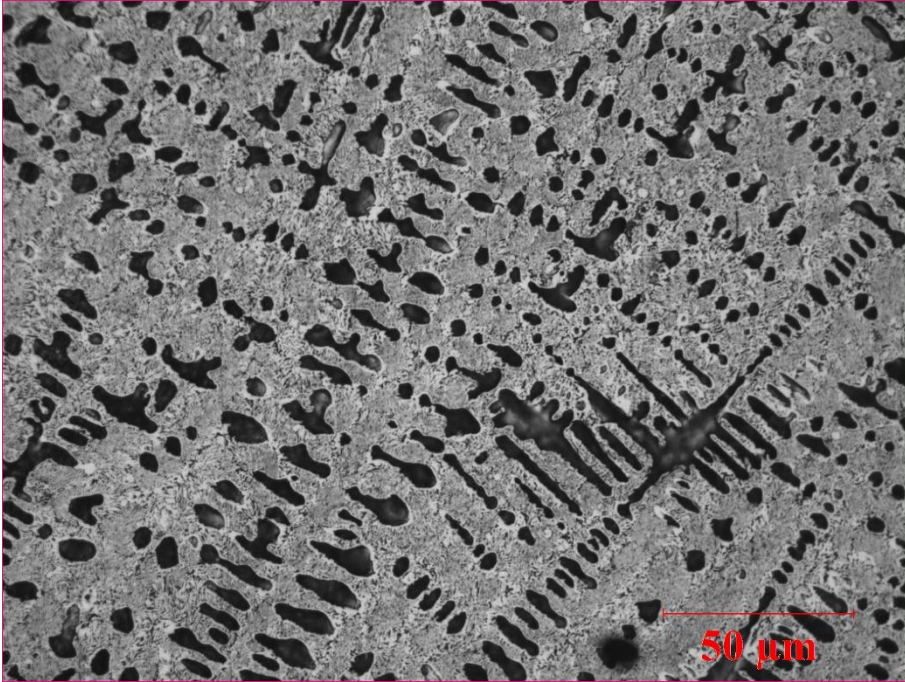
**Şekil 6.114.** N29 numunesinin EDS grafikleri

N30 numunesine ait yüzey alaşımlama tabakasının OM görüntüleri Şekil 6.115.' de, SEM görüntüleri ve EDS analiz grafikleri ise, sırasıyla Şekil 6.116. ve Şekil 6.117.' de verilmiştir. OM görüntülerinden de görüldüğü gibi, en yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan bu numune, dendritik katılma göstermiştir. Dendritler altlık malzemeden alaşımlama tabakasına doğru dikey yönde katılmıştır. Dendrit kolları arasında ise ötektik fazlar oluşmuştur. Şekil 6.116.' da ki 1 numaralı noktadan alınan EDS analiz sonuçlarına göre dendritik faz, (%ağ) 19.30C-4.94Cr-75.75Fe elementlerinden oluşmaktadır. 2

numaralı bölgeden alınan EDS analizine göre ise ötektik bölge (%ağ) 16.16C-8.48Cr-75.36Fe elementleri içermektedir.

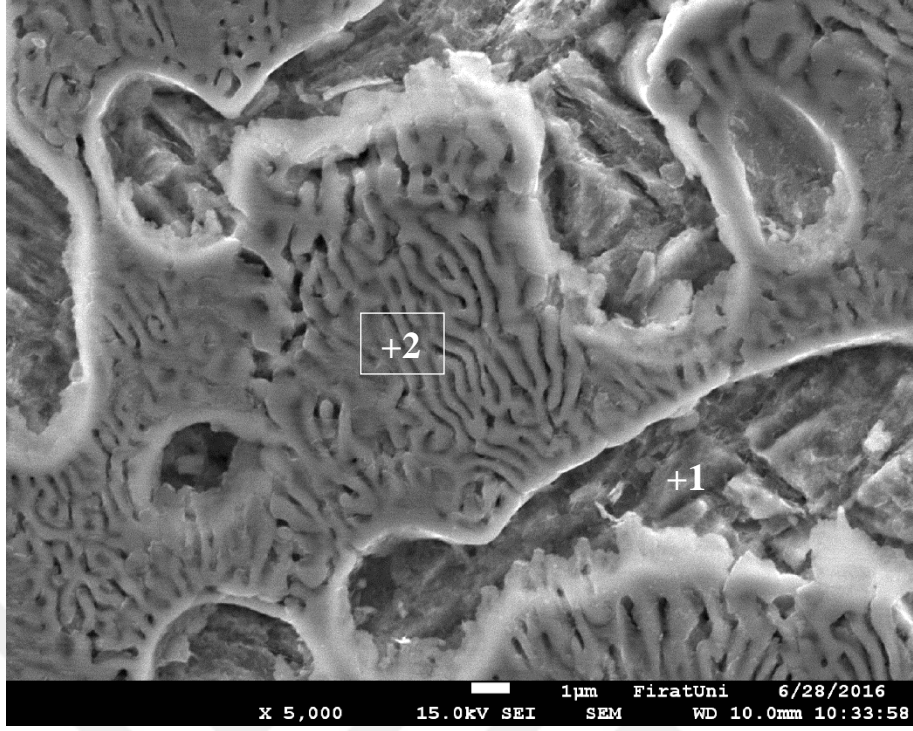


a)

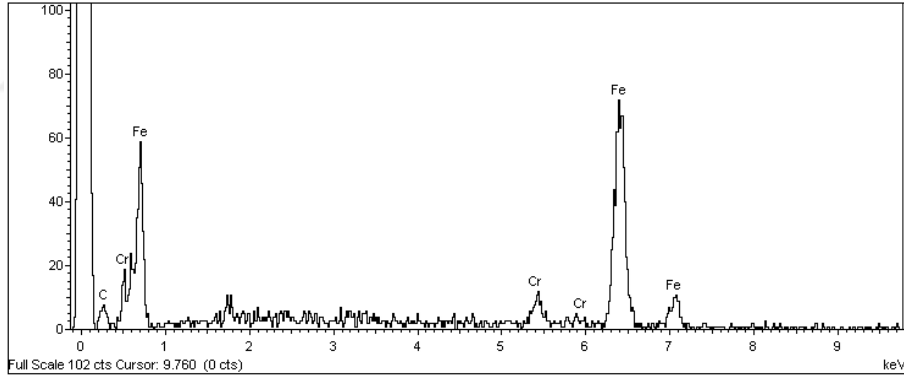


b)

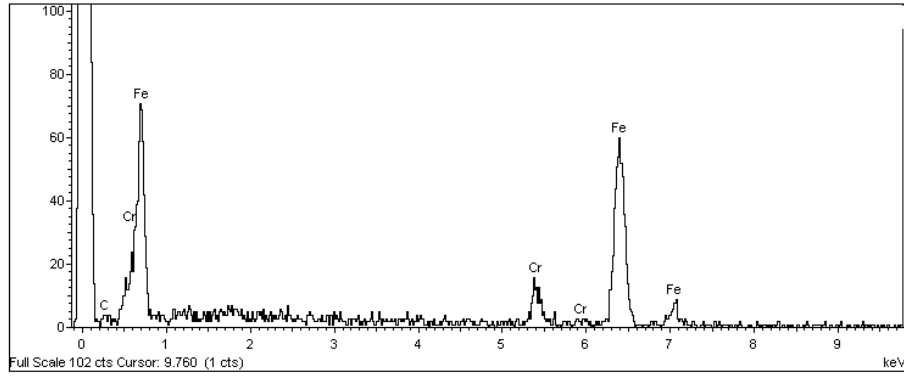
Şekil 6.115. N30 numunesinin OM görüntüleri a) x200 ve b) x500



Şekil 6.116. N30 numunesinin SEM görüntüsü x5000



a) 1. nokta



b) 2. bölge

Şekil 6.117. N30 numunesinin EDS grafikleri

### 6.1.6. Sinterlenmiş (%ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Mikroyapısı

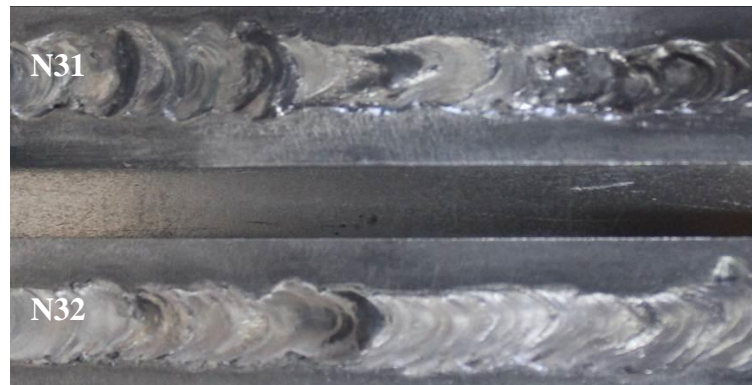
Tablo 6.11’ de, sinterlenmiş (% ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C toz karışımı ile farklı ilerleme ve akım değerlerinde yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının genel özellikleri verilmiştir. Yüzey alaşımlama derinliği ve ara yüzey yüksekliği, ısı girdisi arttıkça artmıştır. Ayrıca dendritler genişlemiş ve daha fazla yüzey alanına sahip olmuştur.

**Tablo 6.11.** Sinterlenmiş (% ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların genel özellikleri

Numune	V	A	Q	h	h <sub>a</sub>	F	Cr/Fe	Y	A <sub>ort.</sub>	G <sub>ort.</sub>
N31	0.15 m/dk	140 A	0.585 kj/mm	1420 μm	11.57 μm	Dendrit	0.21	18.4	60.7 μm <sup>2</sup>	4.9 μm
						Ötektik	0.17			
N32	0.15 m/dk	160 A	0.704 kj/mm	1530 μm	15.2 μm	Dendrit	0.09	32.6	62.7 μm <sup>2</sup>	6.4 μm
						Ötektik	0.12			

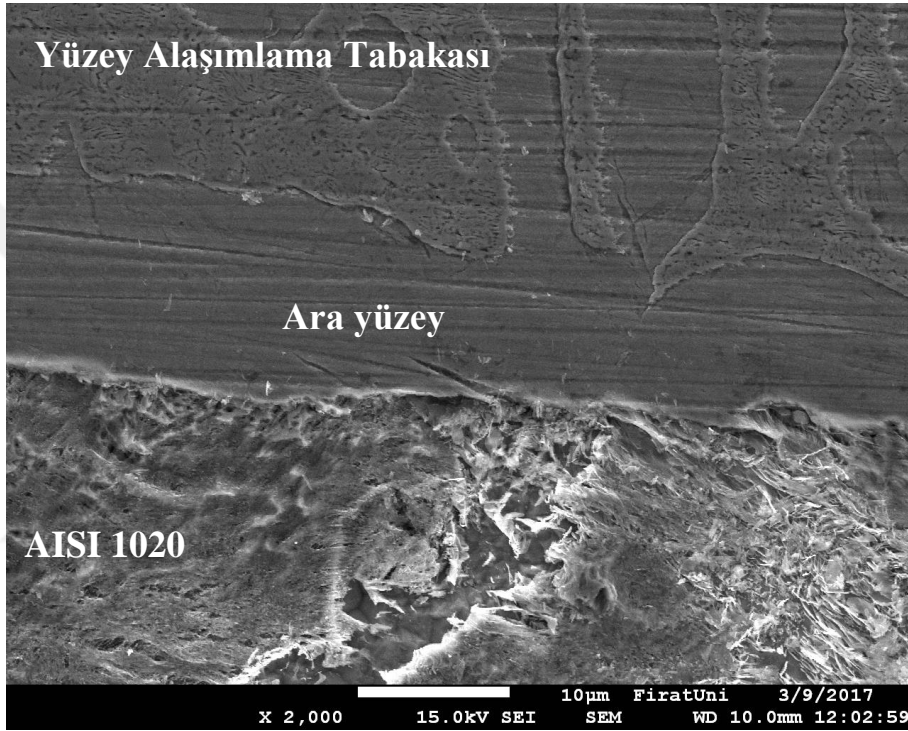
Tabloda **V**: ilerleme hızı (m/dk); **A**: Akım (A); **Q**: Isı girdisi (kj/mm); **h**: Yüzey alaşımlamanın en derin noktasından alınan yaklaşık yüzey alaşımlama derinliği (μm); **h<sub>a</sub>**: Beş farklı noktadan alınan ortalama ara yüzey yüksekliği (μm); **F**: Yapıda yoğun bulunan faz; **Cr/Fe**: Yapıda yoğun bulunan fazın Cr/Fe oranı (Üç farklı noktadan alınan sonuçların ortalama değeri); **Y**: Yapıda bulunan karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin yüzdesi; **A<sub>ort.</sub>**: Karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin ortalama yüzey alanı (μm<sup>2</sup>); **G<sub>ort.</sub>**: Karbürlerin, borürlerin veya dendritlerin ortalama genişliği (μm).

Şekil 6.118.’ de N31 ve N32 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları verilmiştir. Bu fotoğraflardan alaşım tozlarının altlık malzeme ile birlikte ergiyerek yüzeyin modifiye edildiği görülmektedir. Yüzeylerde herhangi bir çatlak veya poroziteye rastlanmamıştır.

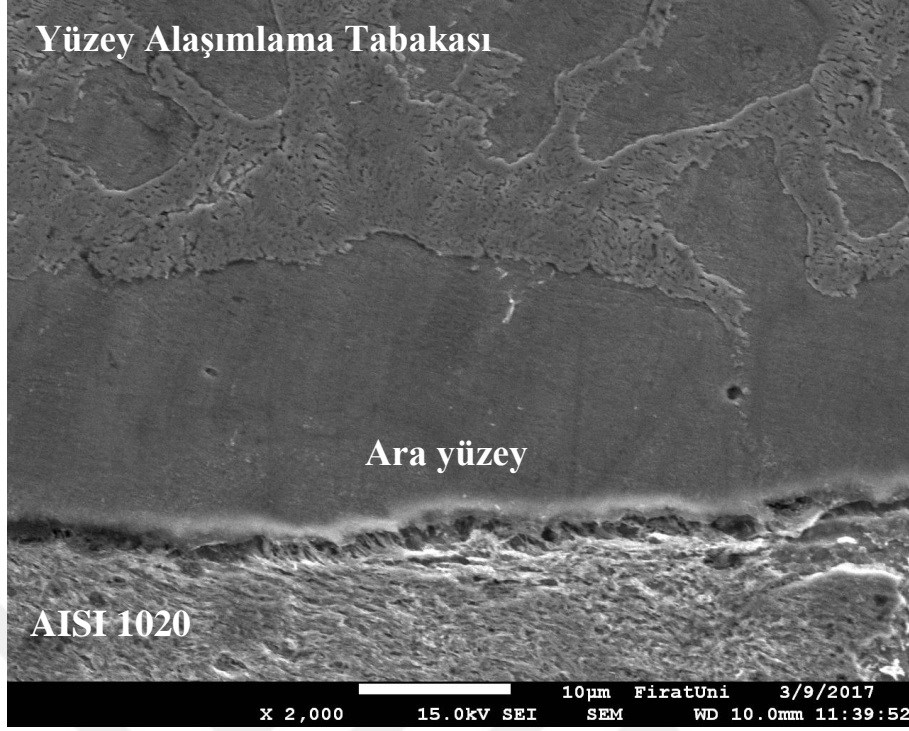


**Şekil 6.118.** N31 ve N32 numunelerinin alaşımlanmış yüzeylerinin makro fotoğrafları

N31 ve N32 numunelerinin ara yüzey SEM görüntüleri, sırasıyla Şekil 6.119. ve Şekil 6.120.' de verilmiştir. Görüldüğü gibi bu numunelerin alaşımlama ara yüzeylerinde herhangi bir çatlak, porozite ve boşluk oluşmamıştır. Yüzey alaşımlama tabakaları altlık malzeme ile geçiş bölgesi oluşturacak biçimde bir yapı oluşturmuştur. Ayrıca numunelerin ara yüzeylerinin üzerindeki bölgede, dendritik ve dendritler arası ötektik katılaşma meydana gelmiştir.



Şekil 6.119. N31 numunesinin SEM görüntüsü (x2000)



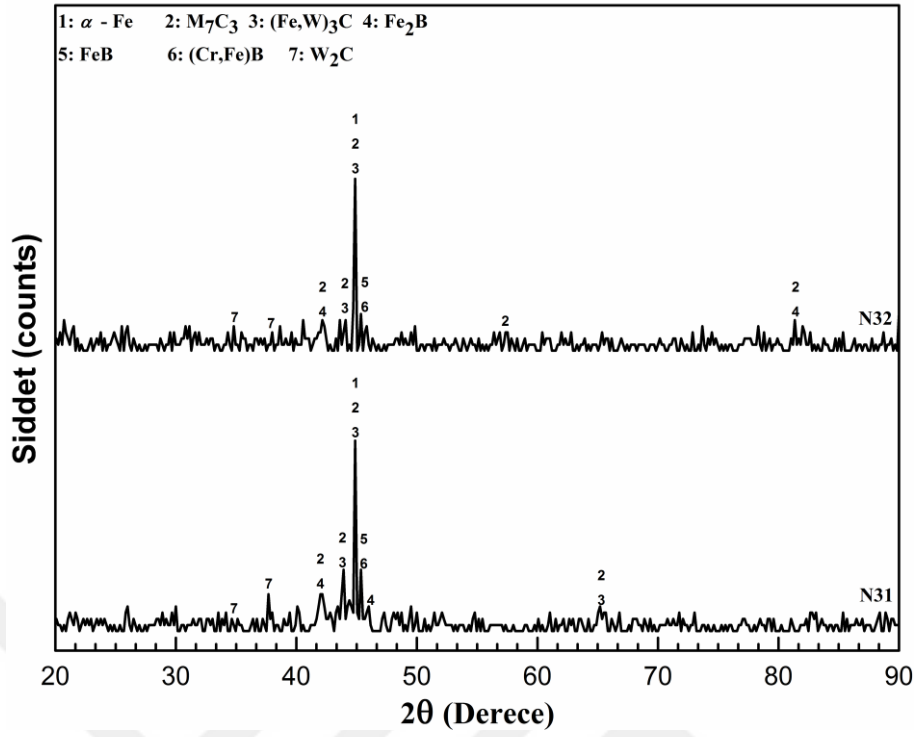
Şekil 6.120. N32 numunesinin ara yüzey SEM görüntüsü (x2000)

N31 ve N32 numunelerinin alaşımlanmış bölgelerinden bölgesel olarak alınan EDS sonuçlarına göre, Cr/Fe oranı Tablo 6.12’ de verilmiştir. Cr/Fe oranı, ısı girdisi arttıkça altlık malzemenin daha yoğun ergimesinden dolayı, Fe konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak düşmüştür.

**Tablo 6.12.** N31 ve N32 numunelerinin Cr/Fe oranları

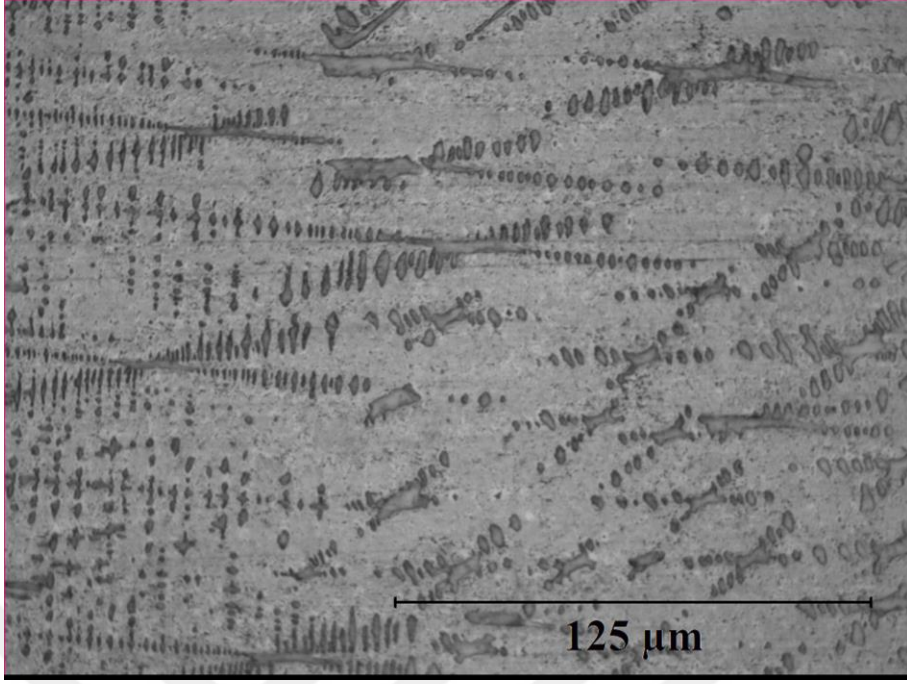
Numune	Cr/Fe
N31	0.135
N32	0.133

N31 ve N32 numunelerinin XRD analiz sonuçları Şekil 6.121.’de verilmiştir. XRD analiz sonuçlarına göre, bu numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakaları, genelde  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe) karbürü,  $(Fe, W)_3C$  karbürü, FeB ve  $Fe_2B$  borürlerinden oluşmaktadır. Bu bileşikler dışında, alaşımlanmış yüzey tabakalarında bir miktar da  $\alpha$ -Fe, (Cr, Fe)B borürü ve  $W_2C$  karbürü bulunmaktadır.

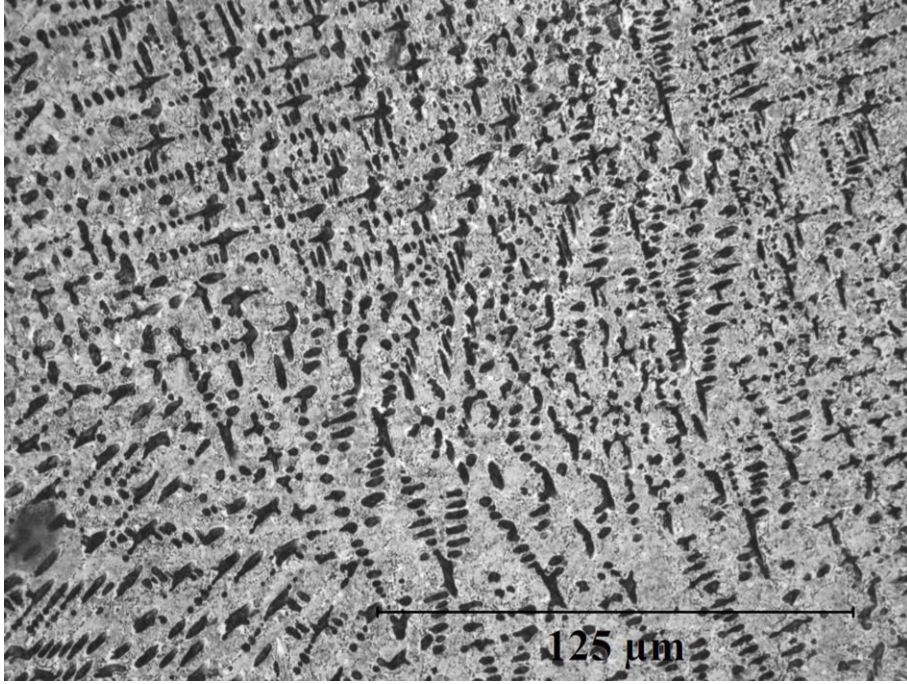


Şekil 6.121. N31 ve N32 numunelerinin XRD analiz sonuçları

N31 ve N32 numunelerinin yüzey alaşımlama tabakalarının OM görüntüleri Şekil 6.122.' de verilmiştir. Yüzey alaşımlama tabakası mikroyapıları incelendiğinde, yüzey alaşımlama tabakasının ince taneli dendritik ve bu dendritler arası ötektik yapılardan oluştuğu görülmektedir.



a)



b)

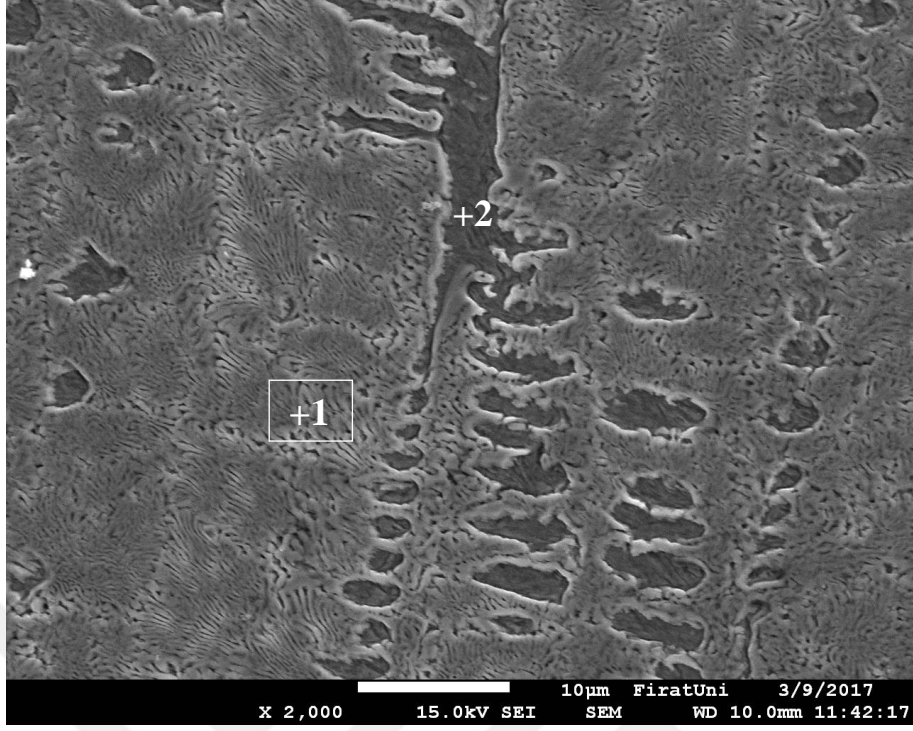
Şekil 6.122. N31 ve N32 numunelerinin OM görüntüleri a) N31 x500 ve b) N32 x500

Şekil 6.123.' de N31 ve N32 numunelerinin yüzey alaşımlama tabakalarının SEM görüntüleri, Şekil 6.124.' de ise EDS grafikleri verilmiştir. N31 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasından alınan EDS analiz sonuçlarına göre, 1 numaralı ötektik bölgen

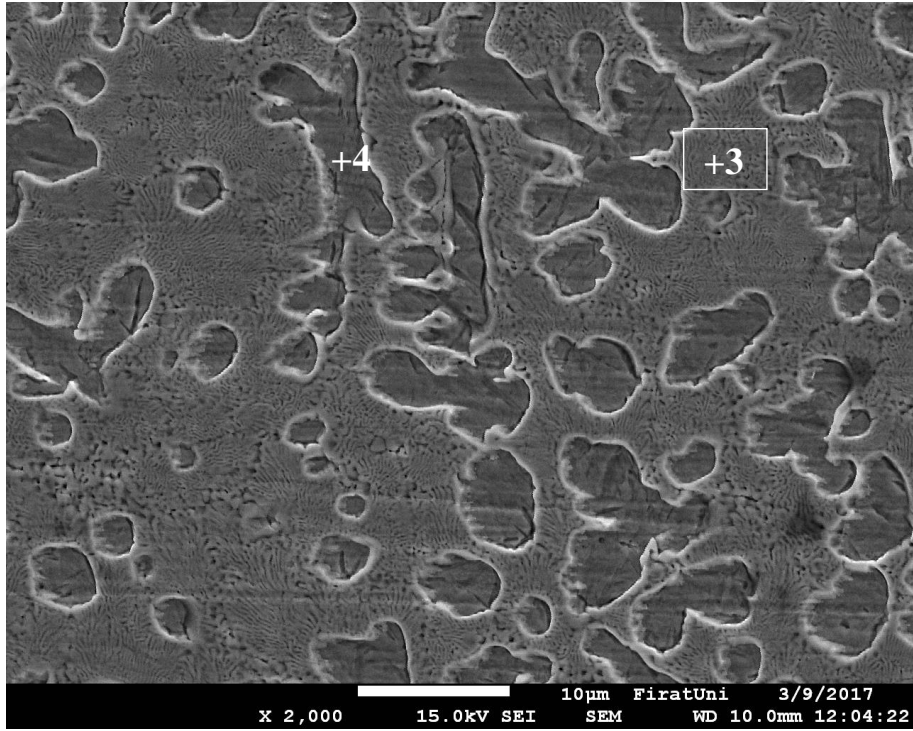


kimyasal kompozisyon olarak (%ağ) 23.97C-10.80Cr-57.90Fe-7.33W elementlerinden oluşmaktadır. 2 numaralı noktadaki dendritik noktadan alınan EDS analiz sonuçlarına göre ise, bu nokta (%ağ) 22.99C-8.54Cr-64.02Fe-4.36W elementlerinden oluşmaktadır. N32 numunesinin yüzey alaşımlama tabakasından alınan EDS analiz sonuçlarına göre ise, 3 numaralı ötektik bölge kimyasal kompozisyon olarak (%ağ) 25.18C-10.54Cr-58.61Fe-5.68W elementleri içerirken, 4 numaralı noktadaki dendritik faz (%ağ) 24.95C-4.92Cr-67.76Fe-2.38W elementlerinden oluşmaktadır.



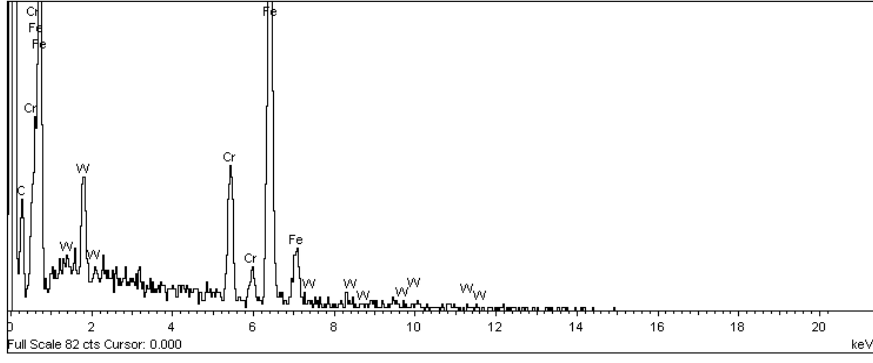


a)

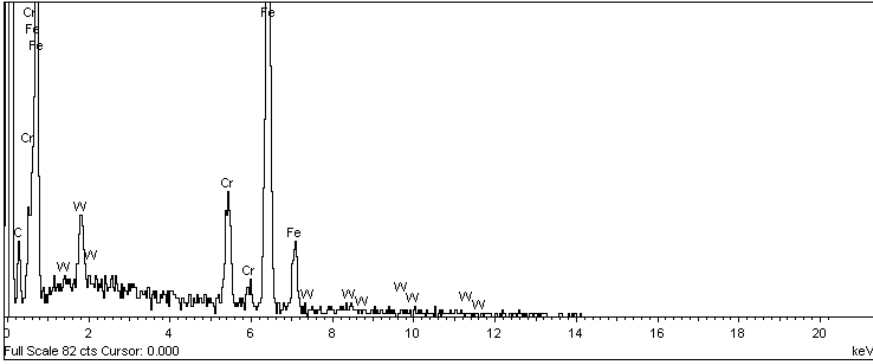


b)

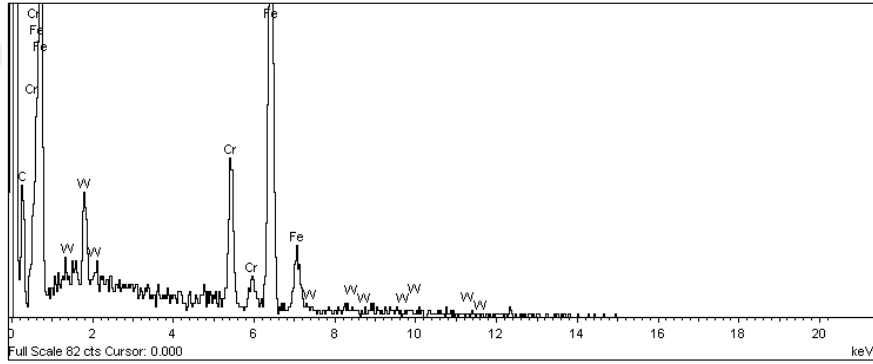
Şekil 6.123. N31 ve N32 numunelerinin SEM görüntüleri a) N31 x2000 ve b) N32 x2000



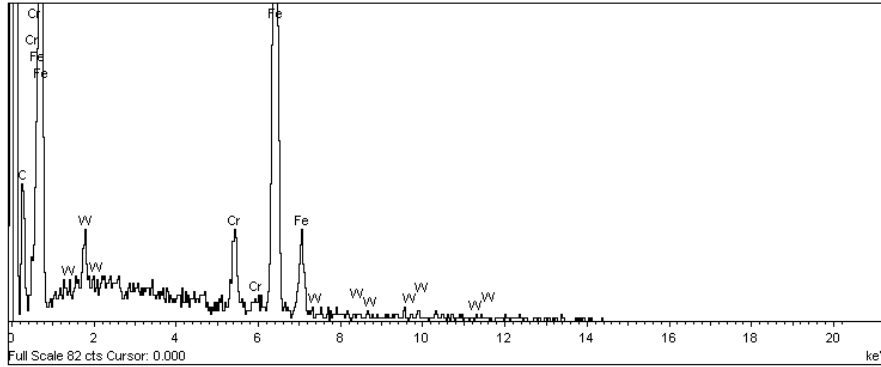
**a) 1. bölge**



**b) 2. nokta**



**c) 3. bölge**



**d) 4. nokta**

**Şekil 6.124.** N31 ve N32 numunelerinin EDS grafikleri

## 6.2. Mikrosertlik Sonuçları

### 6.2.1. (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Mikrosertliği

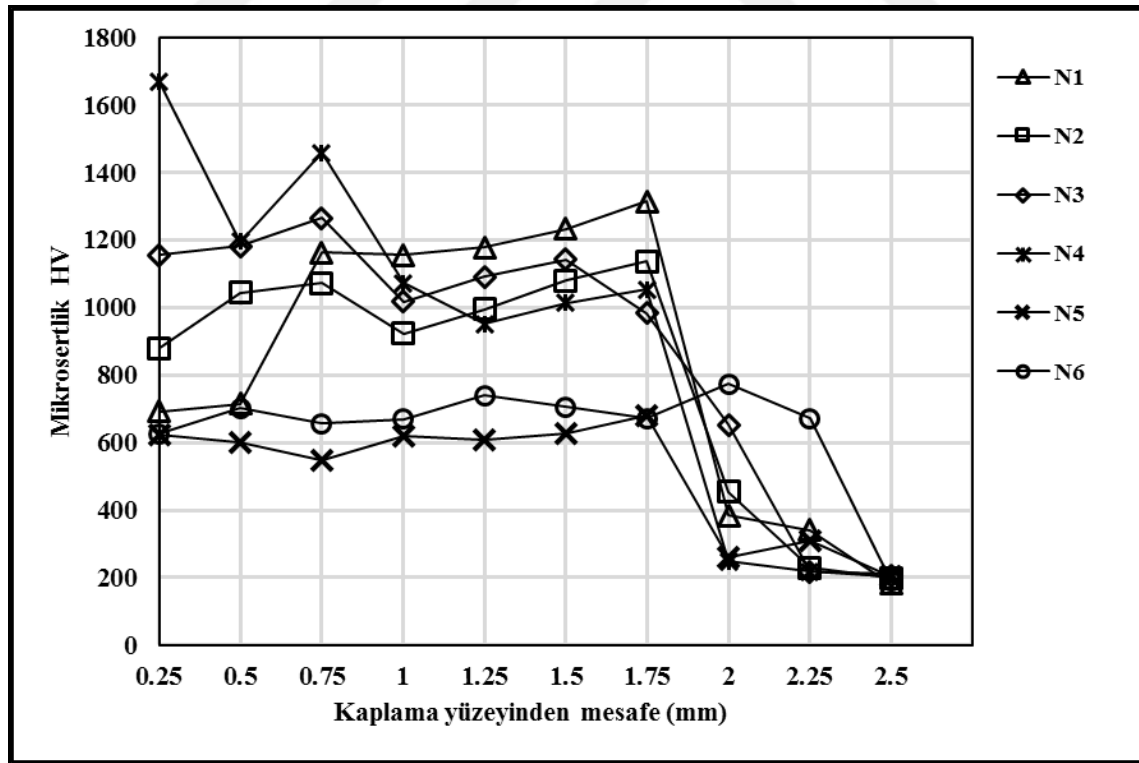
Tablo 6.13.' de, (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama ve en yüksek mikrosertlik değerleri verilmiştir. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama mikrosertlikleri ısı girdisinin değişmesiyle 601 - 1063 HV arasında değişmektedir. Bu mikrosertlik değerleri, AISI 1020' nin mikrosertliğinden (yaklaşık 160 - 185 HV) oldukça yüksektir. Altlık malzemeye göre sertlikteki artış alaşımlanmış yüzey tabakalarında bulunan  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürü,  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü, WC ve (Cr, Fe)B borürü gibi yüksek sertlikteki fazlardan kaynaklanmaktadır. En yüksek ortalama mikrosertlik değeri, N3 numunesinde 1063 HV, en yüksek mikrosertlik değeri ise N4 numunesinde, 1668 HV olarak ölçülmüştür. Literatürde GTA yöntemiyle Fe-Cr-W-B-C elementleri ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamalarda da ortalama 900 - 1000 HV mikrosertlik değerlerine ulaşılmıştır [19]. PTA yöntemiyle gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada ise, ölçülen en yüksek mikrosertlik değerleri literatürdeki çalışmadan daha yüksektir. 0.713 kJ/mm ısı girdisi ve altındaki ısı girdilerinde yüzeyi alaşımlanan numunelerin ortalama mikrosertlikleri, düşük hız ve yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan numunelerden daha yüksektir. Bunun nedeni olarak yüksek ısı girdilerinde alaşımlanmış yüzey tabakalarının içerisindeki önemli bir karbür oluşturu element olan Cr oranının yapıya altlık malzemedan daha fazla Fe' nin katılmasıyla düşmesi gösterilebilir. Tablodan görüldüğü gibi, N1 ve N2 numunelerine oranla daha yüksek ısı girdilerinde yüzeyi alaşımlanan N3 ve N4 numunelerinin ortalama mikrosertlikleri bir miktar daha yüksektir. Bu durumun ısı girdisinin yükselmesinden dolayı, daha fazla W elementinin ergiyerek yapıya katılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 6.1. bölümündeki, mikroyapı sonuçlarında da W elementinin yüksek sıcaklarda ergidiği ve WC karbürlerinin yüksek sıcaklıklarda oluştuğu belirtilmiştir.

**Tablo 6.13.** (% ağı.) 80FeCrC-10FeW-10FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların mikrosertlikleri

Numune	V	A	Q	HV <sub>(ort.)</sub>	HV <sub>(max.)</sub>
N1	0.15 m/dk	120 A	0.475 kJ/mm	990 HV	1315 HV
N2	0.15 m/dk	140 A	0.585 kJ/mm	950 HV	1136 HV
N3	0.15 m/dk	160 A	0.704 kJ/mm	1063 HV	1265 HV
N4	0.1 m/dk	120 A	0.713 kJ/mm	992 HV	1668 HV
N5	0.1 m/dk	140 A	0.878 kJ/mm	601 HV	680 HV
N6	0.1 m/dk	160 A	1.056 kJ/mm	697 HV	740 HV

Tabloda V: ilerleme hızı (m/dk); A: Akım (A); Q: Isı girdisi (kJ/mm); HV<sub>(ort.)</sub>: Yüzey alaşımlama tabakası ortalama mikrosertliği; HV<sub>(max.)</sub>: En yüksek mikrosertlik değeri

Şekil 6.125.' de, (%ağı.) 80FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin mikrosertlik dağılım grafiği verilmiştir. Görüldüğü gibi, 0.713 kJ/mm ve daha düşük ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N1-N4) mikrosertlik dağılımları, karbürlerin yapıda homojen olarak dağılmamasından dolayı alaşımlanmış yüzey tabakasının yüzeyinden altlık malzemeye inildikçe değişmektedir. Yüksek ısı girdilerinde yüzeyi alaşımlanan ve dendritik katılaşma gösteren numunelerin mikrosertlikleri ise daha küçük bir aralıkta değişmektedir.



**Şekil 6.125.** N1-16 numunelerinin mikrosertlik dağılımları

## 6.2.2. (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzeysel Alaşımın Mikrosertliği

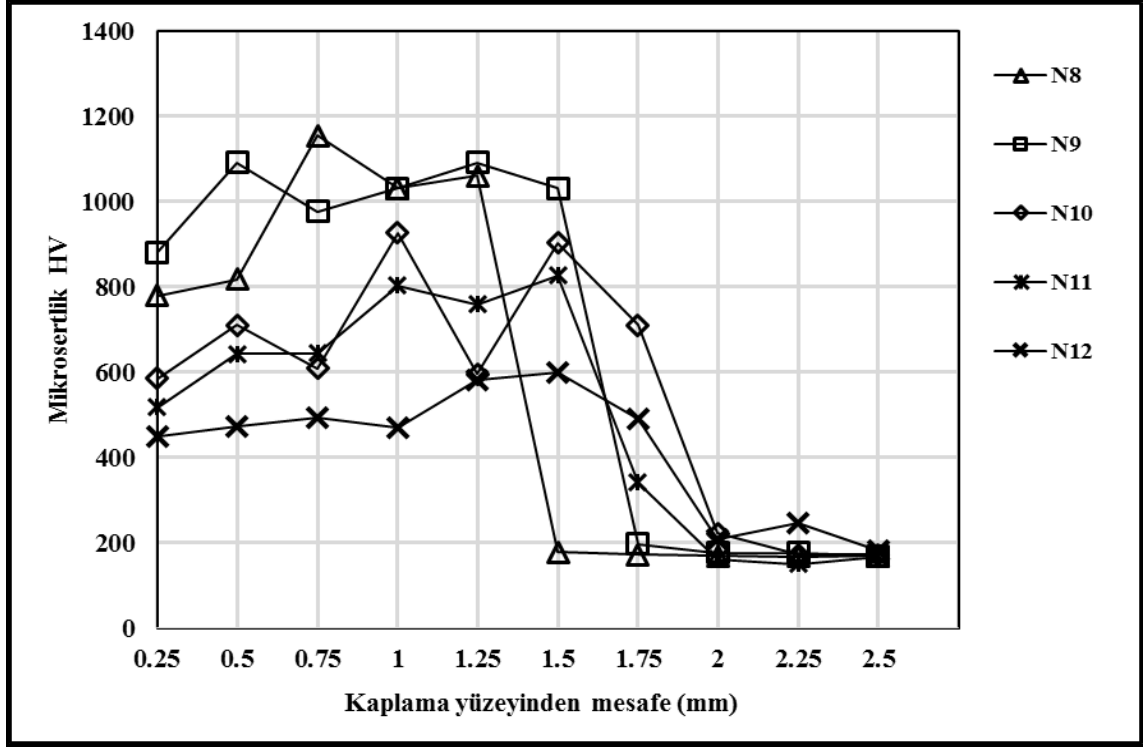
Tablo 6.14.' de, (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama ve en yüksek mikrosertlik değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama mikrosertlikleri yapılarındaki sert ve aşınma dirençli borür, karbür ve karbür yapılarından dolayı AISI 1020' den daha yüksektir ve 509 - 1017 HV arasında değişmektedir. Alaşım tozu karışımında FeCrC oranının azaltılıp, FeW ve FeB oranının artırılması ortalama mikrosertliklerde önemli değişikliklere sebep olmamıştır. 0.585 kJ/mm ve 0.704 kJ/mm ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N8 ve N9) ortalama mikrosertlikleri, aynı ısı girdisinde (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB ile yüzeyi alaşımlanan numunelerle neredeyse aynıdır. (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerde ölçülen en yüksek mikrosertlik değerleri ise, (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB ile yüzeyi alaşımlanan numunelerde ölçülenlerden genelde daha düşüktür. Bunun nedeni olarak Cr oranının düşmesinden dolayı  $M_{23}(C, B)_6$  (M=Cr, Fe, W) karbürü fazına göre, daha sert olan  $M_7C_3$  (M=Cr, Fe, W) karbürünün alaşımlanmış yüzey tabakalarındaki oranının düşmesi gösterilebilir. Yine tablodan görüldüğü gibi, düşük ilerleme hızlarında ve yüksek ısı girdilerinde yüzeyi alaşımlanan (N10-N12) numunelerin ortalama mikrosertlikleri, yapıya giren Fe elementinin oranının artmasıyla düşüktür.

**Tablo 6.14.** (% ağırlık) 60FeCrC-20FeW-20FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamalarının mikrosertlikleri

Numune	V	A	Q	HV <sub>(ort.)</sub>	HV <sub>(max.)</sub>
N8	0.15 m/dk	140 A	0.585 kJ/mm	969 HV	1155 HV
N9	0.15 m/dk	160 A	0.704 kJ/mm	1017 HV	1091 HV
N10	0.1 m/dk	120 A	0.713 kJ/mm	720 HV	927 HV
N11	0.1 m/dk	140 A	0.878 kJ/mm	648 HV	827 HV
N12	0.1 m/dk	160 A	1.056 kJ/mm	509 HV	601 HV

Tabloda **V**: ilerleme hızı (m/dk); **A**: Akım (A); **Q**: Isı girdisi (kJ/mm); **HV<sub>(ort.)</sub>**: Yüzeysel alaşımlama tabakası ortalama mikrosertliği; **HV<sub>(max.)</sub>**: En yüksek mikrosertlik değeri

Şekil 6.126.' da, (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin mikrosertlik dağılım grafiği verilmiştir. Görüldüğü gibi, yüksek ısı girdilerinde yüzeyi alaşımlanan ve dendritik katılaşma gösteren numunelerin mikrosertlikleri daha küçük bir aralıkta değişmektedir (N11 ve N12).



