

**T.C.  
BARTIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇELİK DİŞLİ SONDAJ MATKAPLARININ BORLAMA YÖNTEMİ  
İLE TAKIM ÖMRÜNÜN UZATILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZIRLAYAN  
GÖKHAN SAĞLAM**

**DANIŞMAN  
DOÇ.DR.Mustafa SABRİ GÖK**

**BARTIN-2016**



**T.C.**

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇELİK DİŞLİ SONDAJ MATKAPLARININ BORLAMA YÖNTEMİ İLE TAKIM  
ÖMRÜNÜN UZATILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZIRLAYAN**

**Gökhan SAĞLAM**

**JÜRİ ÜYELERİ**

- Danışman : Doç.Dr. M. Sabri GÖK - Bartın Üniversitesi  
Üye : Doç.Dr. Halil ÇALIŞKAN - Bartın Üniversitesi  
Üye : Yrd.Doç. Dr. Okan ÜNAL - Karabük Üniversitesi

**BARTIN-2016**

## KABUL VE ONAY

Gökhan SAĞLAM tarafından hazırlanan ‘ÇELİK DİŞLİ SONDAJ MATKAPLARININ BORLAMA YÖNTEMİ İLE TAKIM ÖMRÜNÜN UZATILMASI’ başlıklı bu çalışma, 22.07.2016 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. M. Sabri GÖK (Danışman) .....

Üye : Doç. Dr. Halil ÇALIŞKAN .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Okan ÜNAL .....

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ....../...../20....tarih ve 20....../.....-.....Sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK danışmanlığında hazırlamış olduğum "ÇELİK DİŞLİ SONDAJ MATKAPLARININ BORLAMA YÖNTEMİ İLE TAKIM ÖMRÜNÜN UZATILMASI" adlı Yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

22 /07/ 2016

Gökhan SAĞLAM

## ÖNSÖZ

Bu tezin, hazırlanmasında danışmanlığımı üstlenerek yardımlarını esirgemeyen çalışma alanı hakkındaki bilgi ve becerisini esirgemeyen ve sürekli yanımda olan sayın hocam Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK başta olmak üzere, ikinci danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ali GÜNEN'e teşekkürü bir borç bilirim. Araştırma çalışmaları sırasında desteklerini ve tecrübelerini esirgemeyen, Arş. Gör. Mecit ÖGE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmaları süresince desteklerini hiç eksik etmeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca TÜBİTAK'a 213M629 No' lu projeyle, çalışmalarımda sağlamış olduğu finansal destekten dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Gökhan SAĞLAM

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## ÇELİK DİŞLİ SONDAJ MATKAPLARININ BORLAMA YÖNTEMİ İLE TAKIM ÖMRÜNÜN UZATILMASI

Gökhan SAĞLAM

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK

Bartın-2016, Sayfa: XVII+71

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte insanoğlunun gereksinimlerinin karşılanması için yeraltı zenginliklerinin insanoğlunun kullanımına sunulması gerekliliği insanoğlunu yeni malzeme oluşumları konusunda araştırmaya sevk etmiştir. Son yirmi yılda sondaj kesici takımların tungsten karbür gibi ileri mühendislik malzemelerden üretilmesiyle takım performanslarında bir artış elde edilmiş olsa da maliyet artışının önüne geçilememiştir. Bu çalışma tungsten karbid uçlu takımlara göre çok daha ucuz olan ve sığ sondaj uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılan çelik dişli sondaj takımları yüzeylerinin nano boyutlu bor tozu ile kaplanarak takım ömürlerinin artırılabilirliğinin incelenmesini içermektedir.

Çalışmada çelik dişli sondaj takımları temokimyasal bir yöntem ile 1000 °C' de 30 dk, 45 dk, 60 dk, 75dk, 90 dk ve 105 dk gibi geleneksel borlama yöntemlerine göre daha kısa sürede Nano bor tozu ile kaplanmıştır. Borlanan numuneler, optik mikroskobu, SEM, X-ışını, mikrosertlik ve mikro abrasyon aşınma testleri uygulanmış ve herhangi bir işlem uygulanmayan numune ile kıyaslanmıştır. XRD analizleri sonucunda borür tabakalarında FeB, Fe<sub>2</sub>B, CrB Cr<sub>2</sub>B, NiB fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir. Borlama işlemi sonucunda, borlama süresinin artmasıyla borür tabaka kalınlıkları ve sertlik değerlerinde artışlar

gözenmiştir. Borlama işlemi yüzey sertliğini yaklaşık 5 kat arttırmıştır. Aşınma deneyleri sonucunda borlama süresi ve sertlik artışına paralel olarak aşınma direncinin arttığı gözlemlenmiştir.

### **Anahtar Kelimeler**

Sondaj matkabı, Nanobor, Mikro-abrasyon

### **Bilim Kodu**

604.02.01



## **ABSTRACT**

**Master's Thesis**

### **IMPROVING THE TOOL LIFE OF STEEL THREADED DRILL BITS BY BORONIZING METHOD**

**Gökhan SAĞLAM**

**Bartın University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Mecanical Engineering**

**Thesis Advisor: Doç.Dr. Mustafa Sabri GÖK**

**Bartın-2016, pp: XVII + 71**

With a growing population and developing technologies, necessity of underground resources available to mankind for supply need of humankind guided humankind to research on formation of new material. In the past two decades, with production of advanced engineering materials such as drilling-cutting tool tungsten carbide, obtained tool performance but could not prevented increasing cost. This work includes a research on expandability of tool lives by coating with nano-size boron powder on steel tipped drilling tools which is cheaper than tungsten carbide tools and widely used in shallow drilling applications.

In this work, steel tipped drilling tools coated shorter time according to conventional boronizing methods as 1000°C 30 min, 45 min, 60 min, 75 min, 90 min, and 105 min. with nano-boron powder by a thermochemical coating method. Optical microscopy, SEM, X-ray, microhardness and microabrasion tests were applied to boronized samples and compared to the sample without any processing applied. In XRD test result, FeB, Fe<sub>2</sub>B, CrB Cr<sub>2</sub>B, NiB phases was found in boride film. In boronizing process result, it was observed that borid film thickness and hardness values increased with increasing boronizing time. Boronizing process increased surface hardness approximately 5 times. In abrasion test result, it was



observed that abrasion resistance increased with increasing boronizing time and hardness correspondingly.

**Key Words:**

Drilling, Nano boron, Microabrasion

**Science Code:**

604.02.01



# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BEYANNAME.....	III
ÖN SÖZ.....	IV
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVI
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI.....	3
BÖLÜM 2 SONDAJ İŞLEMİ.....	4
2.1 Sondaj Tekniği.....	4
2.1.1 Döner Sondaj Yöntemleri.....	5
2.1.1.1 Kısıntılı Döner Sondaj Yöntemleri.....	5
2.1.1.2 Karotlu Döner Sondaj Yöntemleri.....	5
2.1.2 Döner-Darbeli Sondaj Yöntemleri.....	5
2.2 Sondaj Matkapları.....	6
2.2.1 Kısıntı Örnek Almaya Uygun Matkaplar.....	6
2.2.1.1 Üç Konili Matkaplar.....	7
2.2.1.2 Parmak, Balık Kuyruğu ve Kanatlı Matkaplar.....	7
2.2.1.3 PDC matkaplar.....	8
BÖLÜM 3 BORLAMA.....	9
3.1 Borlama İşlemi.....	9
3.2 Borlama Yöntemleri.....	9
3.2.1 Kutu Borlama.....	10

3.2.2 Pasta Borlama.....	11
3.2.3 Sıvı Borlama.....	12
3.2.4. Gaz Borlama.....	12
3.2.5. Plazma Borlama .....	13
3.3 Borür Tabakası.....	14
3.4 Borlama İşleminin Endüstriyel Uygulama Alanları.....	15
3.4.1 Bor Kaplamaların Aşınma Özellikleri.....	16
<b>BÖLÜM 4 AŞINMA .....</b>	<b>17</b>
4.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler .....	18
4.2 Aşınma Mekanizmaları .....	19
4.2.1 Adhezif Aşınma (Yapışma Aşınması).....	19
4.2.2 Abrazif Aşınma .....	20
4.2.3 Yorulma Aşınması.....	21
4.2.4 Eroziv Aşınma .....	22
4.2.5 Öğütmeli Aşınma (Grinding Wear).....	23
4.2.6 Oymalı Aşınma (Gouging Wear) .....	24
4.2.7 Kazımalı Aşınma (Fretting Wear).....	24
4.2.8 Koroziv Aşınma .....	25
4.3 Malzemede Aşınmanın Ölçülmesi .....	26
4.3.1 Ağırlık Farkı ile Ölçme .....	26
4.3.2 Kalınlık Ölçme Metodu.....	26
4.3.3 İz Değişiminin Ölçülmesi Metodu .....	26
4.3.4 Radyo İzotoplarla Ölçme Metodu .....	26
<b>BÖLÜM 5 LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ.....</b>	<b>27</b>
<b>BÖLÜM 6 DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>	<b>30</b>
6.1 Amaç .....	30
6.2 Toz ve Altık Malzemelerin Karakterizasyonu .....	30
6.3 Numunelerin Kaplama İşlemleri İçin Hazırlanması .....	32
6.4 Kaplamanın Üretilmesi .....	33

6.4.1. Borlama Ortamının Hazırlanması .....	34
6.4.2. Borlama İşlemi .....	34
6.5. Mikroyapı İncelemeleri için Numune Hazırlanması ve Mikroyapı Çalışmaları .....	35
6.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri .....	35
6.7. Optik Mikroskopi İncelemeleri ve Borür Tabakası Kalınlık Ölçümleri .....	35
6.8. Borür Tabakasının Sertlik Ölçümlerinin Yapılması .....	36
6.9. X ışınları Analizi .....	36
6.10. Mikro-Abrasyon Aşınma Testinin uygulanması .....	36
<b>BÖLÜM 7 BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>38</b>
7.1 Borlanmış Ni-Cr-Mo Esaslı Çeliklerin Yüzey Karakterizasyonu.....	38
7.2. Borlama Sonucunda Elde Edilen Borür Tabaka Kalınlıkları ve Sertlik Ölçümleri ..	39
7.3. Borlanmış Numunelerin X-Işınları Difraksiyon Analizi .....	41
7.4. Borlanmış Dişli Çeliklerinin EDS Analiz Sonuçları.....	43
7.5. Adhezyon Testleri .....	46
7.6 Sabit Top Mikro Abrasyon Aşınma Deneylei .....	47
<b>BÖLÜM 8 SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>65</b>
8.1 Genel Sonuçlar.....	65
8.2 Öneriler .....	66
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>67</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>71</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Delinebilirliği etkileyen parametreler .....	4
2. Döner-darbeli sondaj yöntemleri.....	6
3. Çelik ve Tungsten karbid dişli üç konili matkapların görünümü.....	7
4. Parmak, balık kuyruğu ve kanatlı matkaplar.....	8
5. PDC matkabın görünümü.....	8
6. Katı borlama işleminin şematik gösterimi .....	10
7. Gaz borlama ünitesi.....	13
8. Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi .....	18
9. Adhezif aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi.....	19
10. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi .....	22
11. Öğütmeli aşınmanın şematik gösterilişi .....	23
12. Kazımalı aşınmanın şematik gösterilişi .....	24
13. Nanobor tozunun SEM görünümü .....	32
14. Sondaj Matkaplarının kaplama işlemleri için kesimi.....	33
15. Borlama işleminde kullanılan pota.....	34
16. 1000 °C’de 60 dakika süre ile borlanan numunelerin yüzey görünümü .....	35
17. 1000 °C’de (a) 30 dakika, (b) 45 dakika, (c) 60 dakika, (d)75 dakika, (e) 90 dakika ve (f) 120 dakika süre ile borlanan numunelerin SEM resimleri .....	39
18. a) Borlanmış numunelerin sertlik değerleri grafiği b) 1000 °C’de 60 dakika süre ile borlanan numunenin sertlik iz görünümünün optik resmi.....	41
19. a) 30 dakika b) 45 dakika c) 60 dakika Nanobor tozu ile d) Ekabor tozu ile 8 saat süre ile borlanan numunelerin xrd analizleri .....	42
20. 1000°C 60 dakika süre ile borlama işlemine tabi tutulmuş numunenin EDS analizi .....	44
21. Kaplama bölgesi EDS analizi.....	45
22. VDI 3198 indentasyon testi (Daimler, 1992).....	46
23. Adhezyon testi sonrası a) 30 dk b) 60 dk c) 105 dk süre ile borlanmış numunelerin yüzey görünümü .....	47
24. SiC aşındırıcı partikül .....	47
25. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> aşındırıcı partikül.....	48