Şekil 6.126. N8-N12 numunelerinin mikrosertlik dağılımları

### 6.2.3. (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Mikrosertliği

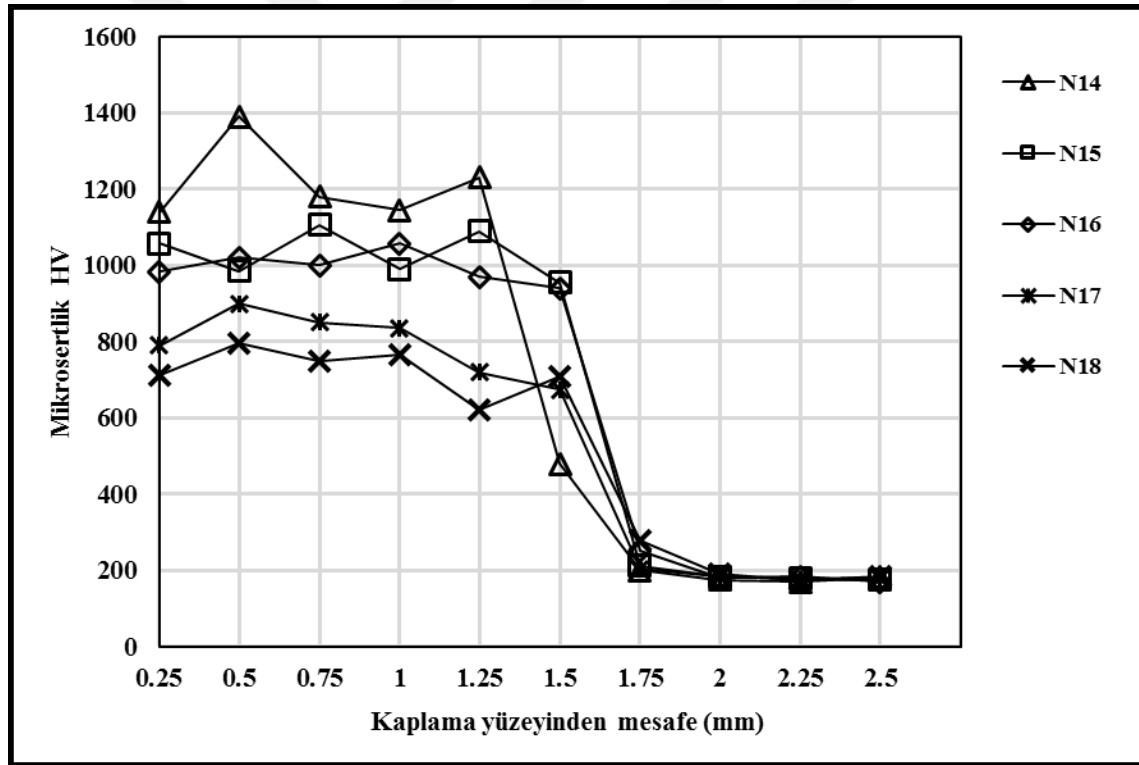
Tablo 6.15.' de, (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama ve en yüksek mikrosertlik değerleri verilmiştir. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama mikrosertlikleri 725 - 1217 HV arasında değişmektedir ve ısı girdisi arttıkça düşmüştür. Fe-Cr-W-B-C elementleriyle gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmalar içerisinde, en yüksek ortalama mikrosertlik değerleri bu toz karışımıyla gerçekleştirilen yüzey alaşımlamalarda ölçülmüştür. Aynı ısı girdilerinde (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB ve (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB toz karışımları ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin ortalama mikrosertlikleriyle karşılaştırıldığında, (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakaları ortalama mikrosertlikleri genelde en yüksektir. Bunun nedeni olarak, alaşım tozu karışımında FeB oranının artırılmasıyla B miktarı arttığından, alaşımlanmış yüzey tabakasında oldukça sert fazlar olan borürlerin (yaklaşık 1600 - 2400 HV) daha fazla oluşması gösterilebilir [56].

**Tablo 6.15.** (% ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB ile gerçekleştirilen yzey alaşımlamaların mikrosertlikleri

Numune	V	A	Q	HV <sub>(ort.)</sub>	HV <sub>(max.)</sub>
N14	0.15 m/dk	140 A	0.585 kJ/mm	1217 HV	1390 HV
N15	0.15 m/dk	160 A	0.704 kJ/mm	1030 HV	1107 HV
N16	0.1 m/dk	120 A	0.713 kJ/mm	995 HV	1058 HV
N17	0.1 m/dk	140 A	0.878 kJ/mm	795 HV	899 HV
N18	0.1 m/dk	160 A	1.056 kJ/mm	725 HV	797 HV

Tabloda V: ilerleme hızı (m/dk); A: Akım (A); Q: Isı girdisi (kJ/mm); HV<sub>(ort.)</sub>: Yzey alaşımlama tabakası ortalama mikrosertliği; HV<sub>(max.)</sub>: En yksek mikrosertlik değeri

şekil 6.127.' de, (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB toz karışımı ile yzeyi alaşımlanan numunelerin mikrosertlik dağılım grafiği verilmiştir. Gbrldüğü gibi 0.15 m/dk ilerleme hızıyla yzeyi alaşımlanan numuneler hariç (N14 ve N15), diğer numunelerin mikrosertlikleri daha küçük bir aralıkta değişmektedir.



şekil 6.127. N14-N18 numunelerinin mikrosertlik dağılımları

#### 6.2.4. (%ağ.) 70FeCrC-30FeB Toz Karışımı ile Gerçekleştirilen Yzey Alaşımlamaların Mikrosertliği

Tablo 6.16.' da, (%ağ.) 70FeCrC-30FeB toz karışımı ile yzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yzey tabakalarının ortalama ve en yksek mikrosertlik



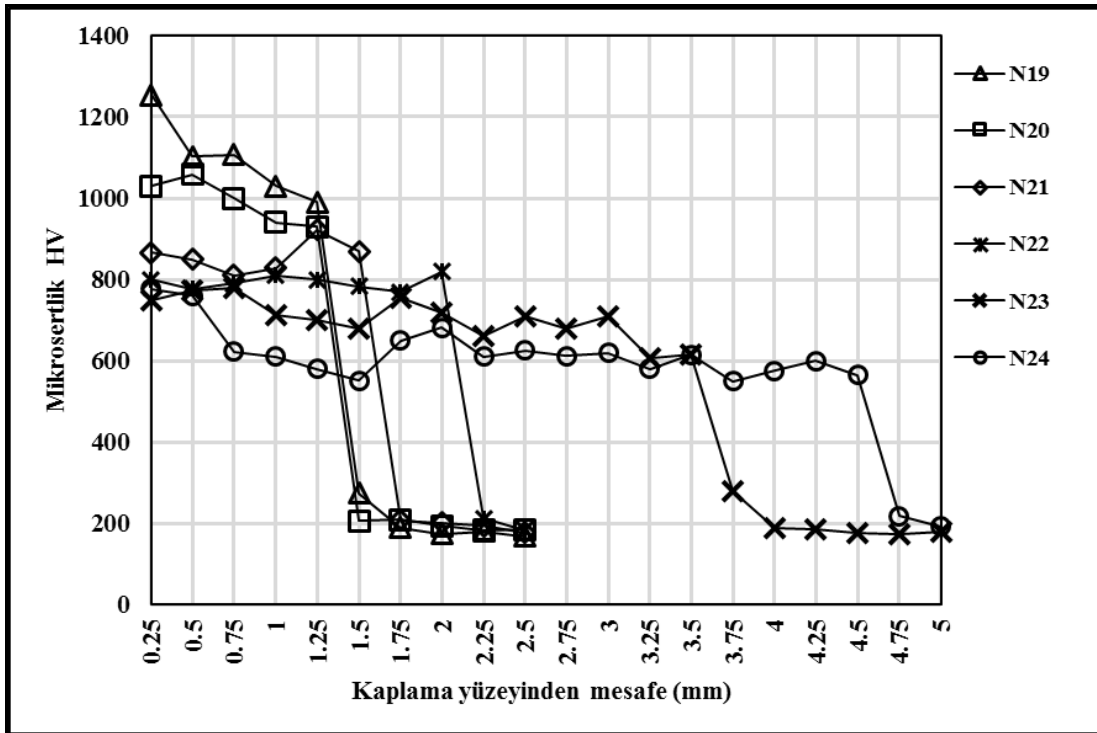
değerleri verilmiştir. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama mikrosertlikleri, 621 - 1096 HV arasında değişmektedir ve ısı girdisi arttıkça düşmüştür. En yüksek mikrosertlik değeri, 1254 HV olarak en düşük ısı girdisiyle yüzeyi alایشılan numunede ölçülmüştür. Literatürde Fe-Cr-B-C elementleriyle gerçekleştirilen çalışmada mikrosertlikler 689 - 909 HV olarak ölçülmüştür [24].

**Tablo 6.16.** (% ağı.) 70FeCrC-30FeB ile gerçekleştirilen yüzey alایشlamaların mikrosertlikleri

Numune	V	A	Q	HV <sub>(ort.)</sub>	HV <sub>(max.)</sub>
N19	0.15 m/dk	120 A	0.475 kJ/mm	1096 HV	1254 HV
N20	0.15 m/dk	140 A	0.585 kJ/mm	991 HV	1058 HV
N21	0.15 m/dk	160 A	0.704 kJ/mm	858 HV	922 HV
N22	0.1 m/dk	120 A	0.713 kJ/mm	812 HV	820 HV
N23	0.1 m/dk	140 A	0.878 kJ/mm	703 HV	780 HV
N24	0.1 m/dk	160 A	1.056 kJ/mm	621 HV	777 HV

Tabloda **V**: ilerleme hızı (m/dk); **A**: Akım (A); **Q**: Isı girdisi (kJ/mm); **HV<sub>(ort.)</sub>**: Yüzey alایشlama tabakası ortalama mikrosertliği; **HV<sub>(max.)</sub>**: En yüksek mikrosertlik değeri

Şekil 6.128.' de, (%ağı.) 70FeCrC-30FeB toz karışımı ile yüzeyi alایشlanan numunelerin mikrosertlik dağılım grafiğı verilmiştir. Görüldüğü gibi 0.713 kJ/mm ve üstündeki ısı girdilerinde yüzeyi alایشlanan numunelerin mikrosertlik dağılımları genelde daha küçük bir aralıkta değişmektedir.



**Şekil 6.128.** N19-N24 numunelerinin mikrosertlik dağılımları

### 6.2.5. (%ağ.) 50FeCrC-50FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Mikrosertliği

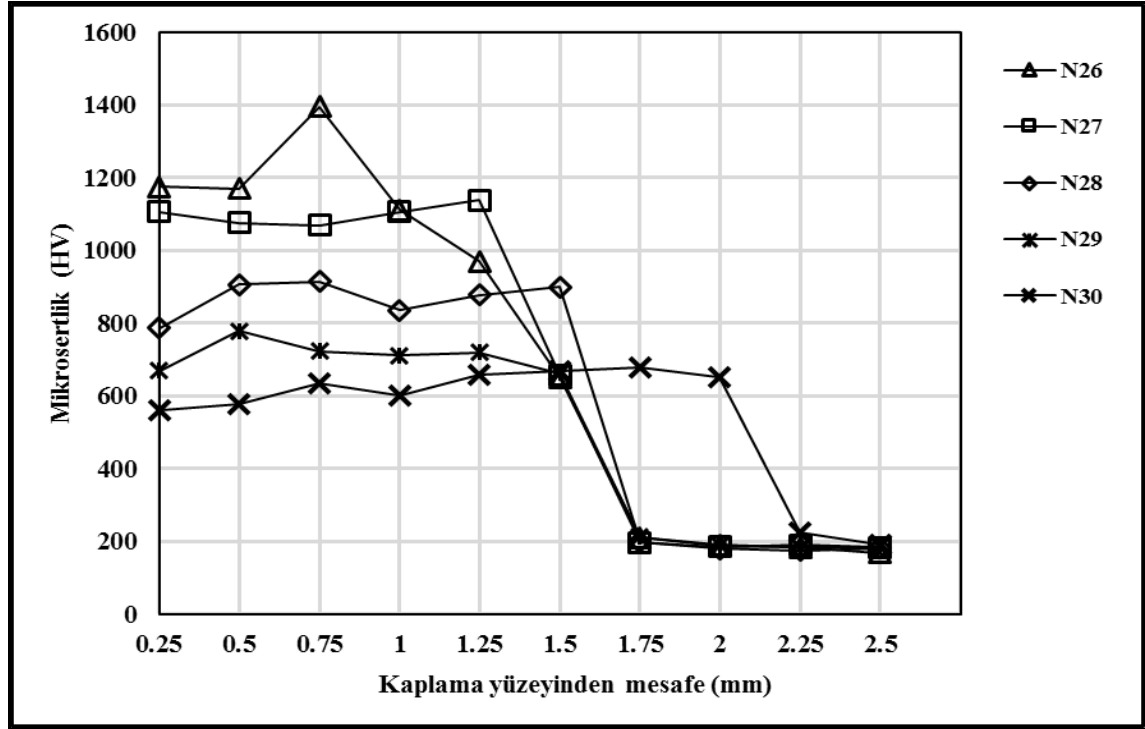
Tablo 6.17.' de, (%ağ.) 50FeCrC-50FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama ve en yüksek mikrosertlik değerleri verilmiştir. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama mikrosertlikleri, 628 - 1079 HV arasında değişmektedir ve ısı girdisi arttıkça düşmüştür. En yüksek mikrosertlik değeri, 1396 HV olarak en düşük ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan numunede ölçülmüştür. Aynı ısı girdisi değerlerinde ortalama mikrosertlikler, (%ağ.) 70FeCrC-30FeB ile yüzeyi alaşımlanan numunelerden daha yüksektir. Bunun nedeni olarak, FeB oranının artmasıyla yapıdaki B artışına bağlı olarak (Cr, Fe)B ve Fe<sub>2</sub>B gibi borürlerin miktarının artması gösterilebilir.

**Tablo 6.17.** (% ağırlık) 50FeCrC-50FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların mikrosertlikleri

Numune	V	A	Q	HV <sub>(ort.)</sub>	HV <sub>(max.)</sub>
N26	0.15 m/dk	140 A	0.585 kJ/mm	1079 HV	1396 HV
N27	0.15 m/dk	160 A	0.704 kJ/mm	1025 HV	1138 HV
N28	0.1 m/dk	120 A	0.713 kJ/mm	870 HV	914 HV
N29	0.1 m/dk	140 A	0.878 kJ/mm	711 HV	779 HV
N30	0.1 m/dk	160 A	1.056 kJ/mm	628 HV	677 HV

Tabloda **V**: ilerleme hızı (m/dk); **A**: Akım (A); **Q**: Isı girdisi (kJ/mm); **HV<sub>(ort.)</sub>**: Yüzey alaşımlama tabakası ortalama mikrosertliği; **HV<sub>(max.)</sub>**: En yüksek mikrosertlik değeri

Şekil 6.129.' da, (%ağ.) 50FeCrC-50FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin mikrosertlik dağılım grafiği verilmiştir. Görüldüğü gibi, en düşük ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan numune hariç (N26) diğer numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikrosertlik dağılımları daha küçük bir aralıkta değişmektedir.



Şekil 6.129. N26-N30 numunelerinin mikrosertlik dağılımları

### 6.2.6. Sinterlenmiş (ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Mikrosertliği

Tablo 6.18.' de, (%ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin ortalama ve en yüksek mikrosertlik değerleri verilmiştir. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama mikrosertlikleri, 923 ve 1005 HV olarak ölçülmüştür ve ısı girdisi arttıkça düşmüştür. Aynı ısı girdisi değerlerinde ortalama mikrosertlikler (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB ile yüzeyi alaşımlanan numunelerden daha düşüktür.

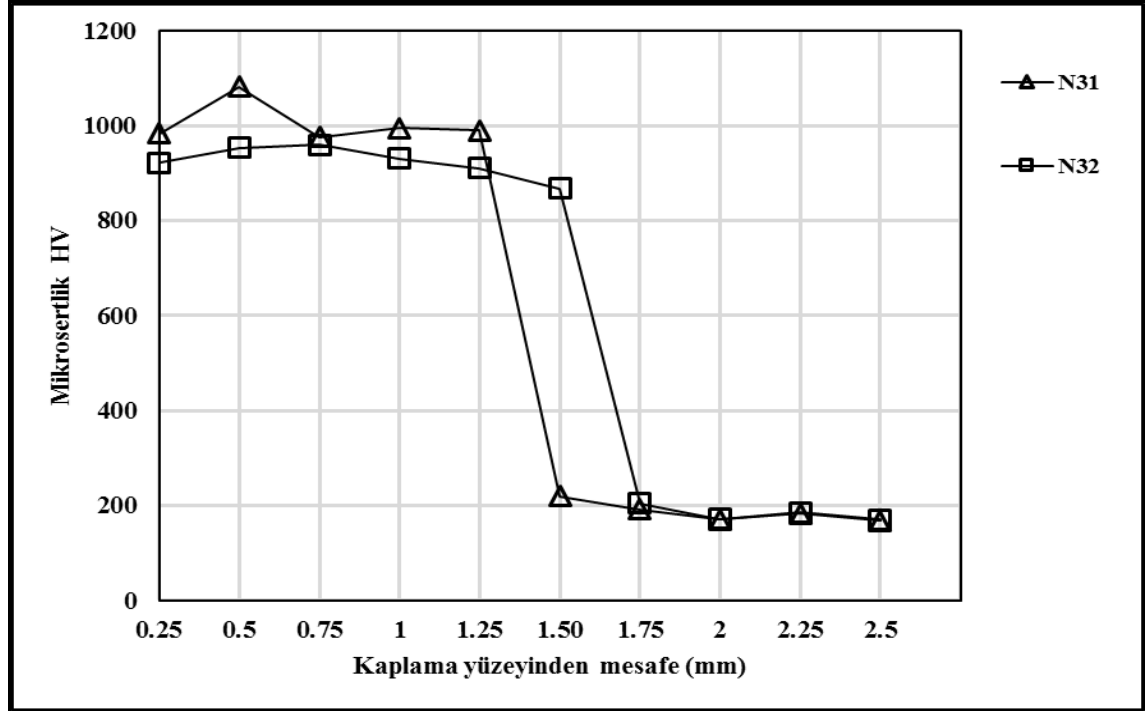
**Tablo 6.18.** (% ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların mikrosertlikleri

Numune	V	A	Q	HV <sub>(ort.)</sub>	HV <sub>(max.)</sub>
N31	0.15 m/dk	140 A	0.585 kJ/mm	1005 HV	1082 HV
N32	0.15 m/dk	160 A	0.704 kJ/mm	923 HV	960 HV

Tabloda **V**: ilerleme hızı (m/dk); **A**: Akım (A); **Q**: Isı girdisi (kJ/mm); **HV<sub>(ort.)</sub>**: Yüzey alaşımlama tabakası ortalama mikrosertliği; **HV<sub>(max.)</sub>**: En yüksek mikrosertlik değeri

Şekil 6.130.' da (%ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin mikrosertlik dağılım grafiği verilmiştir. Sinterlenmiş toz karışımı

ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin alaşımlanmış yüzey tabakalarının mikrosertlik dağılımları aynı ısı girdisinde sinterlenmemiş (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB ile yüzeyi alaşımlanan numunelere göre daha küçük bir aralıkta değişmiştir.



Şekil 6.130. N31 ve N32 numunelerinin mikrosertlik dağılımları

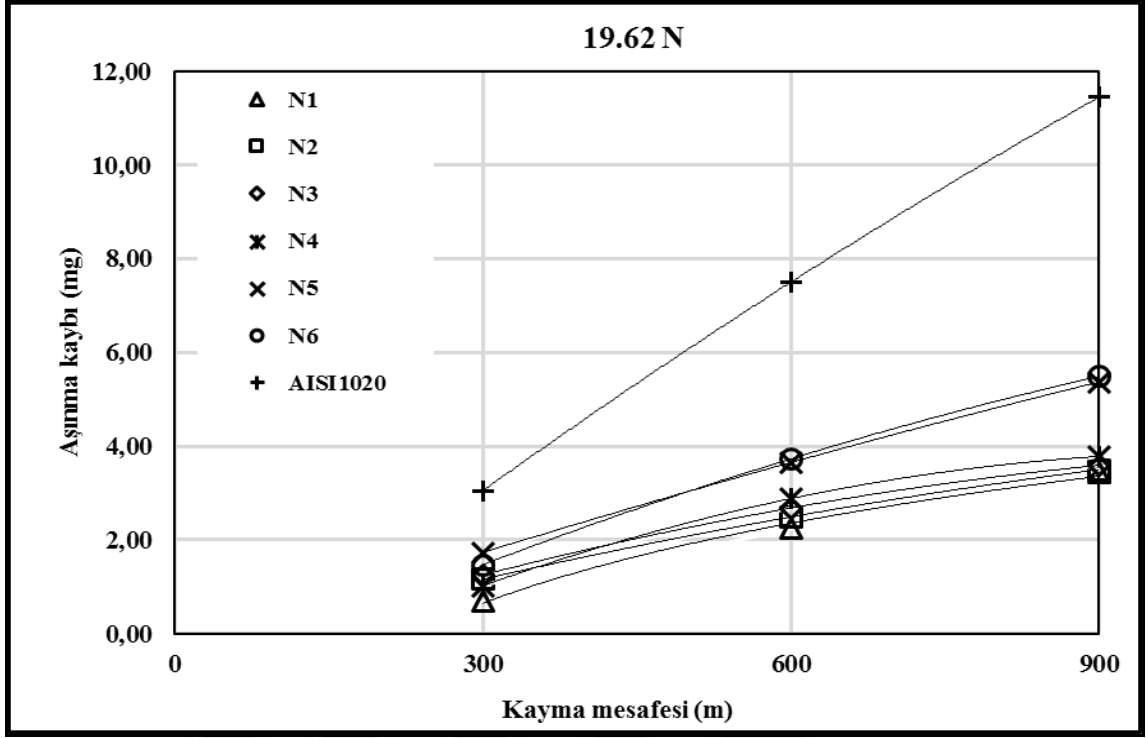
### 6.3. Aşınma Sonuçları

#### 6.3.1. (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Aşınması

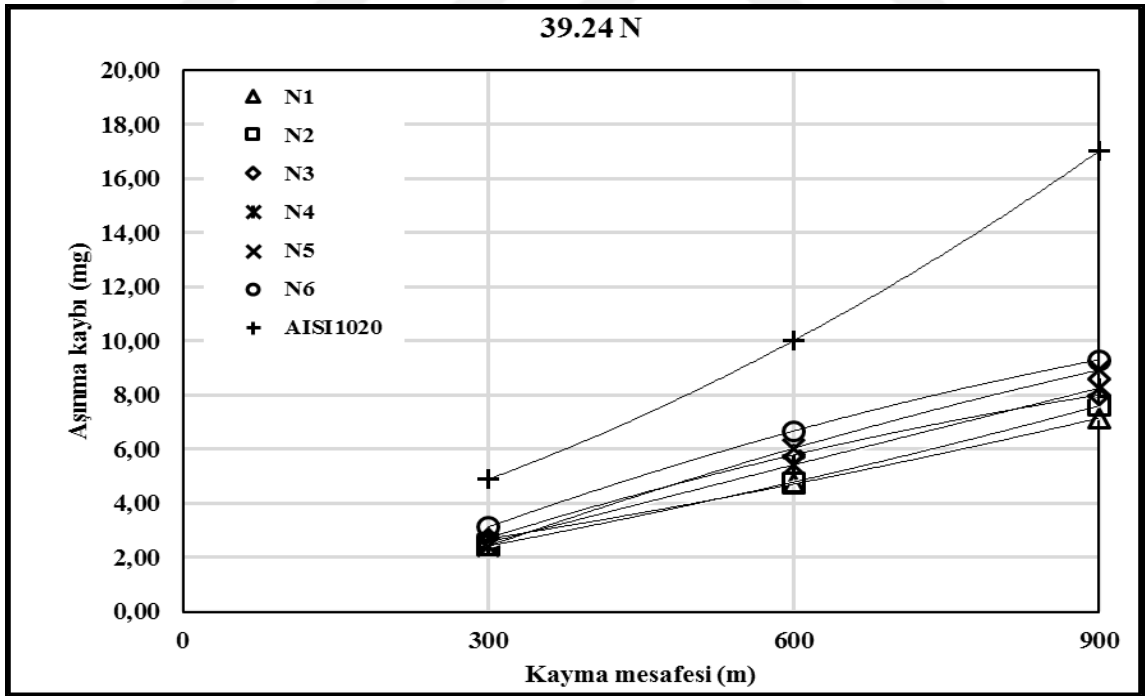
Şekil 6.131.-6.133.' de, (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımı ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların, sırasıyla 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N normal yükte aşınma kayıplarının kayma mesafesine göre değişim grafikleri verilmiştir. Görüldüğü gibi tüm yük değerlerinde, yüzeyi alaşımlanan numunelerin aşınma kayıpları altlık malzemeden daha düşüktür. Bunun nedeni alaşımlanan yüzey tabakasında bulunan sert ve aşınma dirençleri yüksek karbür, borür ve karbür gibi fazlardır. Aşınma direnci alaşımlanmış yüzey tabakasındaki karbürlerin şekline, büyüklüğüne, dağılımına ve kimyasal kompozisyonuna göre değişmektedir [3]. Bu yüzden bütün yüzeyi alaşımlanmış numunelerin aşınma davranışları birbirlerinden farklı olmuştur. Tüm yük değerlerinde

aşınma direnci en iyi olan numune, karbür yoğunluğunun en fazla olmasından dolayı en düşük ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N1 numunesi, aşınma direnci en düşük olan numune ise yumuşak dendrit fazının oranının en yüksek olduğu numune olan ve en yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N6 numunesidir. (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin aşınma kayıplarında 19.62 N yükte AISI 1020' ye göre % 52 - 70 arasında, 39.24 N yükte % 45 - 58 arasında, 58.86 N yükte ise; %30 ile 39 arasında bir iyileşme olmuştur. 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte, tüm numunelerin aşınma miktarları ısı girdisi arttıkça artmaktadır. Bunun nedeni ısı girdisinin artmasıyla, altlık malzemedan daha fazla Fe elementinin yapıya girerek, karbür oluşturu elementlerden olan Cr' nin yapı içerisindeki oranını azaltması gösterilebilir. Böylece karbür oranı azalarak alaşımlanmış yüzey tabakasının aşınma direnci düşmüştür.

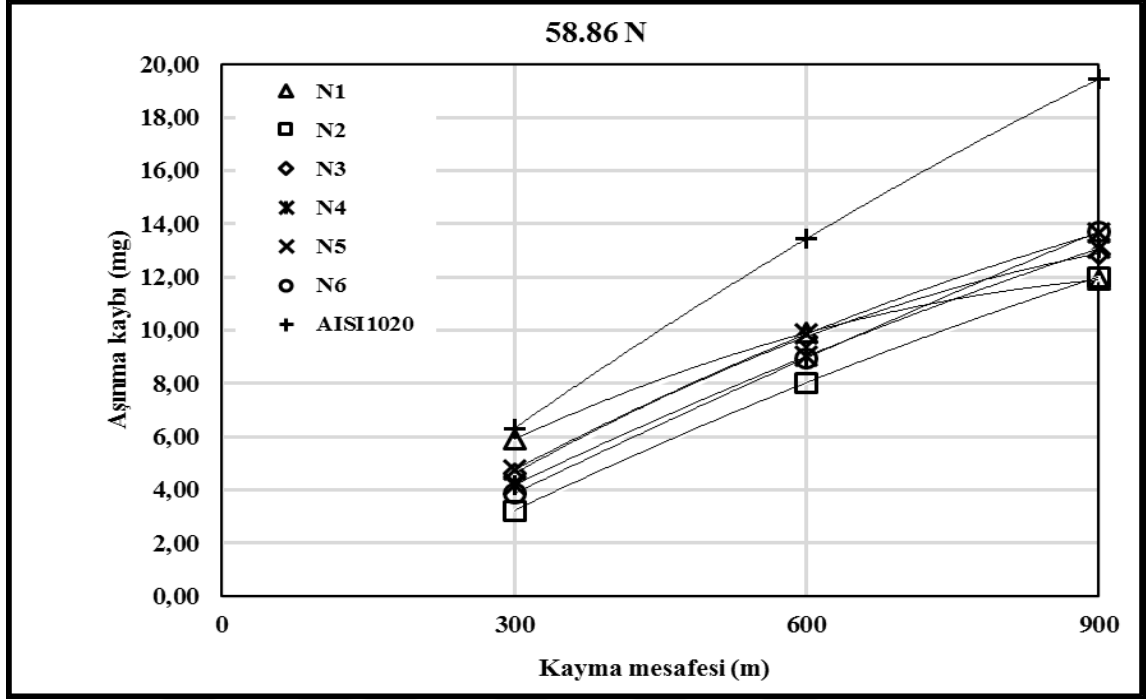
19.62 N yükte tüm numunelerin aşınma dirençleri kayma mesafesinin 600 m' ye çıkmasıyla azalmış, kayma mesafesi 900 m' ye yükseldiğinde ise artmıştır (Şekil 6.131.). 39.24 N yükte (Şekil 6.132.), kayma mesafesinin 300 m' den 600 m' ye çıkmasıyla düşük ısı girdilerinde yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N1 ve N2) aşınma dirençleri artış göstermiş, kayma mesafesinin 900 m' ye çıkmasıyla ise aşınma dirençleri azalmıştır. Diğer numunelerin aşınma dirençleri ise, bu yük değerinde kayma mesafesinin 600 m' ye çıkmasıyla azalmış, 900 m' ye yükselmesiyle ise artmıştır. 58.86 N yükte ise, (Şekil 6.133.); en düşük ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N1 numunesinin aşınma direnci kayma mesafesine göre artarken, diğer numunelerin aşınma dirençleri kayma mesafesinin 600 m' ye yükselmesiyle azalmış, kayma mesafesi 900 m' ye çıktığında ise artmıştır.



Şekil 6.131. 19.62 N yükte, AISI 1020 ve N1-N6 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları

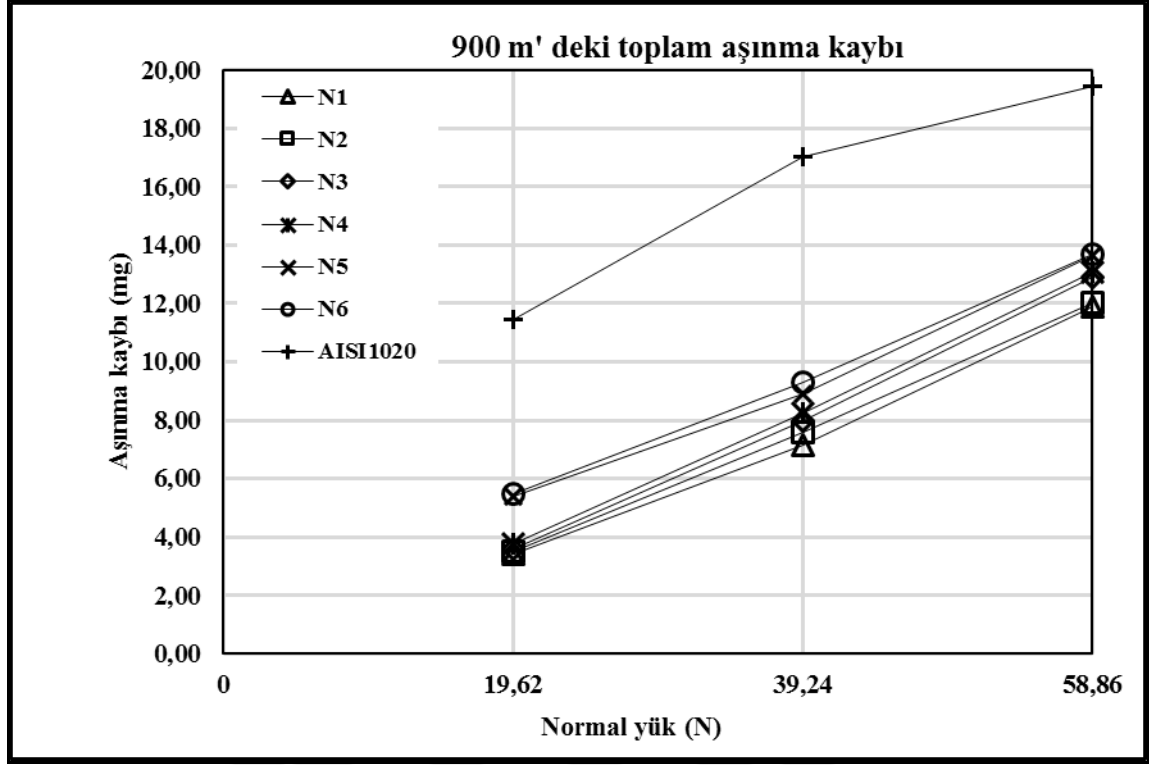


Şekil 6.132. 39.24 N yükte, AISI 1020 ve N1-N6 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları



**Şekil 6.133.** 58.86 N yükte, AISI 1020 ve N1-N6 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları

Şekil 6.134.' de, N1-N6 numunelerinin aşınma kayıplarının yüke göre değişimi görülmektedir. AISI 1020' nin aşınma kaybı yükün 19.62 N' dan 39.24 N' a yükselmesiyle artmış ve yükün 58.86 N' a yükselmesiyle ise aşınma direnci iyileşmiştir. Bu durumun yüksek yükte, altlık malzemede meydana gelen deformasyon sertleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [130, 131]. Yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N1-N6) aşınma kayıpları ise, yüke bağlı olarak artış göstermekle birlikte aşınma direnci yükün 39.24 N' dan 58.86 N' a çıkmasıyla azalmıştır.



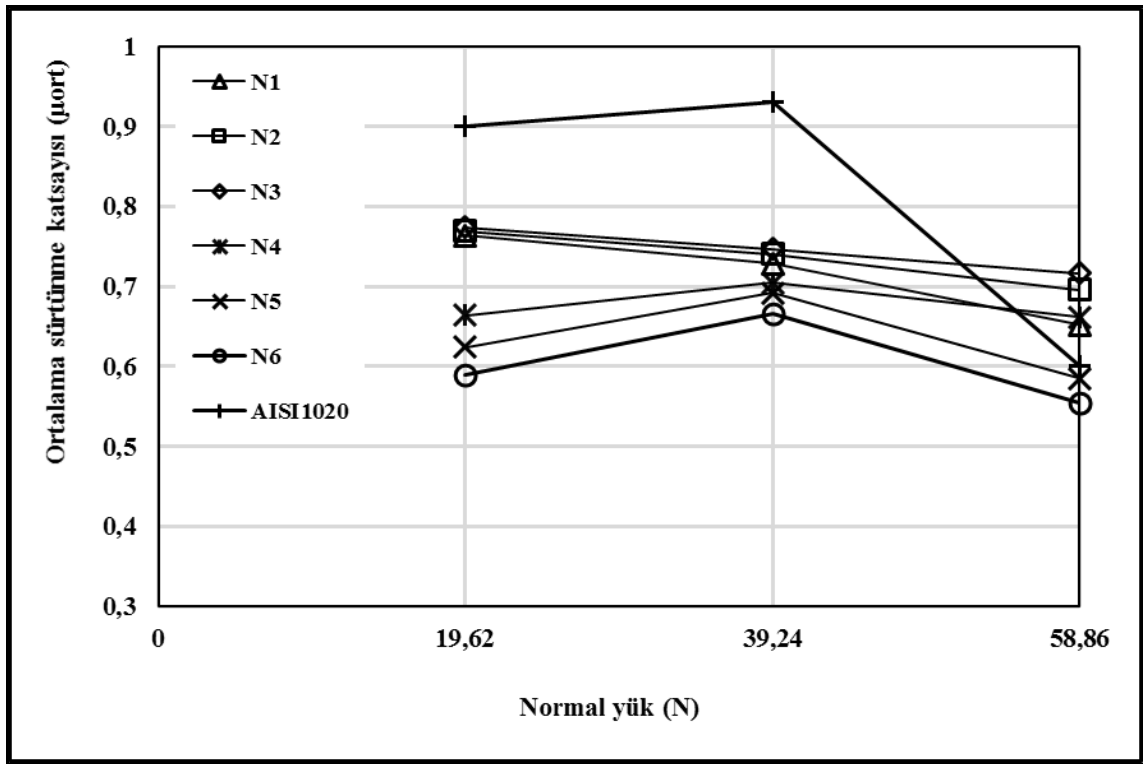
Şekil 6.134. AISI 1020 ve N1-N6 numunelerinin yüke göre aşınma kayıpları

Şekil 6.135.' de, AISI 1020' nin ve (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin ortalama sürtünme katsayılarının ( $\mu_{ort}$ ) yüke göre değişim grafiği verilmiştir. Görüldüğü gibi, bütün yük değerlerinde numunelerin  $\mu_{ort}$  değerleri yükün değişmesiyle farklılık göstermektedir. Yüke bağlı olarak ortalama sürtünme katsayılarının değiştiği literatür çalışmalarında da belirtilmiştir [3]. AISI 1020' nin  $\mu_{ort}$  değeri 19.62, 39.24 ve 58.86 N yüklerde sırasıyla 0.9, 0.93 ve 0.6 olarak ölçülmüştür. N1-N6 numunelerinin  $\mu_{ort}$  değerleri ise, 19.62 N yükte 0.59 - 0.774, 39.24 N yükte 0.666 - 0.747 ve 58.86 N yükte 0.555 - 0.717 arasında değişmektedir. Tüm yük değerlerinde en düşük  $\mu_{ort}$  değerine sahip numune N6 iken ( $\mu_{19.62} = 0.59$ ,  $\mu_{39.24} = 0.666$ ,  $\mu_{58.86} = 0.555$ ), en yüksek  $\mu_{ort}$  değerine sahip numune N3 numunesidir ( $\mu_{19.62} = 0.774$ ,  $\mu_{39.24} = 0.747$ ,  $\mu_{58.86} = 0.717$ ).

AISI 1020' nin  $\mu_{ort}$  değeri yükün 39.24 N' a çıkmasıyla bir miktar artmış, yükün 58.86 N' a çıkmasıyla ise azalmıştır. Bu azalmanın sürtünmeden dolayı ortaya çıkan yüksek ısı ve deformasyon sertleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 19.62 ve 39.24 N yükte N1-N6 numunelerinin ortalama sürtünme katsayıları altlık malzemeden düşükken, 58.86 N yükte yalnızca yüksek ısı girdisinde yüzeyi alaşımlanan N5 ve N6 numunelerinin ortalama sürtünme katsayıları AISI 1020' den daha düşüktür. 0.15 m/dk ilerleme hızıyla ve diğer numunelere oranla düşük ısı girdilerinde yüzeyi alaşımlanan



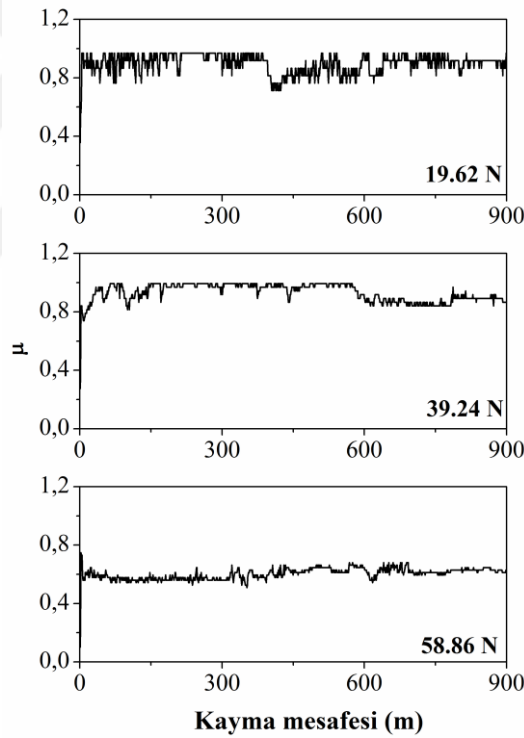
numunelerin  $\mu_{ort}$  değerleri yüke bağlı olarak azalmıştır. Bu durumun normal yükün artmasıyla yüzeyden kopan parçacıkların yüzeye sıcaklık ve yüzey gerilmelerinin etkisiyle sıvanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu numunelere oranla yüksek ısı girdilerinde yüzeyi alaşımlanan numunelerin  $\mu_{ort}$  değerleri ise, yükün 39.24 N' a yükselmesiyle artmakta, yük 58.86 N' a yükseldiğinde ise azalmaktadır. Bunun nedeni olarak, düşük ve orta yüklerde kopan parçacıkların yüzeye fazla sıvanmadan uzaklaşması düşünülebilir. Yüksek yük değerinde ise yüzeyden kopan parçacıklar, ortaya çıkan yüksek ısınmada etkisiyle yüzeye sıvandığından  $\mu_{ort}$  değeri düşmüştür.



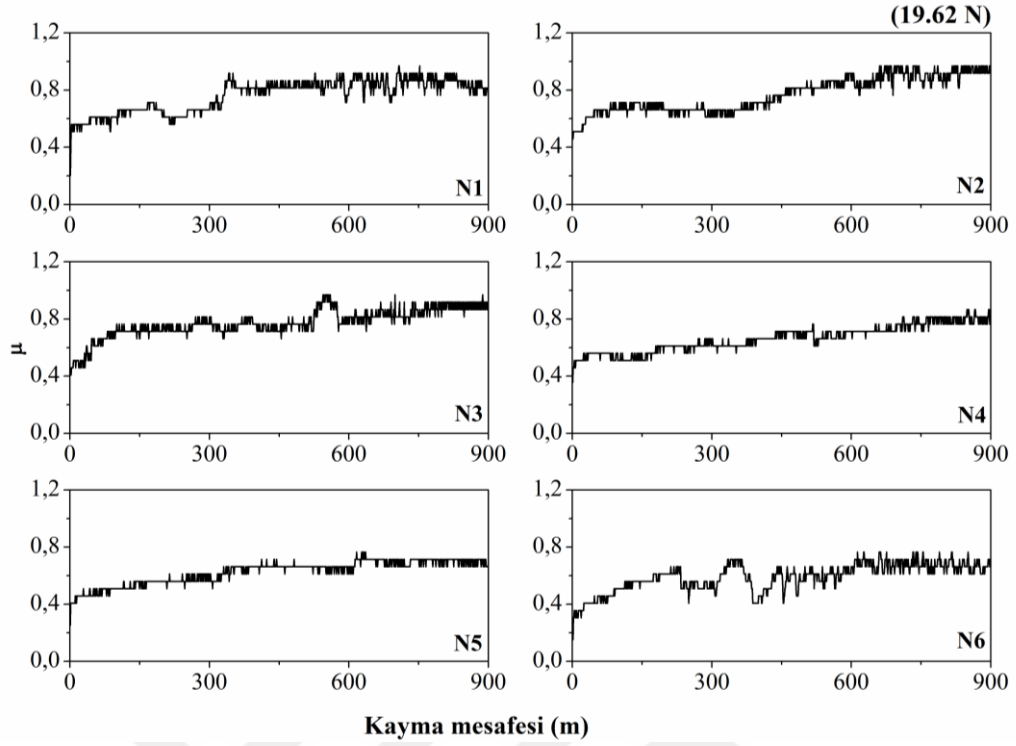
Şekil 6.135. AISI 1020 ve N1-N6 numunelerinin ortalama sürtünme katsayılarının yüke göre değişimi

AISI 1020' nin sürtünme katsayısının kayma mesafesine göre değişimi farklı yükler için Şekil 6.136.' da, N1-N6 numunelerinin 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte sürtünme katsayısının kayma mesafesine göre değişimi ise, sırasıyla Şekil 6.137., Şekil 6.138. ve Şekil 6.139.' da verilmiştir. Altlık malzemenin sürtünme katsayısının kayma mesafesine göre değişimi incelendiğinde, yük arttıkça sürtünme katsayısının daha kararlı hale geldiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak yükün artışına bağlı olarak, yüzeyden kopan parçacıkların ısınmada etkisiyle yüzeye sıvanması gösterilebilir.

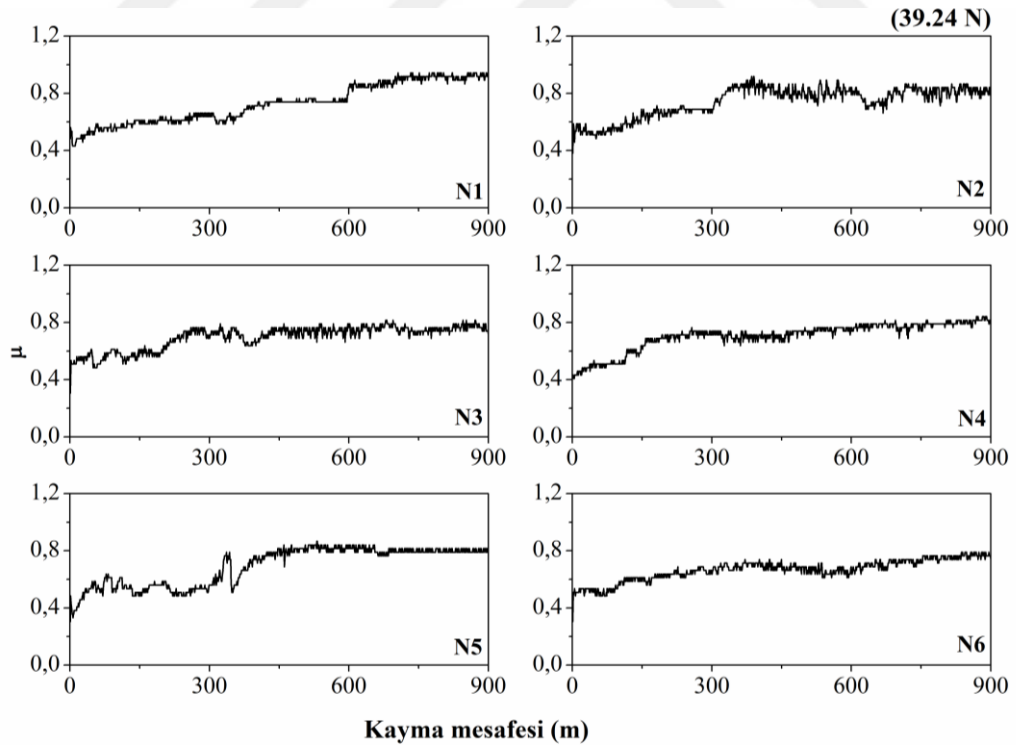
Düşük yükte (19.62 N) (Şekil 6.137.), sürtünme katsayısında kayma mesafesine bağlı olarak ani düşüş ve yükselmeler gözlemlenmektedir. Bunun nedeni olarak, düşük yükten dolayı yüzeyden kopan parçacıkların yüzeye sıvanmadan kayma ara yüzeyinden transfer olması gösterilebilir. Bu yük değerinde, sürtünme katsayısı değişimi en kararlı olan numuneler N4 ve N5 numuneleridir. Orta yükte (39.24) (Şekil 6.138.), numunelerin sürtünme katsayılarındaki değişimin daha karardır ve sürtünme katsayı genelde daha küçük aralıklarda değişmektedir. Ayrıca sürtünme katsayıları yüke bağlı olarak artma eğilimindedir. 58.86 N yükte sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi grafiği incelendiğinde, bazı numunelerde ani düşüş ve yükselmeler görülmekle birlikte sürtünme katsayısının kayma mesafesine bağlı olarak daha karardığı görülmektedir (Şekil 6.139.).