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
<b>26a.</b> 90 dev/dk 1 N luk yük altında %10-%50 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> aşındırıcı solüsyon ile gerçekleştirilen sabit top mikro abrazyon deney sonuçları. ....	49
<b>26b.</b> 90 dev/dk 1 N luk yük altında %10-%50 SiC aşındırıcı solüsyon ile gerçekleştirilen sabit top mikro abrazyon deney sonuçları.....	50
<b>27a.</b> 90 dev/dk 1-3 N luk yük altında %10-%50 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> aşındırıcı solüsyon ile 30 dakika süreyle borlanan numunenin sabit top mikro abrazyon deney sonuçları. ....	52
<b>27b.</b> 90 dev/dk 1-3 N luk yük altında %10-%50 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> aşındırıcı solüsyon ile 30 dakika süreyle borlanan numunenin sabit top mikro abrazyon deney sonuçları. ....	52
<b>28.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 Nluk yükte sabit top mikroabrazyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X162.....	53
<b>29.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 nluk yükte sabit top mikroabrazyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X1000.....	54
<b>30.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin % 20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 nluk yükte sabit top mikroabrazyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X450.....	55
<b>31.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 nluk yükte sabit top mikroabrazyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X1500.....	56
<b>32.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %30 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 nluk yükte sabit top mikroabrazyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X1500.....	56
<b>33.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin % 40 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 Nluk yükte sabit top mikroabrazyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X1000.....	57
<b>34.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %50 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 Nluk yükte sabit top mikroabrazyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X1000.....	57
<b>35.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %10 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 N'luk yükte sabit top mikroabrazyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X1000.....	59

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
<b>No</b>	<b>No</b>
<b>36a.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %30 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 nluk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X165.....	60
<b>36b.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %30 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 Nluk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan C bölgesi SEM görüntüsü X1100. ....	61
<b>36c.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %30 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 Nluk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan A bölgesi SEM görüntüsü X1000. ....	61
<b>36d.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %30 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 Nluk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan B bölgesi SEM görüntüsü X1000. ....	62
<b>37.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %10 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 nluk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X122.....	63
<b>38.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %50 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 nluk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X103.....	63
<b>39.</b> 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %30 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 nluk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X200.....	64

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo</b>		<b>Sayfa</b>
<b>No</b>		<b>No</b>
1.	Farklı malzemelerde oluşan borür fazları, sertlik değerleri ve ergime noktaları .....	14
2.	Adhezif Aşınmaya Malzeme Özelliklerinin Etkisi. ....	20
3.	Kaplanan numunelerin kimyasal bileşimi .....	31
4.	Nanobor tozunun kimyasal bileşimi .....	31
5.	Borlama işlemi sonucu elde edilen borür tabakası ve sertlik değerleri .....	40





## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CVD	:	Kimyasal Buhar Biriktirme
PVD	:	Fiziksel Buhar Biriktirme
EDX	:	Elementel Dağılım Analizi
SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	:	X-Işını Kırınımı
AISI	:	Amerikan Demir Çelik Enstitüsü
DIN	:	Alman Standartlar Enstitüsü
HSS	:	Yüksek Hız Çeliği
CBN	:	Kübik Bor Nitrür
NCD	:	Nano Kristal Elmas
PDC	:	Çok kristalli Elmas Matkap
WC	:	Wolfram Karbür
EDS	:	Elementel Yapı Analizi
H <sub>2</sub>	:	Hidrojen
Hv	:	Vickers Sertlik Değeri
Dak	:	Dakika
Sn	:	Saniye
gf	:	Gram Kuvvet
Kgf	:	Kilogram Kuvvet
N	:	Newton
Pa	:	Pascal
nm	:	Nanometre
mm	:	Milimetre
HB	:	Brinell Sertlik Değeri
Ar	:	Argon
µm	:	Mikrometre

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Bir delici uç yardımı ile yeryüzünden itibaren içeriye doğru belirli çap ve derinlikte dönen borularla veya darbeli tel, halat ve delici uç ile kuyular açılmasına sondaj denir (URL 1,2011). Sondaj sistemleri dönerek çalışan (rotary) ve darbeli (percussion) sondaj sistemi olmak üzere ikiye ayrılır. Derin sondajlarda Rotary sistemler tercih edilmekle beraber her iki sondaj sisteminin birbirine göre üstün tarafları vardır. Fakat her iki sondaj sisteminde de sondaj maliyetini büyük oranda matkap performansı belirlemektedir. Matkap performansı ise önce matkap seçimine daha sonra da matkabın nasıl kullanıldığına bağlıdır. Matkap seçiminin iyi yapılması sondaj metre maliyetinde önemli düşüşler sağlamaktadır (Yalçın,1991;Ersoy, 2008).

Delme işlemini gerçekleştiren sondaj matkapları yumuşak kaya formasyonlarından çok sert kaya formasyonlarına kadar farklı metrelerde farklı kaya formasyonlarıyla karşılaşabildiklerinden sondaj matkaplarının yüksek ısı direnç, yüksek kırılma direnci, iyi yüzey kalitesi, uygun sertlik, iyi aşınma direnci ve termal şoklara karşı dirençli olması gibi birçok özelliği bünyelerinde barındırmaları gerekmektedir. Fakat bu özelliklerinin tamamını bir arada sağlayan bir alaşım malzemesi üretmek çok maliyetli olacaktır. Sondaj takımlarının tamamını bu özelliklere sahip malzemeden üretmek yerine yüzey modifikasyonu ile bu özellikleri yüzeye kazandırmak daha ekonomik ve pratik bir yaklaşımdır. Bundan dolayı günümüzde metal yüzeylerinin dış ortamların etkilerinden korunması, kullanımları sırasında maruz kaldıkları korozyon, yorulma, aşınma ve sürtünme etkilerini en aza indirmek amacıyla çok geniş çeşitlilikte yüzey modifikasyon işlemleri uygulanmaktadır.

Aşınma malzemenin kendi içerisinde olmayıp çalıştığı sistemde birbirleriyle temas içerisinde olan yüzeylerde meydana gelmektedir. Bunun için her çalışma ortamında yüksek aşınma direnci gösteren bir malzeme üretmek hem çok zordur hem de ekonomik değildir. Bunun için en iyi çözüm çalışma şartlarına göre uygun optimizasyonların gerçekleştirilmesidir.

Birbirleriyle temas halinde çalışan malzemelerin aşınma ömürlerini uzatmada kullanılan en uygun yöntem (maddi ve kullanım ömrü bakımından) malzemeler arasında yağlayıcı bir katman meydana getirmektir. Son yıllarda gittikçe önem kazanan diğer bir yöntem ise malzemelerin yüzeylerinin farklı ince sert bir tabaka ile kaplanması işlemidir.

Malzeme yüzeyinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde en kolay ve en ekonomik yöntemlerin başında yüzey sertleştirme işlemleri gelir. Bu yöntemler malzeme yüzeyinin sert, mukavemetli ve aşınmaya dayanıklı olmasını; matris kısmının da enerjiyi absorbe ederek tok kalmasını sağlar. Yüzey sertleştirme işlemlerinin başında endüstride geniş uygulama alanı olan borlama işlemi gelir (Şen vd, 2001; Ulutan, 2007).

Termokimyasal bir yüzey sertleştirme işlemi olan borlama, esas olarak metal yüzeyine bor difüzyonu olarak tanımlanabilir. Borlama işleminin fiziksel durumu katı, sıvı, gaz ya da plazma halinde 700-1100 °C sıcaklık aralığında ve 1-12 saat süre ile uygulanabilir. Borlama ısı işlemi 40 yılı aşkın bir süredir endüstriyel olarak uygulanmakta olup başlangıçta çeliklere uygulanmış olsada ilerleyen yıllarda demir dışı metal ve alaşımlara hatta sermetlere başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Özbek vd, 2002; Gunes vd, 2011). Borlanmış çelikler yüksek yüzey sertlikleri ve yüksek aşınma dirençleri ile karakterize edilirler. Aşınma dayanımı ve sürtünme katsayısı bir sistem özelliği olmakla beraber malzeme sertliği ile doğrudan alakalıdır. Borlanmış yüzeylerde yüksek sertlikle birlikte teflonun sürtünme katsayısına yakın sürtünme katsayısı elde edilmektedir (Atik, 1997). Makina parçalarındaki aşınma kayıplarının azaltılması çalışmalarında borlama işlemi alternatif bir yöntemdir. Özellikle makina parçalarında borlama ile yüzeylerin sertleştirilmesi aşınma miktarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Borun oksijene karşı ilgisi yüksektir ve bütün borürler yüzeyde ince bir oksit filmi oluşturlar. Bu oksit filmi de sürtünme sırasında kaynak oluşumunu engelleyip yağlayıcı bir görev yapar (Tezcan, 1996; Özsoy 2001).

Bu nedenle borlanmış malzemelerde oluşan borür tabakası üzerindeki çalışmalar daha çok sertlik, aşınma ve korozyon üzerine yoğunlaşmaktadır (Şen vd, 2001). Borür tabakasının önemli bir özelliği ise sahip olduğu yüksek sertlik değerini, 900-1000 °C' ye ulaşan sıcaklıklarda dahi kendini koruyabilmesidir. Bu sayede yüksek sıcaklıklarda da sahip olduğu tribolojik özellikleri kaybetmeden aşınma ve korozyona karşı daha iyi direnç gösterir (Karamış vd., 1995).

## 1.1 Çalışmanın Amacı

Sondaj matkaplarında iç ve dış yüzeylerin sert ve aşınmaya dirençli, merkez çekirdeğin ise darbeye karşı dayanıklılığı sağlayabilmesi için daha sünek olması gerekliliği göz önünde bulundurulduğunda termo-kimyasal yöntemler önem arz etmektedir. Günümüze kadar Sondaj matkapları üzerindeki kaplama çalışmaları CVD ve PVD yöntemleri ile TiN, TiC, TiCN, AlTiN, CrN, CrC, ZrN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vb. kaplamalar üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. PVD ile üretilen kaplamaların optimum kaplama kalınlıklarının WC esaslı malzemeler için 3-6 µm, HSS çelikleri için ise 3 µm olması, bir CVD kaplama prosesi 3 saat ısıtma, 4 saat kaplama ve 7 saat soğutma olmak üzere toplam 14 saat sürmesi (Astakhov 2006, Smith 2008). Yeni bir kaplama prosesine ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir. Bu tez çalışmasında termo-kimyasal yöntemlerle üretilecek bor kaplamalar yenilikçi bir yaklaşım ile geneksel borlama yöntemlerindeki en büyük problemlerinden biri olan uzun borlama süresini azaltılarak ve olumsuzlukları (tane büyümesi, yüzeyde çatlak oluşumu, homojen olmayan kaplama tabakası) gidermek amacıyla Nano boyutlu bor tozları ile 30 dakikadan-105 dakikaya kadar kaplamalar üretilmiştir. Kaplama işleminin ardından numuneler, optik mikroskobu, SEM, X-ışını, mikrosertlik, ve mikro abrasyon aşınma testleri uygulanmış ve herhangi bir işlem uygulanmayan numune ile kıyaslanarak yorumlanmıştır.