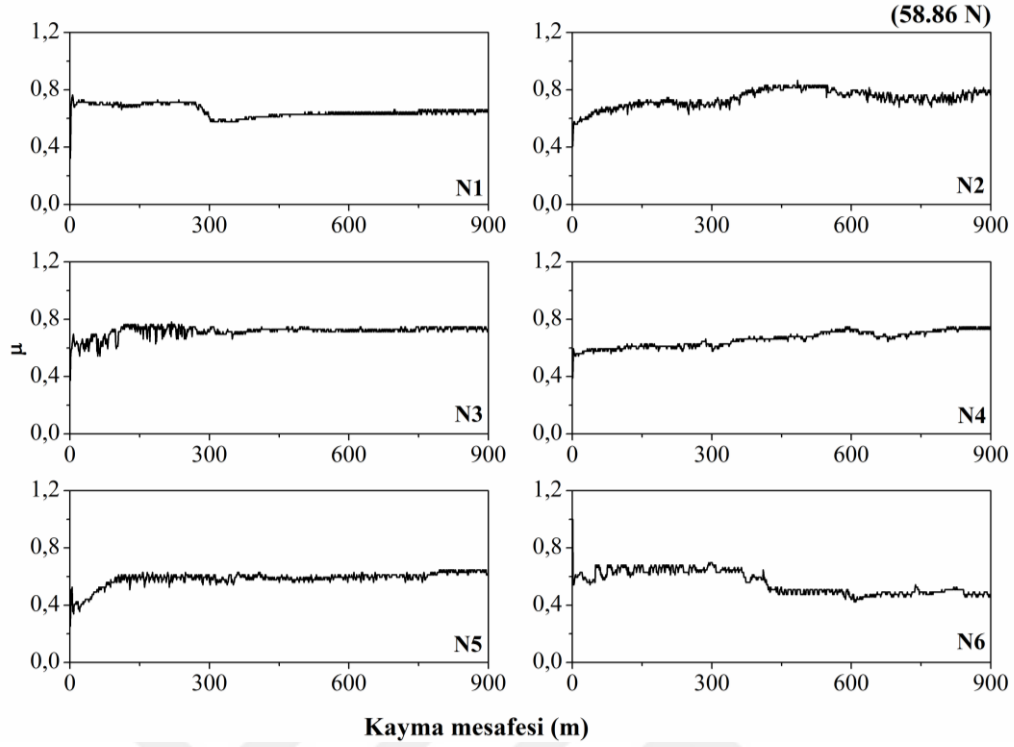
Şekil 6.136. AISI 1020' nin sürtünme katsayısının kayma mesafesine göre değişimi



**Şekil 6.137.** 19.62 N yükte, N1-N6 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi

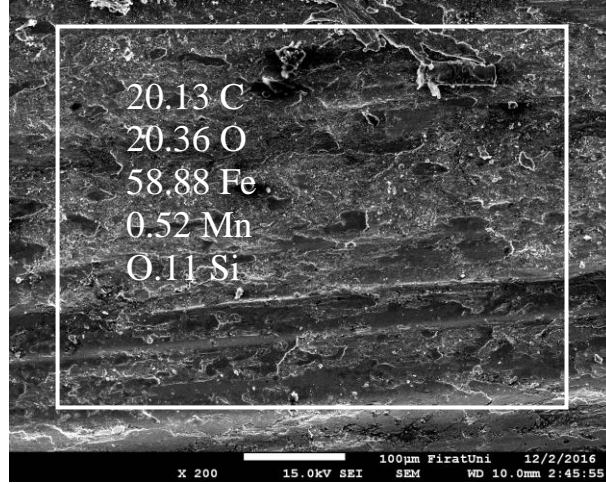


**Şekil 6.138.** 39.24 N yükte, N1-N6 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi

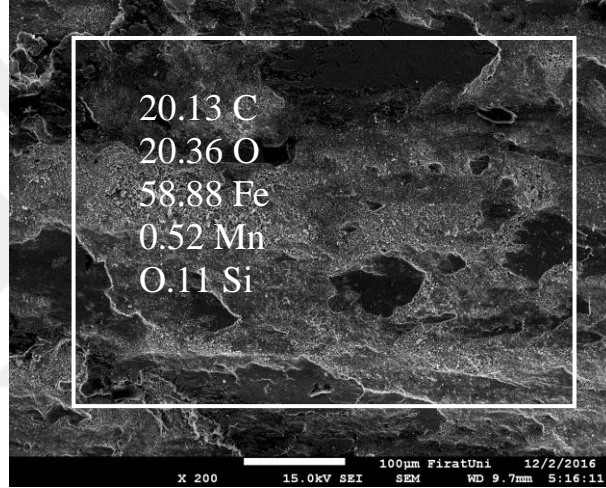


**Şekil 6.139.** 58.86 N yükte, N1-N6 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi

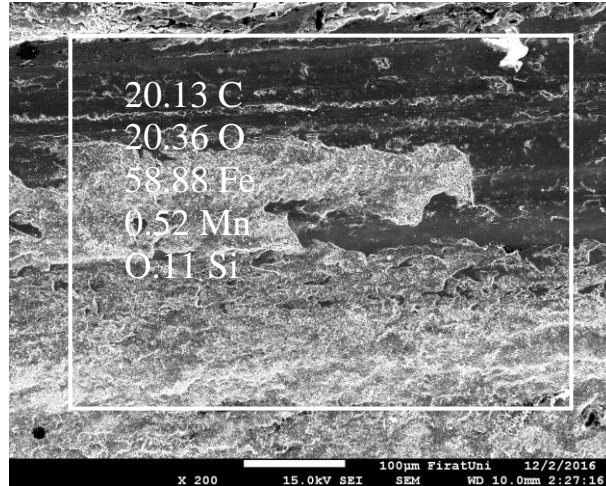
Şekil 6.140.' da, AISI 1020' ye ait aşınma yüzey görüntüleri görülmektedir. Tüm yüklerde AISI 1020 malzemesinden önemli miktarlarda malzeme kaybı olmuştur (Şekil 6.140.a-c). Altlık malzemedede, 19.62 N ve 39.24 N yükte yüzeyden kopan parçacıkların yüzeyden uzaklaştığı, 58.86 N yükte ise kopan parçacıkların yüzeyde oluşan oluklara yüksek ısının da etkisiyle sıvandığı tespit edilmiştir. Düşük yükte, altlık malzemenin aşınan yüzeyinde pullanma ve kraterler gözlenmiştir. Yine bu yükte, yüzeyin pürüzlüğü çok daha fazladır. Çünkü düşük yükten dolayı kopan parçacıklar yüzeye sıvanmamıştır (Şekil 6.140.a). Orta ve yüksek yükte, aşınan yüzeylerde geniş ve derin kraterler görülmüştür. Aşınma genellikle kazıma şeklinde oluşmuştur. Altlık malzemenin aşınma yüzeylerinden alınan EDS sonuçlarına göre, aşınan yüzeylerde oksitleşme gerçekleşmiş ve bu oksitler yüksek yükte yüzeye sıvanarak sürtünme katsayısını düşürmüştür.



a) 19.62 N



b) 39.24 N

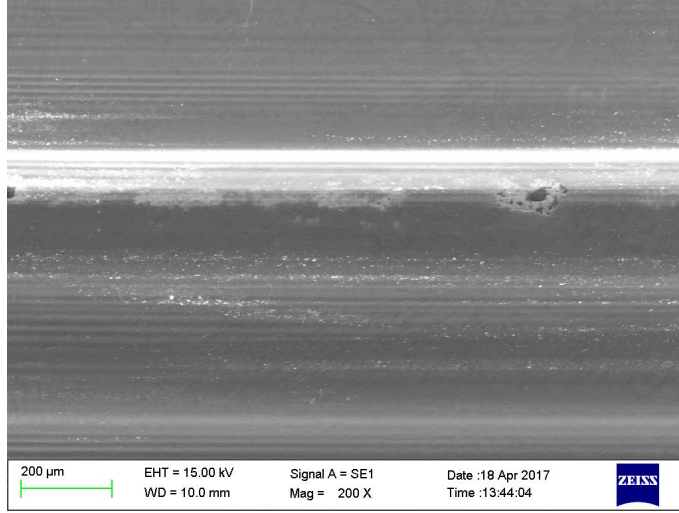


c) 58.86 N

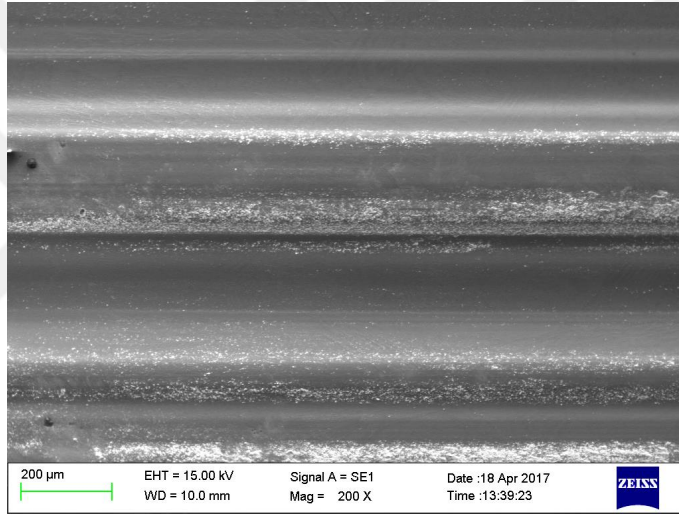
Şekil 6.140. AISI 1020' nin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.141.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N1 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Altlık malzemeyle karşılaştırıldığında, alaşımlanmış yüzey tabakasındaki sert fazların yüzeyin aşınma direncini önemli ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir. Görüldüğü gibi, aşınma kaybı yük arttıkça artmış ve yükün artmasıyla yüzeyden kopan parçacıklar oksitleşme ve sürtünme sırasında ortaya çıkan yüksek ısının da etkisiyle yüzeyde oluşan krater ve oluklara sıvanmıştır. 1 nolu noktadan alınan EDS analizine göre bu nokta, (%ağ.) 36.81Fe-10.04Cr-1.46C-1.32W-11.58O elementlerinden oluşmaktadır. Bu sonuçlarda oksitleşen parçacıkların yüzeye sıvandığını desteklemektedir. Düşük ve orta yükte aşınma olukları oluşmuş ve yer yer yüzeyden kopan parçacıklar yüzeye sıvanmıştır. Yüksek yükte ise oluklar dışında yer yer pullanma görülmektedir.

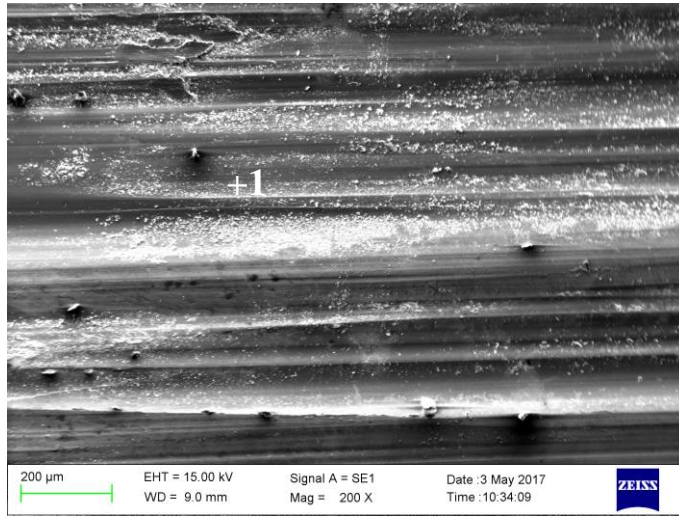




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**



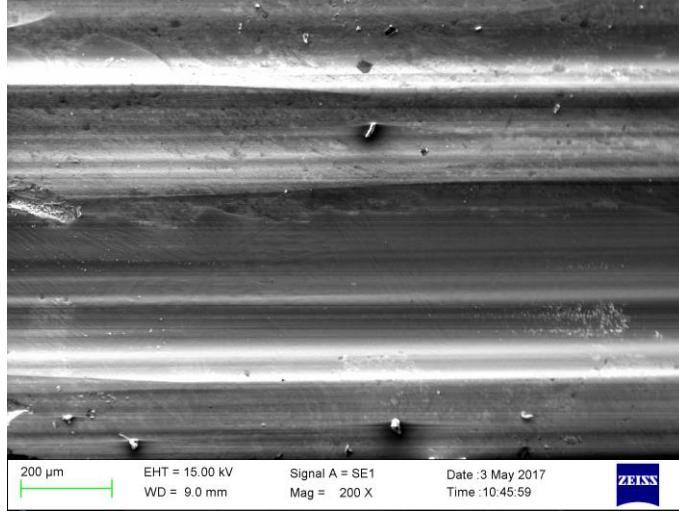
**c) 58.86 N**

**Şekil 6.141.** N1 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

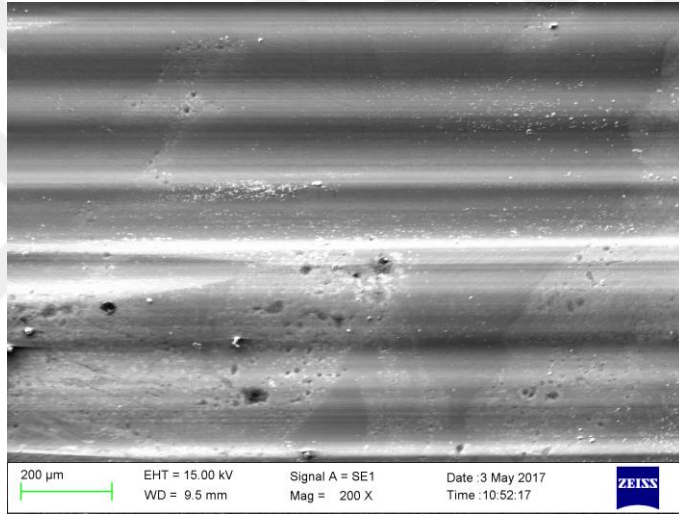
Şekil 6.142.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N2 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, aşınma yüzeylerinden kopma neticesinde parçacıklar ayrılmış ve malzeme yüzeylerinde oluklar oluşmuştur. Yine oksitleşme neticesinde parçacıkların özellikle yüksek yükte yüzeye sıvandığı görülmüştür (Şekil 6.142.c) Yüksek yükte, olukların kenarlarında yükün artmasından dolayı pullanma meydana gelmiştir.



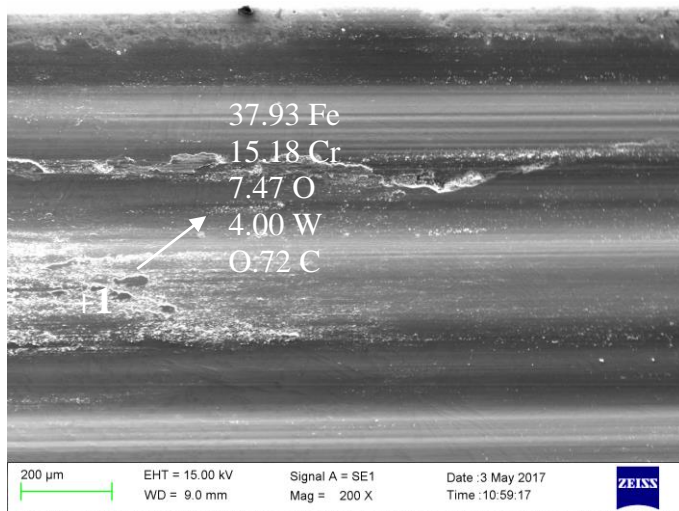




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

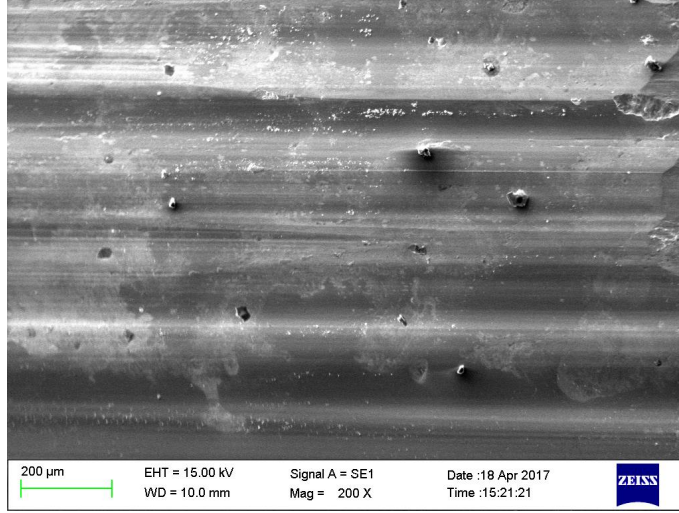


**c) 58.86 N**

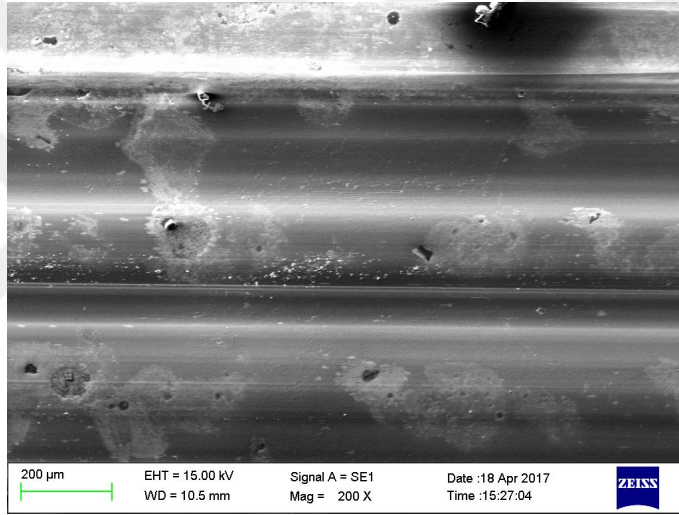
**Şekil 6.142.** N2 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.143.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N3 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, yüzeylerde derin ve geniş oluklar meydana gelmiştir. Yer yer kopan parçacıklar yüzeye ısının ve oksitleşmenin etkisiyle sıvanmıştır. Yüksek yükte meydana gelen yüksek yüzey gerilmelerinin etkisiyle, olukların tepelerinden parça kopmaları meydana gelmiştir.

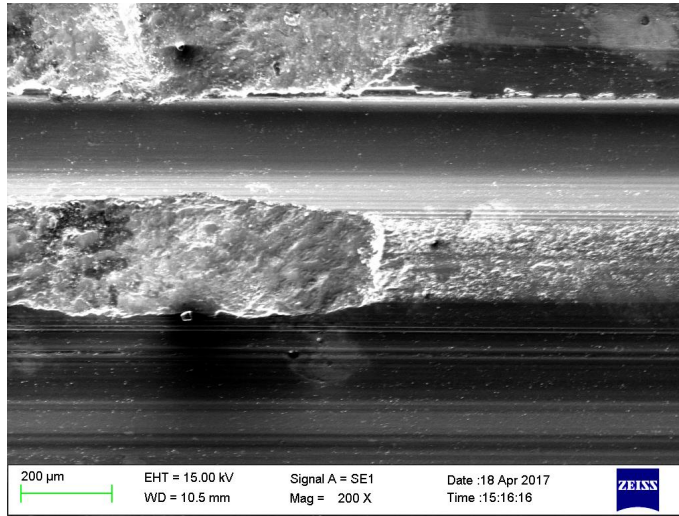




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

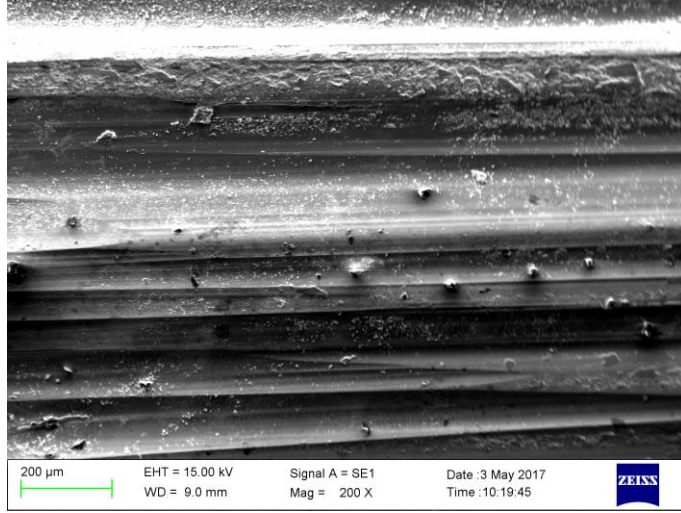


**c) 58.86 N**

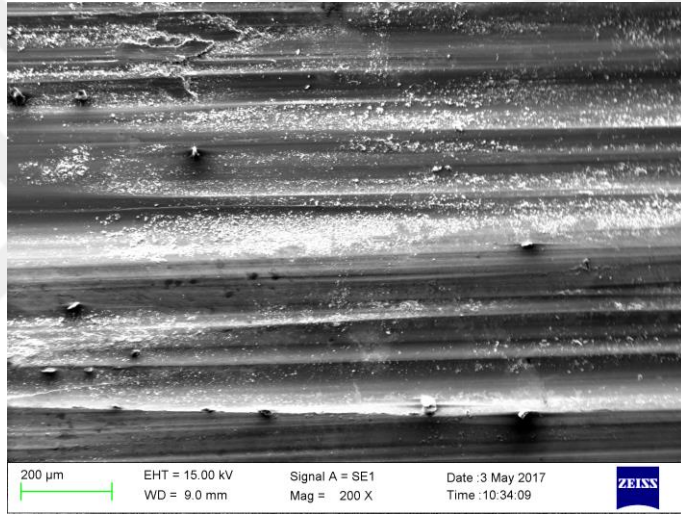
**Şekil 6.143.** N3 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.144.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N4 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Tüm yük değerlerinde malzeme yüzeylerinde oluklar oluşmuştur. Aşınma yüzeylerinde pullanma ve özellikle yüksek yüklerde oksitleşme neticesinde yüzeye sıvanan parçacıklar görülmüştür. Bu parçacıklar oluklara dolmuş ve sürtünme katsayısının düşmesine neden olmuştur.

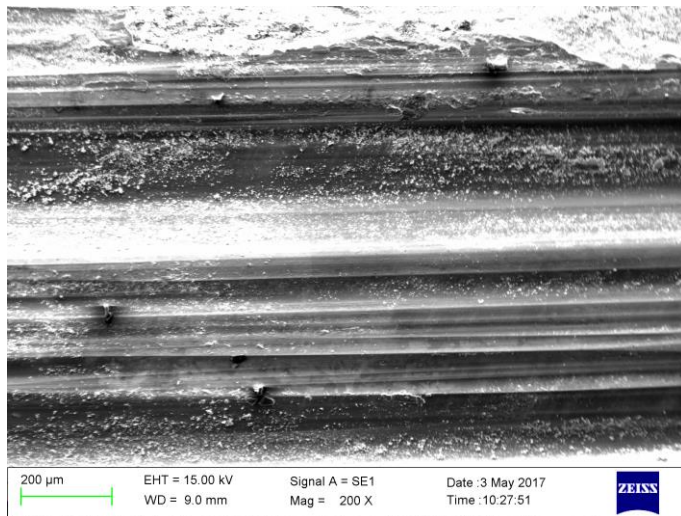




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

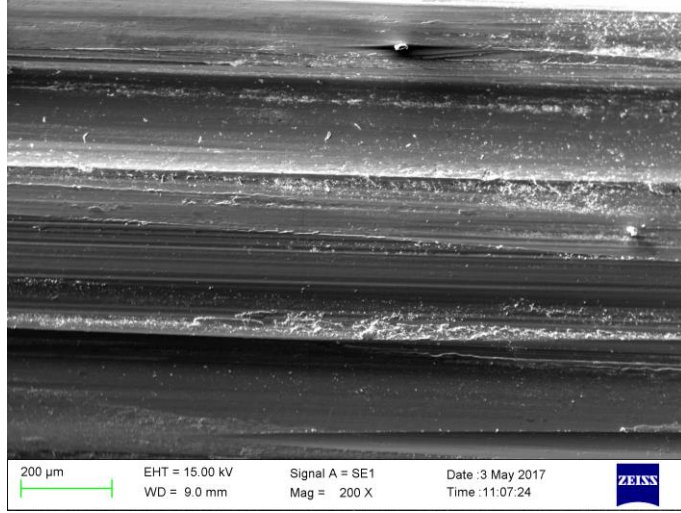


**c) 58.86 N**

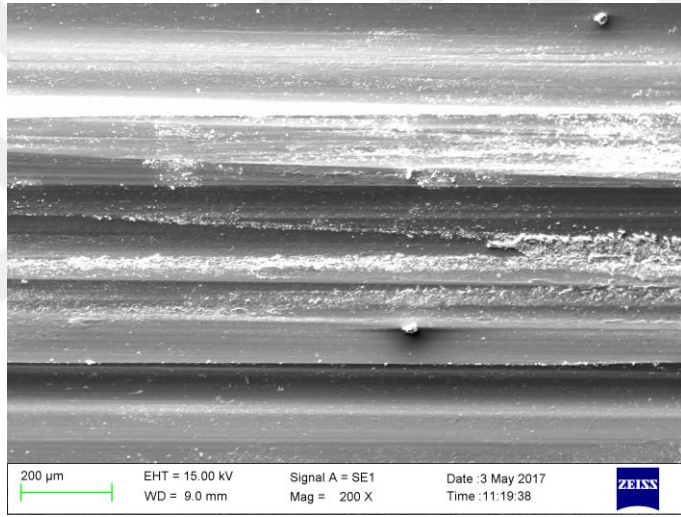
**Şekil 6.144.** N4 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.145.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N5 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Aşınma yüzeylerinde oluklar ve pullanma meydana gelmiştir. Olukların tepe noktalarından kopma neticesinde önemli oranda malzeme kaybı meydana gelmiştir. Yük arttıkça oksitleşmenin ve ısının etkisi arttığından, kopan parçacıklar yüzeye daha fazla sıvanmıştır.

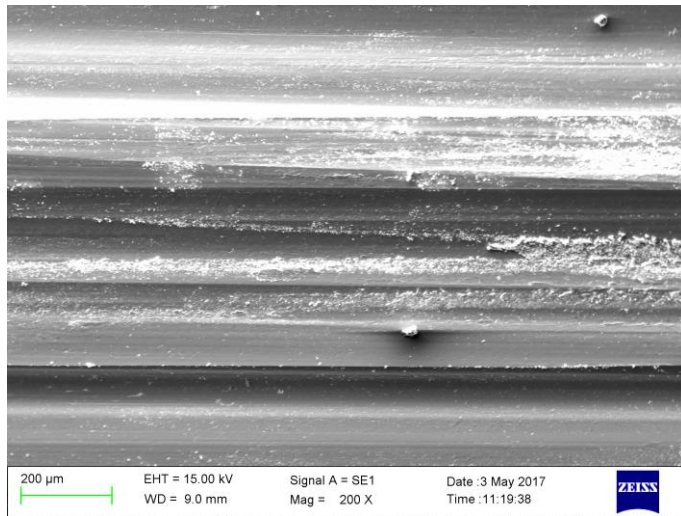




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**



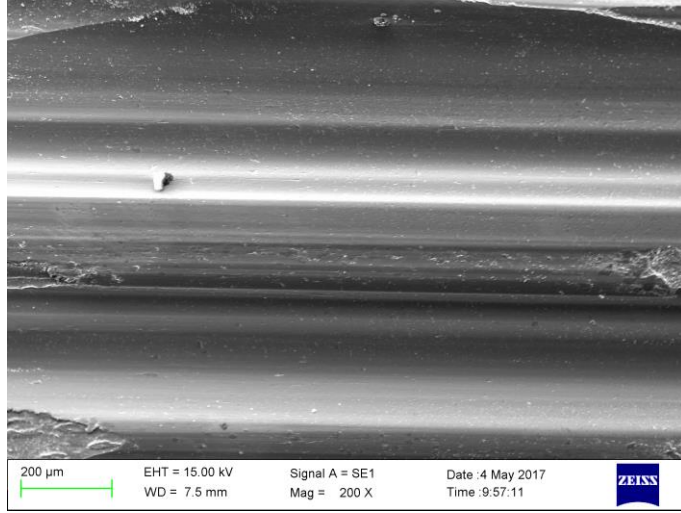
**c) 58.86 N**

**Şekil 6.145.** N5 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

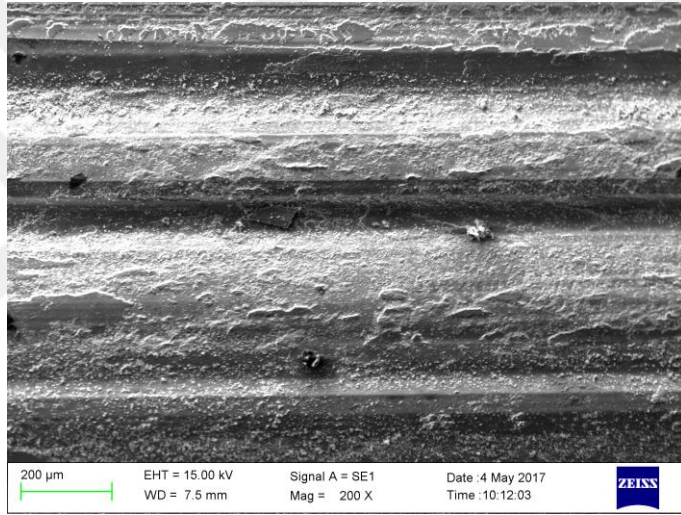
Şekil 6.146.' da, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N6 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Düşük yükte, yüzeyde oluklar meydana gelmiştir. Yine bazı bölgelerde, parça kopması neticesinde kraterler oluşmuştur. Orta ve yüksek yükte ise, aşınma genelde kazıma şeklinde oluşmuş ve yüzeyde pullanma meydana gelmiştir. Ayrıca özellikle yüksek yükte, kopan parçacıkların ortaya çıkan yüksek ısıdan dolayı oksitleşmenin de etkisiyle sıvandığı görülmektedir. Önemli oranda parçacığın yüzeye sıvanmasıyla en düşük sürtünme katsayısı değeri bu numunede ölçülmüştür.



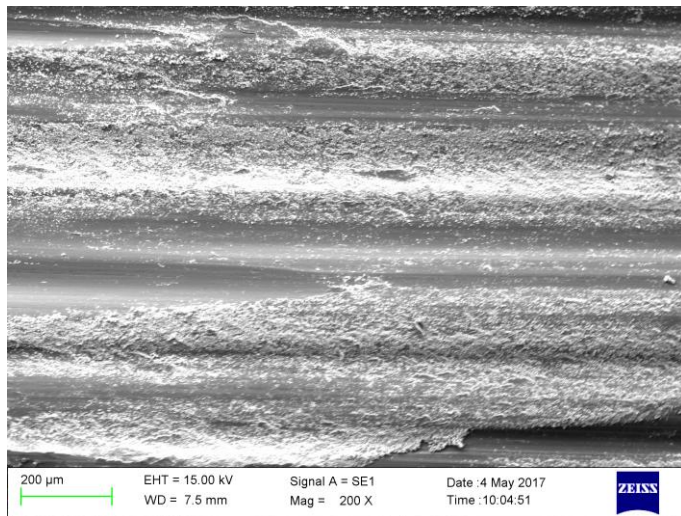




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

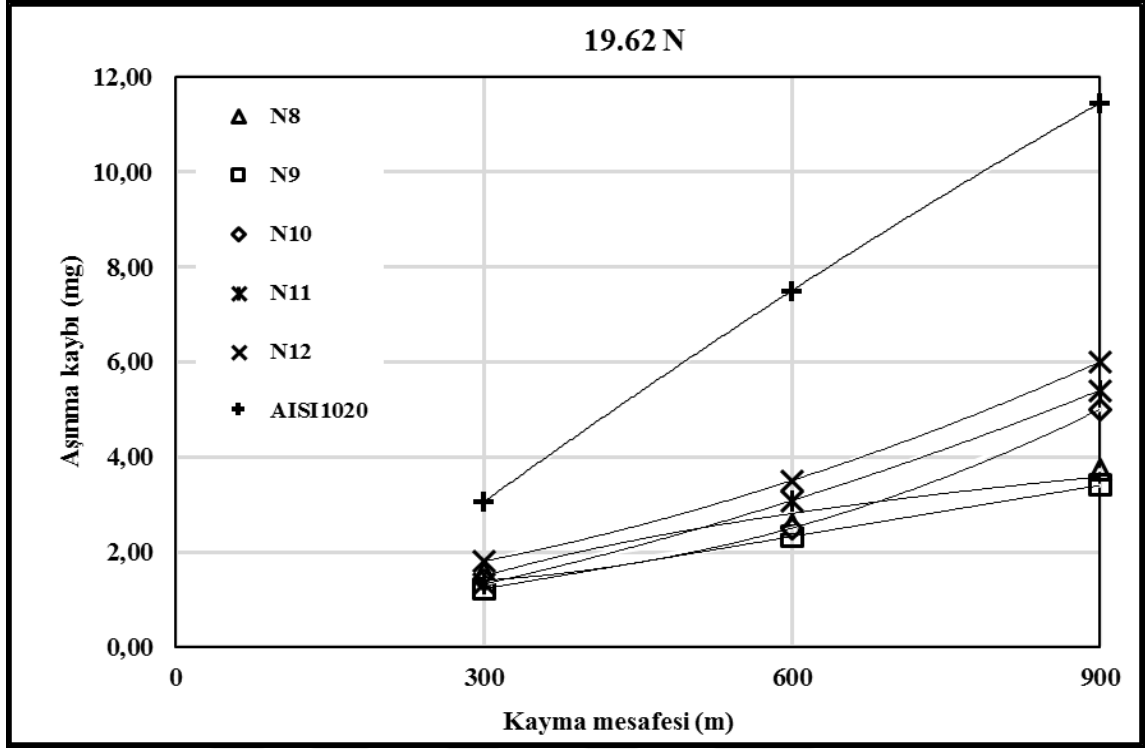


**c) 58.86 N**

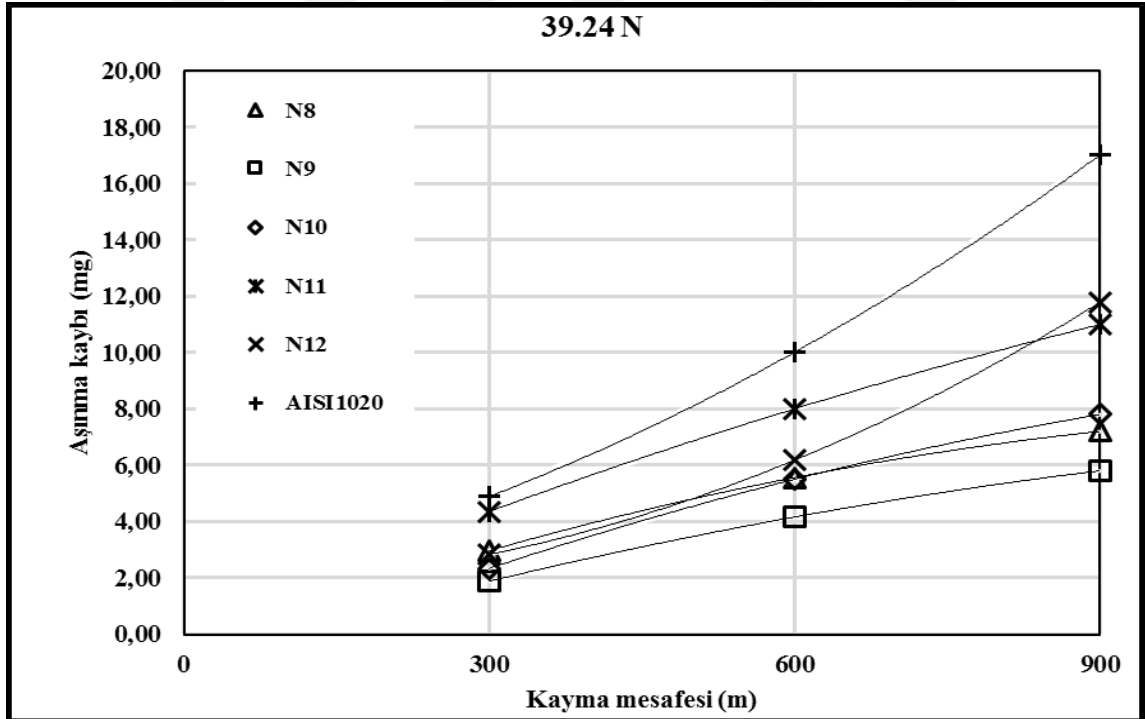
**Şekil 6.146.** N6 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

### 6.3.2. (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Aşınması

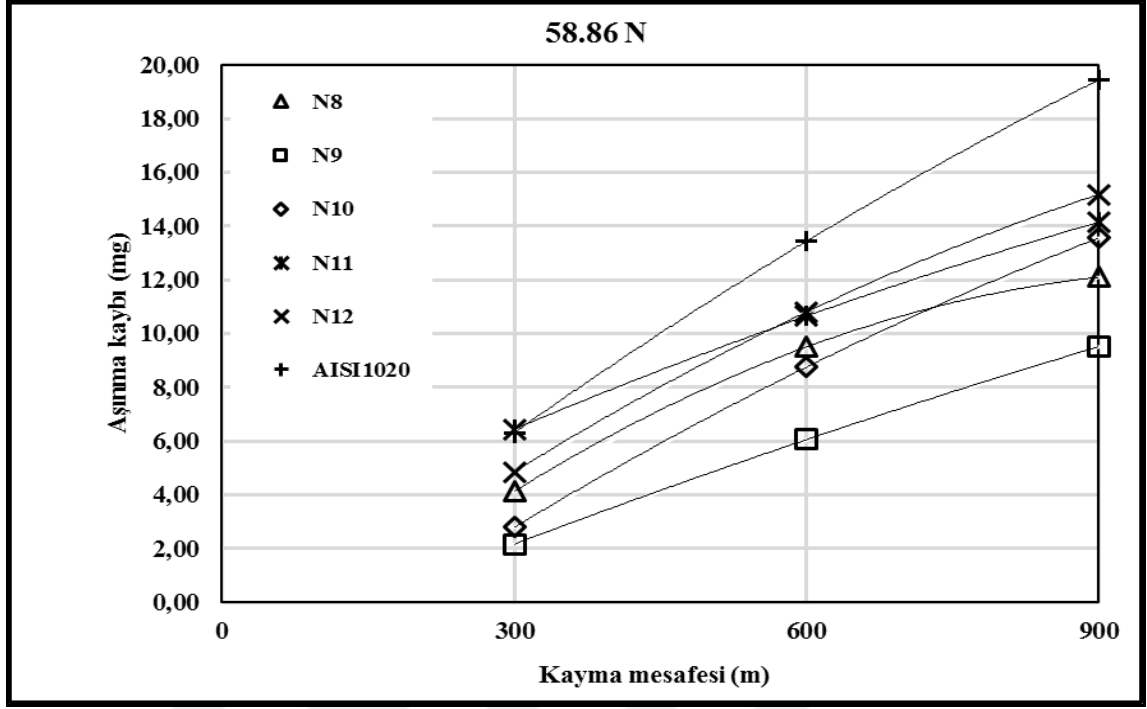
Şekil 6.147.-6.149.' da, (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB toz karışımı ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların sırasıyla, 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N normal yükte aşınma kayıplarının kayma mesafesine göre değişim grafikleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N normal yükte bütün numunelerin aşınma direnci AISI 1020' den daha yüksektir (Şekil 6.147.-6.149.). Alaşımlanmış yüzey tabakasının ortalama mikrosertliği arttıkça aşınma kayıpları azalmıştır. Sertliğin aşınma direnci üzerinde olumlu etkisi olduğu bilinmektedir [44]. Şekil 6.147.' de görüldüğü gibi, düşük yükte (19.62 N) N8 ve N9 numuneleri kayma mesafesine göre neredeyse lineer bir aşınma göstermektedir. Bu yükte yüzeyi alaşımlanan numunelerin toplam aşınma kayıpları, altlık malzemeninkinden yaklaşık 47% ile 67% arasında daha düşüktür. Düşük yükte en iyi aşınma direncine sahip numune N9 numunesi iken, en düşük aşınma direncine sahip numune ise, en yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan numune olan N12 numunesidir. 39.24 N yükte gerçekleştirilen aşınma deney sonuçlarına göre (Şekil 6.148.); aşınma direnci en yüksek olan numune N9 numunesidir. Bu yükte N9' un aşınma kaybı altlık malzemeden yaklaşık %65 daha düşüktür. N11 numunesi hariç 300 m kayma mesafesinde bütün numunelerin aşınma kayıpları birbirine yakınken, kayma mesafesi arttıkça sert malzemelerin aşınma dirençlerinin iyileştiği görülmektedir. Yüksek yükte (58.86 N), tüm numunelerin 900 m kayma mesafesindeki aşınma dirençleri altlık malzemeye göre daha iyidir ve en iyi aşınma direncine sahip numune N9 numunesidir (Şekil 6.149.). Yüksek yükte N9' un aşınma kaybı, altlık malzemenin aşınma kaybından yaklaşık 51% daha düşüktür. Bu yükte en fazla aşınan numune olan N12 numunesinin aşınma kaybı ise, AISI 1020' den yaklaşık %22 daha azdır.



Şekil 6.147. 19.62 N yükte, AISI 1020 ve N8-N12 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları

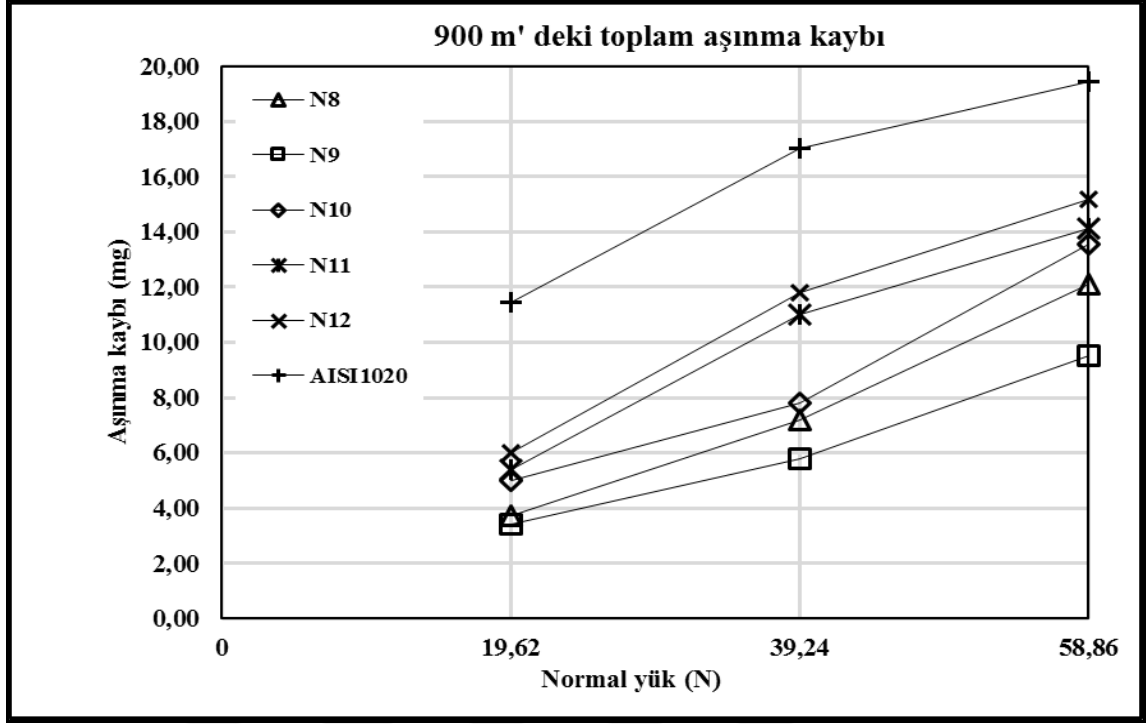


Şekil 6.148. 39.24 N yükte, AISI 1020 ve N8-N12 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları



Şekil 6.149. 58.86 N yükte, AISI 1020 ve N8-N12 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları

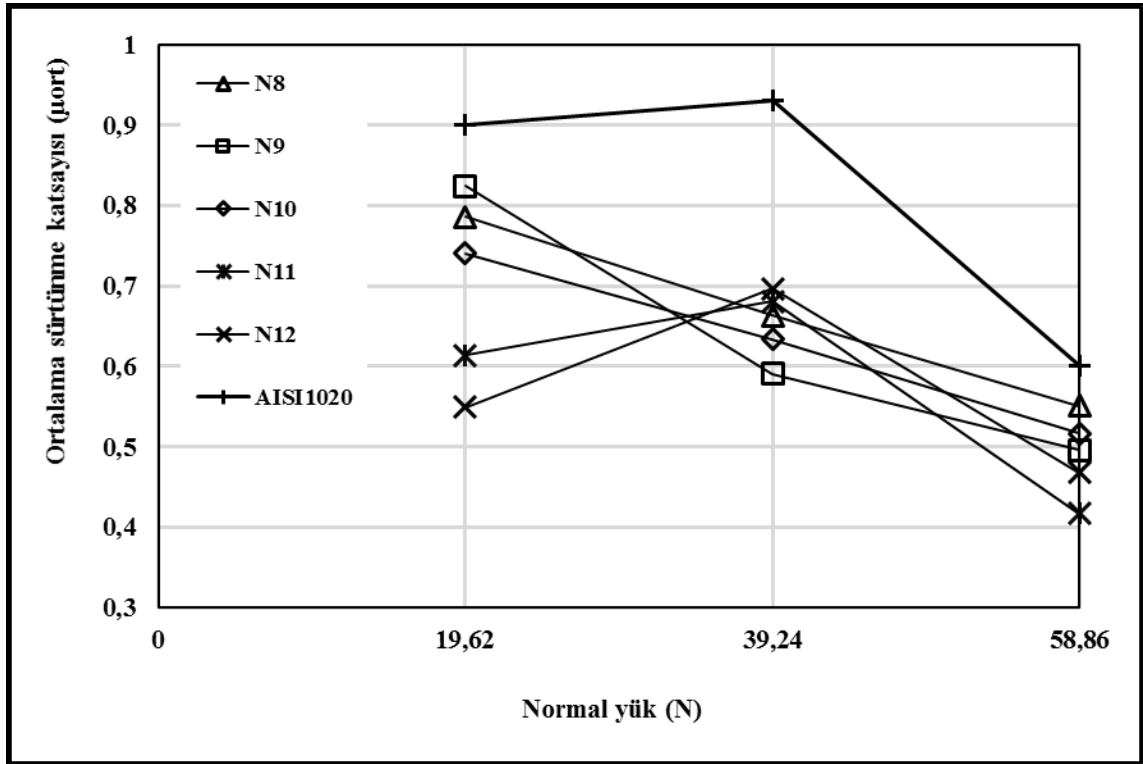
Yüke göre aşınma kaybı grafiği incelendiğinde, N8-N12 numunelerinin aşınma kayıplarının yükün artmasıyla arttığı görülmektedir (Şekil 6.150.). Ortalama mikrosertlikleri diğer numunelere oranla yüksek olan numunelerin (N8-N10) aşınma kayıpları yükün 39.24 N' dan 58.86 N' a yükselmesiyle daha fazla artmıştır. Ortalama mikrosertlikleri düşük olan ve yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N11 ve N12 numunelerinin aşınma dirençleri ise, yükün 58.86 N' a yükselmesiyle artmıştır. Bu artışın nedeni olarak, yüksek ısı girdisinin etkisiyle altlık malzemenin daha fazla ergimesiyle, yapıya daha fazla Fe elementinin girerek, kalıntı ostenit miktarını artması ve yüzeyde meydana gelen deformasyon sertleşmesi gösterilebilir. Aşınma sırasında ortaya çıkan yüzey gerilmelerinin ve sıcaklık artışının, ostenitin sert bir faz olan martenzite dönüşmesinde etkili olduğu bilinmektedir [37].



Şekil 6.150. AISI 1020 ve N8-N12 numunelerinin yüke göre aşınma kayıpları

Şekil 6.151.' de, N8-N12 numunelerin ortalama sürtünme katsayılarının yüke göre değişimi görülmektedir. Görüldüğü gibi bütün yük değerlerinde numunelerin  $\mu_{ort}$  değerleri yükün değişmesiyle farklılık göstermektedir. (%ağ.) 60FeCrC-20FeW-20FeB ile yüzeyi alaşımlanan bütün numunelerin  $\mu_{ort}$  değerleri, altlık malzemeden daha düşüktür. Ortalama mikrosertlikleri diğer numunelere oranla yüksek olan ve diğer numunelere göre düşük ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N8-N10),  $\mu_{ort}$  değerleri normal yükün artmasıyla azalmaktadır. Bu durumun normal yükün artmasıyla yüzeyden kopan parçacıkların yüzeye sıcaklık ve yüzey gerilmelerinin etkisiyle sıvanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu numunelere göre ortalama mikrosertlikleri düşük olan numunelerin (N11 ve N12)  $\mu_{ort}$  değerleri ise, yükün 39.24 N' a yükselmesiyle artmakta, yük 58.86 N' a yükseldiğinde ise azalmaktadır. Bunun nedeni olarak düşük ve orta yüklerde kopan parçacıkların yüzeye sıvanmadan uzaklaşması düşünülebilir. Yüksek yük değerinde ise, yüzeyden kopan parçacıklar yüzeye sıvandığından  $\mu_{ort}$  değeri düşmüş olabilir. 19.62 N normal yükte alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama sertliğinin artmasıyla  $\mu_{ort}$  değeri de artmıştır. Bu yük değerinde en düşük  $\mu_{ort}$  değeri, en yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N12 numunesinde  $\mu_{19,62} = 0.549$  olarak ölçülmüştür. Bu yükte, yüzeyi alaşımlanan numunelerin  $\mu_{ort}$  değerleri 0.549 ile 0.824 arasında değişmektedir. 39.24 N normal yükte düşük ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan ve ortalama

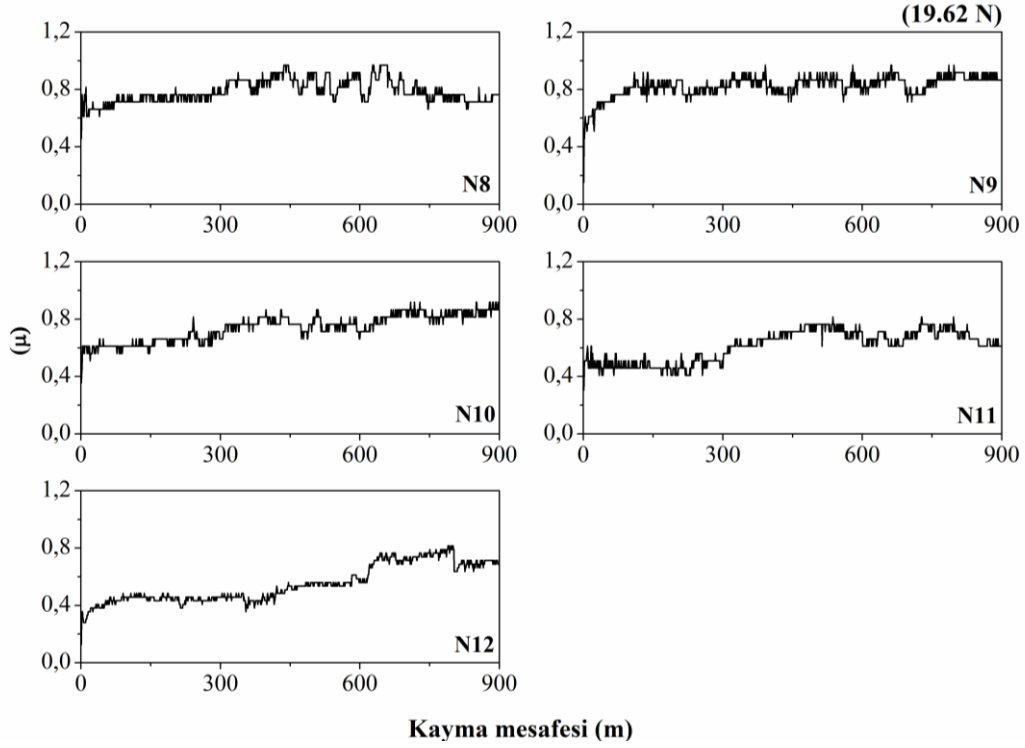
mikrosertlikleri yüksek olan numunelerin  $\mu_{ort}$  deęerleri dięer numunelerden bir miktar daha dūřuktur. Orta yūkte  $\mu_{ort}$  deęeri en dūřuk olan numune N9 ( $\mu_{39,24}= 0.591$ ), yūksek yūkte ise N11' dir ( $\mu_{39,24}= 0.417$ ). 39.24 N' da numunelerin  $\mu_{ort}$  deęerleri, 0.591 ile 0.697 arasında, 58.86 N' da ise 0.417 ile 0.551 arasında deęiřmektedir. Ayrıca 58.86 N yūkte ortalama mikrosertlikleri dūřuk olan numunelerin sūrtūnme katsayıları yūzeyde meydana gelen deformasyon sertleřmesi ve kopan parçacıkların yūzeyde sıvanmasından dolayı, dięer numunelerden daha dūřuktur.



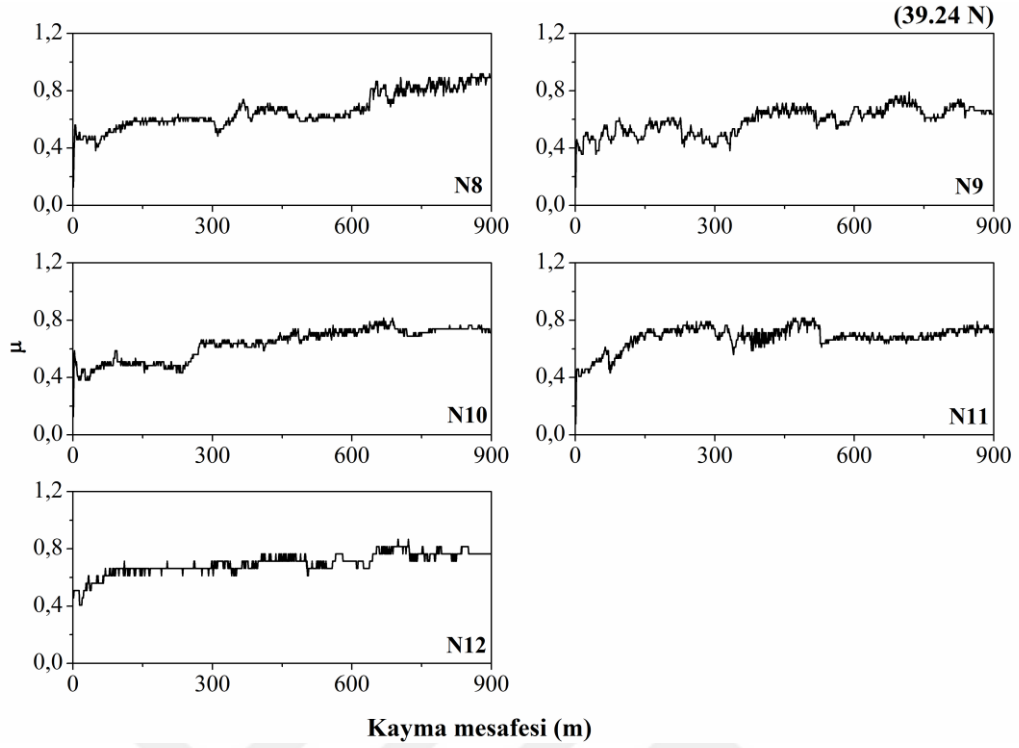
řekil 6.151. AISI 1020 ve N8-N12 numunelerinin ortalama sūrtūnme katsayılarının yūke gōre deęiřimi

Sūrtūnme katsayılarının kayma mesafesine gōre deęiřimi, farklı yūkler için řekil 6.152.-6.154.' de verilmiřtir. Dūřuk yūkte sūrtūnme katsayılarında ani deęiřimler gōrūlmektedir (řekil 6.152.). Bu yūk deęerinde sūrtūnme katsayısı en kararlı olan numune yūksek ısı girdisiyle yūzeyi alařımlanan N12 numunesidir. Yūzeyi alařımlanan numunelerin 39.24 N yūk altındaki sūrtūnme katsayılarındaki deęiřim incelendięinde (řekil 6.153.), ortalama mikrosertlikleri daha yūksek olan numunelerin (N8-N10) sūrtūnme katsayılarının artma eęilimlerinin ortalama mikrosertlikleri dūřuk olan numunelerden daha fazla olduęu gōrūlmektedir. 58.86 N yūkte (řekil 6.154.), tūm numunelerin sūrtūnme katsayılarında ani dūřuř ve yūkselmeler gōrūlmekle birlikte, bu dūřuř ve yūkselmeler

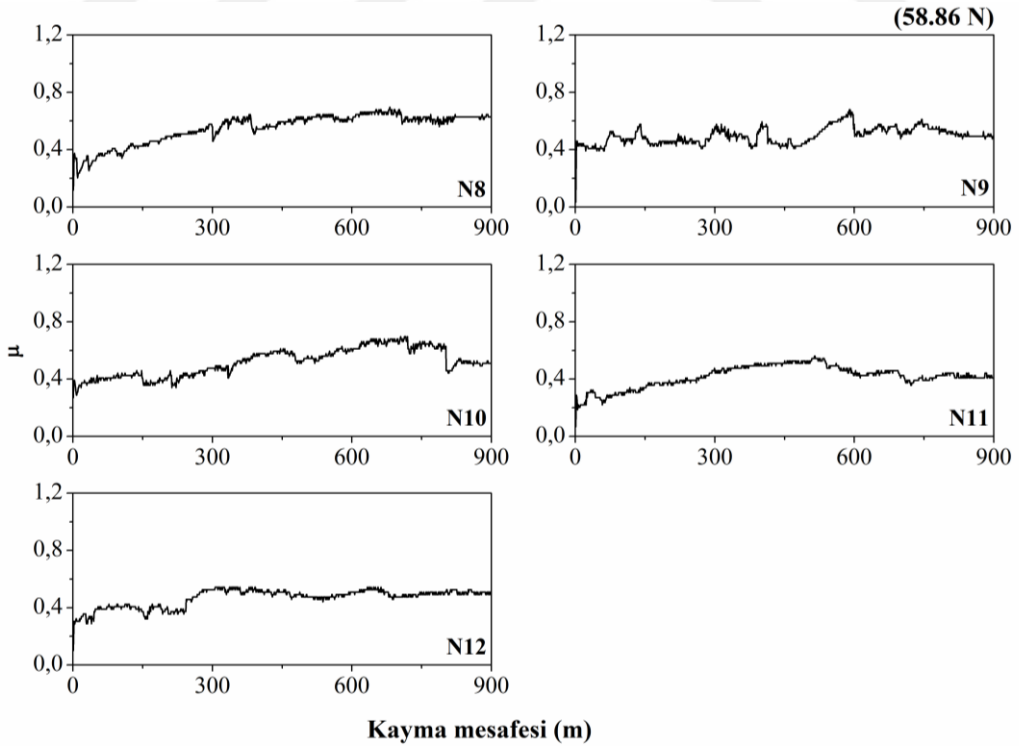
ortalama mikrosertlikleri fazla olan numunelerde daha fazladır. Yüksek yükte sürtünme katsayısı bakımından en kararlı numune en yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N12 numunesidir. Özellikle yaklaşık 280 m' den sonra sürtünme katsayısında ani bir yükselme meydana gelmiş ve bu noktadan sonra ise sürtünme katsayısı yaklaşık 0.48 ile 0.54 arasında değişmiştir.



Şekil 6.152. 19.62 N yükte, N8-N12 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi



**Şekil 6.153.** 39.24 N yükte, N8-N12 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi

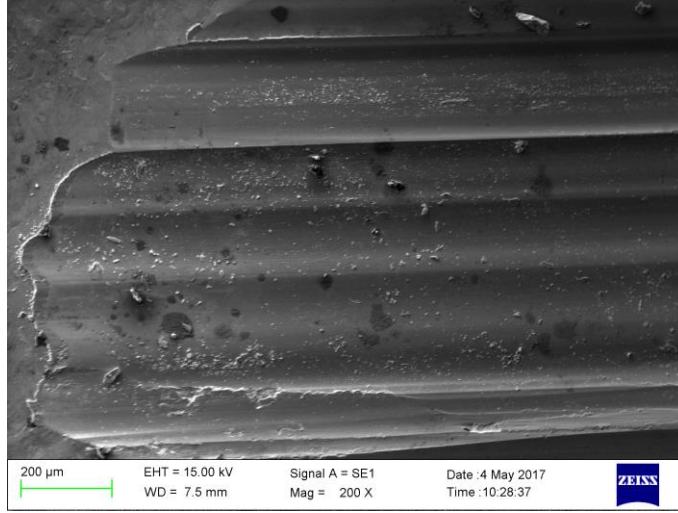


**Şekil 6.154.** 58.86 N yükte, N8-N12 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi

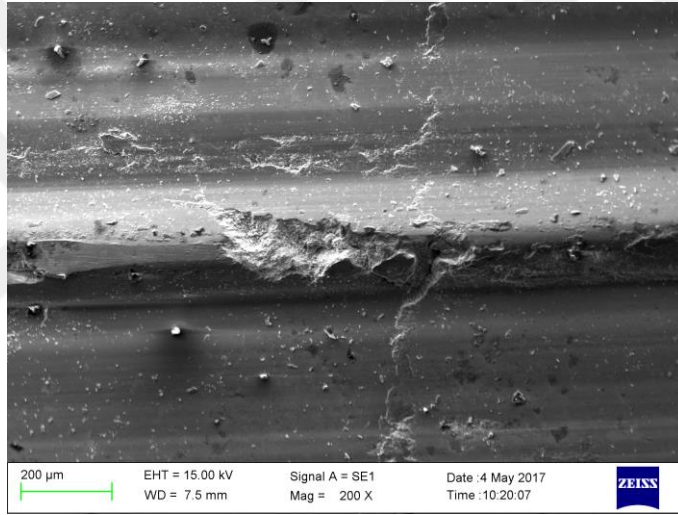


Şekil 6.155.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N8 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Düşük yükte, kopan parçacıkların yüzeyden uzaklaştığı görülmektedir. Bu yükte yüzeyde aşınmadan dolayı oluklar oluşmuştur, yer yer pullanma ve kopmalar görülmektedir. Orta yükte, oluklar daha derinleşmiş ve olukların tepe noktalarında kopmalar meydana gelmiştir. Yüksek yükte ise, aşınmanın artmasından dolayı oluklar bir miktar düzleşmiştir. Aşınma yüzeyinde pullanma ve kopmalar görülmektedir. Yine oksitleşmenin ve ısının etkisiyle parçacıklar yüzeye sıvanmıştır.

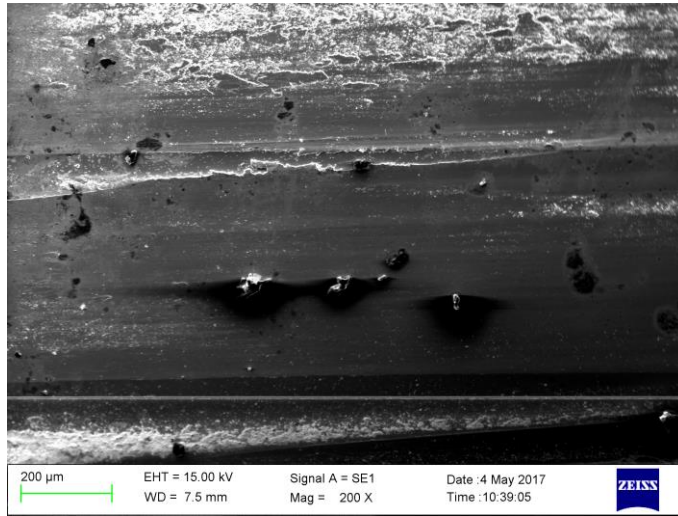




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

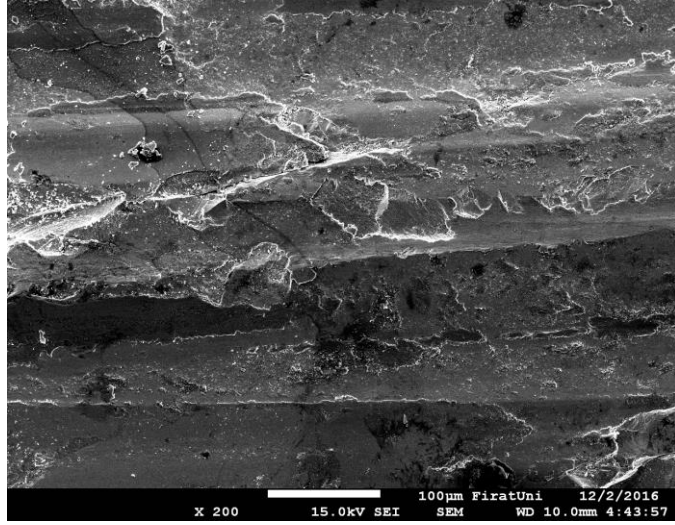


**c) 58.86 N**

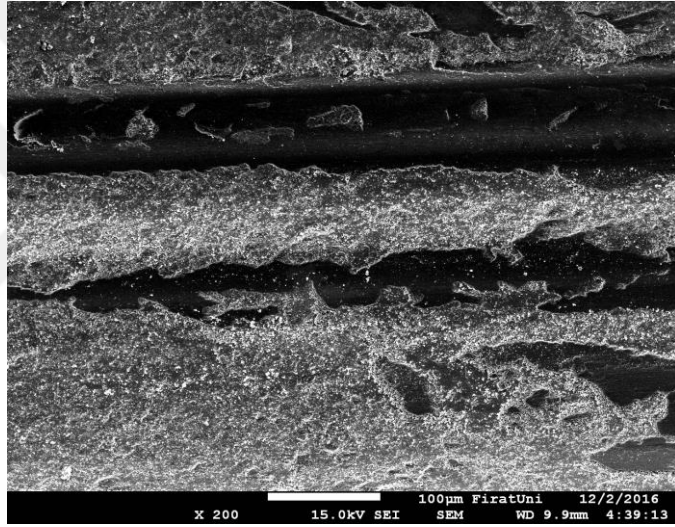
**Şekil 6.155.** N8 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.156.' da, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N9 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Aşınma yüzeylerinde kraterler, oluklar ve pullanma görülmektedir. Düşük yükte yüzeyden kopan parçacıklar uzaklaşırken, orta ve yüksek yükte oluklara sıvandığı görülmektedir.

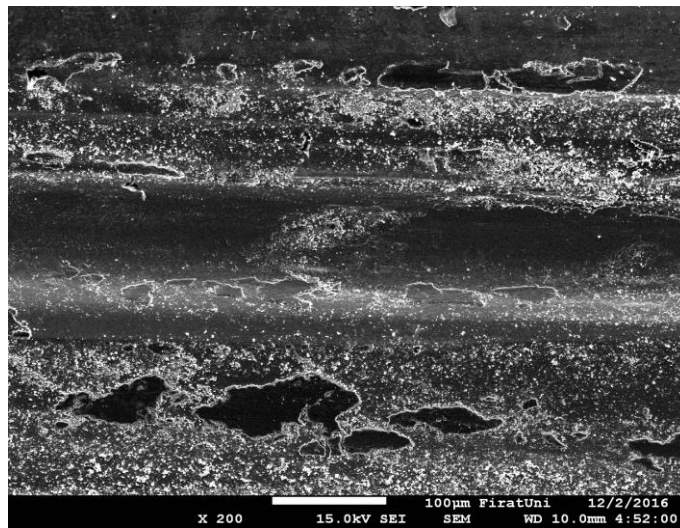




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

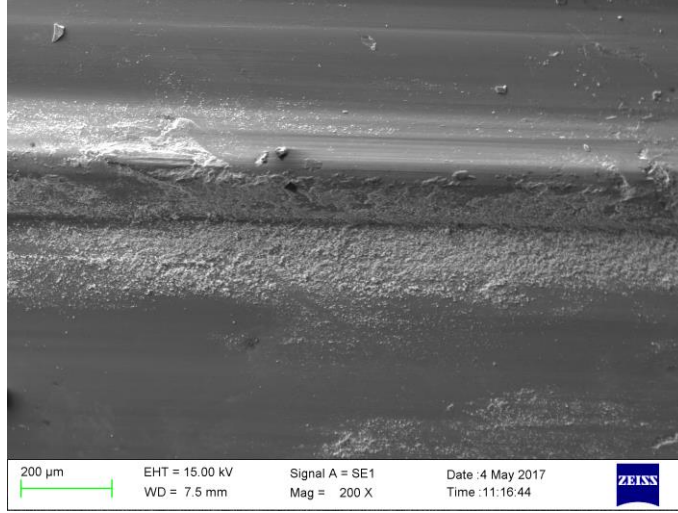


**c) 58.86 N**

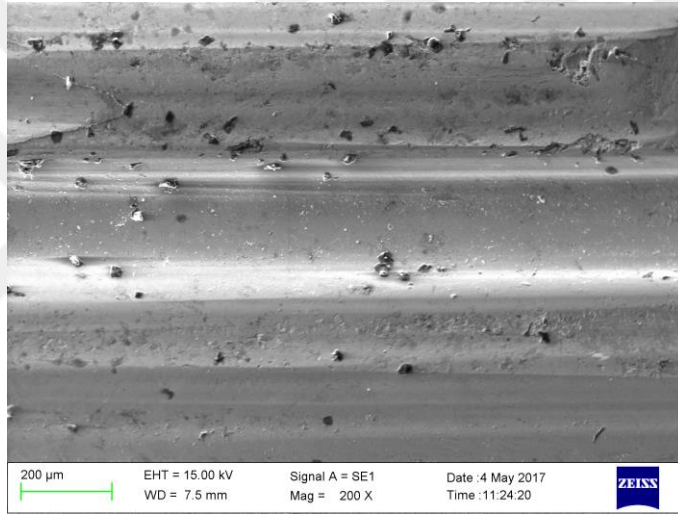
**Şekil 6.156.** N9 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.157.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N10 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, yük artışına bağlı olarak yüzeyden kopan malzeme miktarı da artmıştır. Orta ve yüksek yükte, oksitleşmeden dolayı parçacıklar yüzeye sıvanmıştır. Düşük yükte yüzeyde oluklar ve pullanma görülmektedir. Orta ve yüksek yükte ise, malzeme yüzeylerinde kopma neticesinde oyuklar oluşmuştur.

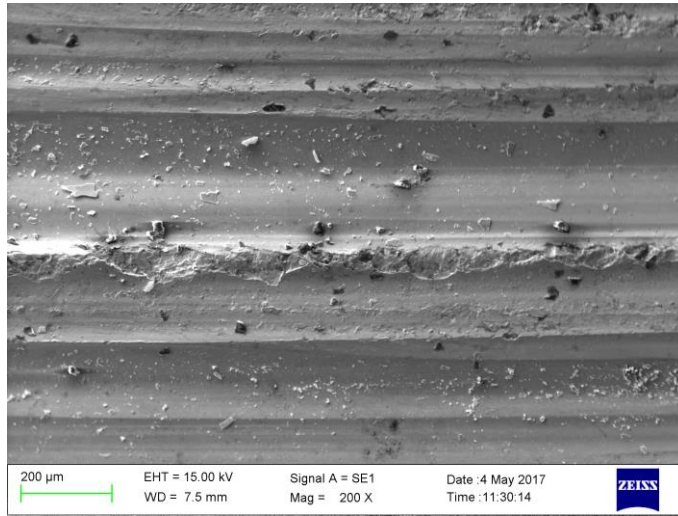




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

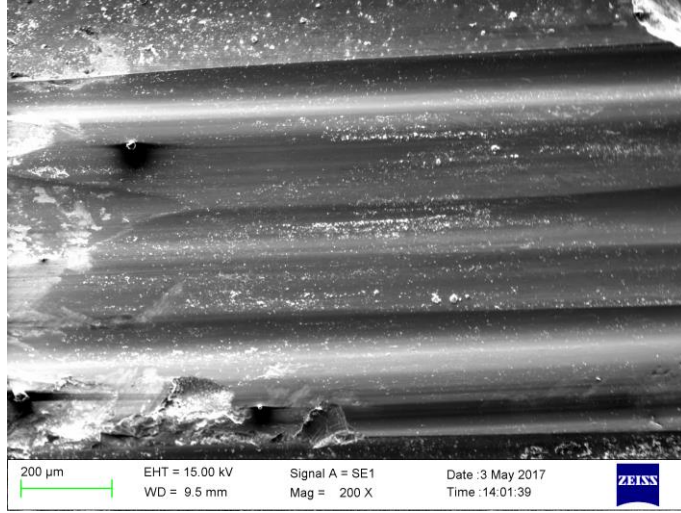


**c) 58.86 N**

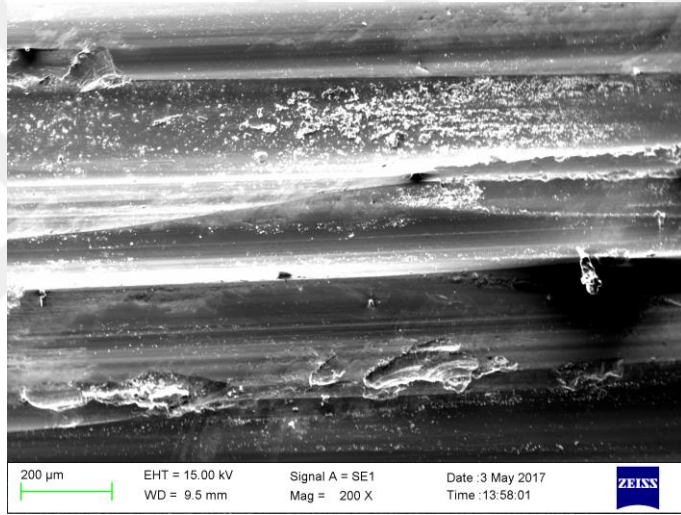
**Şekil 6.157.** N10 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.158.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N11 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Düşük yükte, yüzeyde oluklar ve kopma neticesinde kraterler gözlemlenmektedir. Orta ve yüksek yükte, kopmalar neticesinde derin kraterler oluşmuş ve özellikle yüksek yükte kopan parçacıklar, yüzeye ortaya çıkan yüksek ısı neticesinde oksitleşmenin de etkisiyle sıvanmıştır.

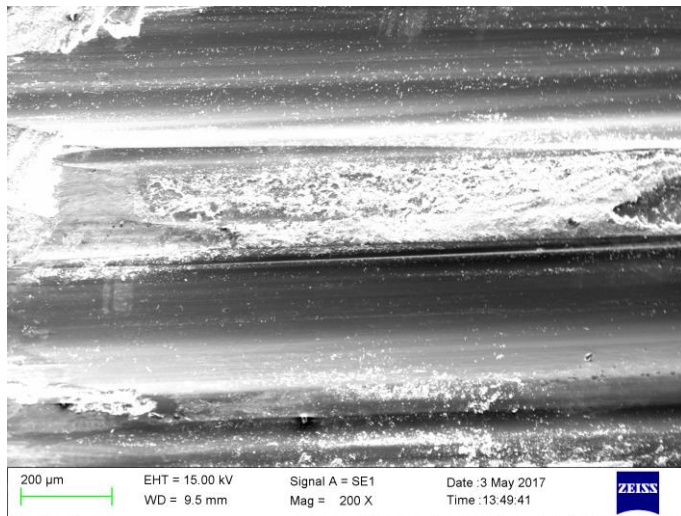




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**



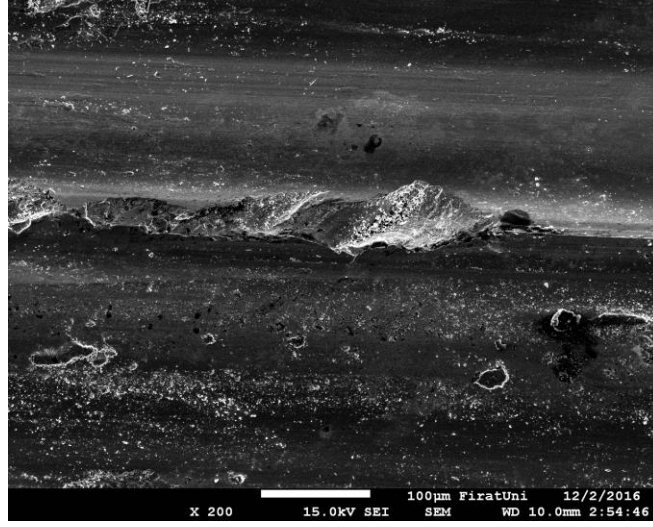
**c) 58.86 N**

**Şekil 6.158.** N11 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

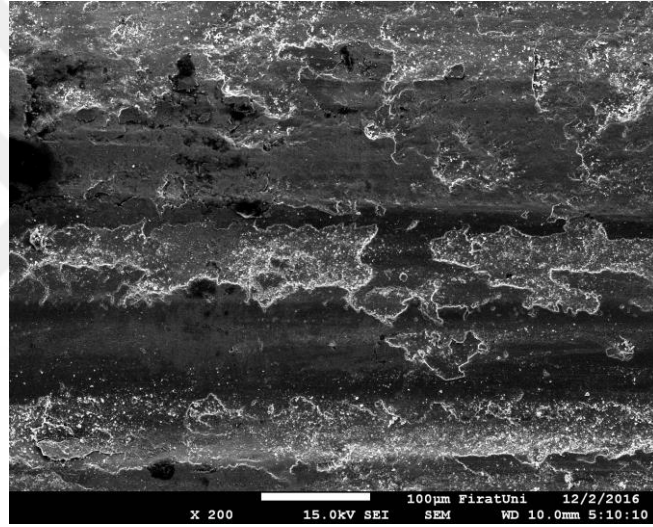


Şekil 6.159.' da, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte en fazla aşınma kaybına uğrayan N12 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Düşük yükte, yüzeyde oluklar ve pullanma meydana gelmiştir. Ayrıca yüzeyden kopan parçacıkların, sürtünme ara yüzeyinden transfer olduğu görülmektedir. Orta ve yükte ise, geniş kraterler ve pullanma meydana gelmiştir. Bu yüklerde yine kopan parçacıklar yüzeye sıvanmıştır.

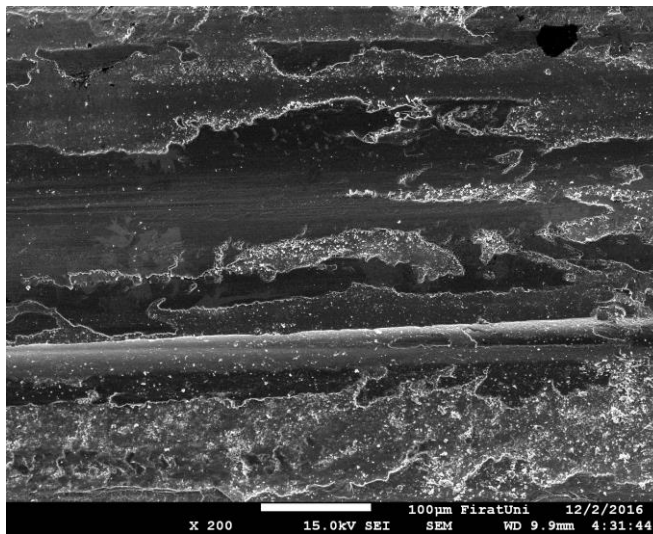




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**



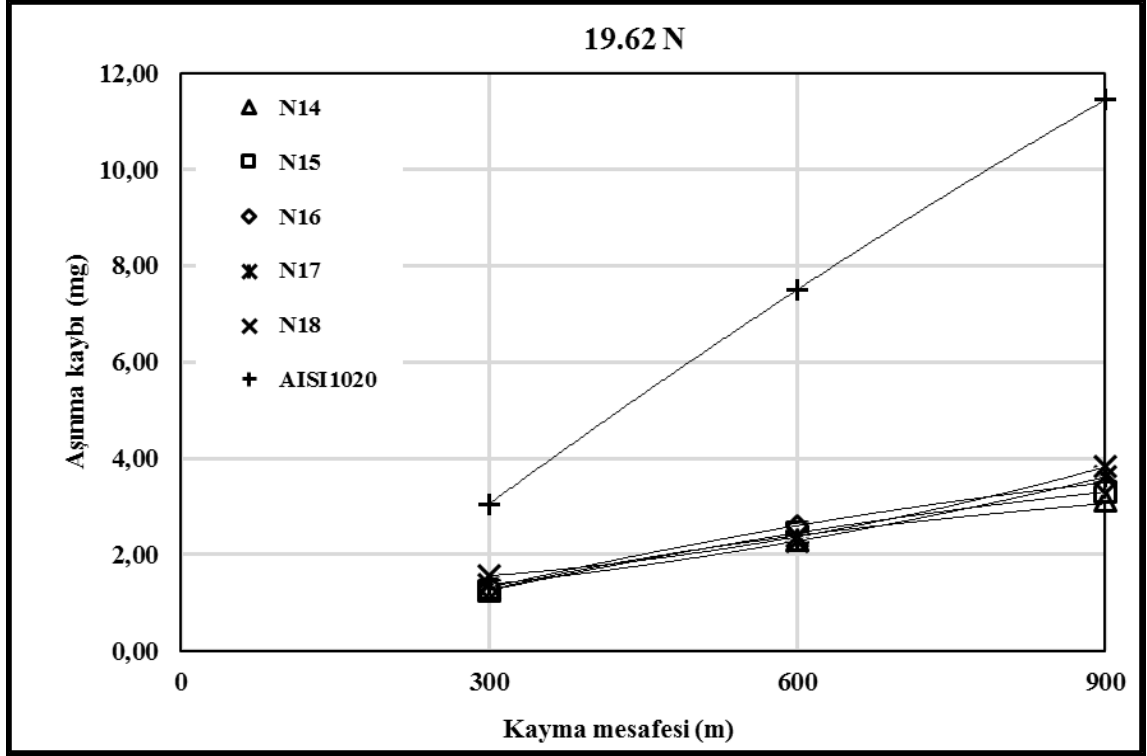
**c) 58.86 N**

**Şekil 6.159.** N12 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

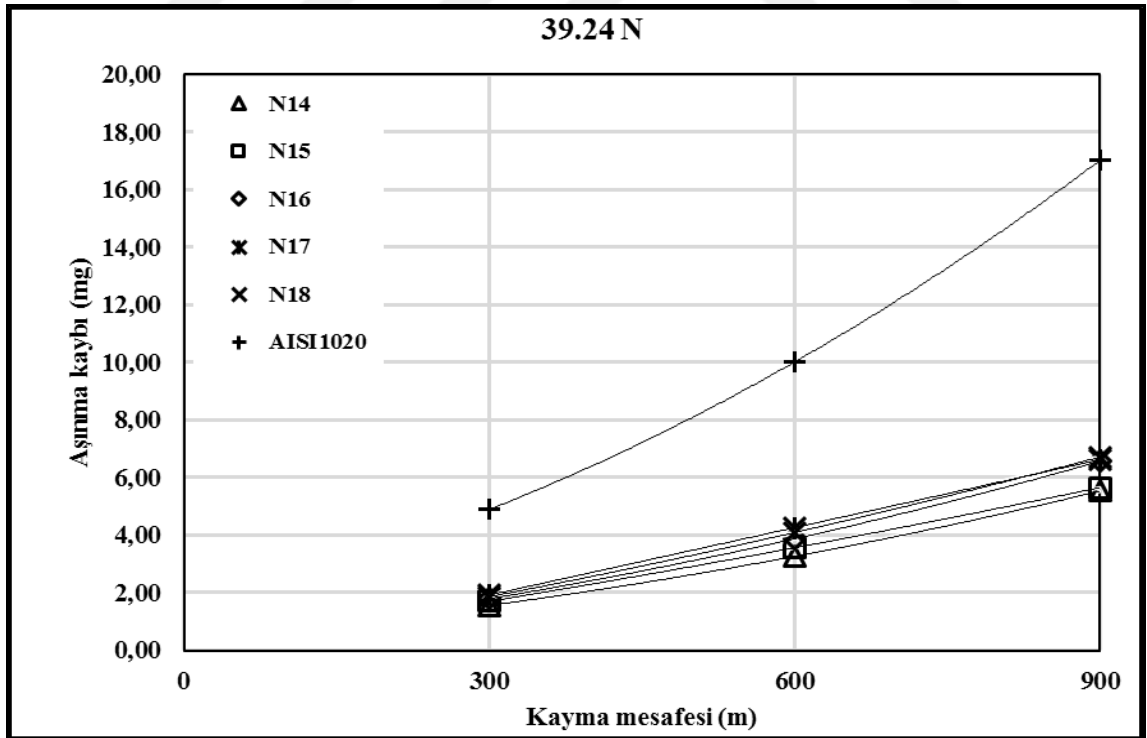
### 6.3.3. (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Aşınması

Şekil 6.160.-6.162.’ de, (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB toz karışımı ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların, sırasıyla, 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N normal yükte aşınma kayıplarının kayma mesafesine göre değişim grafikleri verilmiştir. Tüm yük değerlerinde yüzeyi alaşımlanan numunelerin aşınma kayıpları yapısındaki sert karbür, borür ve karbür gibi fazlardan dolayı altlık malzemedен daha düşüktür. Alaşımlanmış yüzey tabakası ortalama sertliği azaldıkça aşınma kayıpları da artmıştır. Tüm yük değerlerinde aşınma direnci en iyi olan numune, en düşük ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan ve ortalama sertliği en yüksek olan numune olan N14 numunesidir. Aşınma direnci en düşük olan numune ise, en yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan ve en yumuşak numune olan N18 numunesidir. (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin aşınma kayıpları, aynı ısı girdisinde bu tez çalışmasında farklı oranlardaki toz karışımlarıyla gerçekleştirilen, Fe-Cr-W-B-C yüzey alaşımlamaların aşınma kayıplarından daha azdır. Yani Fe-Cr-W-B-C elementleri ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamalardan en iyi aşınma direncini N14-N18 numuneleri göstermektedir. Bu durumun toz karışımına katılan yüksek orandaki FeB’ nin sert fazlar olan borür ve karbür oluşumunu artırması gösterilebilir. N14-N18 numunelerin aşınma kayıplarında, 19.62 N yükte AISI 1020’ ye göre % 67 - 73 arasında, 39.24 N yükte % 61 - 67 arasında, 58.86 N yükte ise; %32 ile 54 arasında bir iyileşme olmuştur. 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte tüm numunelerin aşınma miktarları ısı girdisi arttıkça artmıştır.

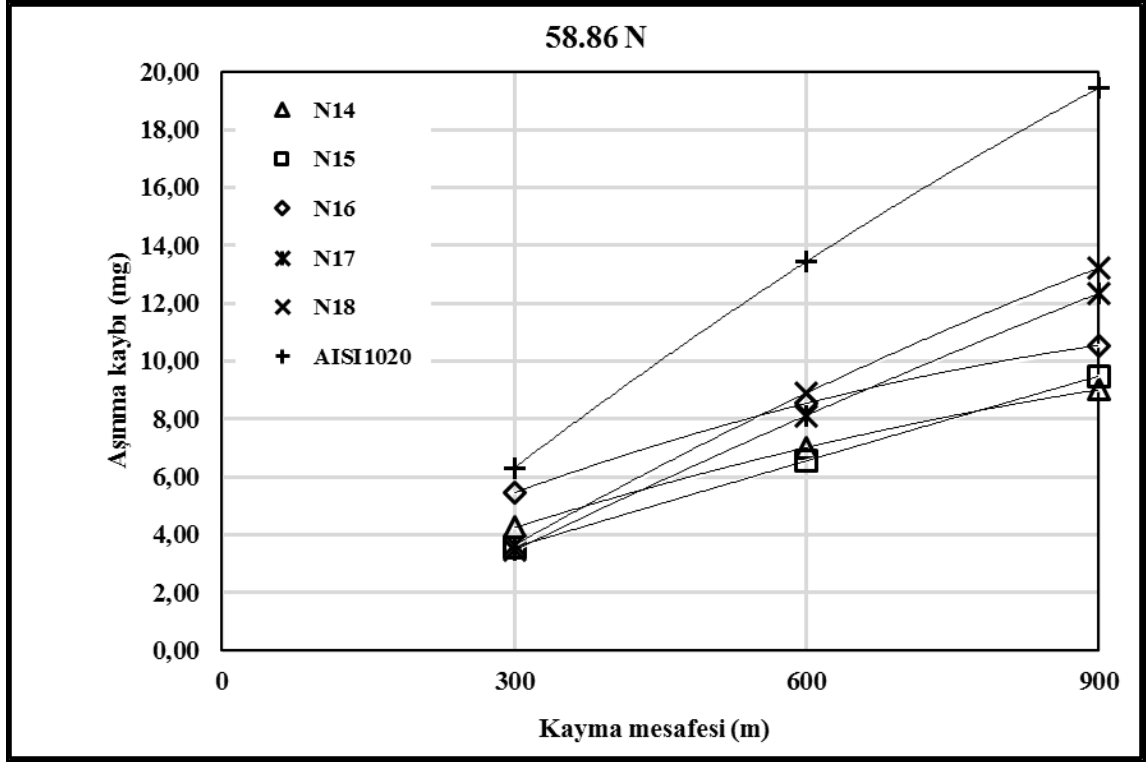
19.62 N yükte, ince taneli dendritlerden oluşan ve diğer numunelere oranla yüksek ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numuneler (N17 ve N18) hariç, diğer numunelerin aşınma dirençleri kayma mesafesine göre azalma eğilimindedir (Şekil 6.160.). Bu numunelerin aşınma dirençleri ise, düşük yükte kayma mesafesinin 600 m’ ye çıkmasıyla artmış, 900 m’ ye yükselmesiyle ise azalmıştır. 39.24 N yükte (Şekil 6.161.); tüm numunelerin aşınma dirençleri kayma mesafesine göre azalmıştır. 58.86 N yükte ise (Şekil 6.162.); N17 ve N18 numunelerinin aşınma dirençleri kayma mesafesinin 600 m’ ye çıkmasıyla azalmış, 900 m’ yükselmesiyle ise artmıştır. Bu yükte, N14-N16 numunelerinin aşınma dirençleri ise, kayma mesafesi arttıkça artmıştır.



Şekil 6.160. 19.62 N yükte, AISI 1020 ve N14-N18 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları

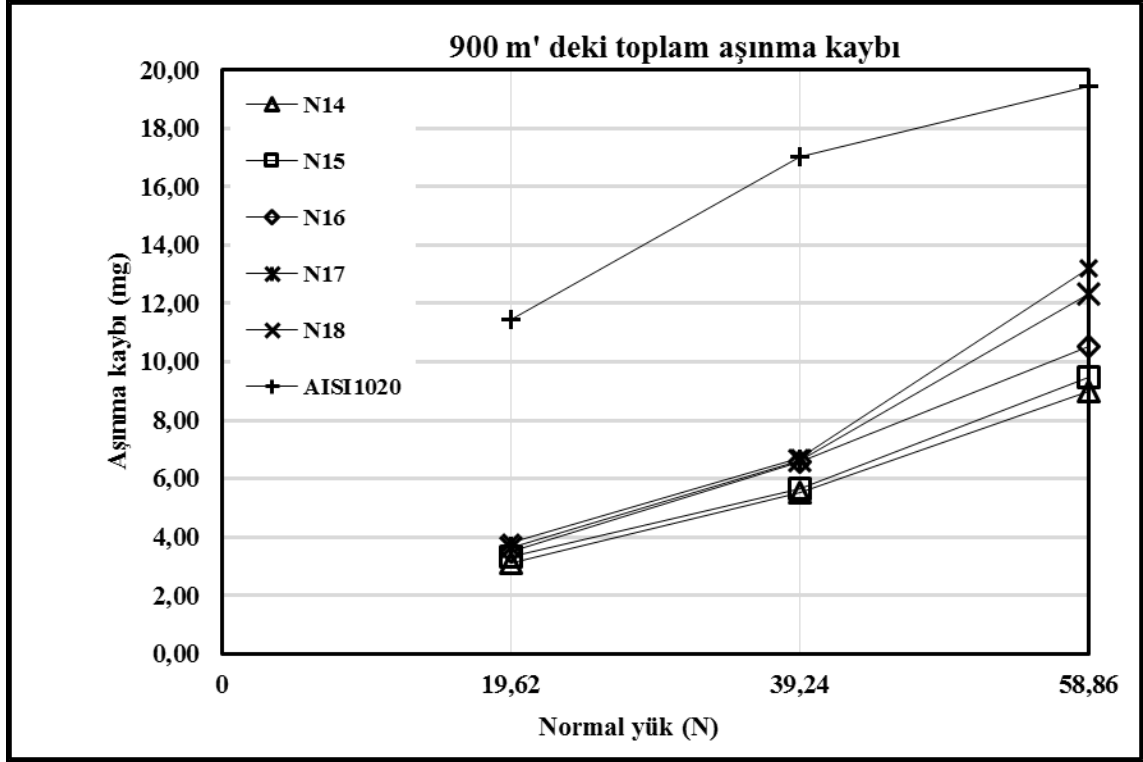


Şekil 6.161. 39.24 N yükte, AISI 1020 ve N14-N18 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları



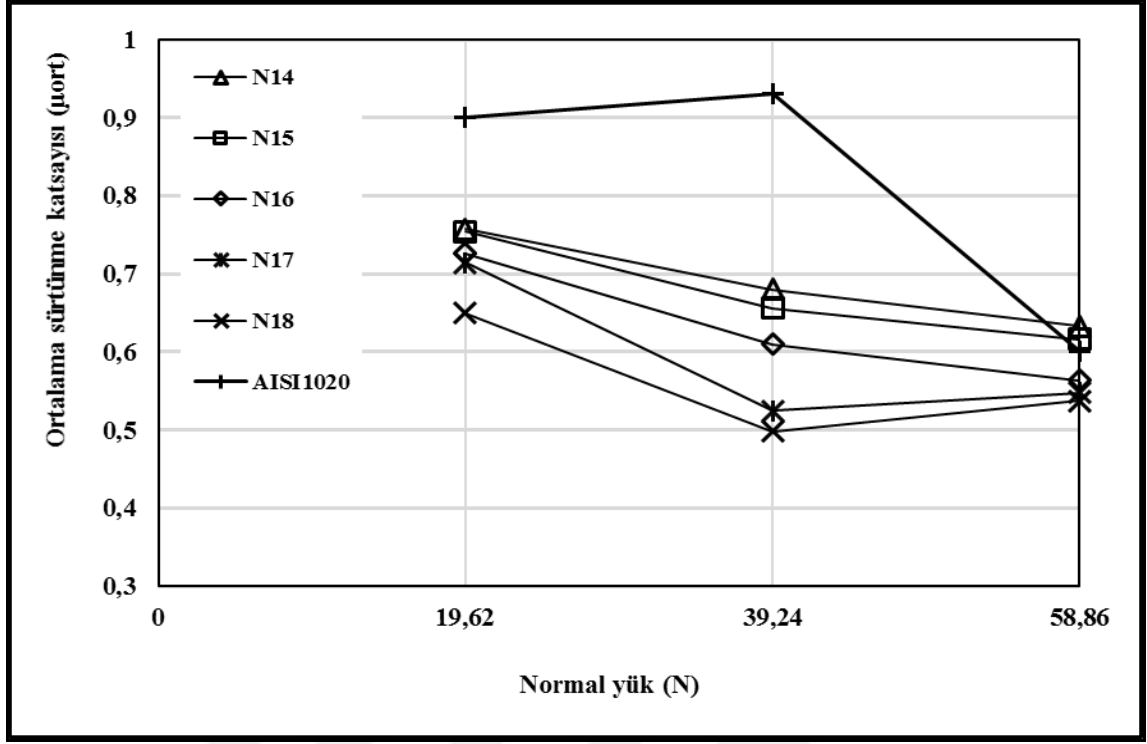
Şekil 6.162. 58.86 N yükte, AISI 1020 ve N14-N18 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları

Şekil 6.163.' de N14-N18, numunelerinin aşınma kayıplarının yüke göre değişimi görülmektedir. Yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N14-N18) aşınma direnci, yükün 39.24 N' a çıkmasıyla artmış, yük 58.86 N' a yükseldiğinde ise azalmıştır.