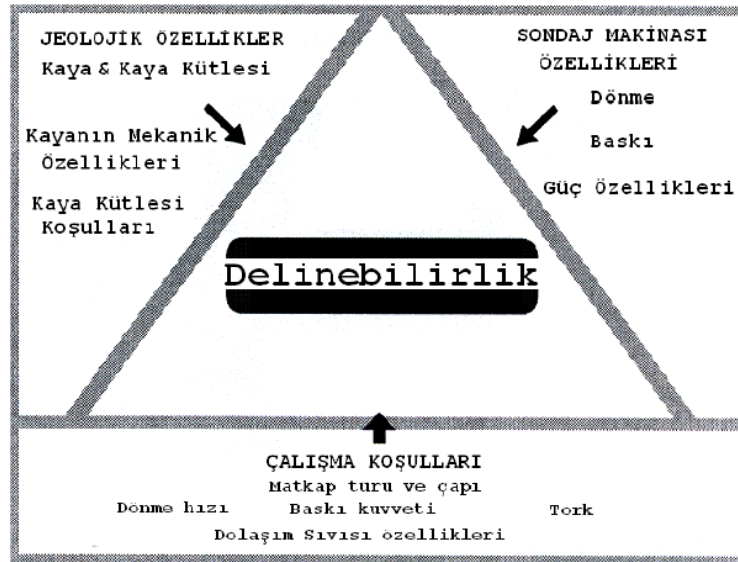
## BÖLÜM 2

### SONDAJ İŞLEMİ

#### 2.1 Sondaj Tekniği

Bir delici uç yardımı ile yeryüzünden itibaren içeriye doğru belirli çap ve derinlikte dönen borularla veya darbeli tel, halat ve delici uç ile kuyular açılmasına sondaj denir (URL 1). Sondaj sistemleri Rotary (dönerek çalışan) ve Percussion (darbeli) sondaj sistemi olmak üzere ikiye ayrılır. Derin sondajlarda Rotary sistemler tercih edilmekle beraber her iki sondaj sisteminin birbirine göre üstün tarafları vardır (Yalçın,1991; Ersoy, 2008).

Sondaj sistemlerinde birçok parametere etkin olup karmaşık bir yapıya sahiptir (Şekil 1). Bu parametreler kontrol edilen parametreler ve kontrol edilemeyen parametreler olarak ikiye ayrılır. Kontrol edilebilen parametreler: Matkap türü ve çapı, dönme hızı, baskı kuvveti, tork ve dolaşım sıvısıdır. Kontrol edilemeyen parametreler ise; kayaların süreksizlikleri, tabakalanma durumları, tane boyutu, matriks yapısı, gözeneklilik ve aşındırıcı mineral oranı gibi karmaşık faktörlerdir. Kayaların delinebilirliği ilerleme hızı, matkap aşınma miktarı, matkap ömrü ve diş batma gibi miktarı çeşitli kavramlarla tanımlanabilmektedirler.



Şekil 1: Delinebilirliği etkileyen parametreler [Thuro 1977, Özdemir 2012]

Sondaj yöntemi sınıflaması birkaç kritere göre yapılabilir. En mantıklı sınıflama, kaya

parçalanması için gerekli enerji türüne göre yapılabilir. Kayalarda birçok amaç için sondaj yapılır ve bu amaçla geliştirilen birçok yöntem, kayalarda başarıyla delme işlemleri gerçekleştirmiştir. Kayaca mekanik etki uygulama darbe veya dönme hareketi olmak üzere temelde 2 yöntemle yapılır. Bu iki etki birleştirilerek karma bir yöntem olan döner-darbeli sondaj yöntemi geliştirilmiştir (Özdemir, 2012).

### **2.1.1 Döner Sondaj Yöntemleri**

Döner sondaj yöntemleri, kırıntılı ve karotlu sondaj yöntemleri olarak ikiye ayrılabilir.