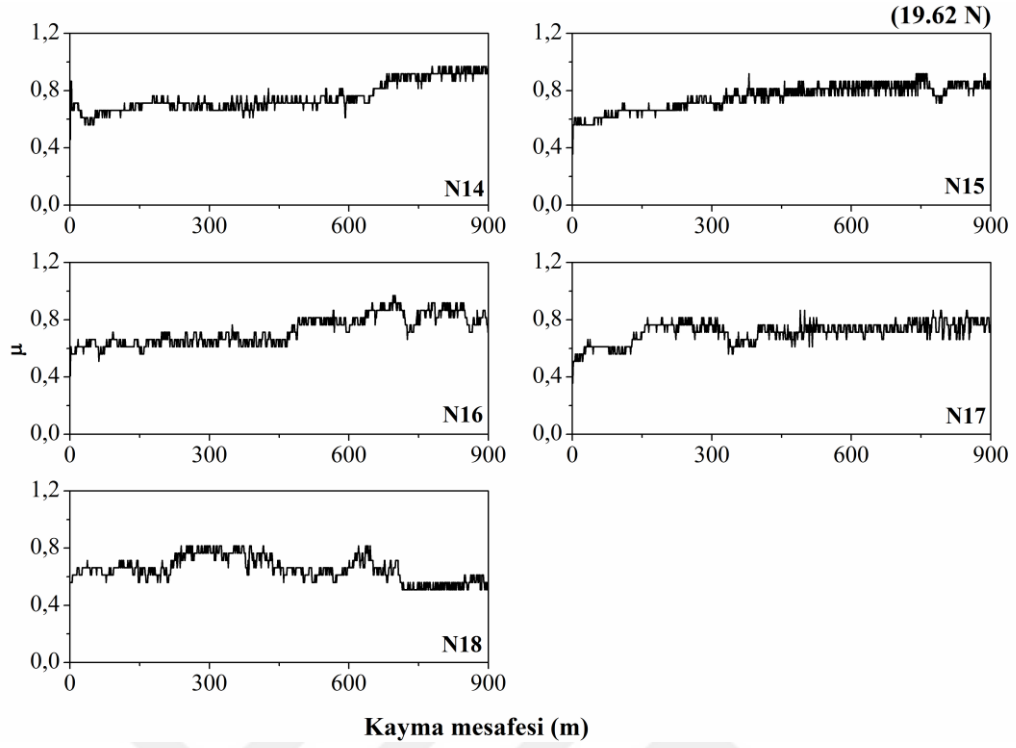
Şekil 6.163. AISI 1020 ve N14-N18 numunelerinin yüke göre aşınma kayıpları

Şekil 6.164.' de, AISI 1020' nin ve (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin ortalama sürtünme katsayılarının ( $\mu_{ort}$ ) yüke göre değişimi grafiği verilmiştir. Ortalama sertliği yüksek olan numunelerin  $\mu_{ort}$  değerleri daha yüksektir ve ısı girdisi arttıkça, tüm yük değerlerinde N14-N18 numunelerinin  $\mu_{ort}$  değerleri düşmüştür. N14-N18 numunelerinin  $\mu_{ort}$  değerleri 19.62 N yükte 0.65 - 0.757, 39.24 N yükte 0.498 - 0.68 ve 58.86 N yükte 0.537 - 0.633 arasında değişmektedir. Tüm yük değerlerinde en düşük  $\mu_{ort}$  değerine sahip numune N18 iken ( $\mu_{19.62}= 0.65$ ,  $\mu_{39.24}= 0.498$ ,  $\mu_{58.86}= 0.537$ ), en yüksek  $\mu_{ort}$  değerine sahip numune N14 numunesidir ( $\mu_{19.62}= 0.757$ ,  $\mu_{39.24}= 0.68$ ,  $\mu_{58.86}= 0.633$ ). 19.62 ve 39.24 N yükte N14-N18 numunelerinin ortalama sürtünme katsayıları altlık malzemeden düşükken, 58.86 N yükte diğer numunelere oranla yüksek ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan N16-N18 numunelerinin ortalama sürtünme katsayıları AISI 1020' den daha düşüktür. Ortalama mikro sertlikleri diğer numunelere oranla yüksek olan numunelerin (N14-N16)  $\mu_{ort}$  değerleri, yük arttıkça azalmıştır. Bu numunelere oranla ortalama mikrosertlikleri düşük olan ve yüksek ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N17 ve N18)  $\mu_{ort}$  değerleri ise yükün 39.24 N' a çıkmasıyla azalmış, yükün 58.86 N' a yükselmesiyle tekrar artmıştır.

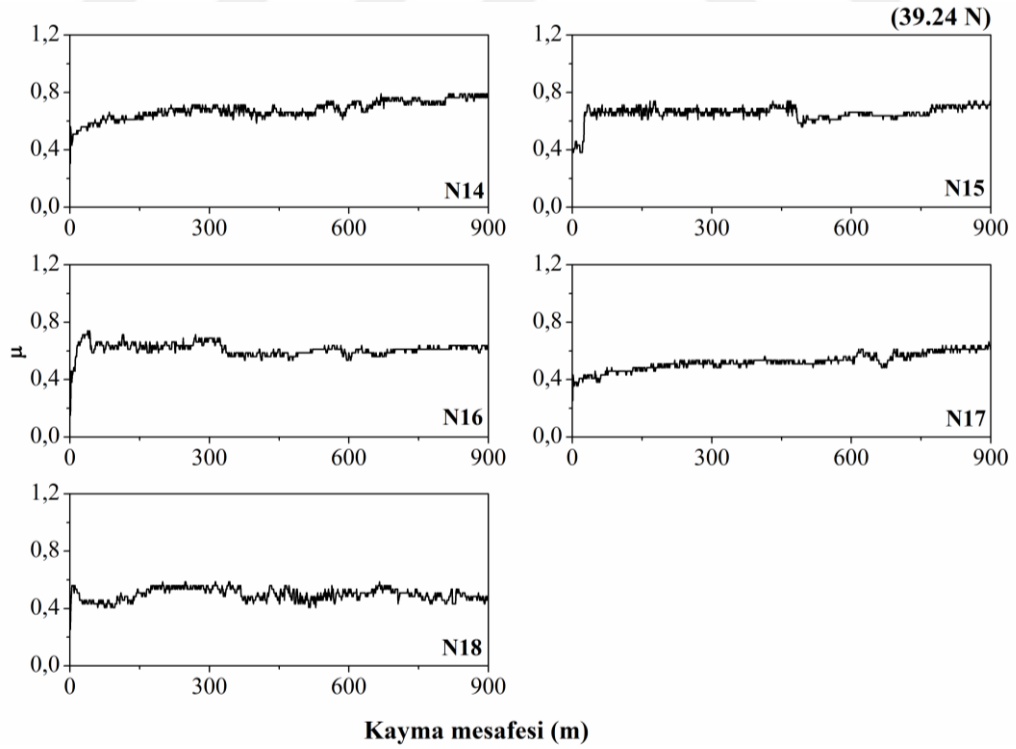


Şekil 6.164. AISI 1020 ve N14-N18 numunelerinin ortalama sürtünme katsayılarının yüke göre değişimi

19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte, N14-N18 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi sırasıyla, Şekil 6.165., Şekil 6.166. ve Şekil 6.167.' de verilmiştir. Düşük yükte (Şekil 6.165.), kayma mesafesine bağlı olarak yüzeyden kopan parçacıkların kayma ara yüzeyinden transfer olması ile sürtünme katsayılarında ani düşüş ve yükselmeler meydana gelmiştir. Orta yükte (Şekil 6.166.) ve yüksek yükte (Şekil 6.167.) numunelerin sürtünme katsayılarındaki değişim daha karardır ve sürtünme katsayısındaki değişim, daha küçük aralıklarda meydana gelmiştir. Her iki yükte de, sürtünme katsayısı en kararlı değişen numune N17 numunesidir.

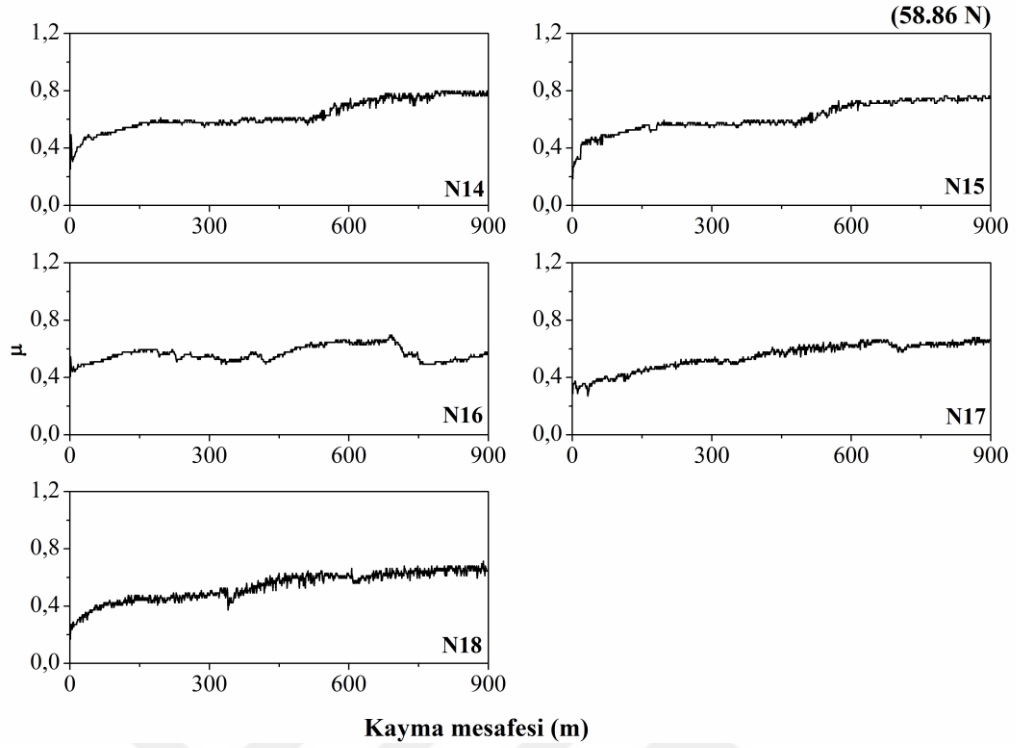


**Şekil 6.165.** 19.62 N yükte, N14-N18 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi



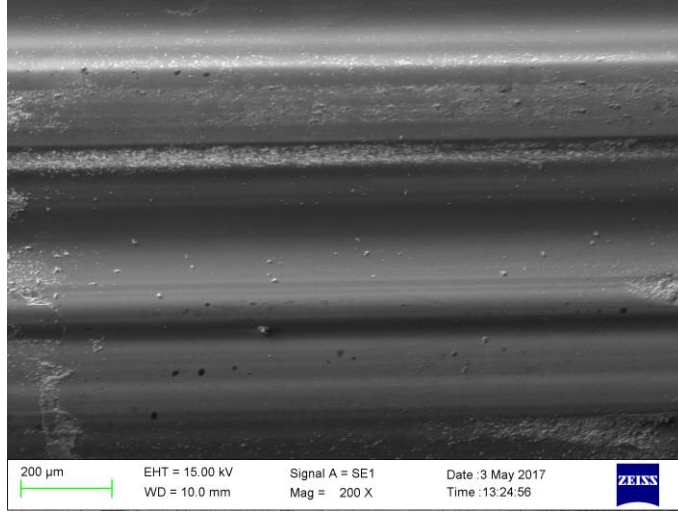
**Şekil 6.166.** 39.24 N yükte, N14-N18 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi



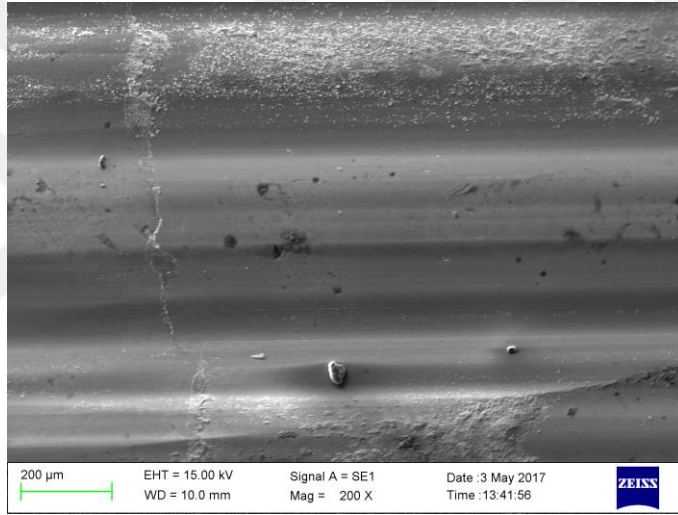


Şekil 6.167. 58.86 N yükte, N14-N18 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi

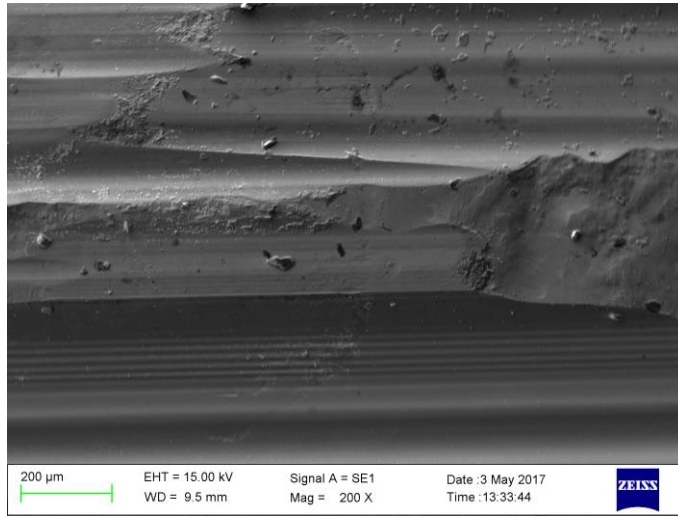
Şekil 6.168.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N14 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Düşük ve orta yükte, aşınma olukları oluşmuş ve yer yer yüzeyden kopan parçacıklar yüzeye sıvanmıştır. Bu yüklerde yine pullanma ve küçük çatlaklar meydana gelmiştir. Yüksek yükte ise, olukların tepe noktalarında parça kopmaları meydana gelmiş ve aşınma daha fazla olmuştur.



**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

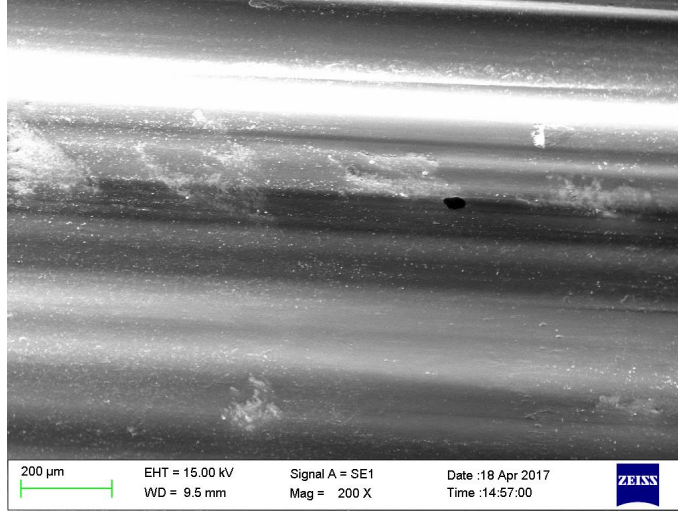


**c) 58.86 N**

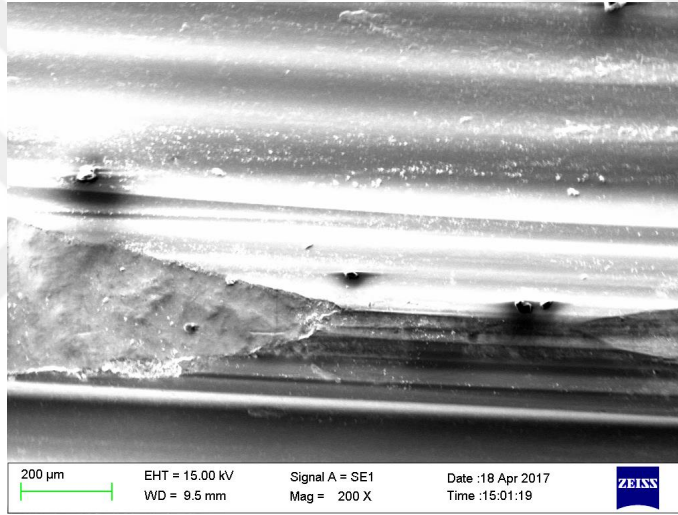
**Şekil 6.168.** N14 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.169.' da, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N15 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, yük arttıkça malzemedeki transfer olan parçacık miktarı artmıştır. Düşük yükte, aşınma yüzeyinde oluklar ve pullanma görülmüştür. Orta yükte, olukların tepelerinden parça kopmaları meydana gelmiş, yüksek yükte ise oluklar neredeyse kaybolmuş ve aşınma kazıma şeklinde gerçekleşmiştir. Ayrıca yüksek yükte, kopan parçacıkların yüzeye sıvandığı görülmektedir.

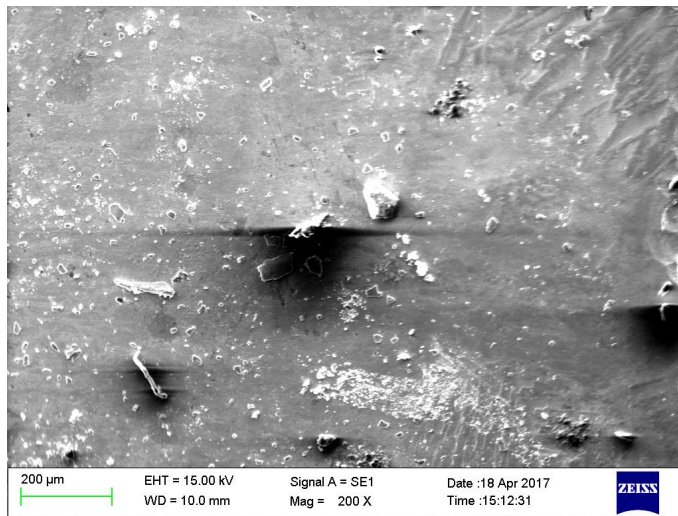




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

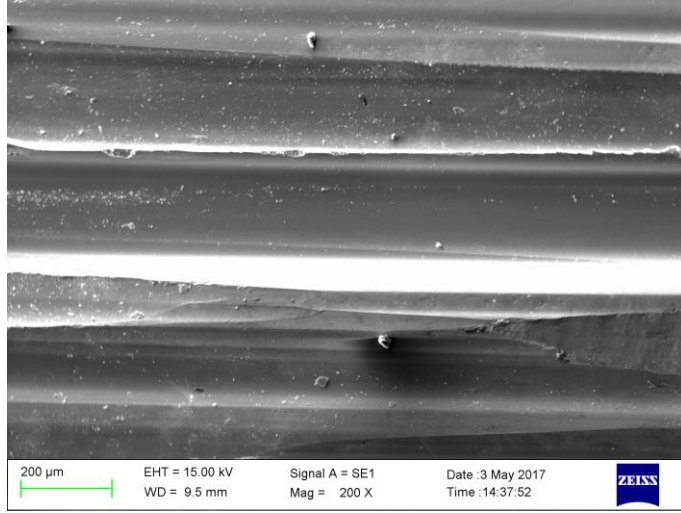


**c) 58.86 N**

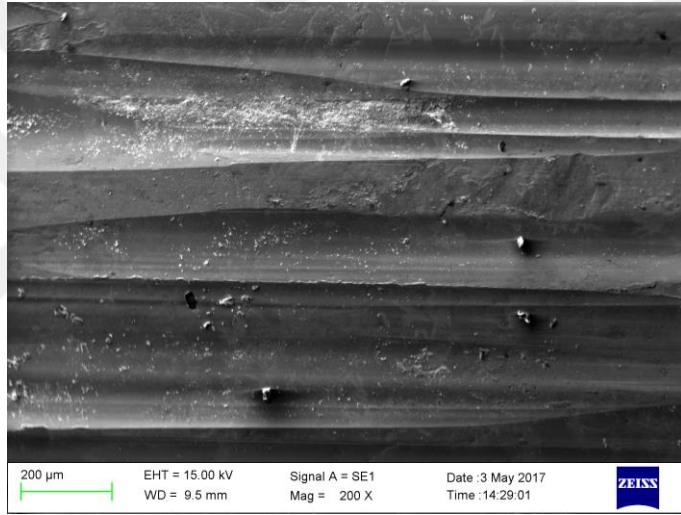
**Şekil 6.169.** N15 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.170.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N16 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Düşük yükte, yüzeyde oluklar meydana gelmiştir ve bu olukların tepe noktalarından parçacıklar koparak kazıma çukurları meydana getirmiştir. Orta yükte, yüzeyde oluklar ve pullanma meydana gelmiştir. Yüksek yükte ise, aşınma daha fazla olduğundan oluklar genişlemiş ve yer yer küçük kazıma çukurları oluşmuştur.

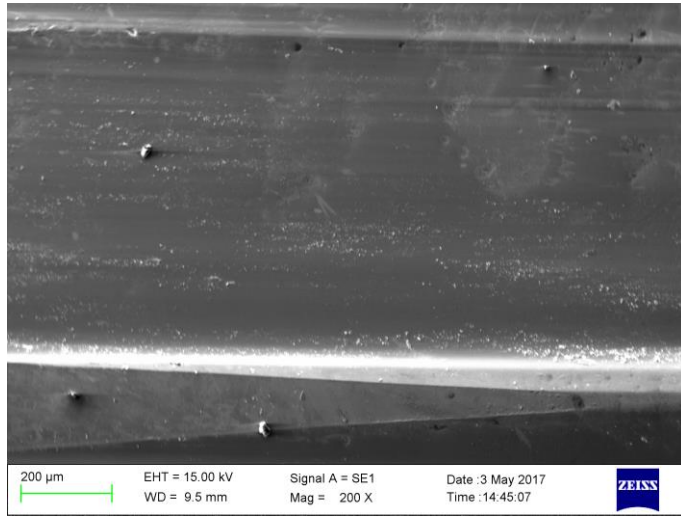




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

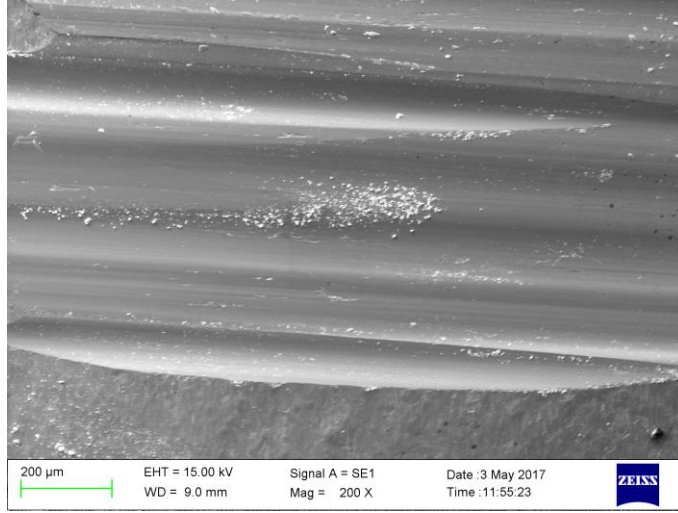


**c) 58.86 N**

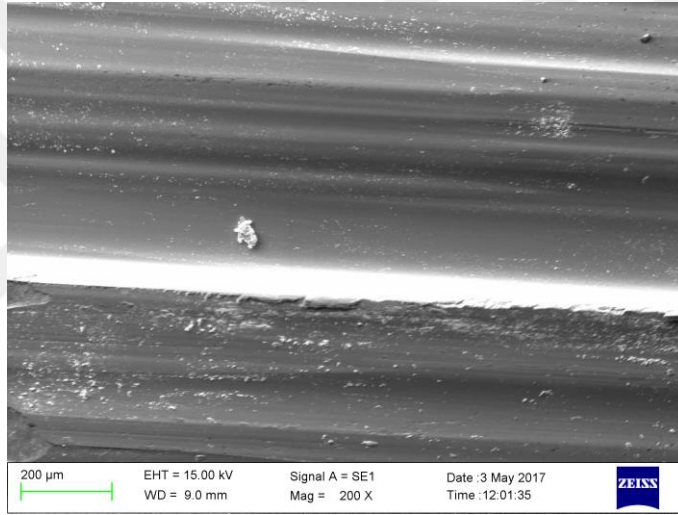
**Şekil 6.170.** N16 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.171.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N17 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Tüm yük değerlerinde, malzeme yüzeylerinde oluklar oluşmuştur. Yük arttıkça, bu oluklar aşınmanın fazla olmasından dolayı daha düzleşmiştir. Aşınma yüzeylerinde yine pullanmalar meydana gelmiş ve yer yer kopan parçacıklar yüzeye sıvanmıştır.

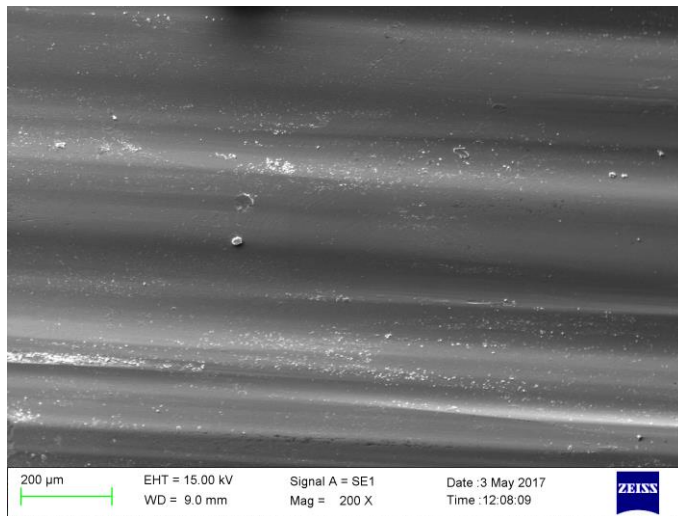




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**



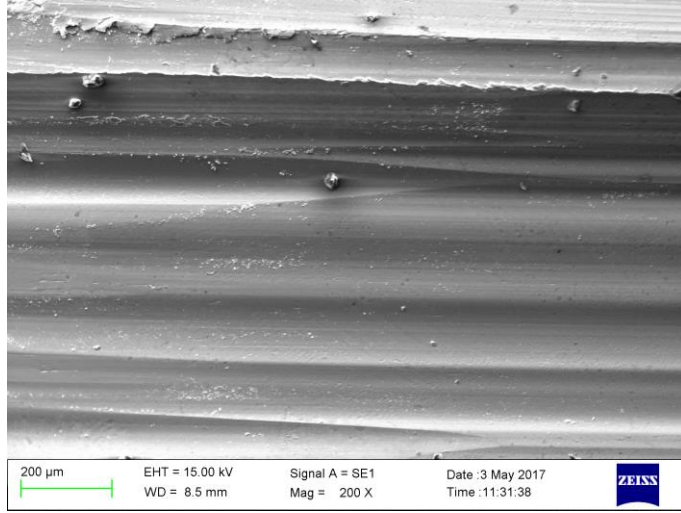
**c) 58.86 N**

**Şekil 6.171.** N17 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

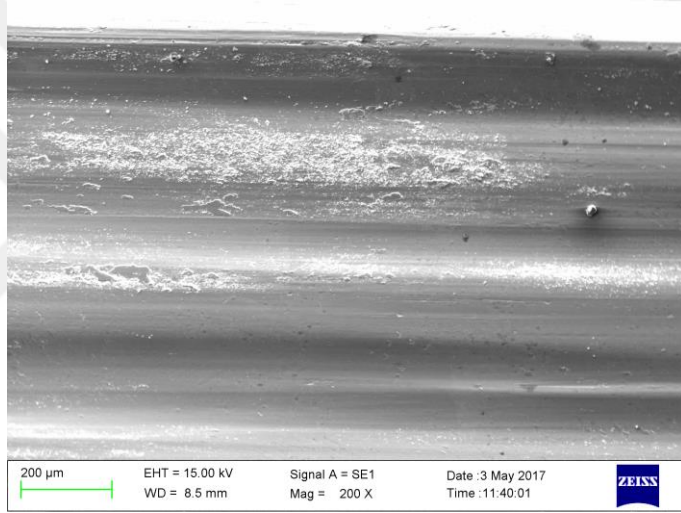


Şekil 6.172.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N18 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Bu numunede de aşınma yüzeyinde oluklar yük arttıkça düzleşmiştir. Aşınma yüzeylerinde pullanmalar görülmüştür. Yüksek yükte, mikro çizikler meydana gelmiştir.

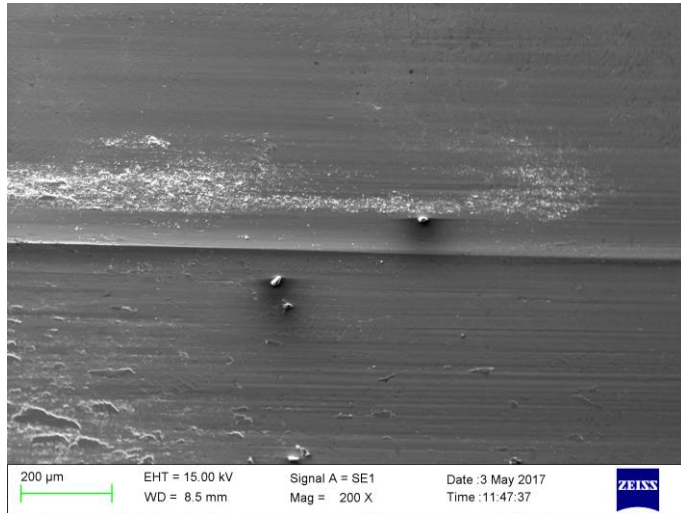




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**



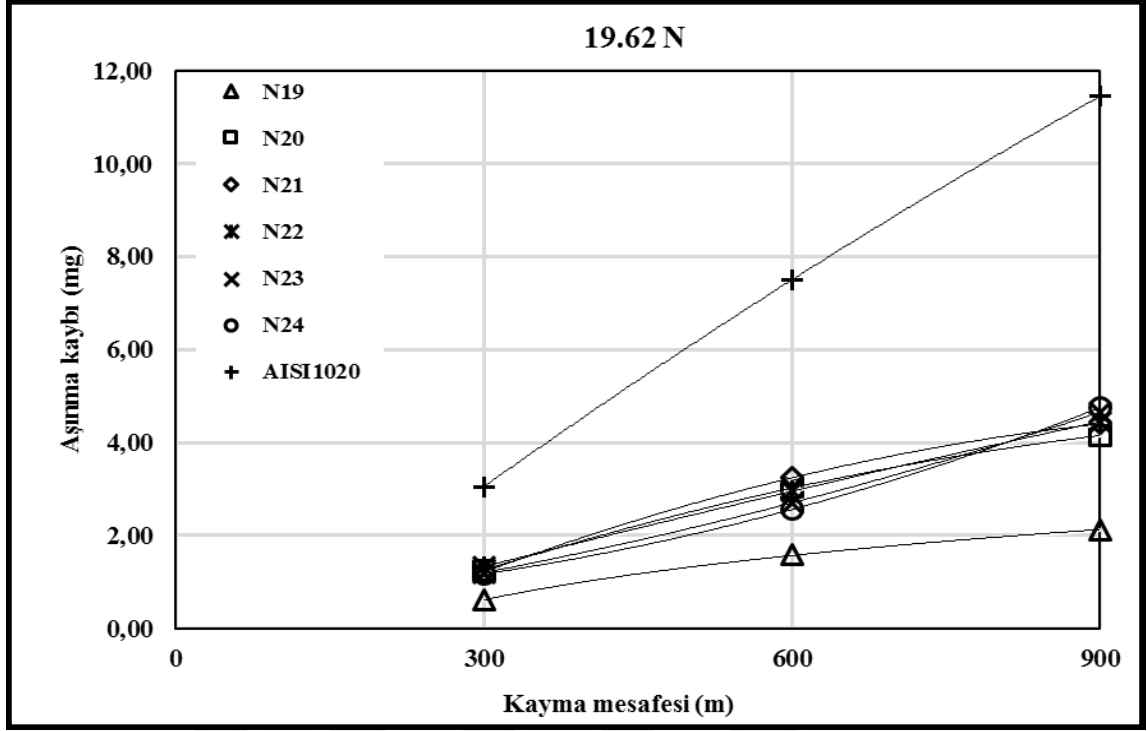
**c) 58.86 N**

**Şekil 6.172.** N18 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

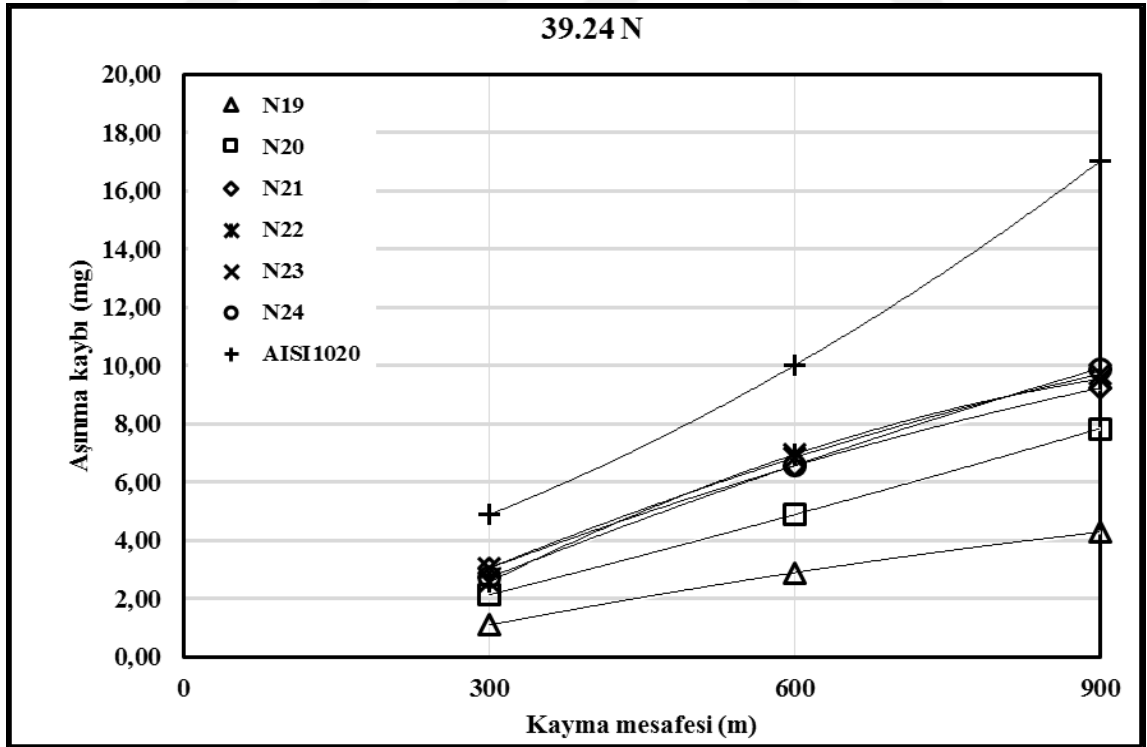
#### 6.3.4. (%ağ.) 70FeCrC-30FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen YüzeY AlaşımLamaların Aşınması

Şekil 6.173.-6.175.' de, (%ağ.) 70FeCrC-30FeB toz karışımı ile gerçekleştirilen yüzeY alaşımLamaların, sırasıyla, 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N normal yükte aşınma kayıplarının kayma mesafesine göre değişim grafikleri verilmiştir. Tüm yük değerlerinde, yüzeYi alaşımLanan numunelerin aşınma kayıpları altlık malzemededen düşüktür. AlaşımLanmış yüzeY tabakalarının ortalama sertliği azaldıkça aşınma kayıpları da artmıştır. Tüm yük değerlerinde aşınma direnci en iyi olan numune, en düşük ısı girdisiyle yüzeYi alaşımLanan ve ortalama sertliği en yüksek olan numune olan N19 numunesidir. Aşınma direnci en düşük olan numune ise, en yüksek ısı girdisiyle yüzeYi alaşımLanan ve en yumuşak numune olan N24 numunesidir. (%ağ.) 70FeCrC-30FeB ile yüzeYi alaşımLanan numunelerin aşınma kayıpları aynı ısı girdisinde bu tez çalışmasında Fe-Cr-W-B-C elementleriyle gerçekleştirilen yüzeY alaşımLandırmaların aşınma kayıplarından daha yüksektir. Düşük ısı girdisiyle yüzeYi alaşımLanan N19 numunesinin aşınma direnci ise tüm yük değerlerinde bu tez çalışmasında gerçekleştirilen Fe-Cr-W-B-C yüzeY alaşımLandırmalardan daha yüksektir. Bu dururumun, bu numunenin alaşımLanmış yüzeY tabakasındaki borür miktarının fazla olmasından kaynaklandığı düşünölmektedir. N19-N24 numunelerin aşınma kayıplarında, 19.62 N yükte AISI 1020' ye göre % 59 - 81 arasında, 39.24 N yükte % 42 - 75 arasında, 58.86 N yükte ise; % 25 - 55 arasında bir iyileşme olmuştur. 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte tüm numunelerin aşınma miktarları ısı girdisi arttıkça artmıştır.

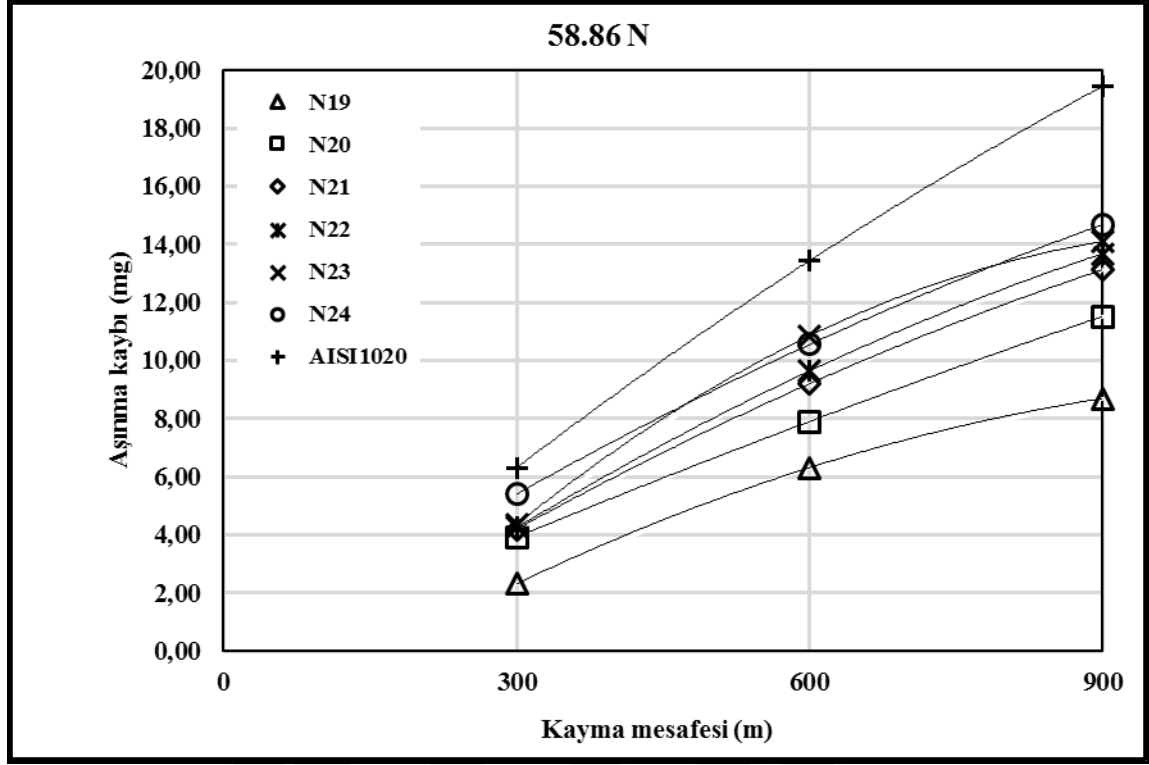
19.62 N yükte, yüksek ısı girdileriyle yüzeYi alaşımLanan numuneler (N23 ve N24) hariç diğer numunelerin aşınma dirençleri, kayma mesafesine göre artma eğilimindedir (Şekil 6.173.). N23 ve N24 numunelerinin aşınma dirençleri ise, kayma mesafesi arttıkça azalmıştır. 39.24 N yükte (Şekil 6.174.); tüm numunelerin aşınma dirençleri kayma mesafesi 600 m' ye yükseldiğinde azalmış, 900 m' ye çıktığında ise artmıştır. 58.86 N yükte, en yüksek ısı girdisiyle yüzeYi alaşımLanan N24 numunesinin aşınma direnci kayma mesafesine göre artarken, diğer numunelerin aşınma dirençleri kayma mesafesini 600 m' ye çıkmasıyla azalmış, 900 m' ye çıktığında ise artmıştır (Şekil 6.175.).



Şekil 6.173. 19.62 N yükte, AISI 1020 ve N19-N24 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları

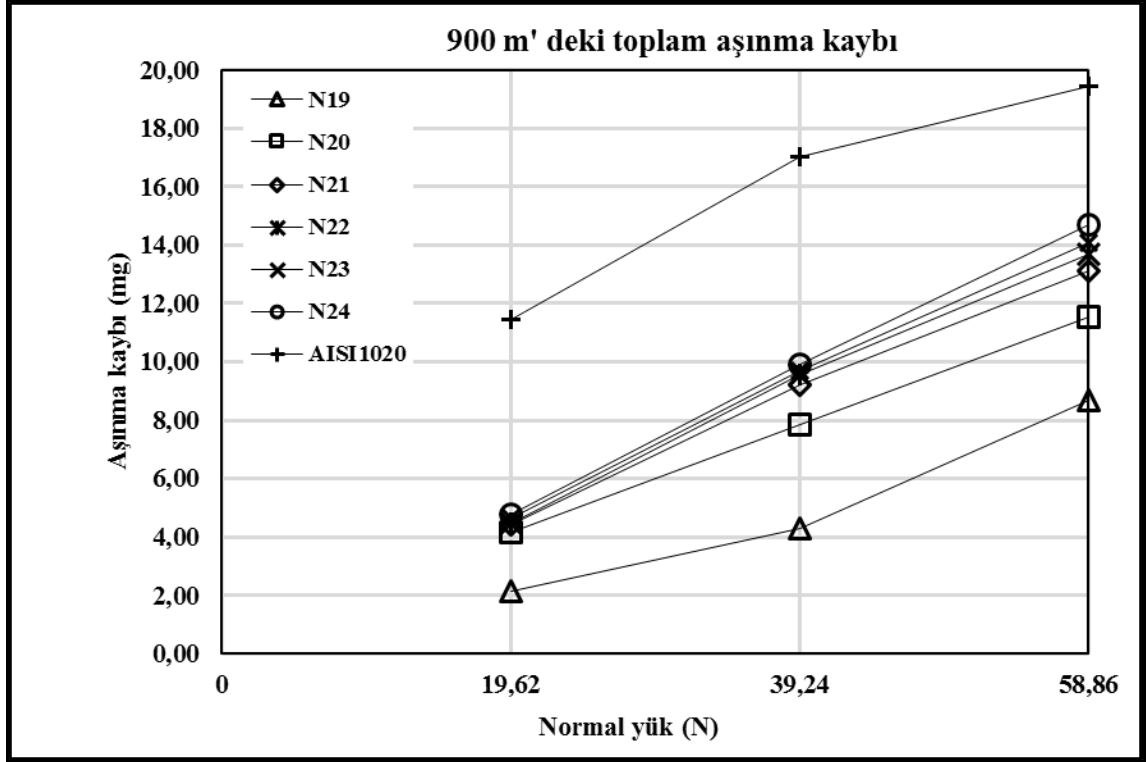


Şekil 6.174. 39.24 N yükte, AISI 1020 ve N19-N24 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları



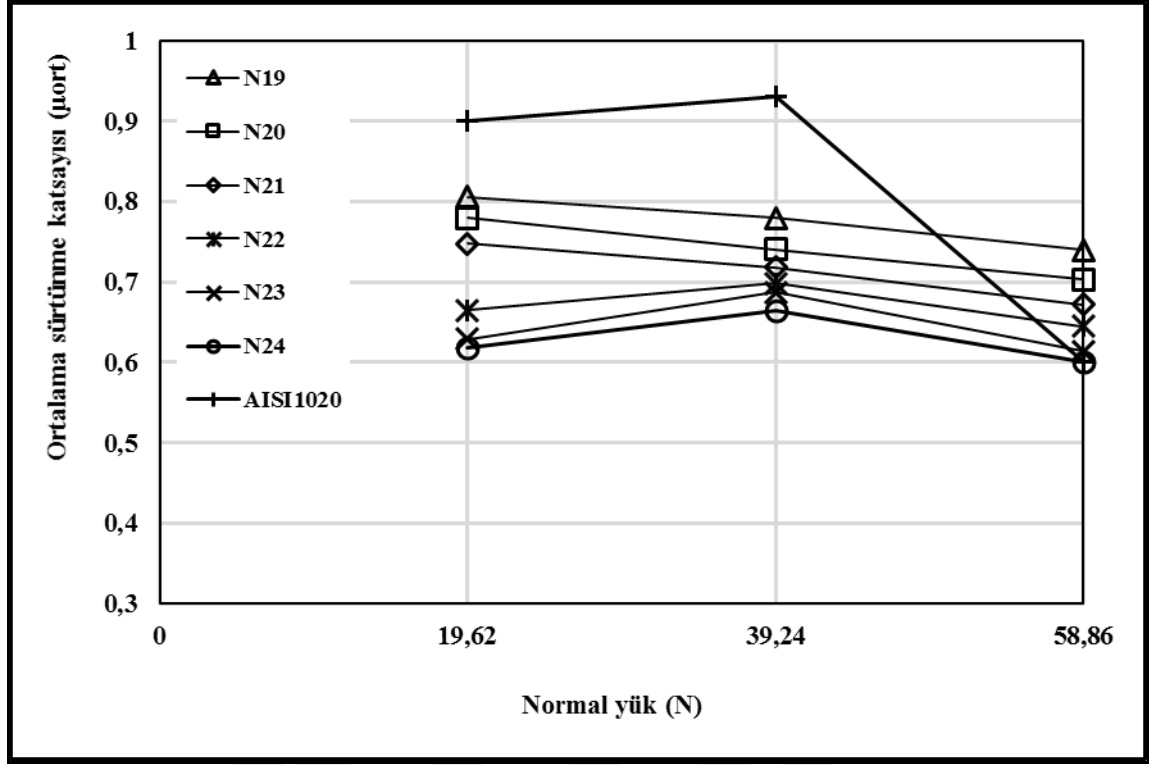
Şekil 6.175. 58.86 N yükte, AISI 1020 ve N19-N24 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları

Şekil 6.176.' da, N19-N24 numunelerinin aşınma kayıplarının yüke göre değişimi görülmektedir. En yüksek ortalama mikrosertliğe sahip olan N19 numunesinin aşınma direnci, yüke bağlı olarak azalmıştır. Özellikle yük 58.86 N' a çıktığında aşınma direnci önemli miktarda düşmüştür. Bu numuneye yakın ortalama mikrosertliğe sahip olan N20 numunesinin aşınma direnci ise yük arttıkça artmıştır. Diğer numunelerin aşınma dirençleri ise, yükün 39.24 N' a çıkmasıyla azalmış, yük 58.86 N' a yükselmesiyle artmıştır.



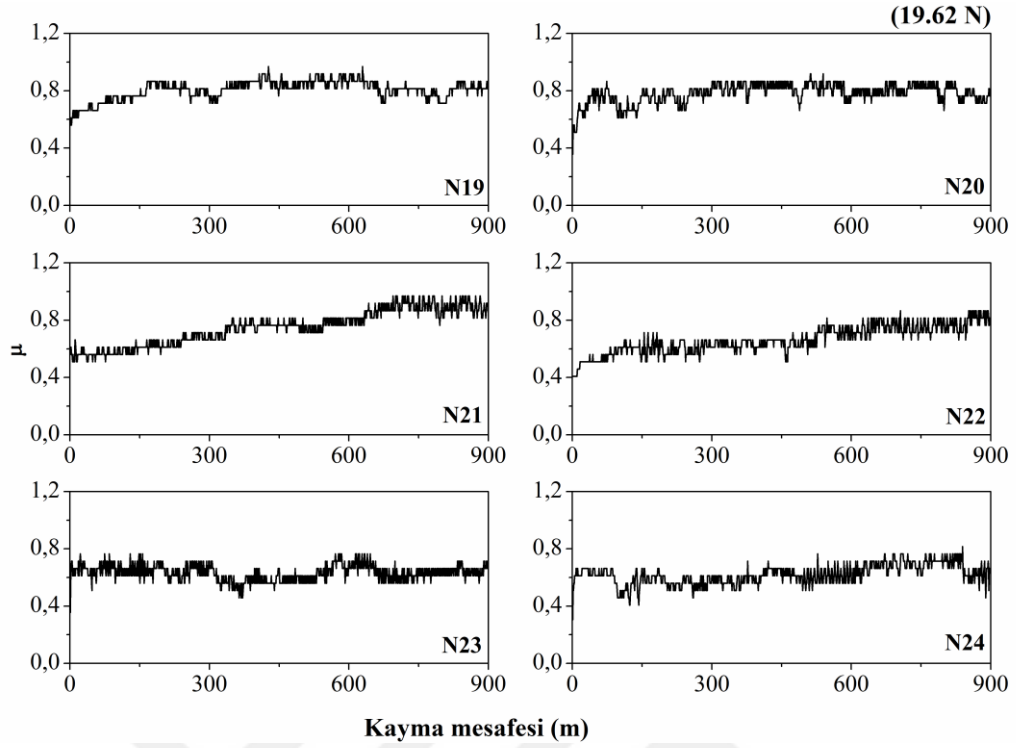
Şekil 6.176. AISI 1020 ve N19-N24 numunelerinin yüke göre aşınma kayıpları

Şekil 6.177.' de, AISI 1020' nin ve (%ağ.) 70FeCrC-30FeB ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin ortalama sürtünme katsayılarının ( $\mu_{ort}$ ) yüke göre değişimi grafiği verilmiştir. Ortalama mikrosertliği yüksek olan numunelerin  $\mu_{ort}$  değerleri, daha yüksektir ve ısı girdisi arttıkça tüm yük değerlerinde  $\mu_{ort}$  değerleri düşmüştür. N19-N24 numunelerinin  $\mu_{ort}$  değerleri, 19.62 N yükte 0.619 - 0.806, 39.24 N yükte 0.665 - 0.78 ve 58.86 N yükte 0.601 - 0.74 arasında değişmektedir. Tüm yük değerlerinde, en düşük  $\mu_{ort}$  değerine sahip numune N24 iken ( $\mu_{19.62} = 0.619$ ,  $\mu_{39.24} = 0.665$ ,  $\mu_{58.86} = 0.601$ ), en yüksek  $\mu_{ort}$  değerine sahip numune N19 numunesidir ( $\mu_{19.62} = 0.806$ ,  $\mu_{39.24} = 0.78$ ,  $\mu_{58.86} = 0.74$ ). 19.62 ve 39.24 N yükte, N19-N24 numunelerinin ortalama sürtünme katsayıları altlık malzemedan düşükken, 58.86 N yükte tüm numunelerin ortalama sürtünme katsayıları altlık malzemedan yüksektir. 0.15 m/dk ilerleme hızı ile yüzeyi alaşımlanan ve ortalama mikrosertlikleri diğer numunelere oranla yüksek olan, N19-N21 numunelerinin  $\mu_{ort}$  değerleri yüke bağlı olarak azalırken, yüksek ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin  $\mu_{ort}$  değerleri yük 39.24 N' a çıktığında yükselmiş, yükün 58.86 N' a yükselmesiyle düşmüştür.

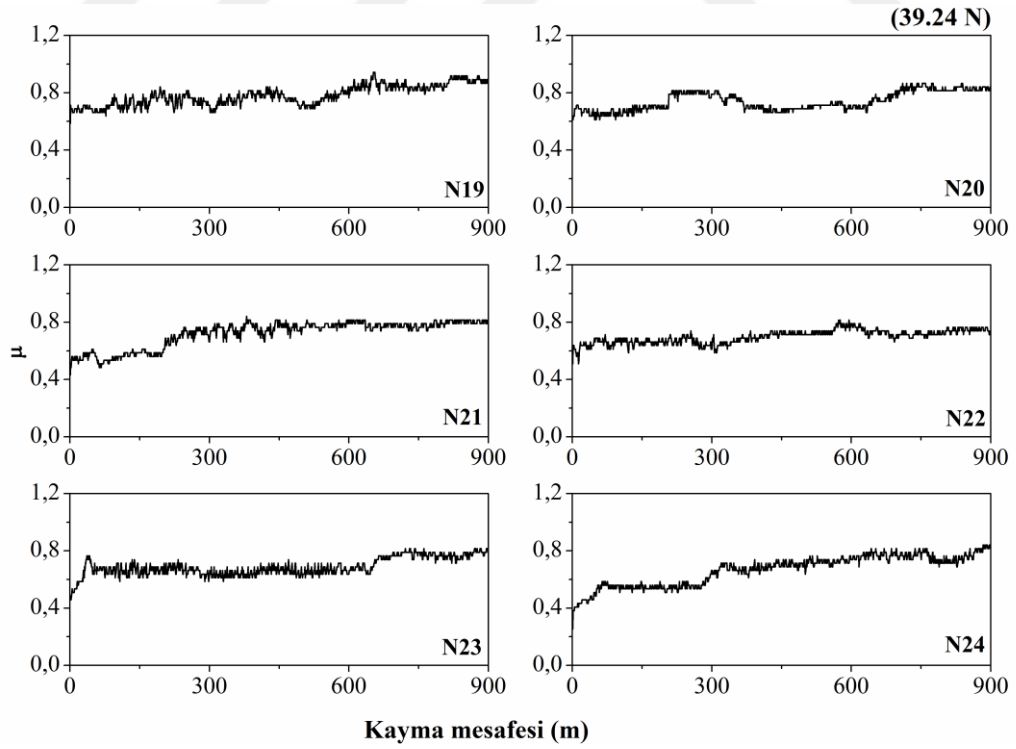


Şekil 6.177. AISI 1020 ve N19-N24 numunelerinin ortalama sürtünme katsayılarının yüke göre değişimi

19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte N19-N24 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi sırasıyla, Şekil 6.178., Şekil 6.179. ve Şekil 6.180.' de verilmiştir. Düşük yükte (Şekil 6.178.), kayma mesafesine göre sürtünme katsayılarında ani düşüş ve yükselmeler meydana gelmiştir. Orta yükte (Şekil 6.179.) ve yüksek yükte (Şekil 6.180.) numunelerin sürtünme katsayılarındaki değişim daha kararlıdır ve sürtünme katsayısındaki değişim daha küçük aralıklarda meydana gelmiştir. Ayrıca yük arttıkça, sürtünme katsayısındaki değişim aralığı azalmış ve sürtünme katsayısındaki değişim daha kararlı olmuştur.

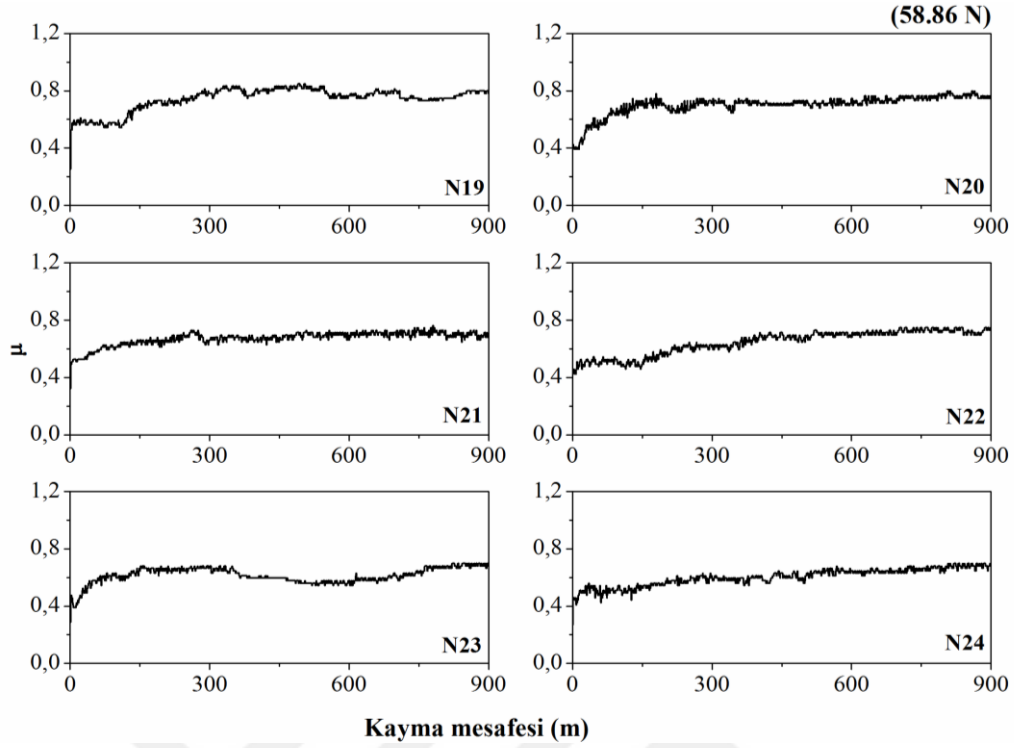


**Şekil 6.178.** 19.62 N yükte, N19-N24 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi



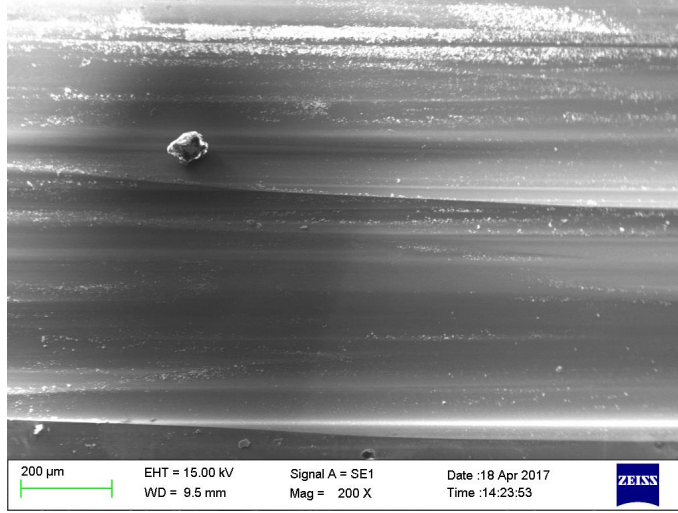
**Şekil 6.179.** 39.24 N yükte, N19-N24 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi



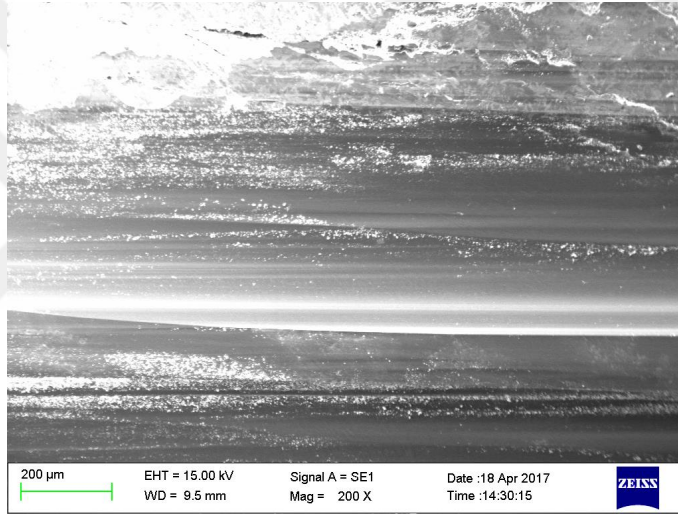


Şekil 6.180. 58.86 N yükte, N19-N24 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi

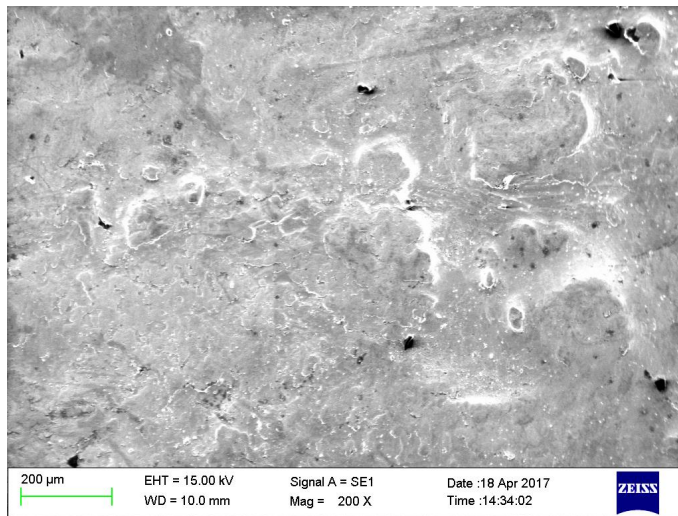
Şekil 6.181.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N19 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Düşük ve orta yükte, aşınma yüzeylerinde oluklar meydana gelmiş ve yük arttıkça bu oluklara yüzeyden kopan parçacıklar ısının etkisiyle sıvanmıştır. Düşük yükte, aşınma miktarı düşükken orta ve yüksek yükte aşınma artmıştır. Orta ve yüksek yükte aşınma yüzeylerinde pullanmalar görülüp bu pullanmalar yüksek yükte daha fazladır. Yine yüksek yükte, aşınma daha çok kazıma şeklindedir ve yüzeyde kazıma çukurları meydana gelmiştir.



**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

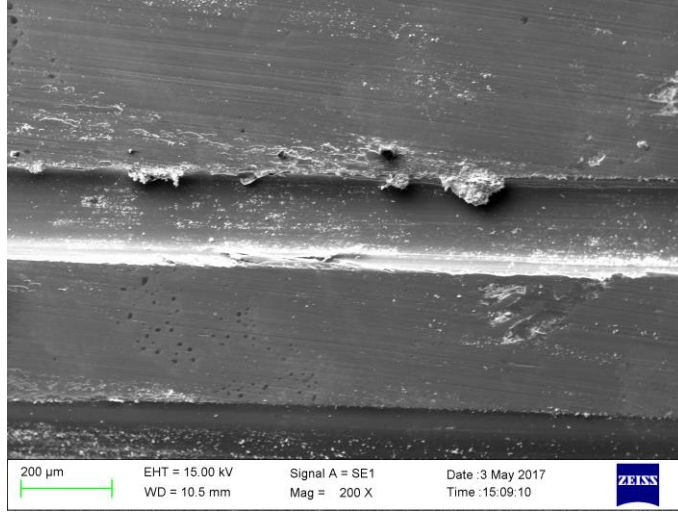


**c) 58.86 N**

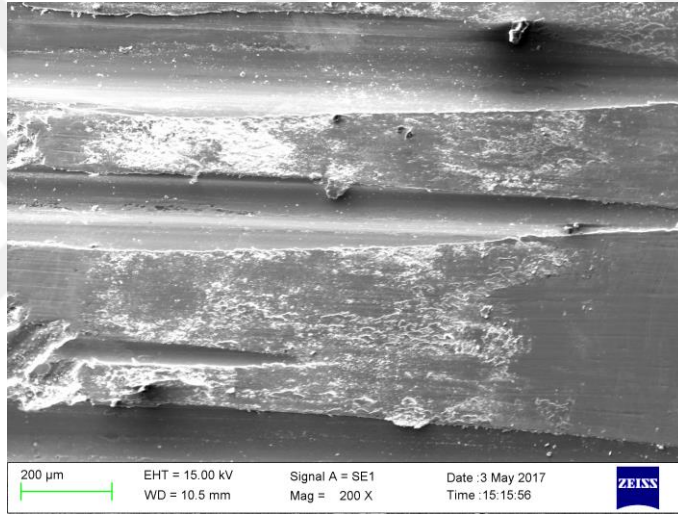
**Şekil 6.181.** N19 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.182.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N20 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Tüm yüklerde, aşınma yüzeylerinde oluklar meydana gelmiş ve olukların köşelerinden parçacıklar sıyrılmıştır. Yine tüm yüklerde, aşınma yüzeylerinde pullanma görülmektedir. Pullanma, en çok yüksek yükte gerçekleşmiş ve bu yükte kopan parçacıklar yüzeye daha fazla sıvanmıştır.

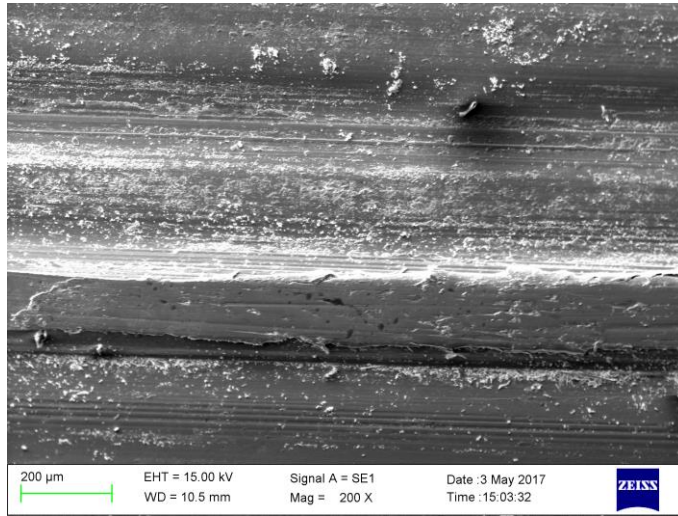




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

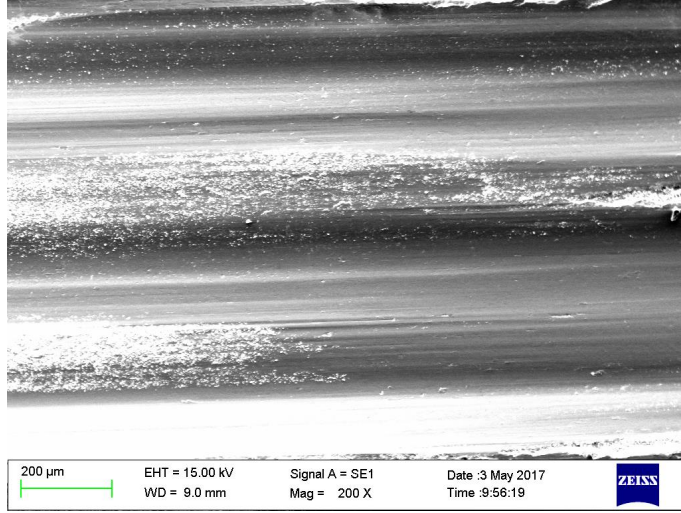


**c) 58.86 N**

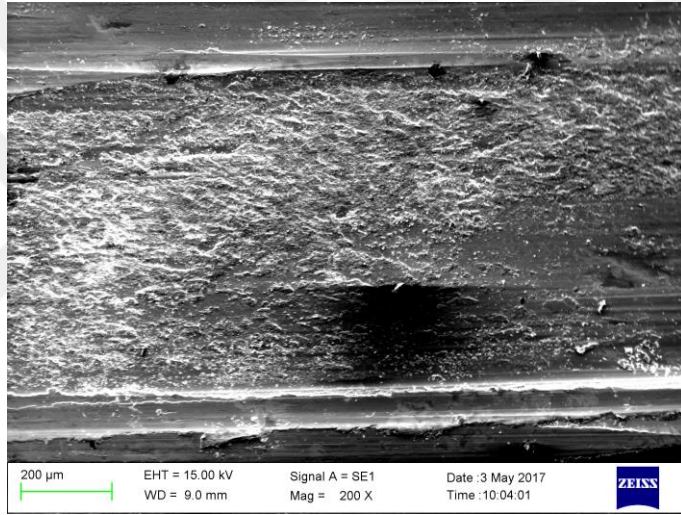
**Şekil 6.182.** N20 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.183.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N21 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, aşınma miktarı yük arttıkça artmış ve yüksek yükte aşınma fazla olduğundan yüzey düzleşmiştir. Düşük ve orta yükte, aşınma yüzeylerinde oluklar meydana gelmiştir. Orta yükte, yüzeyden parçacık kopmasıyla pullanma şeklinde aşınma meydana gelmiştir. Yüksek yükte ise, daha çok kazıma çukurları ve mikro çizikler görülmektedir.

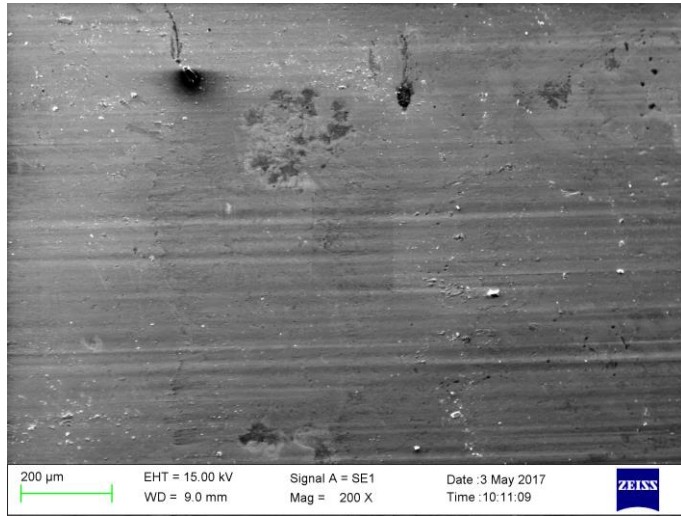




**a) 19.62 N**



**b) 39.24N**

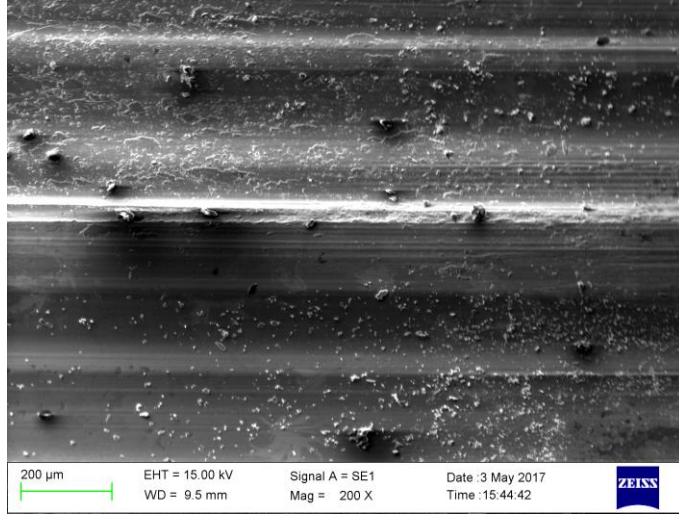


**c) 58.86 N**

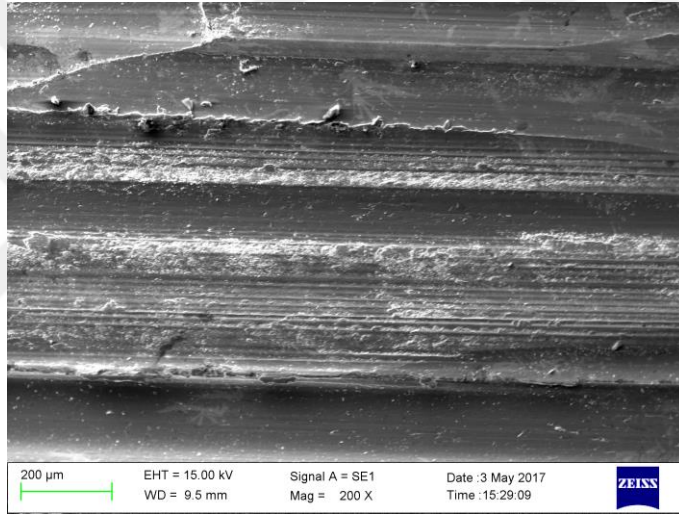
**Şekil 6.183.** N21 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.184.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N22 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Tüm yük değerlerinde, malzeme yüzeylerinde oluklar meydana gelmiş ve bu oluklara özellikle orta ve yüksek yükte kopan parçacıklar sıvanmıştır. Aşınma yüzeylerinde pullanma ve mikro çizilmeler meydana gelmiştir.

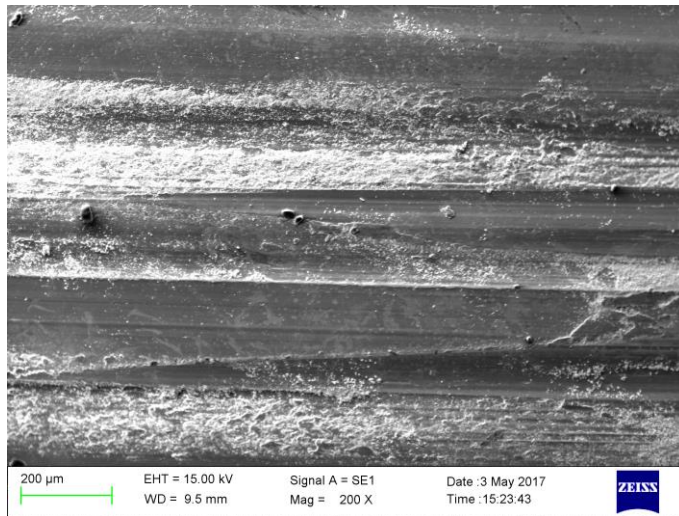




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**



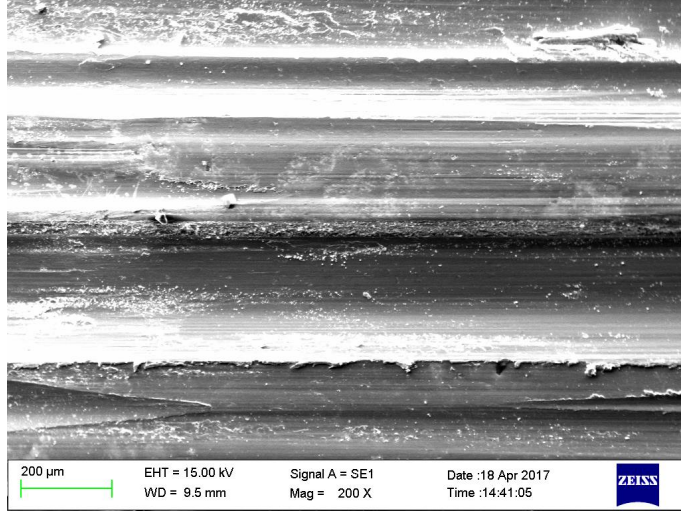
**c) 58.86 N**

**Şekil 6.184.** N22 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri



Şekil 6.185.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N23 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, yük arttıkça aşınma artmış ve yüzeylerden önemli oranda parçacık kopması meydana gelmiştir. Tüm yüklerde, olukların kenar noktalarından malzeme koparak sıyrılmıştır. Tüm yüklerde, aşınma yüzeylerinde pullanma ve kazıma çukurları görülmüştür ve yük arttıkça artmıştır.

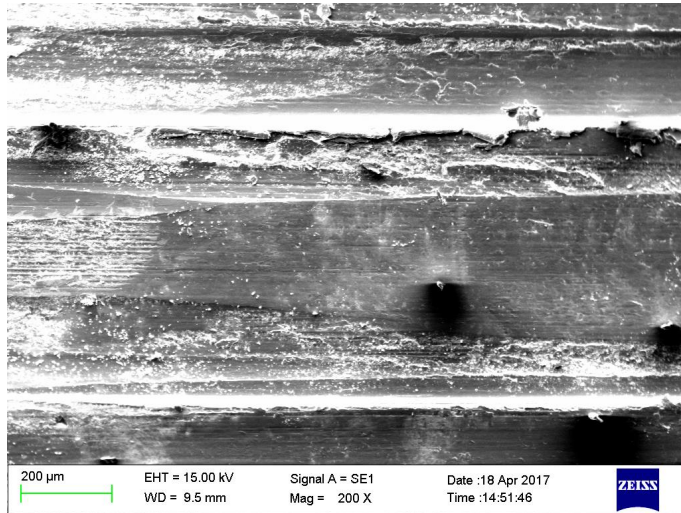




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

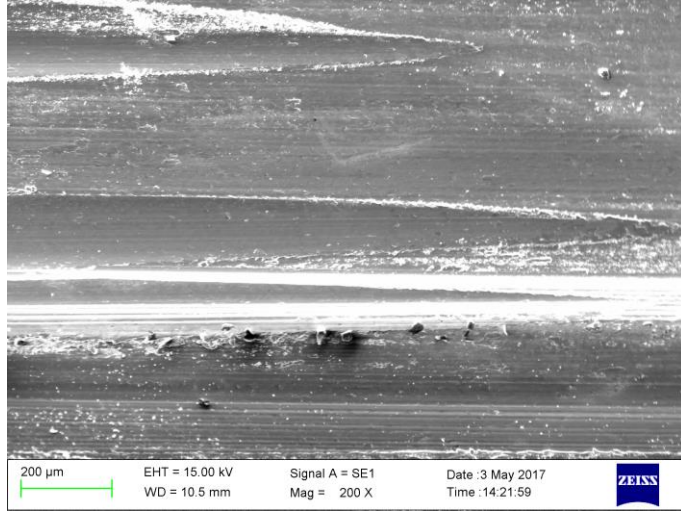


**c) 58.86 N**

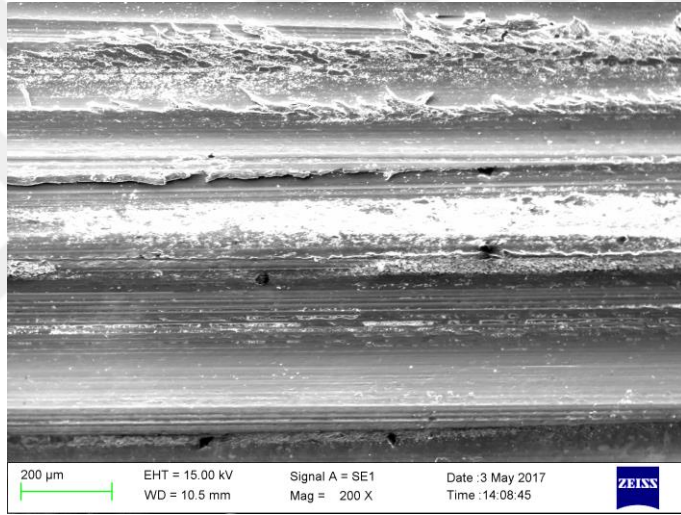
**Şekil 6.185.** N23 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.186.' da, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N24 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Düşük yükte, oluklar meydana gelmiş ve yüzeyde pullanma meydana gelmiştir. Orta yükte, yüzeyden parçacıkların sıyrılarak ayrıldığı görülmektedir ve yüzeyde pullanma ile birlikte kazıma çukurları meydana gelmiştir. Yüksek yükte ise, oluklar aşınmanın artmasıyla düzleşmiştir ve yüzeyde pullanmalar görülmüştür.

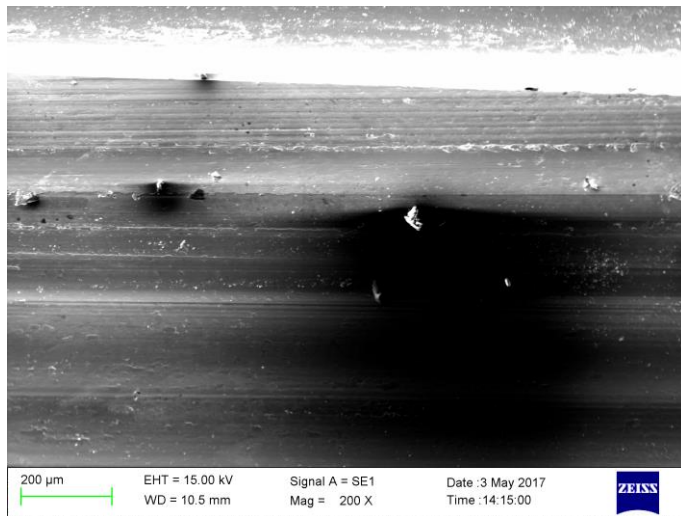




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**



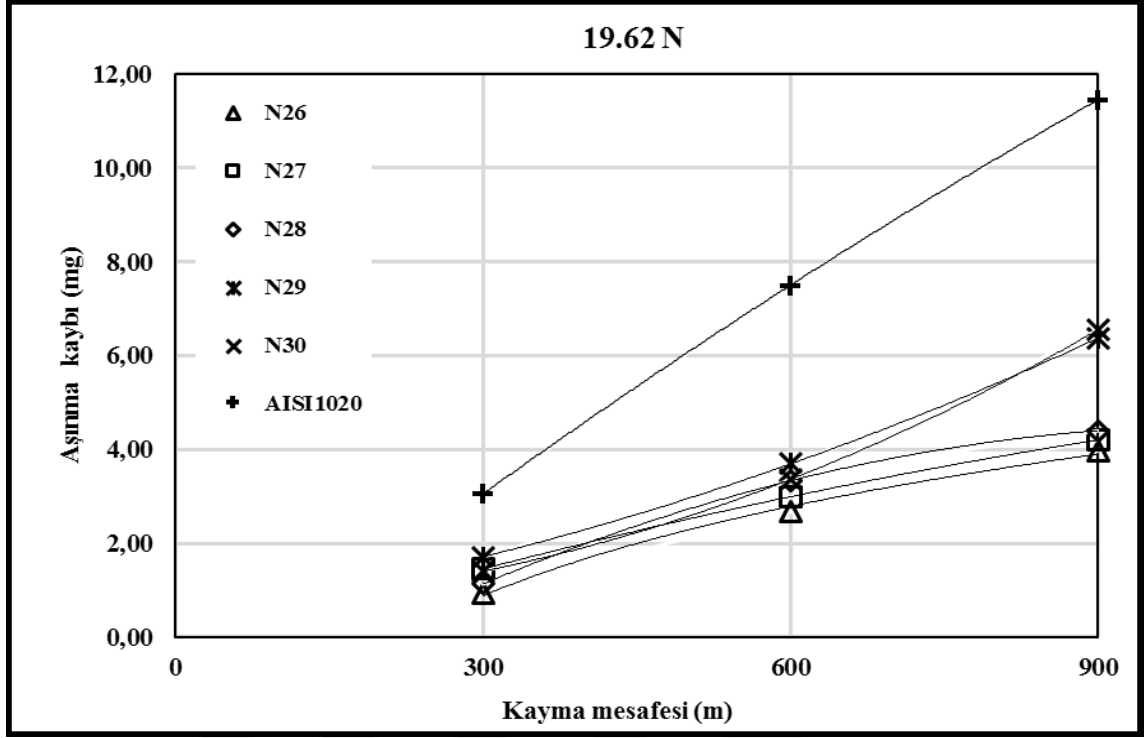
**c) 58.86 N**

**Şekil 6.186.** N24 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

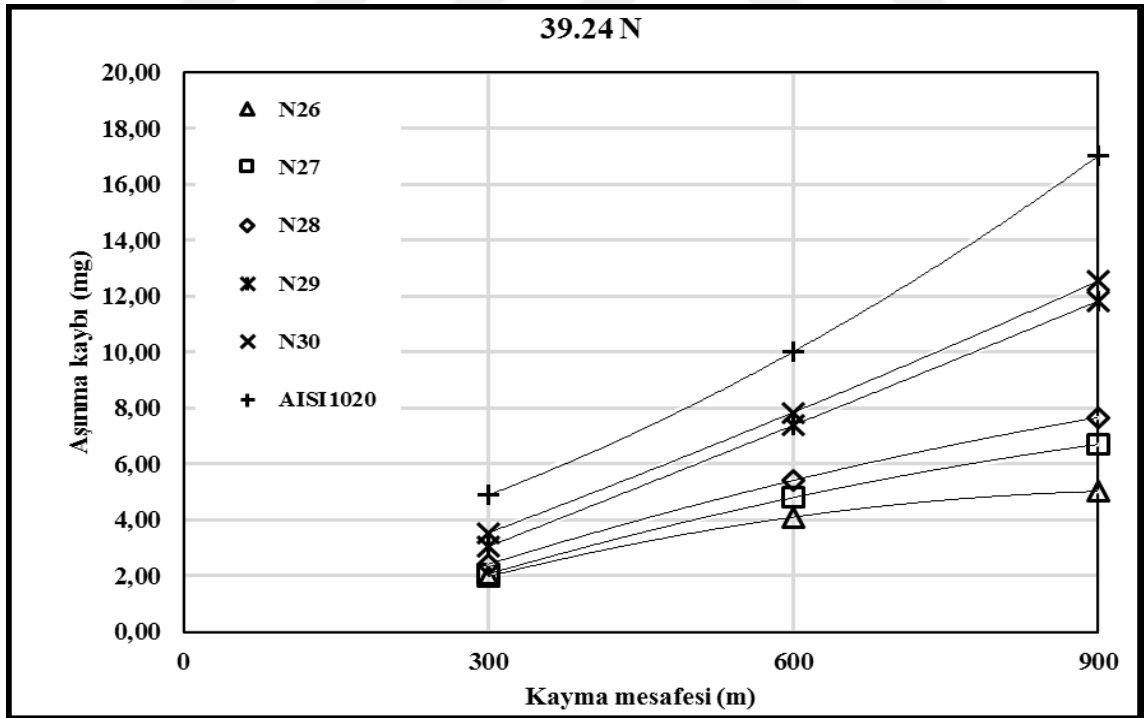
### 6.3.5. (%ağ.) 50FeCrC-50FeB Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Aşınması

Şekil 6.187.-6.189.' da, (%ağ.) 50FeCrC-50FeB toz karışımı ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların, sırasıyla 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N normal yükte aşınma kayıplarının kayma mesafesine göre değişim grafikleri verilmiştir. Tüm yük değerlerinde, yüzeyi alaşımlanan numunelerin aşınma kayıpları altlık malzemedenden düşüktür. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama mikrosertliği azaldıkça aşınma kayıpları da artmıştır. Tüm yük değerlerinde, aşınma direnci en iyi olan numune en düşük ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan ve ortalama mikrosertliği en yüksek olan N26 numunesidir. Aşınma direnci en düşük olan numune ise, en yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan ve en yumuşak numune olan N30 numunesidir. N26-N28 numunelerinin aşınma kayıpları, aynı ısı girdisinde (%ağ.) 70FeCrC-30FeB ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlandırmalardan tüm yük değerlerinde daha düşüktür. N29 ve N30 numunelerinin aşınma kayıpları ise, tüm yük değerlerinde yüksektir. 19.62 N yükte AISI 1020' ye göre % 43 - 69 arasında, 39.24 N yükte % 26 - 70 arasında, 58.86 N yükte ise, % 22 - 54 arasında bir iyileşme olmuştur. 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte tüm numunelerin aşınma miktarları ısı girdisi arttıkça artmıştır.

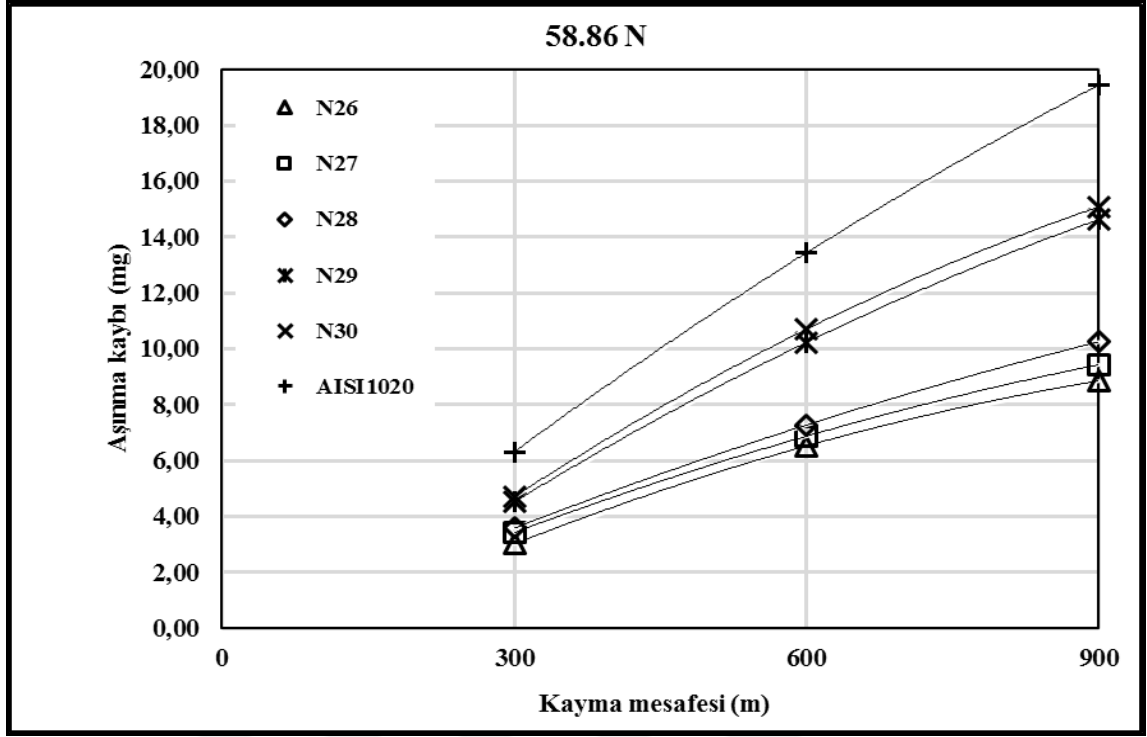
19.62 N (Şekil 6.187.) ve 39.24 N (Şekil 6.188.) yükte, yüksek ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N29 ve N30) aşınma dirençleri kayma mesafesi arttıkça azalmış, diğer numunelerin aşınma dirençleri ise; kayma mesafesinin 600 m' ye çıkmasıyla azalmış, 900 m' ye yükselmesiyleyse artmıştır. 58.86 N yükte ise; tüm numunelerin aşınma dirençleri kayma mesafesine göre azalma eğilimindedir (Şekil 6.189.).