#### **2.1.1.1 Kırıntılı Döner Sondaj Yöntemleri**

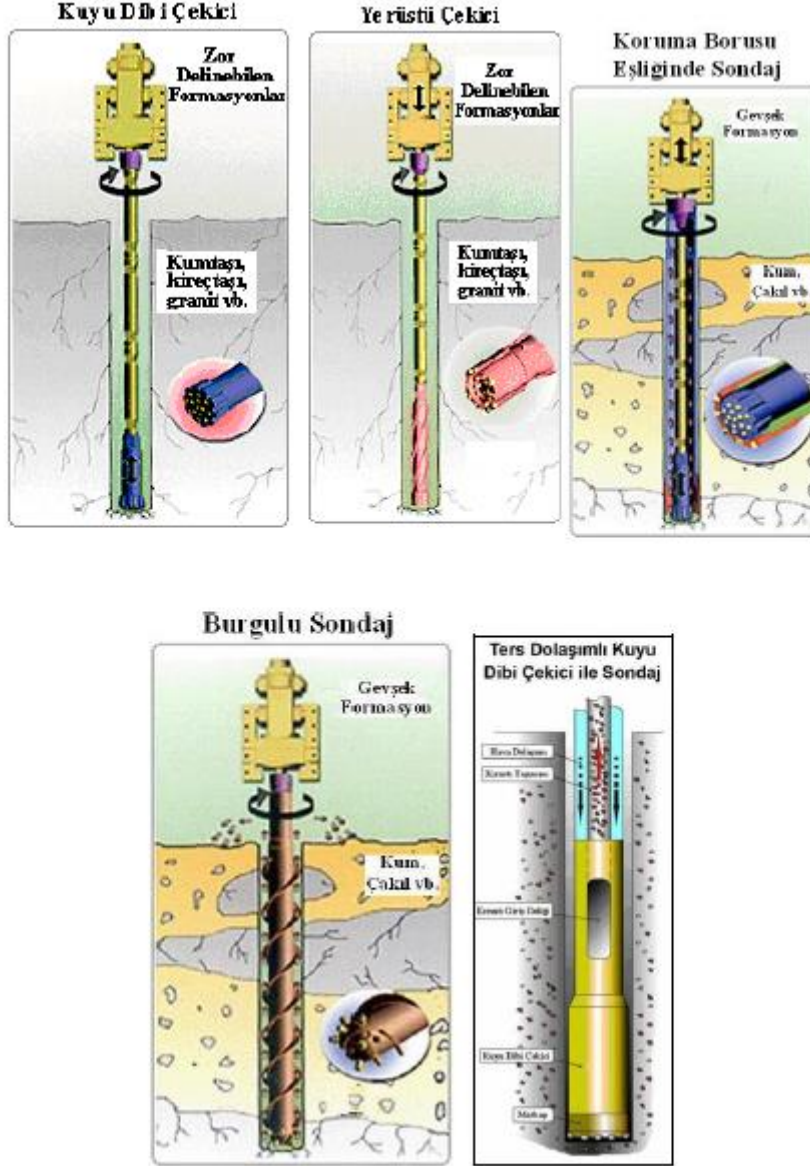
Baskı (yük) altında dönen bir matkabın kesici dişleri aracılığıyla formasyonu parçalaması sonucu oluşan formasyon parçalarının bir dolaşım sıvısı (çamur veya su) ile dışarı atılması işlemidir. Bu yöntemde dönme ile koparma işlemi egemen olup, ilerleme baskı ve tork aracılığı ile sağlanmaktadır. Bu yöntemde çamurlu sondaj yöntemi de denilmektedir.

#### **2.1.1.2 Karotlu Döner Sondaj Yöntemleri**

Karotlu sondajlar, kaya ve zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi (çatlak, dolgu, eklem sistemleri vb.) ve laboratuarda bir takım deneylerin yapılabilmesi veya bir maden sahasının aranması, değerlendirilmesi ve işletilebilirliğinin araştırılması amacıyla özel ekipmanlar kullanılarak yapılan sondajlardır (Özdemir, 2012).

### **2.1.2 Döner-Darbeli Sondaj Yöntemleri**

Döner-darbeli sondaj yöntemi, darbenin matkaba iletilme şekline göre kuyudibi ve yerüstü çekiçli yöntem olarak ikiye ayrılabilir. Ayrıca, değişik formasyonlarda yaşanan sondaj güçlüklerini önlemek, her tür formasyonu güvenli bir şekilde delebilmek ve örnek alınabilmesini sağlamak amacıyla koruma borusu eşliğinde sondaj, burgulu sondaj, ters dolaşımli kuyudibi tabancası ile sondaj vb. gibi özel sondaj yöntemleri de geliştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2: Döner-darbeleri sondaj yöntemleri (Özdemir, 2009)

## 2.2 Sondaj Matkapları

Sondaj matkapları, formasyonlardan örnek alma şekline göre kırıntı örnek almaya uygun matkaplar ve karot örnek almaya uygun matkaplar olmak üzere iki grupta incelenebilir.

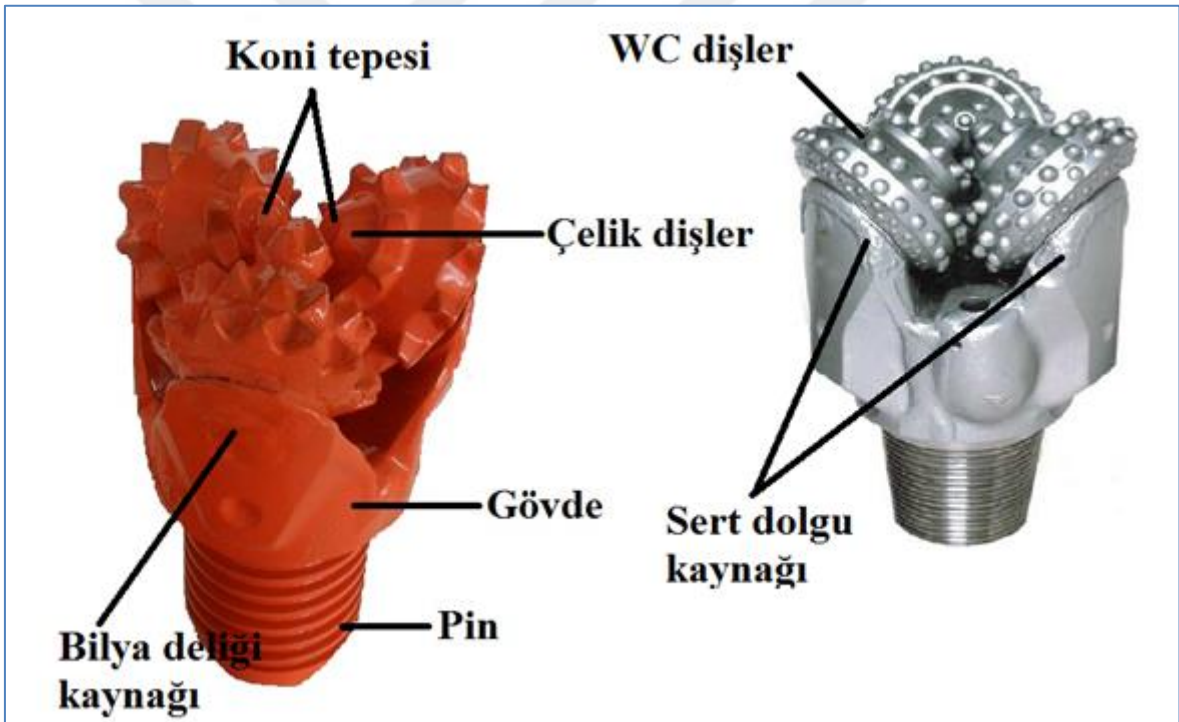
### 2.2.1 Kırıntı Örnek Almaya Uygun Matkaplar

Bu matkaplar, üzerlerine uygulanan baskı (yük) ve dönme hareketi yardımıyla temasta oldukları formasyonu delerler. Bu delme işlemi, bir kesme ve öğütme işlemidir. Kesme ve

öğütme işlemleri sonucunda oluşan kırıntılar, su ve sondaj çamuru veya diğer taşıyıcılar (hava vb.) ile kuyu dışına (yerüstüne) taşınırlar. Bu tür matkaplara, karotsuz ilerleme matkapları da denilmektedir (Özdemir, 2009, 2012).

### 2.2.1.1 Üç Konili Matkaplar

Üç konili matkaplar gövde, koniler ve koni yataklarından oluşmaktadır (Şekil 3). Üç konili matkaplar, çelik ve tungsten karbid dişli olmak üzere ikiye ayrılır (Şekil 3). Konili matkaplar aşınmaya dayanıklılığı artırılmış çelik alaşımlardan imal edilmektedir. Çamurlu ve havalı sondaj çalışmalarında kullanılabilecek özelliktedirler. Her tür formasyona uygun tipleri bulunmaktadır. Döner sondaj yönteminde en çok kullanılan matkap tipidir. Bundan dolayı tez çalışmasında bu matkaplar seçilmiştir.

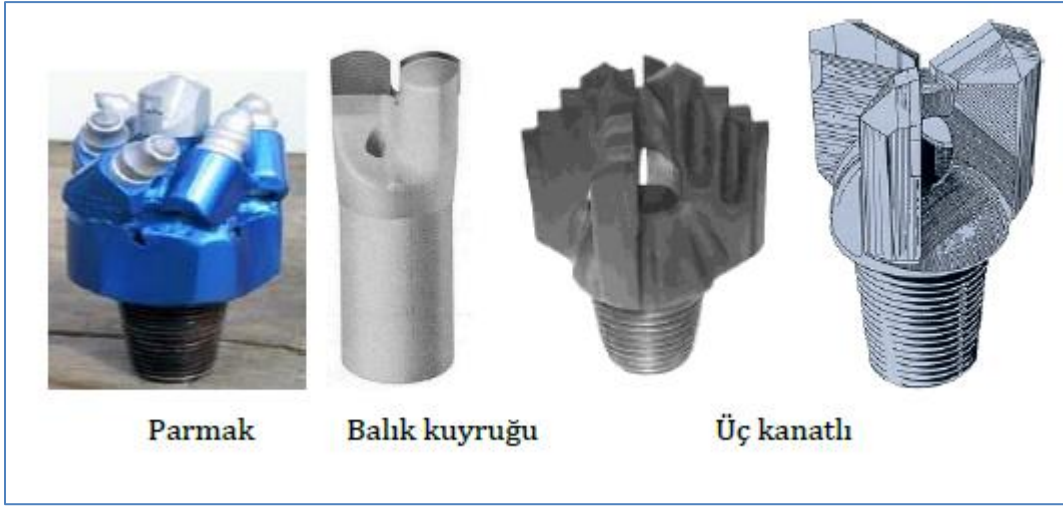


Şekil 3: Çelik ve Tungsten karbid dişli üç konili matkapların görünümü

### 2.2.1.2 Parmak, Balık Kuyruğu ve Kanatlı Matkaplar

Bu tip matkaplar, genellikle yumuşak ve taneli formasyonların delinmesinde kullanılmaktadır. Tek parça, birkaç veya daha fazla parçanın birleştirilmesiyle imal edilen matkaplardır (Şekil 4).





Şekil 4: Parmak, balık kuyruğu ve kanatlı matkaplar

### 2.2.1.3 PDC matkaplar

PDC matkaplar petrol, jeotermal ve patlatma deliği sondajlarında başarıyla kullanılmaktadır. PDC matkaplar, pahalı olmalarına rağmen dikkatli kullanılmaları durumunda ömürleri oldukça uzun olmakta ve sondaj maliyetini önemli derecede düşürmektedirler (Özdemir, 2009). PDC matkapların hem kırıntı hem de karot örnek almaya uygun türleri bulunmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5: PDC matkabın görünümü

## BÖLÜM 3

### BORLAMA

#### 3.1 Borlama İşlemi

Borlama, termo-difüzyonal bir yüzey sertleştirme işlemi olup esas itibariyle metal yüzeyine bor atomlarının yüksek sıcaklıkta çeliğe yayınıdır. Bor atomları ısı enerjisi etkisiyle metal yüzeyine yayınırlar ve esas metal atomlarıyla uygun borürler meydana getirirler. DIN 17014'e göre ise borlama, "termokimyasal işlem yoluyla iş parçası yüzeyinin bor atomları ile zenginleştirilmesi" olarak tarif edilmektedir. Yani termal enerji yoluyla bor atomlarının iş parçasının yüzeyindeki metal latisin içerisine yayınması ve orada ana malzemenin atomları ile borürlerin oluşturulmasıdır (Özbek, 1999). Bu işlem kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlara dayanmakta ve sabit sıcaklıkta veya termal çevrimli olarak uygulanabilmektedir (Er ve Par, 2004). Borlamanın diğer yüzey sertleştirme işlemlerinden üstünlüğü; yüzey tabakasının çok sert olması, yüksek aşınma korozyon ve yüksek sıcaklıkta oksidasyon direncine sahip olmasıdır (Sinha, 1991; Ulker vd. 2011). Borlama, alaşımsız ve alaşımlı çeliklere, dökme demirlere, demir dışı metal ve alaşımlarına, bu alaşımların toz metalurjisi yoluyla üretilen tozlarına, bazı süper alaşımlar ile sermetler gibi birçok malzeme grubuna uygulanabilmektedir (Saygın, 2006; Başman 2011).