Şekil 6.187. 19.62 N yükte, AISI 1020 ve N26-N30 numunelerinin kayma mesafesine göre aşırma kayıpları

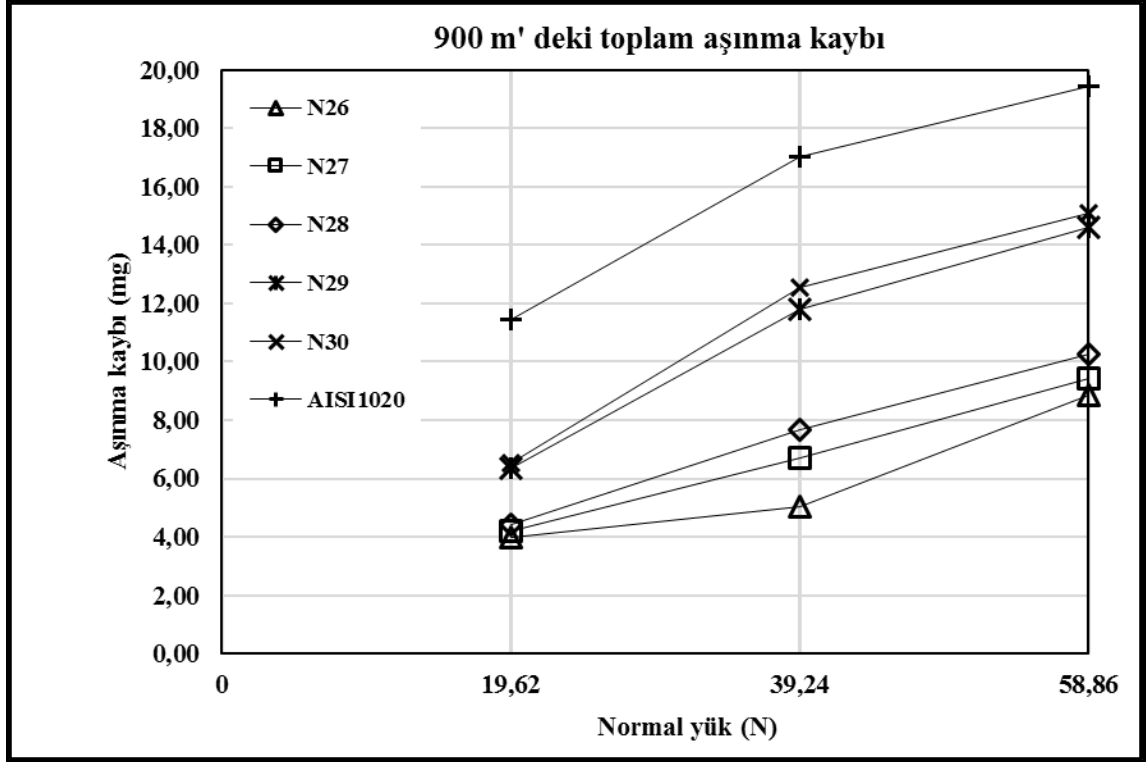


Şekil 6.188. 39.24 N yükte, AISI 1020 ve N26-N30 numunelerinin kayma mesafesine göre aşırma kayıpları



Şekil 6.189. 58.86 N yükte, AISI 1020 ve N26-N30 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları

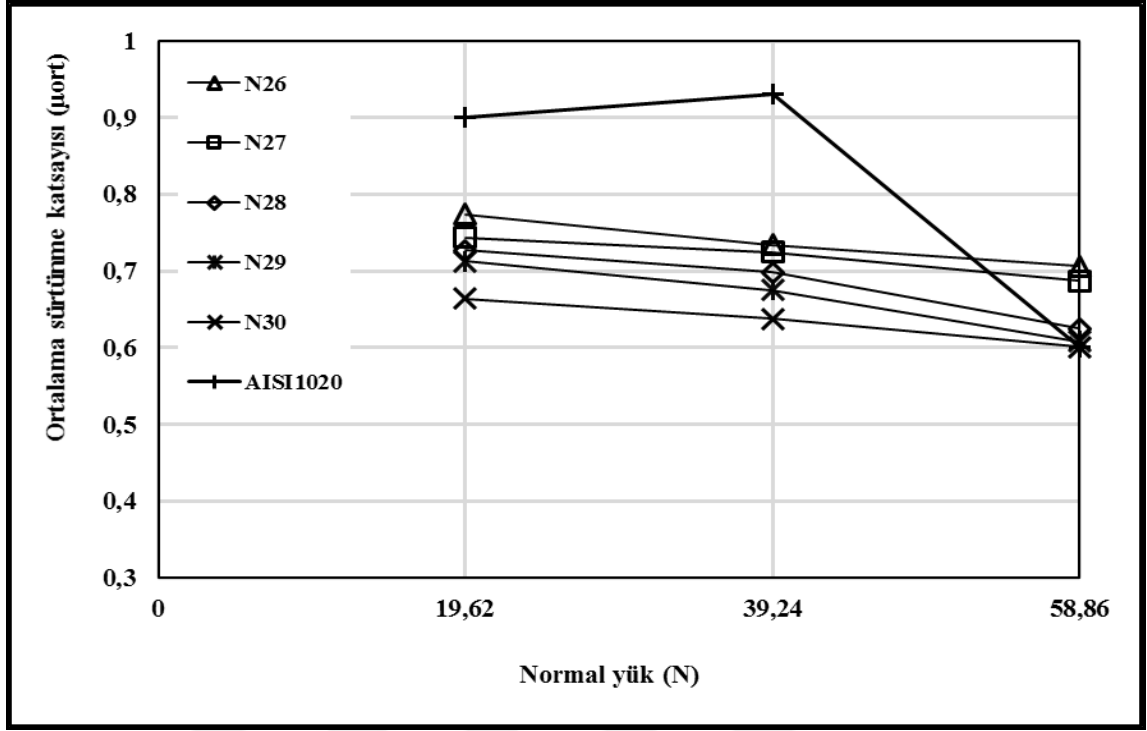
Şekil 6.190.' da, N26-N30 numunelerinin aşınma kayıplarının yüke göre değişimi görülmektedir. Düşük ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N26 ve N27 numunelerinin aşınma dirençleri, yükün 39.24 N' a çıkmasıyla azalmış yük 58.86 N' a çıktığında ise tekrar artmıştır. Diğer numunelerin aşınma dirençleri ise, yüke bağlı olarak artmıştır. Özellikle yük 58.86 N' a çıktığında, yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N29 ve N30) aşınma dirençleri önemli miktarda artmıştır.



Şekil 6.190. AISI 1020 ve N26-N30 numunelerinin yüke göre aşınma kayıpları

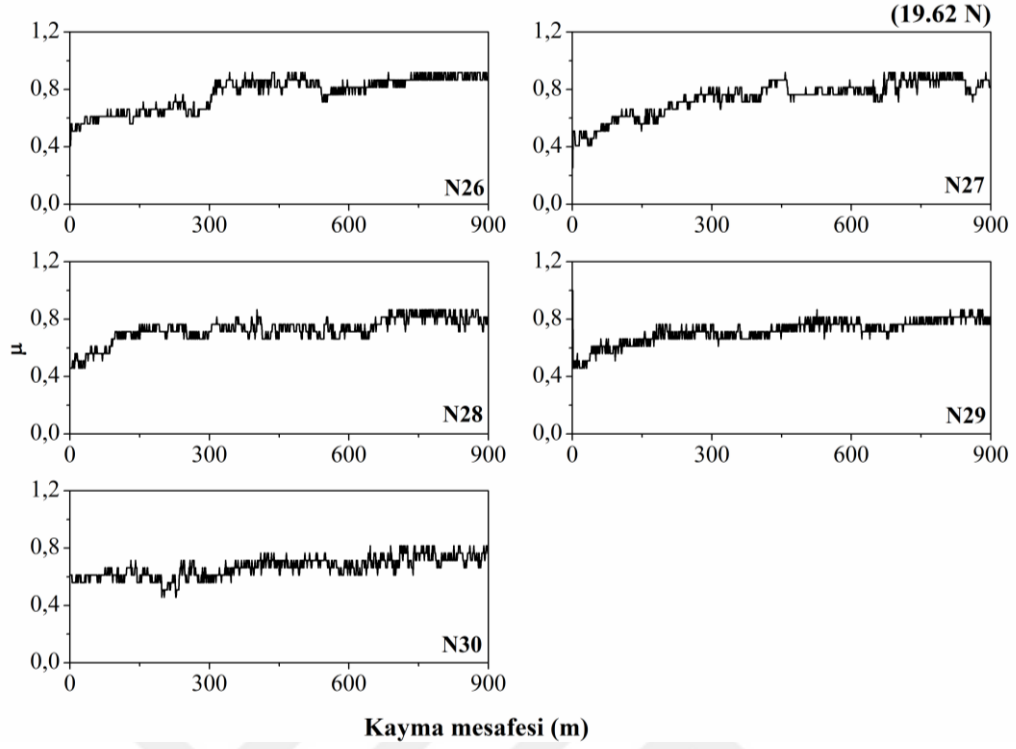
Şekil 6.191.' de, AISI 1020' nin ve (%ağ.) 50FeCrC-50FeB ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin ortalama sürtünme katsayılarının ( $\mu_{ort}$ ) yüke göre değişimi grafiği verilmiştir. Ortalama mikrosertliği yüksek olan numunelerin  $\mu_{ort}$  değerleri daha yüksektir ve ısı girdisi arttıkça tüm yük değerlerinde  $\mu_{ort}$  değerleri düşmüştür. N26-N30 numunelerinin  $\mu_{ort}$  değerleri, 19.62 N yükte 0.664 - 0.774, 39.24 N yükte 0.638 - 0.734 ve 58.86 N yükte 0.601 - 0.706 arasında değişmektedir. Tüm yük değerlerinde, en düşük  $\mu_{ort}$  değerine sahip numune en yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan N30 iken ( $\mu_{19,62}= 0.664$ ,  $\mu_{39,24}= 0.638$ ,  $\mu_{58,86}= 0.601$ ), en yüksek  $\mu_{ort}$  değerine sahip numune N24 numunesidir ( $\mu_{19,62}= 0.774$ ,  $\mu_{39,24}= 0.734$ ,  $\mu_{58,86}= 0.706$ ). 19.62 ve 39.24 N yükte, N26-N30 numunelerinin ortalama sürtünme katsayıları altlık malzemedan düşükken, 58.86 N yükte ise yüksek ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin (N29 ve N30)  $\mu_{ort}$  değerleri AISI 1020' nin  $\mu_{ort}$  değerine yakın olmakla birlikte diğer numunelerin  $\mu_{ort}$  değerleri altlık malzemedan yüksektir. N26-N30 numunelerinin tamamının  $\mu_{ort}$  değeri yüke bağlı olarak azalmaktadır.



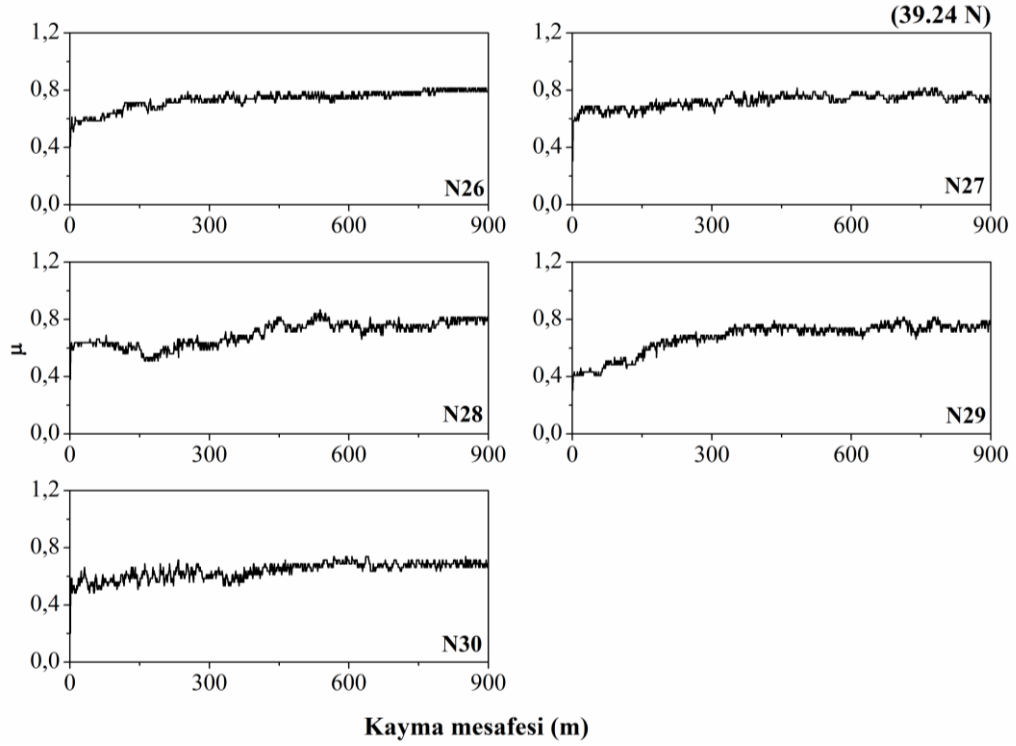


Şekil 6.191. AISI 1020 ve N26-N30 numunelerinin ortalama sürtünme katsayılarının yüke göre değişimi

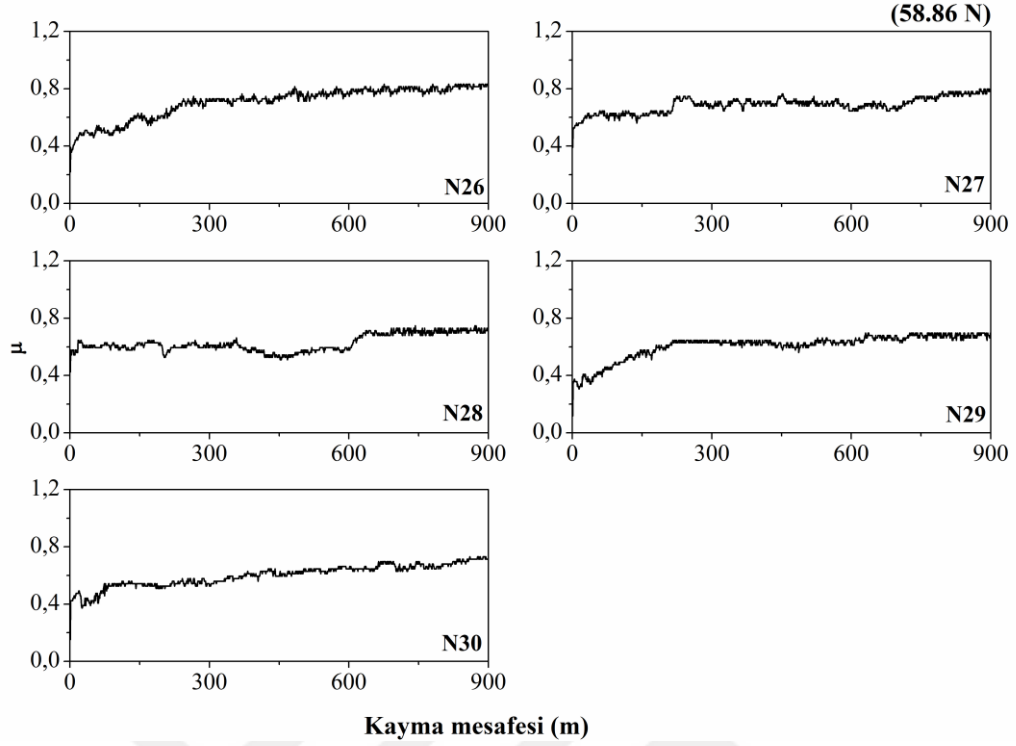
19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte, N19-N24 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi sırasıyla, Şekil 6.192., Şekil 6.193. ve Şekil 6.194.' de verilmiştir. Düşük yükte (Şekil 6.192.), kayma mesafesine göre sürtünme katsayılarında yine ani düşüş ve yükselmeler meydana gelmiştir. Bu numunelerde de orta yükte (Şekil 6.193.) ve yüksek yükte (Şekil 6.194.) numunelerin sürtünme katsayılarındaki değişim daha karardır ve sürtünme katsayısındaki değişim daha küçük aralıklarda meydana gelmektedir. Ayrıca yük arttıkça, sürtünme katsayısındaki değişim aralığı azalmış ve sürtünme katsayısındaki değişim daha kararlı olmuştur.



**Şekil 6.192.** 19.62 N yükte, N26-N30 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi

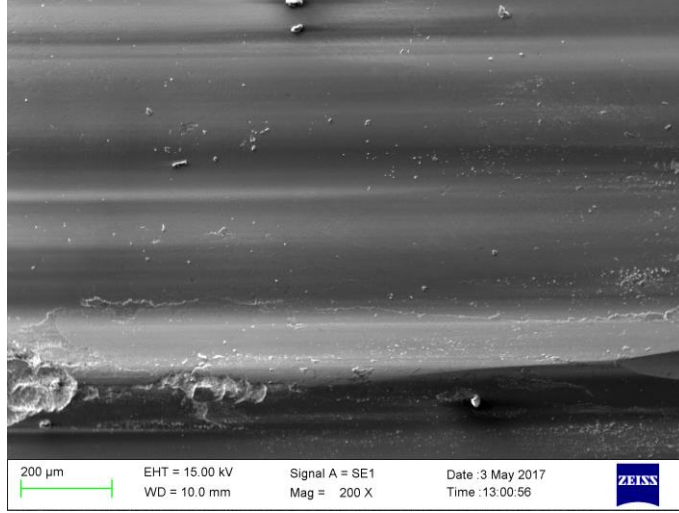


**Şekil 6.193.** 39.24 N yükte N26-N30 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi

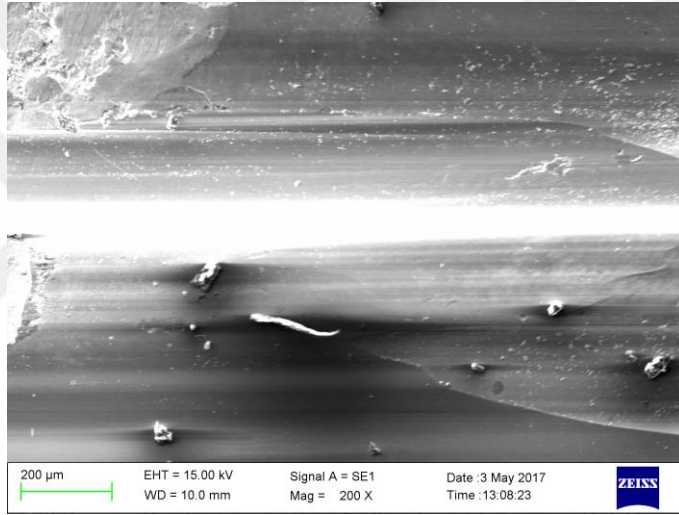


**Şekil 6.194.** 58.86 N yükte, N26-N30 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi

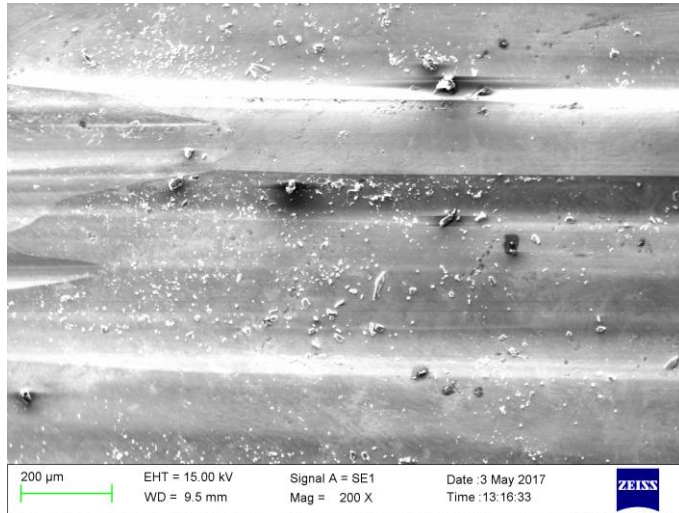
Şekil 6.195.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N26 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Tüm yüklerde, aşınma yüzeylerinde oluklar meydana gelmiştir. Düşük yükte, olukların tepe noktalarında kopmalardan dolayı kazıma çukurları oluşmuştur. Orta ve yüksek yükte, aşınma daha fazla olmuş ve özellikle yüksek yükte kopan parçacıklar yüzeye sıvanmıştır.



**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

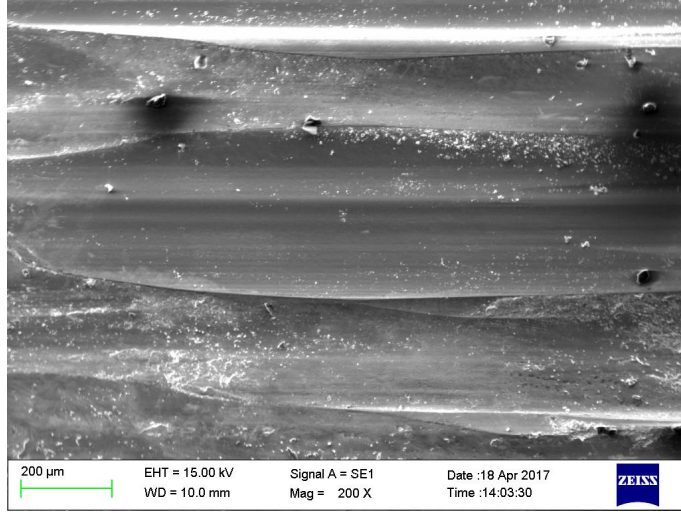


**c) 58.86 N**

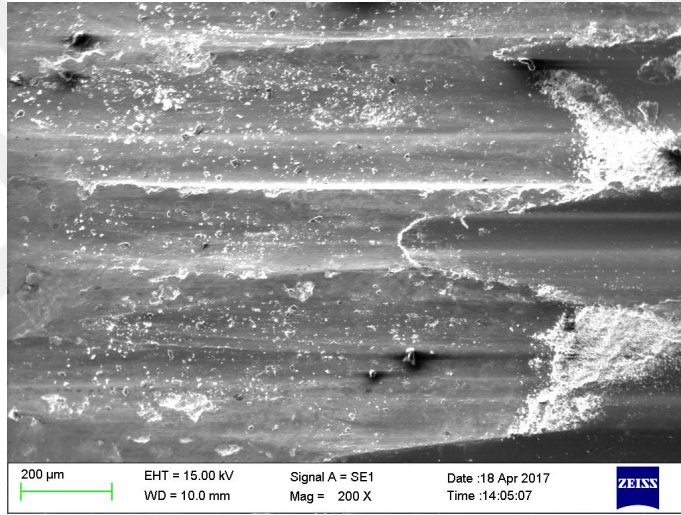
**Şekil 6.195.** N26 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.196.' da, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N27 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Orta ve yüksek yükte, aşınmanın etkisi fazla olmuştur. Bu yük değerlerinde yüzeyden kopan parçacıkların yüzeye daha fazla sıvandığı görülmektedir. Yine bu yüklerde aşınma yüzeylerinde pullanma ve kazıma çukurları görülmüştür.

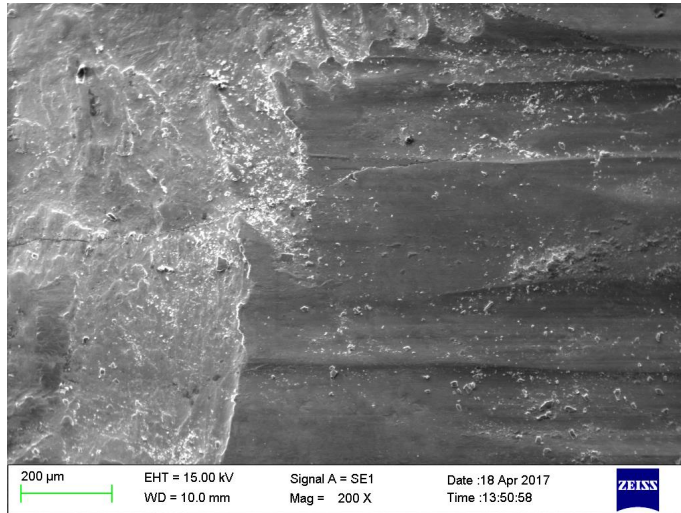




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

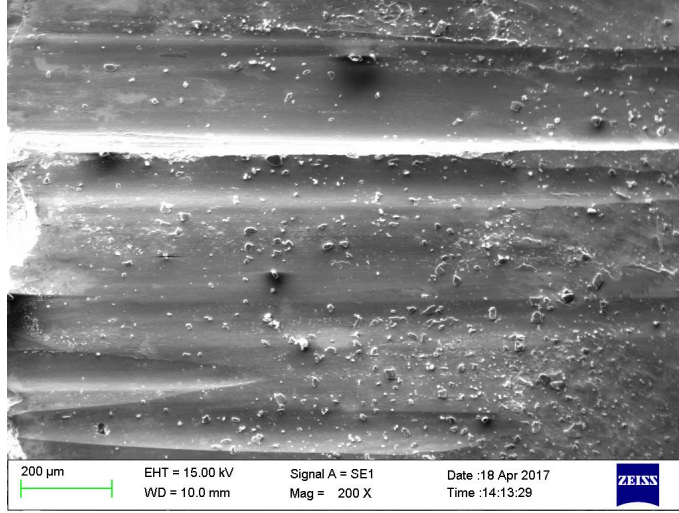


**c) 58.86 N**

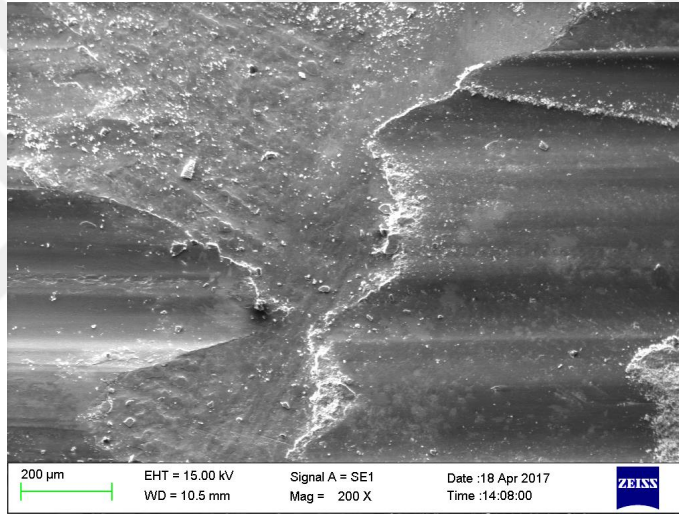
**Şekil 6.196.** N27 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.197.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N28 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, aşınma miktarı yük arttıkça artmış ve yüksek yükte aşınma fazla olduğundan yüzey düzleşmiştir. Tüm yüklerde, aşınma yüzeylerinde pullanma meydana gelmiştir ve kopan parçacıklar yüzeye ısının ve oksitleşmenin etkisiyle sıvanmıştır. Özellikle yüksek yükte sıvanma daha fazladır.

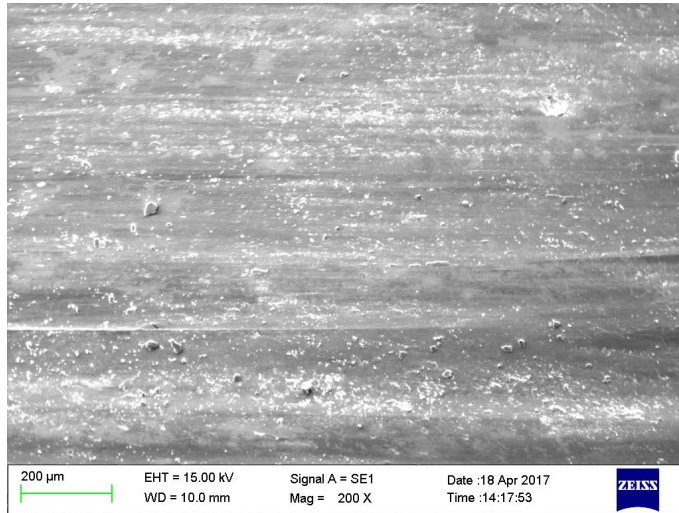




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**



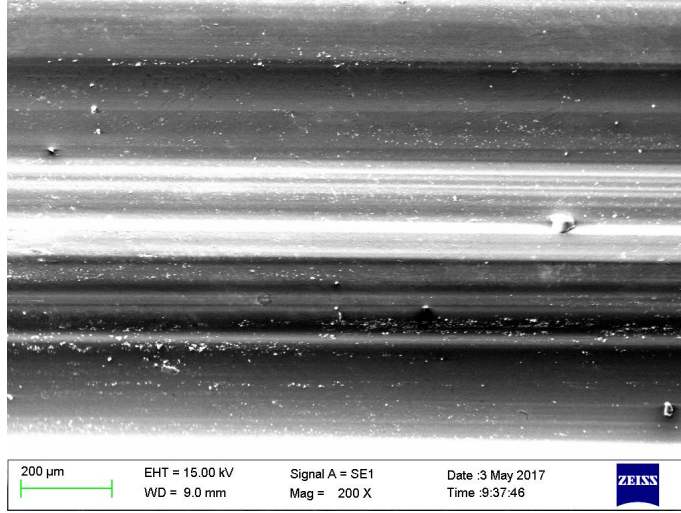
**c) 58.86 N**

**Şekil 6.197.** N28 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

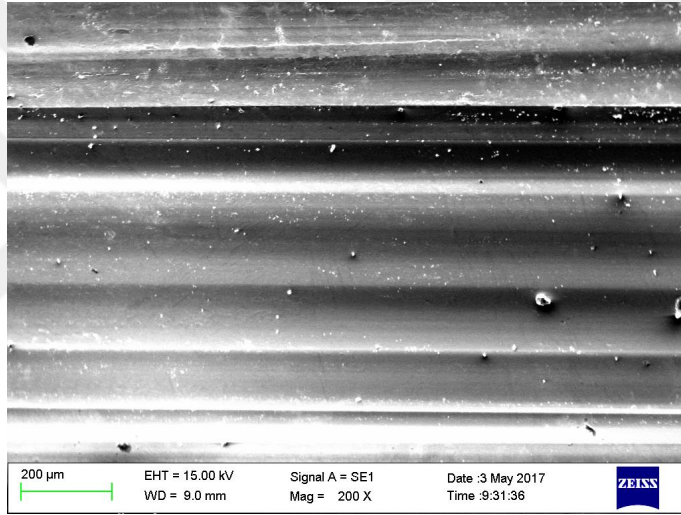


Şekil 6.198.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N29 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Düşük ve orta yükte, oluklar meydana gelmiş ve yer yer kopan parçacıklar yüzeye sıvanmıştır. Yüksek yükte, aşınma artmış ve yüzeyde mikro çizikler ile pullanma meydana gelmiştir. Ayrıca aşınmanın fazla olmasından dolayı yüzey düzleşmiştir.

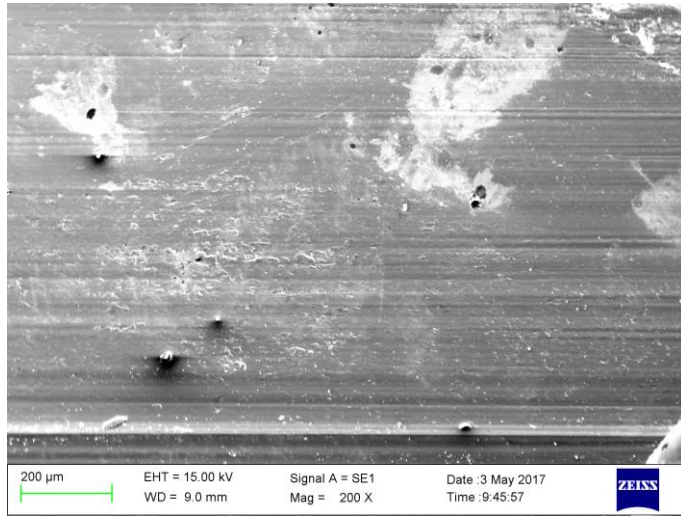




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

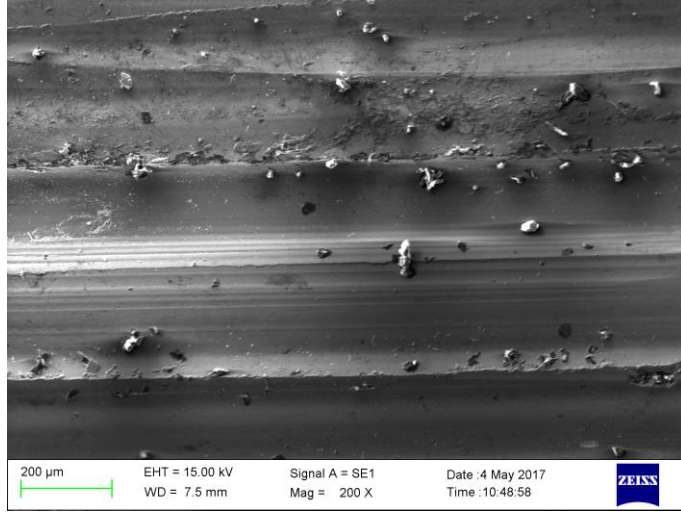


**c) 58.86 N**

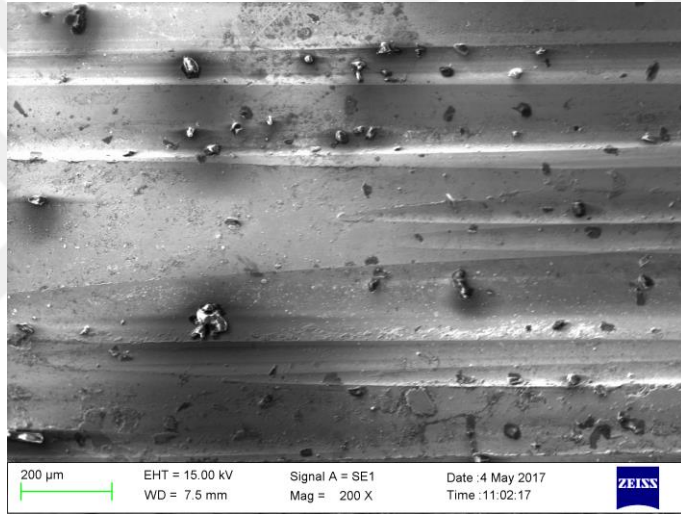
**Şekil 6.198.** N29 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.199.' da, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N30 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Tüm yük değerlerinde, yüzeylerde oluklar meydana gelmiştir. Yüzeyle büyük boyutlu parçacıkların sıvandığı görülmektedir. Tüm yük değerlerinde, aşınma yüzeylerinde pullanma meydana gelmiştir ve yüksek yükte yüzeyden kopan küçük parçacıklar yüzeye sıvanmıştır.

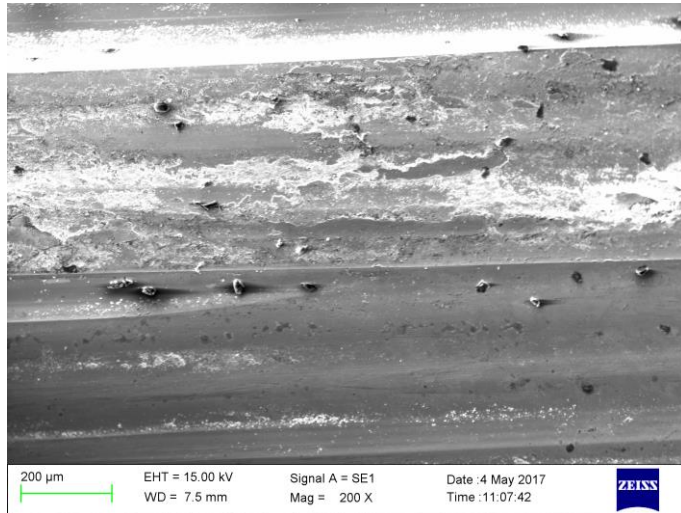




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**



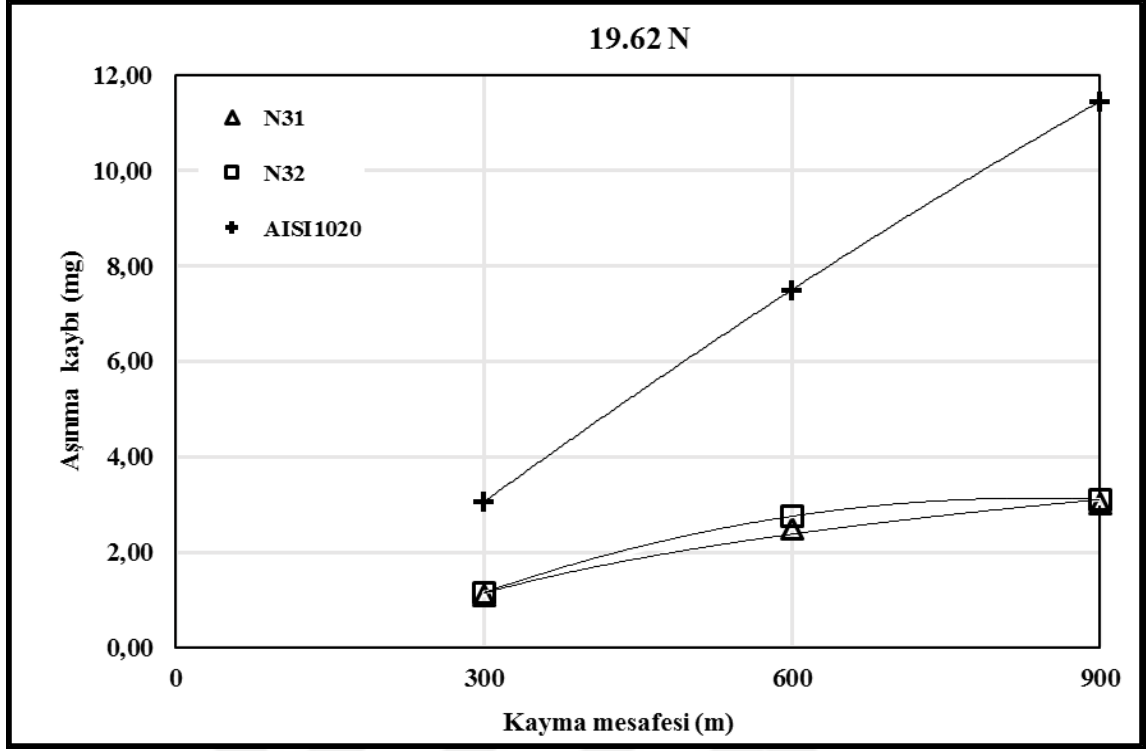
**c) 58.86 N**

**Şekil 6.199.** N30 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

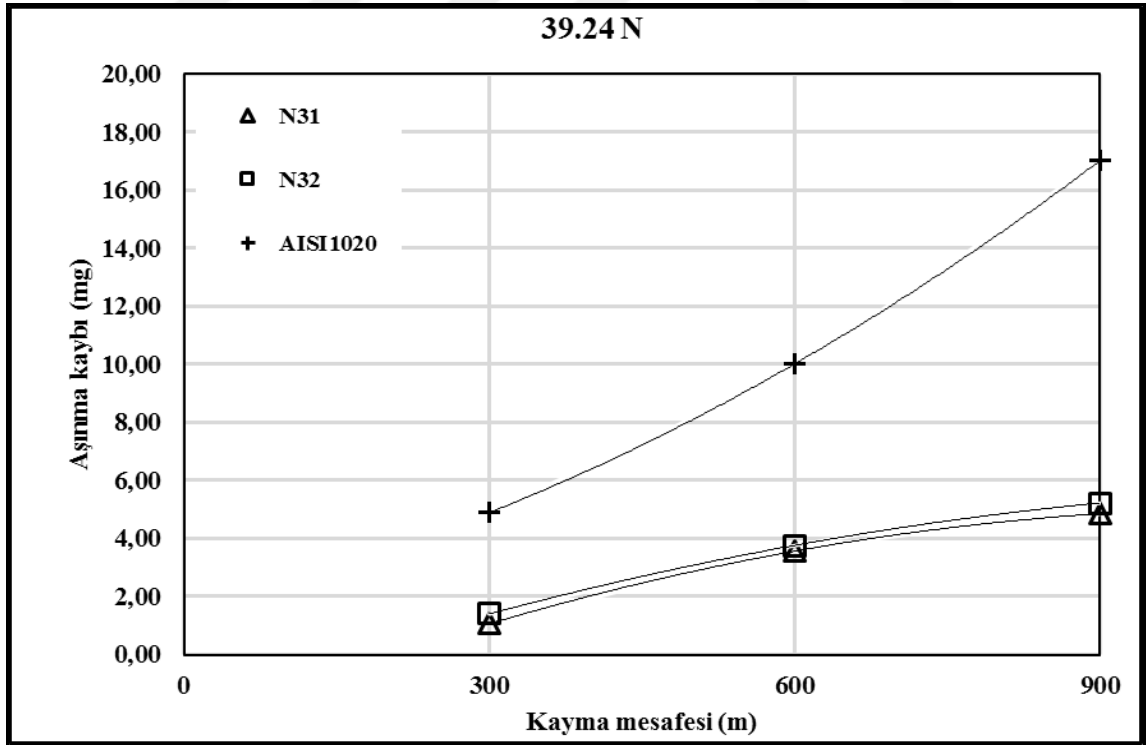
### 6.3.6. Sinterlenmiş (%ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C Toz Karışımı İle Gerçekleştirilen Yüzey Alaşımlamaların Aşınması

Şekil 6.200.-6.202.' de, sinterlenmiş (%ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C toz karışımı ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamaların sırasıyla, 19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N normal yükte aşınma kayıplarının kayma mesafesine göre değişim grafikleri verilmiştir. Tüm yük değerlerinde, yüzeyi alaşımlanan numunelerin aşınma kayıpları altlık malzemedен düşüktür. Alaşımlanmış yüzey tabakalarının ortalama mikrosertliği azaldıkça aşınma kayıpları da artmıştır. Tüm yük değerlerinde aşınma direnci en iyi olan numune en düşük ısı girdisiyle yüzeyi alaşımlanan ve ortalama mikrosertliği en yüksek olan numune olan N31 numunesidir. N31 ve N32 numunelerinin aşınma kayıpları aynı ısı girdisinde yaklaşık olarak aynı toz oranında [(%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB] yüzeyi alaşımlandırılan numunelerden tüm yük değerlerinde daha düşüktür. Bunun nedeni olarak mikrosertlik dağılımının daha homojen olması gösterilebilir. N31 ve N32 numunelerinin aşınma kayıpları 19.62 N yükte AISI 1020' ye göre sırasıyla % 73 ve % 74, 39.24 N yükte sırasıyla % 69 ve % 71, 58.86 N yükte ise sırasıyla % 53 ve % 54 iyilemiştir.

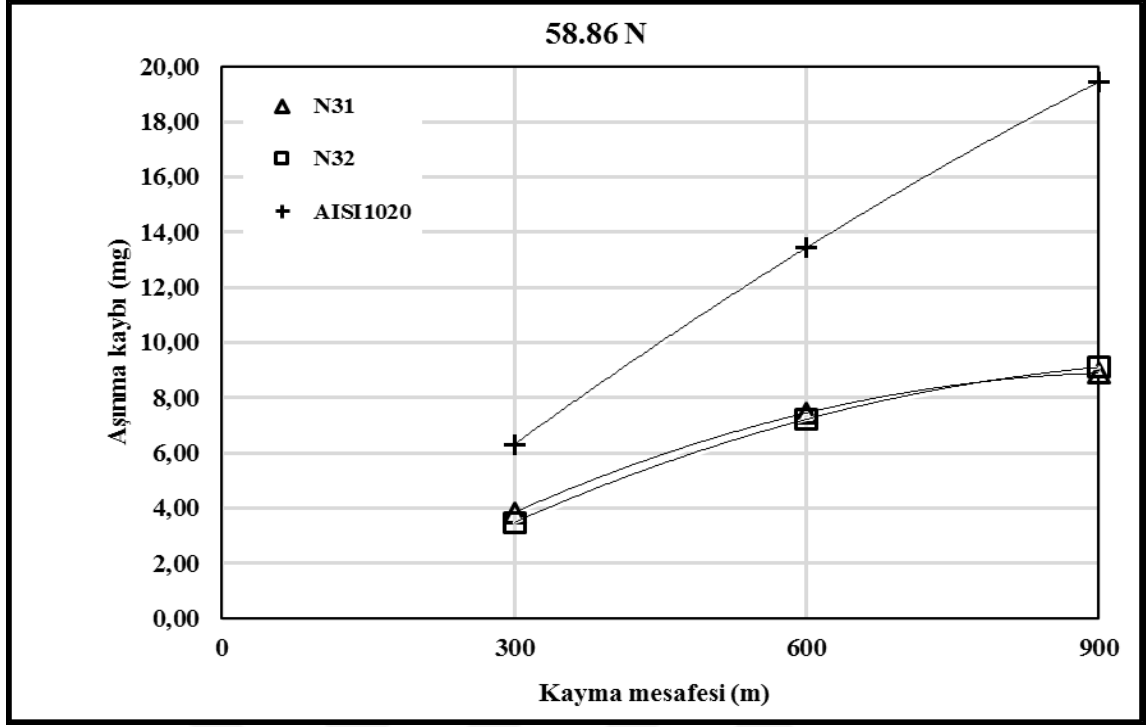
19.62 N yükte (Şekil 6.200.) ve 39.24 N yükte (Şekil 6.201.), N31 ve N32 numunelerinin aşınma dirençleri 600 m kayma mesafesinde azalmış, kayma mesafesi 900 m' ye çıktığında ise artmıştır. 58.86 N yükte ise; N31 numunesinin aşınma direnci kayma mesafesine göre artarken, N32 numunesinin aşınma direnci ise; 600 m kayma mesafesinde azalmış, kayma mesafesi tekrar artığında ise artmıştır (Şekil 6.202.).



Şekil 6.200. 19.62 N yükte, AISI 1020, N31 ve N32 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları

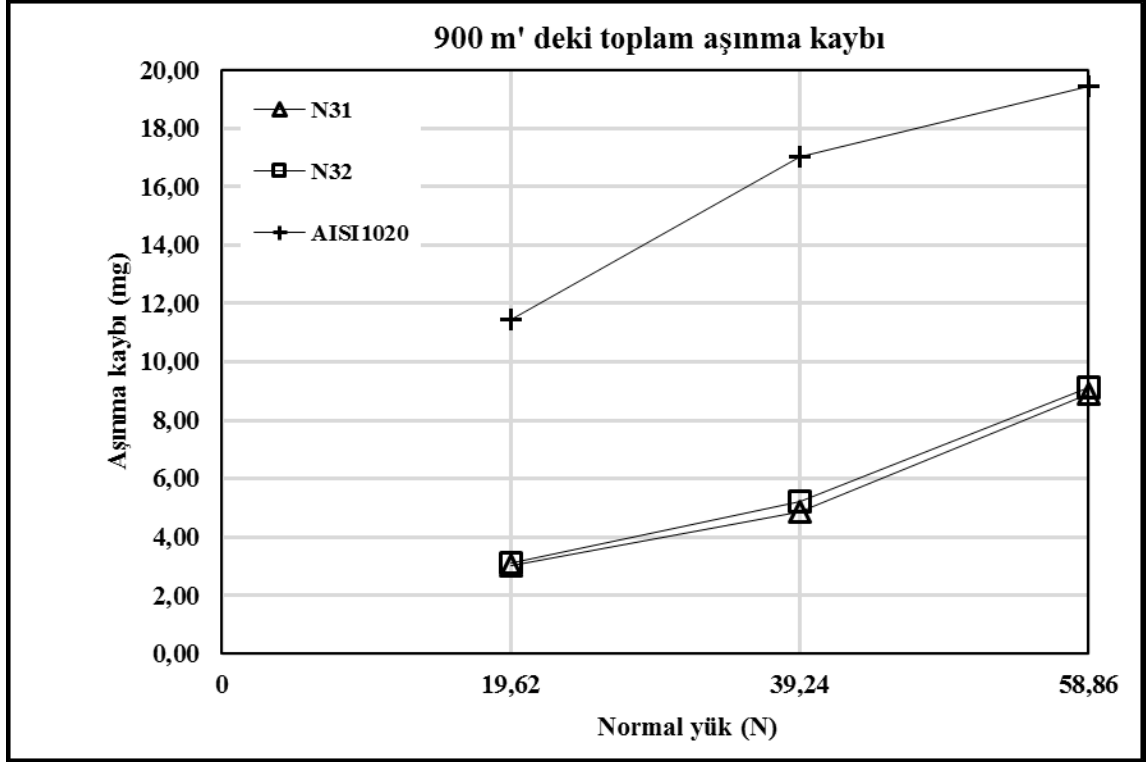


Şekil 6.201. 39.24 N yükte, AISI 1020, N31 ve N32 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları



Şekil 6.202. 58.86 N yükte, AISI 1020, N31 ve N32 numunelerinin kayma mesafesine göre aşınma kayıpları

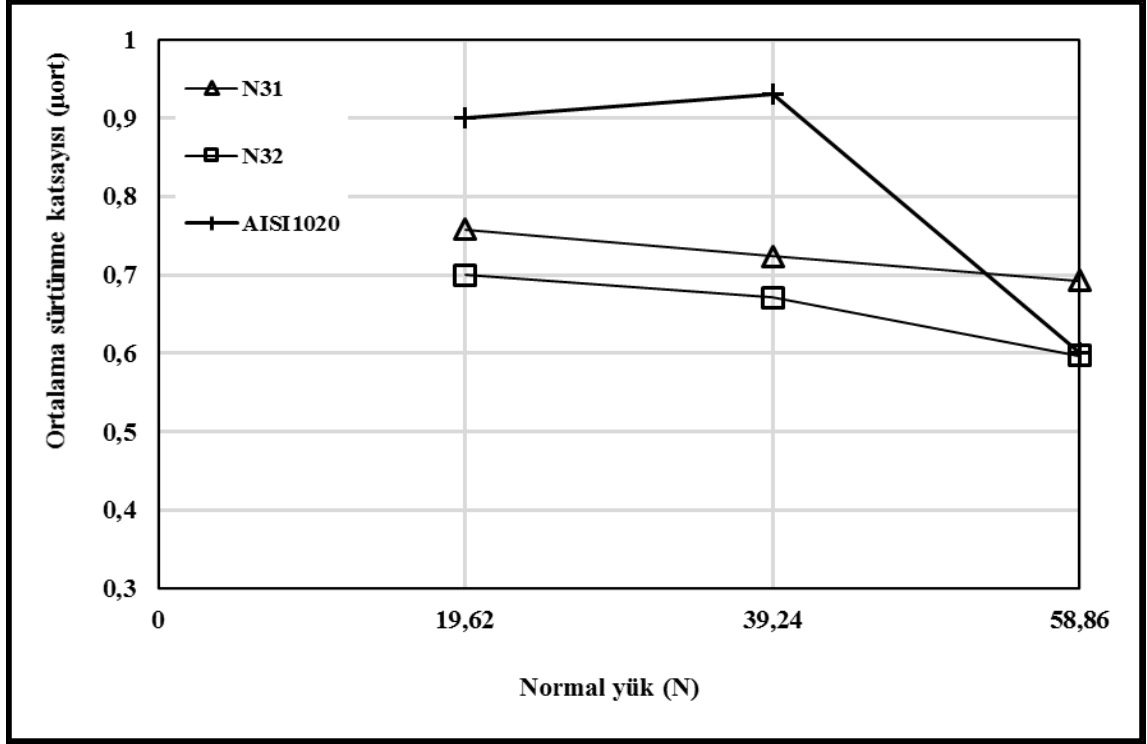
Şekil 6.203.' de, N31 ve N32 numunelerinin aşınma kayıplarının yüke göre değişimi görülmektedir. Görüldüğü gibi, aşınma dirençleri yükün 39.24 N' a çıkmasıyla artmış, yük 58.86 N' a yükseldiğinde ise azalmıştır.



Şekil 6.203. AISI 1020, N31 ve N32 numunelerinin yüke göre aşınma kayıpları

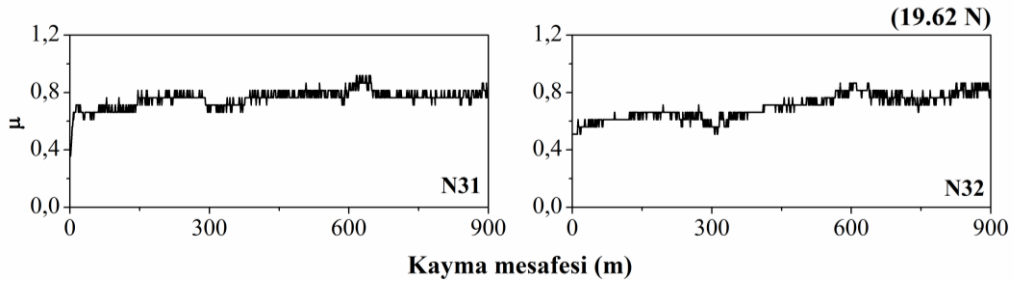
Şekil 6.204.' de, AISI 1020' nin ve (%ağ.) 49FeCrC-19.6FeW-29.4FeB-2C ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin ortalama sürtünme katsayılarının ( $\mu_{ort}$ ) yüke göre değişimi grafiği verilmiştir. Ortalama mikrosertliği yüksek olan numunenin  $\mu_{ort}$  değerleri, daha yüksektir ve ısı girdisi arttıkça tüm yük değerlerinde  $\mu_{ort}$  değerleri düşmüştür. N31 ve N32 numunelerinin  $\mu_{ort}$  değerleri sırasıyla, 19.62 N yükte 0.758 ve 0.7, 39.24 N yükte 0.724 ve 0.671, 58.86 N yükte ise 0.693 ve 0.597' dir. 19.62 ve 39.24 N yükte numunelerin  $\mu_{ort}$  değerleri altlık malzemeden düşükken, 58.86 N yükte ise sadece N32 numunesinin  $\mu_{ort}$  değeri AISI 1020' nin  $\mu_{ort}$  değerinden düşüktür. N31 ve N32 numunelerinin  $\mu_{ort}$  değerleri, yüke bağlı olarak azalmaktadır.



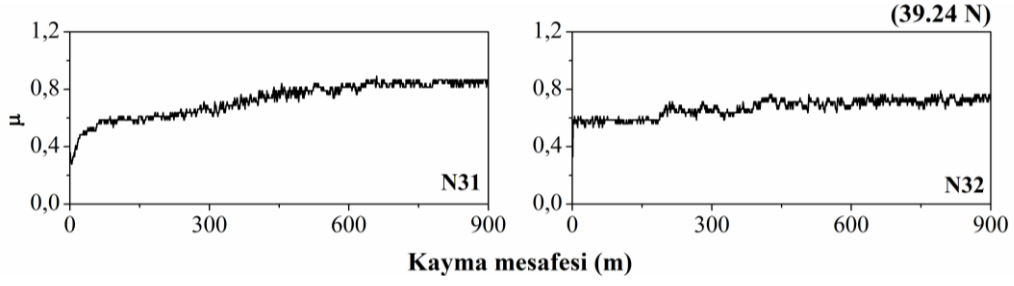


Şekil 6.204. AISI 1020, N31 ve N32 numunelerinin ortalama sürtünme katsayılarının yüke göre değişimi

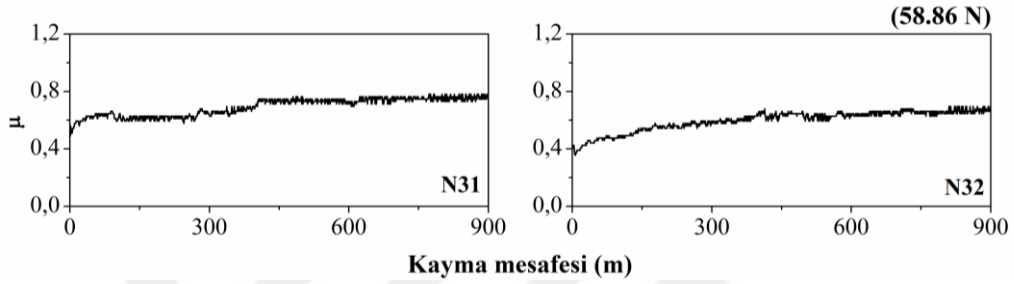
19.62 N, 39.24 N ve 58.86 N yükte, N19-N24 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi sırasıyla Şekil 6.205., Şekil 6.206. ve Şekil 6.207.' de verilmiştir. Bu numunelerde de düşük yükte, sürtünme katsayısı kayma mesafesine göre daha kararsız değişirken, yük arttıkça sürtünme katsayısı daha kararlı değişmekte ve değişim aralığı daha düşük olmaktadır.



Şekil 6.205. 19.62 N yükte, N31 ve N32 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi



**Şekil 6.206.** 39.24 N yükte, N31 ve N32 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi

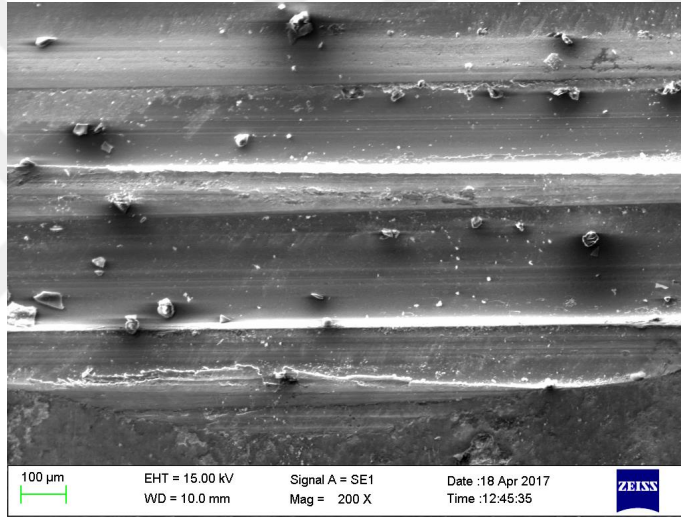


**Şekil 6.207.** 58.86 N yükte, N31 ve N32 numunelerinin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine göre değişimi

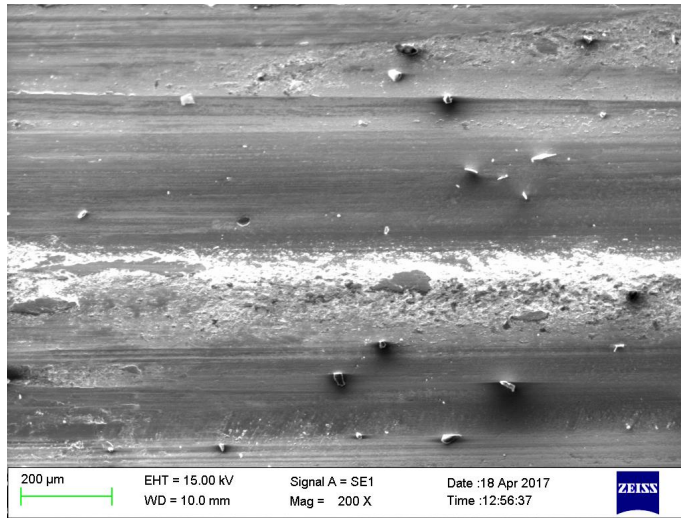
Şekil 6.208.' de, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N31 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Tüm yüklerde, aşınma yüzeylerinde oluklar meydana gelmiştir. Özellikle orta ve yüksek yükte, kopan parçacıklar yüzeye sıvanmıştır. Orta ve yüksek yükte, aşınma yüzeylerinde pullanmalar meydana gelmiştir ve pullanmalar yüksek yükte daha fazladır. Ayrıca yüksek yükte, aşınmanın fazla olmasından dolayı aşınma yüzeyi daha düz bir hal almıştır.



**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**

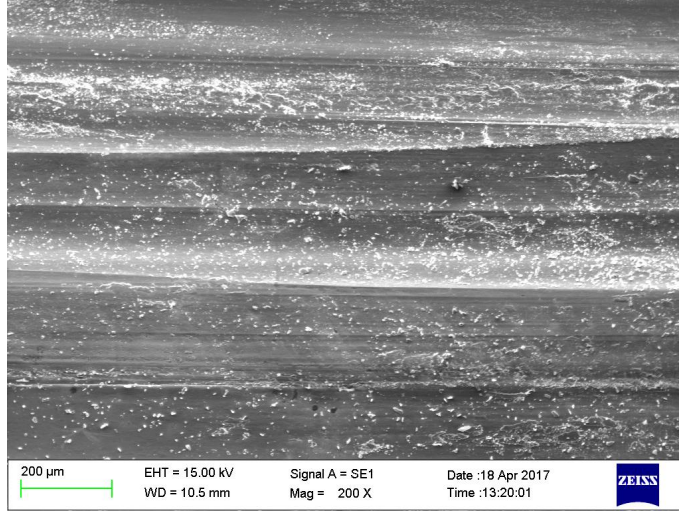


**c) 58.86 N**

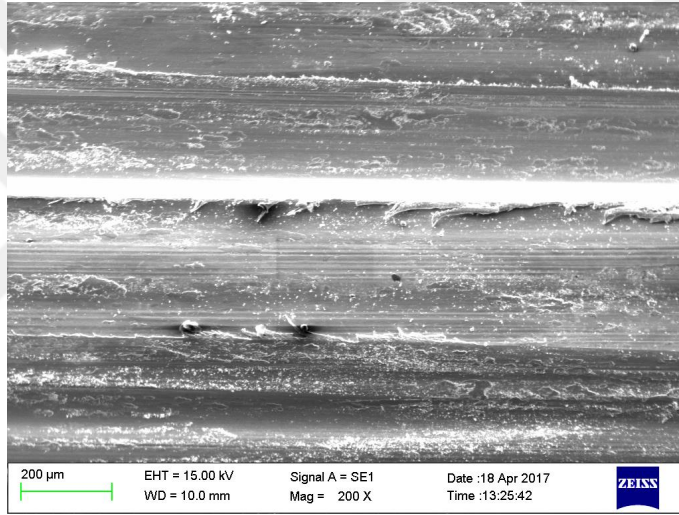
**Şekil 6.208.** N31 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 6.209.' da, 19.62, 39.24 ve 58.86 N yükte N32 numunesine ait aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir. Tüm yüklerde, oluklar meydana gelmiş ve kopan parçacıklar yüzeye ısının ve oksitleşmenin etkisiyle sıvanmıştır. Sıvanma, yük arttıkça sürtünme ısısının artmasından dolayı artmıştır. Yine tüm yüzeylerde pullanma meydana gelmiştir.

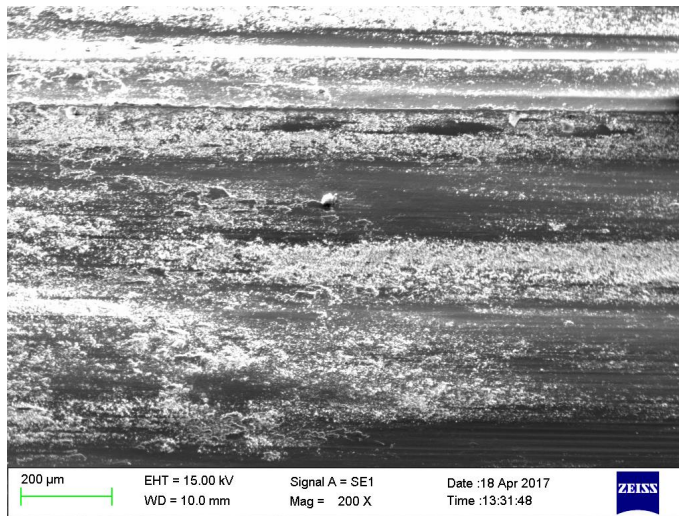




**a) 19.62 N**



**b) 39.24 N**



**c) 58.86 N**

**Şekil 6.209.** N32 numunesinin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

## 7. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 1020 çeliğinin yüzeyi FeCrC, FeW ve FeB ferro alaşımları ve bu alaşımlara % C katıldıktan sonra sinterlenen toz karışımı ile farklı ısı girdilerinde PTA kaynak yöntemi kullanılarak alaşımlandırılmıştır. Yapılan mikroyapı incelemeleri, mikrosertlik ölçümleri ve aşınma testleri neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. AISI 1020 çeliğinin yüzeyinin PTA kaynak yöntemi ile Fe-Cr-W-B-C ve Fe-Cr-B-C elementleriyle başarılı bir şekilde alaşımlandırılabilceği görülmüştür.
2. Alaşımlama ara yüzeylerinde herhangi bir çatlğa ve porozite rastlanmamıştır. Ayrıca yüzey alaşım tabakaları, altlık malzeme ile geçiş bölgesi oluşturacak biçimde bir yapı oluşturmuştur.
3. Yüksek ısı girdilerinde ergime yoğunluğunun artmasından dolayı yüzey alaşımlama tabakalarının derinlikleri daha fazla olmuştur.
4. Alaşımlandırılmış yüzey tabakalarını oluşturan fazların oranlarının ve boyutlarının ısı girdisine göre değıştiğı görülmüştür.
5. 0.878 kJ/mm ve üzerindeki ısı girdisinde, katılaşmanın genelde dendritik olarak gerçekleştiğı görülmüştür.
6. XRD analizlerine göre, alaşımlandırılmış yüzey tabakalarını oluşturan fazların çeşidinin toz karışım oranına göre farklılaştığı tespit edilmiştir.
7. En yüksek mikrosertlik değeri, (%ağ.) 80FeCrC-10FeW-10FeB toz karışımı ile 0.713 kJ/mm ısı girdisinde yüzeyi alaşımlanan numunede 1668 HV ölçüldü. En yüksek ortalama mikrosertlik değeri ise, (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB toz karışımı ile 0.585 kJ/mm ısı girdisinde yüzeyi alaşımlanan numunede 1217 HV ölçüldü.
8. Aynı ısı girdisi değeriinde, en yüksek ortalama mikrosertliğe sahip toz karışımının (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB olduğu belirlendi.
9. Düşük ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin ortalama mikrosertlik değerlerinin genelde daha yüksek olduğu ve ısı girdisi arttıkça, ortalama mikrosertliğin genelde düştüğü tespit edildi. Yine yüksek ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin mikrosertlik dağılımlarının daha homojen olduğu tespit edildi.

10. Sinterlenmiş toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin, mikrosertlik dağılımlarının yaklaşık aynı oranda toz karışımı ile ve aynı ısı girdisinde yüzeyi alaşımlanan numunelerden daha homojen olduğu belirlendi.
11. Yüzeyi alaşımlanan tüm numunelerin aşınma dirençlerinin AISI 1020' den daha yüksek olduğu tespit edildi.
12. Düşük ısı girdileriyle yüzeyi alaşımlanan numunelerin, aşınma dirençlerinin daha yüksek olduğu görüldü. Ayrıca sinterlenmiş toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin, aşınma kayıplarının yaklaşık aynı oranda toz karışımı ile ve aynı ısı girdisinde yüzeyi alaşımlanan numunelerden daha iyi olduğu tespit edildi.
13. En yüksek aşınma direncine sahip numunenin 0.475 kJ/mm ısı girdisinde, (%ağ.) 70FeCrC-30FeB toz karışımı ile yüzeyi alaşımlanan numune olduğu tespit edildi.
14. Fe-Cr-W-B-C elementleri ile gerçekleştirilen yüzey alaşımlamalarda, en yüksek aşınma direncine sahip toz karışımının (%ağ.) 50FeCrC-20FeW-30FeB olduğu görüldü.
15. Yüksek ısı girdisi ile yüzeyi alaşımlanan numunelerin sürtünme katsayılarının daha düşük olduğu ve sürtünme katsayılarının ısı girdisi arttıkça genelde azaldığı tespit edildi.
16. En düşük sürtünme katsayısı değerleri, 19.62 N yükte 0.549, 39.24 N yükte 0.498, 58.86 N yükte ise 0.417 ölçüldü.
17. Yük arttıkça, sürtünme katsayısının daha kararlı ve küçük bir aralıkta değiştiği tespit edildi.
18. Yük arttıkça, sürtünmeden dolayı ortaya çıkan yüksek ısıdan ve oksitleşmeden dolayı yüzeyden kopan parçacıkların sıvandığı görüldü.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre gelecekte yapılabilecek çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Aynı toz karışımları ile farklı altlık malzemelerin yüzeyi alaşımlanarak mikroyapı, sertlik ve aşınmaya etkisi incelenebilir.
2. AISI 1020 çeliğinin yüzeyi yine PTA kaynak yöntemini kullanılarak farklı toz karışımlarında alaşımlandırılabilir.
3. Elde edilen numunelere farklı ısıl işlemler uygulanarak mikroyapı ve aşınma özellikleri üzerindeki etkileri karşılaştırılabilir.

4. Farklı toz karışımları sinterlendikten sonra AISI 1020 çeliği yüzeyine alaşımlandırılarak alaşımlanmış yüzeylerin mikroyapı, mikrosertlik ve aşınma özellikleri belirlenebilir.
5. Sinterleme işlemi farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilerek sinterleme sıcaklığının yüzey alaşımlamanın mikroyapı ve aşınma özelliklerine etkisi incelenebilir.
6. Aynı numuneler farklı soğuma hızlarına maruz bırakılarak, soğuma hızının mikroyapı ve aşınma özelliklerine etkisi incelenebilir.
7. Numuneneler farklı aşınma mekanizmalarında ve yağlama şartlarında test edilebilir.





## 8. KAYNAKLAR

- [1] **Scotti, A. and Rosa, L.A.A.**, 1997. Influence of oscillation parameters on crack formation in automatic Fe-B hardfacing, *journal of materials processing technol* **65**(1-3), 272-280.
- [2] **Amirsadeghi, A. and Sohi, M.H.**, 2008. Comparison of the influence of molybdenum and chromium TIG surface alloying on the microstructure, hardness and wear resistance of ADI, *journal of materials processing technology*, **201**(1), 673-677.
- [3] **Yuan, Y. and Li, Z.**, 2014. Effects of rod carbide size, content, loading and sliding distance on the friction and wear behaviors of (Cr,Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>-reinforced  $\alpha$ -Fe based composite coating produced via PTA welding process, *Surface and Coatings Technology*, **248**, 9-22.
- [4] **d'Oliveira, A., Paredes, R., and Santos, R.**, 2006. Pulsed current plasma transferred arc hardfacing, *journal of materials processing technology*, **171**(2), 167-174.
- [5] **Pereira, D., Gandra, J., Pamies-Teixeira, J., Miranda, R., and Vilaça, P.**, 2014. Wear behaviour of steel coatings produced by friction surfacing, *journal of materials processing technology*, **214**(12), 2858-2868.
- [6] **Sahoo, C.K. and Masanta, M.**, 2017. Microstructure and mechanical properties of TiC-Ni coating on AISI304 steel produced by TIG cladding process, *journal of materials processing technology*, **240**, 126-137.
- [7] **Yang, J., Liu, F., Miao, X., and Yang, F.**, 2012. Influence of laser cladding process on the magnetic properties of WC-FeNiCr metal-matrix composite coatings, *journal of materials processing technology*, **212**(9), 1862-1868.
- [8] **Zikin, A., Hussainova, I., Katsich, C., Badisch, E., and Tomastik, C.**, 2012. Advanced chromium carbide-based hardfacings, *Surface and Coatings Technology*, **206**(19), 4270-4278.
- [9] **Bourithis, E., Tazedakis, A., and Papadimitriou, G.**, 2002. A study on the surface treatment of "Calmax" tool steel by a plasma transferred arc (PTA) process, *journal of materials processing technology*, **128**(1), 169-177.
- [10] **Hou, Q., Huang, Z., Shi, N., and Gao, J.**, 2009. Effects of molybdenum on the microstructure and wear resistance of nickel-based hardfacing alloys investigated using Rietveld method, *journal of materials processing technology*, **209**(6), 2767-2772.
- [11] **Gatto, A., Bassoli, E., and Fornari, M.**, 2004. Plasma Transferred Arc deposition of powdered high performances alloys: process parameters optimisation as a function of alloy and geometrical configuration, *Surface and Coatings Technology*, **187**(2), 265-271.

- [12] **Bourithis, L. and Papadimitriou, G.**, 2009. The effect of microstructure and wear conditions on the wear resistance of steel metal matrix composites fabricated with PTA alloying technique, *Wear*, **266**(11), 1155-1164.
- [13] **Selvi, S., Sankaran, S., and Srivatsavan, R.**, 2008. Comparative study of hardfacing of valve seat ring using MMAW process, *journal of materials processing technology*, **207**(1), 356-362.
- [14] **Redjda, O., Zaid, B., Tabti, M., Henda, K., and Lacaze, P.**, 2013. Characterization of thermal flame sprayed coatings prepared from FeCr mechanically milled powder, *journal of materials processing technology*, **213**(5), 779-790.
- [15] **Gür, A.K.**, 2013. Investigating the wear behaviour of FeCrC/B4C powder alloys coating produced by plasma transferred arc weld surfacing using the Taguchi method, *Materials Testing*, **55**(6), 462-467.
- [16] **Ren, X., James, R., Brookes, E., and Wang, L.**, 2001. Machining of high chromium hardfacing materials, *journal of materials processing technology*, **115**(3), 423-429.
- [17] **Chang, C.-M., Lin, C.-M., Hsieh, C.-C., Chen, J.-H., Fan, C.-M., and Wu, W.**, 2009. Effect of carbon content on microstructural characteristics of the hypereutectic Fe–Cr–C claddings, *Materials Chemistry and Physics*, **117**(1), 257-261.
- [18] **Flores, J., Neville, A., Kapur, N., and Gnanavelu, A.**, 2009. Erosion–corrosion degradation mechanisms of Fe–Cr–C and WC–Fe–Cr–C PTA overlays in concentrated slurries, *Wear*, **267**(11), 1811-1820.
- [19] **Lin, Y.-C., Chen, H.-M., and Chen, Y.-C.**, 2013. Microstructures and wear properties of various clad layers of the Fe–W–C–B–Cr system, *Surface and Coatings Technology*, **236**, 410-419.
- [20] **Ipek, R.**, 2005. Adhesive wear behaviour of B4C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/B4C–Al/SiC), *journal of materials processing technology*, **162**, 71-75.
- [21] **Culha, O., Toparli, M., Sahin, S., and Aksoy, T.**, 2008. Characterization and determination of Fe<sub>x</sub>B layers' mechanical properties, *journal of materials processing technology*, **206**(1), 231-240.
- [22] **Yılmaz, S.O.**, 2006. Wear behavior of gas tungsten arc deposited FeCr, FeCrC, and WC coatings on AISI 1018 steel, *Surface and Coatings Technology*, **201**(3), 1568-1575.
- [23] **Zhou, S., Dai, X., and Zheng, H.**, 2012. Microstructure and wear resistance of Fe-based WC coating by multi-track overlapping laser induction hybrid rapid cladding, *Optics & Laser Technology*, **44**(1), 190-197.
- [24] **Yüksel, N. and Şahin, S.**, 2014. Wear behavior–hardness–microstructure relation of Fe–Cr–C and Fe–Cr–C–B based hardfacing alloys, *Materials & design*, **58**, 491-498.

- [25] **Veinthal, R., Sergejev, F., Zikin, A., Tarbe, R., and Hornung, J.**, 2013. Abrasive impact wear and surface fatigue wear behaviour of Fe–Cr–C PTA overlays, *Wear*, **301**(1), 102-108.
- [26] **Hou, Q., Gao, J., and Zhou, F.**, 2005. Microstructure and wear characteristics of cobalt-based alloy deposited by plasma transferred arc weld surfacing, *Surface and Coatings Technology*, **194**(2), 238-243.
- [27] **Xibao, W., Xiaofeng, W., and Zhongquan, S.**, 2005. The composite Fe–Ti–B–C Coatings by PTA powder surfacing process, *Surface and Coatings Technology*, **192**(2), 257-262.
- [28] **Yuan, Y. and Li, Z.**, 2013. Analysis of nucleation of carbide (Cr,Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> in the Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>/Fe–CrNiBSi composite coating, *Surface and Coatings Technology*, **228**, 41-47.
- [29] **Neville, A., Reza, F., Chiovelli, S., and Revega, T.**, 2005. Erosion–corrosion behaviour of WC-based MMCs in liquid–solid slurries, *Wear*, **259**(1), 181-195.
- [30] **Cheng, J., Xu, B., Liang, X., and Wu, Y.**, 2008. Microstructure and mechanical characteristics of iron-based coating prepared by plasma transferred arc cladding process, *Materials Science and Engineering: A*, **492**(1), 407-412.
- [31] **Liu, Y.-F., Han, J.-M., Li, R.-H., Li, W.-J., Xu, X.-Y., Wang, J.-H., and Yang, S.-Z.**, 2006. Microstructure and dry-sliding wear resistance of PTA clad (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>/γ-Fe ceramal composite coating, *Applied surface science*, **252**(20), 7539-7544.
- [32] **Darabara, M., Papadimitriou, G., and Bourithis, L.**, 2006. Production of Fe–B–TiB<sub>2</sub> metal matrix composites on steel surface, *Surface and Coatings Technology*, **201**(6), 3518-3523.
- [33] **Xibao, W.**, 2005. The metallurgical behavior of B<sub>4</sub>C in the iron-based surfacing alloy during PTA powder surfacing, *Applied surface science*, **252**(5), 2021-2028.
- [34] **Bourithis, L. and Papadimitriou, G.**, 2005. Three body abrasion wear of low carbon steel modified surfaces, *Wear*, **258**(11), 1775-1786.
- [35] **Yuan, Y. and Li, Z.**, 2014. Microstructure and wear performance of high volume fraction carbide M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> reinforced Fe-based composite coating fabricated by plasma transferred arc welding, *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, **29**, 1028-1035.
- [36] **Buytoz, S., Orhan, A., Gur, A., and Caligulu, U.**, 2013. Microstructural development of Fe–Cr–C and B<sub>4</sub>C powder alloy coating on stainless steel by plasma-rnterferred arc weld surfacing, *Arabian Journal for Science & Engineering (Springer Science & Business Media BV)*, **38**(8).
- [37] **Yılmaz, S.O., Özenbaş, M., and Yaz, M.**, 2011. FeCrC, FeW, and NiAl modified iron-based alloy coating deposited by plasma transferred arc process, *Materials and Manufacturing Processes*, **26**(5), 722-731.

- [38] **Fan, C., Chen, M.-C., Chang, C.-M., and Wu, W.**, 2006. Microstructure change caused by (Cr,Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> carbides in high chromium Fe–Cr–C hardfacing alloys, *Surface and Coatings Technology*, **201**(3), 908-912.
- [39] **Chang, C.-M., Chen, Y.-C., and Wu, W.**, 2010. Microstructural and abrasive characteristics of high carbon Fe–Cr–C hardfacing alloy, *Tribology International*, **43**(5), 929-934.
- [40] **Buytoz, S.**, 2006. Microstructural properties of M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> eutectic carbides in a Fe–Cr–C alloy, *Materials Letters*, **60**(5), 605-608.
- [41] **Buytoz, S., Yildirim, M.M., and Eren, H.**, 2005. Microstructural and microhardness characteristics of gas tungsten arc synthesized Fe–Cr–C coating on AISI 4340, *Materials Letters*, **59**(6), 607-614.
- [42] **Yuan, Y. and Li, Z.**, 2013. Microstructure and dry sliding wear behavior of Fe-based (Cr,Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> composite coating fabricated by PTA welding process, *Journal of materials engineering and performance*, **22**(11), 3439-3449.
- [43] **Wei, S., Liu, Y., Zhang, G., Xu, L., Li, J., and Ren, Y.**, 2015. Microstructure and wear resistance of Fe-Cr-C hardfacing alloy reinforced by titanium carbonitride, *Tribology Transactions*, **58**(4), 745-749.
- [44] **Ulutan, M., Kiliçay, K., Celik, O.N., and Er, Ü.**, 2016. Microstructure and wear behaviour of plasma transferred arc (PTA)-deposited FeCrC composite coatings on AISI 5115 steel, *journal of materials processing technology*, **236**, 26-34.
- [45] **Lai, H.-H., Hsieh, C.-C., Lin, C.-M., and Wu, W.**, 2017. Characteristics of Eutectic  $\alpha$  (Cr,Fe)-(Cr,Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> in the Eutectic Fe-Cr-C Hardfacing Alloy, *Metallurgical and Materials Transactions A*, **48**(1), 493-500.
- [46] **Iakovou, R., Bourithis, L., and Papadimitriou, G.**, 2002. Synthesis of boride coatings on steel using plasma transferred arc (PTA) process and its wear performance, *Wear*, **252**(11), 1007-1015.
- [47] **Hajihashemi, M., Shamanian, M., and Azimi, G.**, 2015. Physical, mechanical, and dry sliding wear properties of Fe-Cr-WC hardfacing alloys under different tungsten addition, *Metallurgical and Materials Transactions B*, **46**(2), 919-927.
- [48] **Çarboğa, C.**, 2010. Düşük karbonlu çeliklere bor ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- [49] **Erden, G.G.**, 2012. Farklı kaynak parametrelerinin çelik kaynak özelliklerine etkisinin incelenmesinde Taguchi yönteminin kullanılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [50] **Aran, A.**, 1995. Malzeme Bilgisi II, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [51] <http://akgunalsaran.com/doc/6-celikler-siniflandirma-ve-standartlar-3095.pdf> Çelikler. 28 Mayıs 2017.
- [52] **Aran, A.**, 2008. MAL-201 Malzeme Bilgisi, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul.

- [53] **Çay, V.V.**, 2009. Sade karbonlu çeliklerin TIG ve plazma ile yüzey kaplamasında koruyucu gaz ve tozların yüzey modifikasyonuna etkilerinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [54] **Osmanoğlu, T.**, 2012. AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin mikroyapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına soğuk deformasyonun etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [55] **Say, Y.**, 2008. Borürlerin aşındırıcı olarak yüksek kromlu beyaz dökme demirelerin aşınma direncine etkilerinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [56] **Ünlü, B. and Yılmaz, S.**, 2006. Bor ve Borlamanın Kullanım Alanları, *Mühendis ve makina*, **47**(552).
- [57] <http://ozerdemircelik.com/up/1393363614.pdf> Çelikte Alaşım Elementleri. 28 Mayıs 2017.
- [58] **Babur, S.**, 2010. Milisaniye Nd:Yag lazerle metal tozların metal yüzeylere kaplanması, *Yüksek Lisans Tezi* Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [59] **Mert, A.**, 2006. Akrilat esaslı UV ışınlarıyla sertleşebilen reçinelerin sol-jel tekniğiyle modifiye edilerek diş dolgu malzemesi olarak kullanılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [60] **Biçer, E.D.**, 2015. Sol – jel yöntemi ile hazırlanan TiO<sub>2</sub> – SiO<sub>2</sub> nanokompozit ince filmlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [61] **Ergün, Y.**, 2010. Titanyum yüzeyine sol-jel ve biyomimetik yöntemleriyle ince film şeklinde hidroksi apatitin kaplanması ve karakterizasyonu, *Doktora Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [62] **Okuyucu, H.**, 2002. Yiterbiyum-baryum-bakır oksit süperiletken şeritlerin sol-jel metodu ile üreimi ve karakterizasyonu, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [63] <https://yusufbilgen.wordpress.com/2015/01/16/ince-film-teknikleri/> İnce Film Teknikleri. 28 Mayıs 2017.
- [64] **Demirkıran, N.**, 2009. Sensör amaçlı sol-jel kaplamaların hazırlanması ve özelliklerinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [65] **Şafak, H.E.**, 2008. Yüzeyi PVD yöntemiyle kaplanmış metallerde tribolojik özelliklerin belirlenmesi, *Yüksek Lisans*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir.
- [66] **Mamaghanı, S.A.**, 2016. Frezeleme işleminde eş yönlü ve zıt yönlü talaş kaldırmannın PVD kaplanmış sert metal uçlardaki aşınma türlerine etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [67] **Tutar, M.**, 2011. Plazma nitrülenmiş, PVD kaplanmış ve çift yüzey işlemi uygulanmış sıcak iş takım çeliklerinin aşınma davranışlarının araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [68] **Işık, G.**, 2010. Biyomedikal cihaz uygulamalarında PVD kaplama tekniğiyle hazırlanan ince filmelin temel karakteristiklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [69] **Atmaca, E.S.**, 2015. INCONEL 718 süperalaşımının PVD yöntemi ile AlTiN ve CrN Kaplanması ve Karakterize Edilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [70] **Yıldız, T.**, 2015. Ti6Al4V alaşımının tornalanmasında işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkisinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [71] **Ata, A.**, 2013. TiN Seramik filmin dinamik yük altında hasarının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [72] **Ayday, A.**, 2013. Elektrolitik plazma teknolojisi ile küresel grafitli dökme demir malzemesinin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [73] **Kumruoğlu, L.C.**, 2012. Elektrolitik plazma teknolojisi ile çeliklere uygulanan yüzey modifikasyon işlemleri, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [74] **Güney, B.**, 2013. Kaplanmış otomotiv fren diskinin frenleme performansına etkisinin araştırılması, *Doktora Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [75] **Demir, A.**, 2009. Fren disklerine uygulanan kaplamaların frenleme performansına etkisinin deneysel incelenmesi, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [76] **Akgün, G.**, 2012. AISI 1045 Çeliğinin mekanik alaşımlanmış demir esaslı tozlar ile kaplanması ve aşınma davranışının araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [77] **Çögür, T.**, 2007. Toz alev spreyleme yöntemi kullanılarak kaplanan farklı malzemelerin aşınma davranışlarının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [78] **Kahraman, M.**, 2009. Yüzeyi toz alev püskürtme yöntemi ile kaplanan (WC, B4C , B4C - NiCrBSi) AISI 1040 çeliğinin aşınma mekanizmalarının deneysel olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [79] **Ulutan, M.**, 2007. AISI 4140 çeliğinin yüzey sertleştirme işlemleri ve kaplama yöntemleri sonrası mekanik davranışlarının araştırılması, *Doktora Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- [80] **Erzi, E.**, 2011. Isıl püskürtme yöntemi ile kısmi stabilize edilmiş zirkonya kaplanmış hafif metal alaşımlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [81] **Kıyıcı, İ.A.**, 2011. Plazma püskürtme yöntemiyle üretilen hidroksiapatit-cam kompozit kaplamaların karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [82] **Kayral, S.A.**, 2011. Plazma püskürtme yöntemi ile BN, B<sub>4</sub>C ve SiC takviyeli alüminyum kaplamaların üretimi, karakterizasyonu ve aşınma davranışının incelenmesi, *Doktora Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [83] **Kaya, A.Ö.**, 2007. Plazma püskürtme ve HVOF yöntemleri kullanılarak, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr(75/25) ve CrNiBSi+%80 WC-Co tozlarıyla kaplanan çeliğin yapısı ve yüzey özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [84] **Çiftyürek, E.**, 2009. %8 YSZ (İtriyum ile stabilize edilmiş ZrO<sub>2</sub>) termal bariyer kaplamaların (TBK) üretilmesi ve proses parametreleri optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, i.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [85] **Karaoğlanlı, A.C.**, 2012. Termal bariyer kaplamalarda bağ tabakasının farklı yöntemlerle üretilmesi ve özelliklere etkisi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [86] **Güleç, A.**, 2006. Termal püskürtme tekniği ile yüksek performanslı Zn/Al (85/15) kaplamaların üretimi ve karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [87] **Şeker, İ.Y.**, 2009. Ark sprey teknolojisi yardımıyla üretilen krom içerikli kaplamaların karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [88] **Terzi, T.**, 2009. Paslanmaz çeliğin ark sprey yöntemi ile kaplanması ve proses parametrelerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [89] **Özel, S.**, 2004. Cu-Sn-Zn-Al Bronz alaşımı yüzeyine ferromangan kaplamasının aşınma direncine etkisinin deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [90] **Orhan, A.**, 2008. Gaz tungsten ark kaynak yöntemiyle üretilen Fe esaslı kaplama tabakalarının aşınma ve mikroyapı karakteristiklerinin araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [91] **Buytoz, S.**, 2004. AISI 4340 çeliğinin nitrürasyon ve GTA kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyonu işlemleri sonrası mekaniksel davranışlarının araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [92] **Aksoy, H.N.**, 2010. Alışılmış ve inverter tipi MIG/MAG kaynak makinaları ile yapılan kaynak dikişlerinin çeşitli yönleri ile karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- [93] **Kisecik, İ.İ.**, 2010. Sertleştirilmiş sert dolgu kaynağı yapılmış AISI 1050 çeliğinin aşınma direncinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- [94] <http://www.mesanark.com/mig-mag-kayna-makinalari-hakkinda-teknik-bilgi.asp>. MIG-MAG (Gazaltı) Kaynak Makineleri, 28 Mayıs 2017.
- [95] **Köknal, Ö.**, 2007. Metal özlü kaynak tellerinin boru alın kaynaklarında metal yığıma kapasitelerinin ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [96] **Gülsün, M.**, 2009. Östenitik paslanmaz çeliklerin tozaltı kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliği ve mekanik özelliklere etkilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [97] **Celasun, E.**, 2012. S355J2 çeliğinin ısıl işlem ve farklı tozaltı kaynak tellerinin kaynak kabiliyetine etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [98] **Özkan, E.**, 2015. Endüstriyel uygulamalar için gerekli mekanik ve metalurjik özelliklere sahip tozaltı kaynak tozu ve özlü tel kombinasyonunun karakterizasyonu *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [99] **Çalık, A.**, 2004. Elektron ışın kaynağı ile birleştirilmiş iki farklı çelik malzemenin kaynak bölgesinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [100] [http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing\\_process\\_equipment/vacuum\\_equipment/ion\\_electron\\_beam\\_guns\\_accessories](http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/vacuum_equipment/ion_electron_beam_guns_accessories). 28 Mayıs 2017.
- [101] **Onar, V.**, 2010. TIG kaynağında azot gazının alüminyum yüzey ve mikroyapı özelliklerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [102] **Barış, M.**, 2014. Yüksek enerjili bilyeli öğütme ile nano kobalt borür sentezi ve düşük karbonlu çelik yüzeylerinin kaplanarak mekanik özelliklerinin geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [103] **Güneş, C.**, 2012. Benzinli enjektörlerin lazer kaynağı ve lazer kaynak parametreleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [104] **Teker, T.**, 2010. AISI 430/AISI 1040 çelik çiftinin anahtar deliği plazma kaynak yöntemi ile birleştirilmesi, mikroyapı ve mekanik özelliklerin araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [105] **Gür, A.K.**, 2009. Plazma (PTA) yöntemiyle düşük karbonlu çeliğin yüzey modifikasyonuna koruyucu gazların etkisi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [106] **Dikbaş, H.**, 2012. Ti6Al4V/Ti6Al4V malzeme çiftinin PTA kaynağında kaynak bölgesinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.



- [107] **Kenan, H.**, 2015. MoS2 katkılı PA 66 rulmanlı makaranın kaplama yapılmış AISI 1050 imalat çeliği karşısında aşınma davranışının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [108] **Şahin, F.Y.**, 2012. Titanyum-nikel alaşımlı malzeme üretimi ve aşınma davranışlarının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [109] **Timur, M.**, 2014. Otomotiv fren balatalarının sürtünme sonucu oluşan aşınma direncinin ve termal etkileşiminin otomatik test sistemi ile tespit edilmesi, *Doktora Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [110] <http://makinaegitimi.com/tr/imalat-islemleri/kesici-takim-asinma-tipleri-ve-nedenleri.html>. 19 Mayıs 2017.
- [111] **Baykal, A.M.**, 2013. Düşük karbonlu refrakter harman karıştırıcı bıçaklarının değişik kaplama katlarıyla aşınma ömrünün araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [112] **Selçuk, N.**, 2014. Toprak işleme tarım makinelerinde kullanılan 5630 kalite çeliğinin aşınma direncinin değişik yüzey prosesleri ile iyileştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [113] **Sirek, F.**, 2015. Deneysel aşınma modeli verileri için uygun parametre seçimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [114] **Ünlü, B.S., Paralı, L., and Pinar, A.M.**, 2009. Pim-disk, pim-plate, pim ring, mil-yatak aşınma deney cihazı tasarım ve imalatı, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)2009*, Karabük Üniversitesi, Karabük, 13-15 Mayıs.
- [115] **Wiengmoon, A., Chairuangstri, T., Poolthong, N., and Pearce, J.T.**, 2008. Electron microscopy and hardness study of a semi-solid processed 27wt% Cr cast iron, *Materials Science and Engineering: A*, **480**(1), 333-341.
- [116] **Wiengmoon, A.**, 2011. Carbides in high chromium cast irons, *Naresuan University Engineering Journal*, **6**(1), 64-71.
- [117] **Inoue, A. and Masumoto, T.**, 1980. Carbide reactions ( $M_3C \rightarrow M_7C_3 \rightarrow M_{23}C_6 \rightarrow M_6C$ ) during tempering of rapidly solidified high carbon Cr-W and Cr-Mo steels, *Metallurgical and Materials Transactions A*, **11**(5), 739-747.
- [118] **Yongtao, Z., Ledesma, M., Xiaojun, W., Hanqian, Z., and Jinfu, L.**, 2009. Evolution behavior of carbides in 2.25 Cr-1Mo-0.25 V steel, *Materials transactions*, **50**(11), 2507-2511.
- [119] **Wieczorzak, K., Bala, P., Stepień, M., Cios, G., and Koziel, T.**, 2015. The characterization of cast Fe-Cr-C alloy, *Archives of Metallurgy and Materials*, **60**(2), 779-782.
- [120] **Özdoğan, E.F.**, 2002. CrCoNi süperalaşımın yüksek sıcaklık oksidasyon ve karburizasyon davranışı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [121] **Kuo, C.W., Fan, C., Wu, S.H., and Wu, W.**, 2007. Microstructure and wear characteristics of hypoeutectic, eutectic and hypereutectic (Cr, Fe) 23C6 carbides in hardfacing alloys, *Materials transactions*, **48**(9), 2324-2328.
- [122] **Yildiz, T. and Gur, A.K.**, 2011. Microstructural characteristic of N<sub>2</sub> shielding gas in coating FeCrC composite to the surface of AISI 1030 steel with PTA method, *Archives of Metallurgy and Materials*, **56**(3), 723-729.
- [123] **Rovatti, L., Lemke, J., Lecis, N., Stejskal, O., and Vedani, M.**, 2015. Effect of Dilution on Microstructure and Wear Resistance of a Fe-Based Hardfacing Alloy with a High Amount of Carbide-Forming Elements, *European Symposium on Friction, Wear, and Wear Protection*, Karlsruhe, Germany, May 6-8.
- [124] **Islak, S., Buytoz, S., and Karagöz, M.**, 2012. Microstructural development on AISI 1060 steel by FeW/B<sub>4</sub>C composite coating produced by using tungsten inert gas (TIG) process.
- [125] **Kim, H.-J., Yoon, B.-H., and Lee, C.-H.**, 2001. Wear performance of the Fe-based alloy coatings produced by plasma transferred arc weld-surfacing process, *Wear*, **249**(10), 846-852.
- [126] **Manna, I., Chattopadhyay, P., Banhart, F., Croopnick, J., and Fecht, H.-J.**, 2008. Microstructural evolution of wear-resistant FeCrB and FeCrNiCoB coating alloys during high-energy mechanical attrition, *Wear*, **264**(11), 940-946.
- [127] **Voitovych, A., Pokhmurs'ka, H., Student, M., and Student, O.**, 2016. Microstructure and Abrasive-wear resistance of the vibration-deposited metal of core wires of the basic Fe-Cr-B system, *Materials Science*, **52**(3), 365-370.
- [128] **Cui, G., Wei, J., and Wu, G.**, 2015. Wear behavior of Fe-Cr-B alloys under dry sliding condition, *Industrial Lubrication and Tribology*, **67**(4), 336-343.
- [129] **Bourithis, L. and Papadimitriou, G.**, 2003. Boriding a plain carbon steel with the plasma transferred arc process using boron and chromium diboride powders: microstructure and wear properties, *Materials Letters*, **57**(12), 1835-1839.
- [130] **Sahin, Y.**, 2006. Optimal testing parameters on the wear behaviour of various steels, *Materials & design*, **27**(6), 455-460.
- [131] **Matik, U. ve Çıtak, R.**, 2011. Düşük fosforlu akımsız Ni-P Kaplanmış AISI 1020 çeliğinin adhesiv aşınma karakteristiklerinin incelenmesi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 Mayıs, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

## ÖZGEÇMİŞ

17.05.1983 tarihinde Kayseri' de doğdum. İlkokulu Kayseri' de, Ahmet Baldöktü İlkokulunda okudum ve bu okuldan 1994 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl Sema Yazar Anadolu Lisesi' ne başladım ve ortaokul ile Lise eğitimimi bu okulda 2001 yılında tamamladım. 2001 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandım ve bir yıl hazırlık okuduktan sonra, 2009 yılında mezun oldum. 2011 yılında, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünün' de Yüksek Lisans' a başladım ve 2013 yılında mezun oldum. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Ana Bilim Dalında Doktora başladım ve halen devam etmekteyim. 2011 yılı Temmuz ayından itibaren de, Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktayım.