#### 3.2 Borlama Yöntemleri

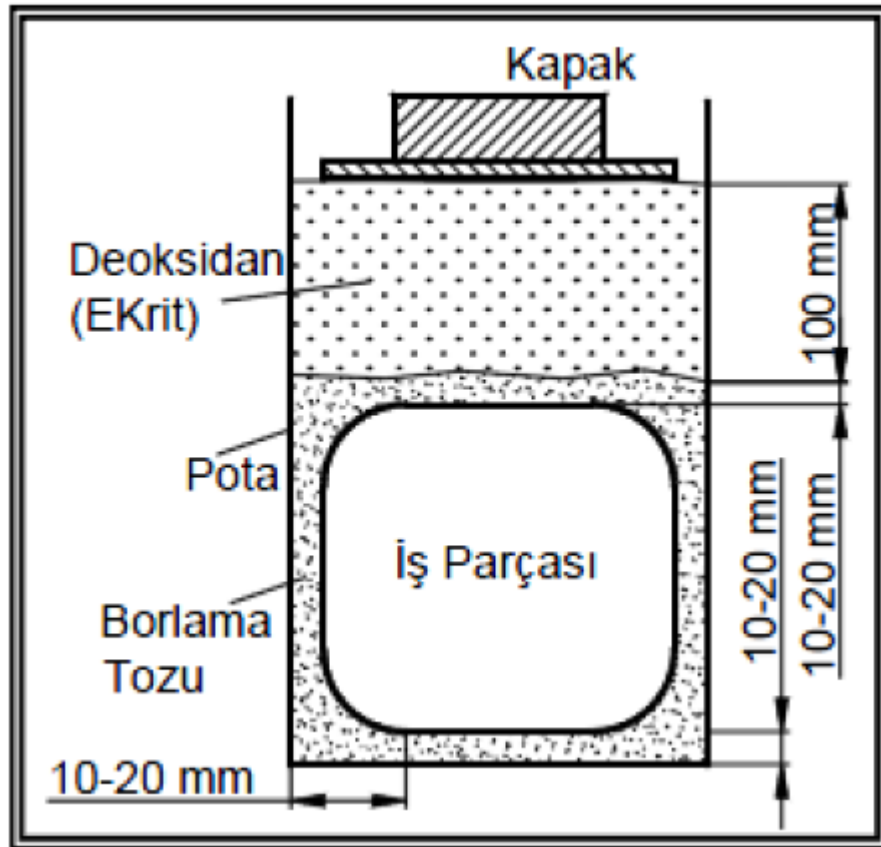
Borlama işlemi, yüzeyi iyice temizlenmiş malzemelerin 700-1000°C arasında bor sağlayıcı bir ortamda (katı, sıvı, gaz, pasta, plazma ve plazma pasta) 1-10 saat süre tutulmasıyla gerçekleştirilmektedir. Endüstriyel uygulanma durumuna göre borlamayı termokimyasal yöntemler (kutu borlama, pasta borlama, sıvı borlama ve gaz borlama) ve termokimyasal olmayan yöntemler (fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD), plazma sprey kaplama vb. yöntemler ) olmak üzere iki ana grupta toplanır (Sinha, 1991).

Bu teknikler içerisinde termokimyasal yöntemler uygulama kolaylığı ve ekonomikliğı gibi avantajlarından dolayı daha yaygın kullanılır. Termokimyasal bor kaplama işlemi, sıcaklık ve zamanın bir fonksiyonu olarak bor atomunun metale difüzyonuna dayanan bir kaplama yöntemidir. Termo kimyasal bor kaplama yöntemleri genel olarak dört ana grup altında

toplanmaktadır (Bozkurt, 1984;Sinha, 1991; Yapar, 2003) . Bunlar yukarıda da belirtildiği gibi kutu borlama, pasta borlama, sıvı borlama ve gaz borlamadır.

### 3.2.1 Kutu Borlama

Kutu borlama, borlanacak malzemenin toz halindeki bor verici ortam içerisinde 800-1000°C sıcaklıklarda 4-10 saat bekletilerek borlama işlemi yapılmaktadır. Katı ortmamda borlama işleminin şematığı Şekil 6'da verilmiştir. Borlama tozu ısıya dayanıklı paslanmaz çelik sac kutu içine konularak parçanın her tarafı en az 10-20 mm bor tozunun içine gömülerek kutunun ağzı hava almaması için sıkıca kapatılarak ve elektrik rezistanslı bir fırında istenilen sıcaklıkta kutu borlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Yöntemin kolay uygulanabilmesi, basit donanım gerektirmesi, toz kompozisyonlarında kolay değişiklik yapılması ve ekonomik olması dolayısıyla en yaygın kullanılan borlama tekniğidir (Uzun 2002, Günen, 2012).



Şekil 6: Katı borlama işleminin şematik gösterimi

Kutu borlama tekniğinde aşağıda verilen birçok toz kullanılmaktadır (Uzun, 2002;Baştürk vd. 2006).

1. %85-90 Ferrobor +%10-15 NaBF
2. %95 B<sub>4</sub>C +%5 NaF
3. %33 Amorf bor +%2 NHCl +%65 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
4. %80 B<sub>4</sub>C +%20 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
5. %98 B<sub>4</sub>C +%2 KBF
6. %50 Amorf bor +%1 NH<sub>4</sub>F.HF+%49 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
7. %(7,5-40) B<sub>4</sub>C + %(2,5-10) KBF<sub>4</sub>+(50-90)+SiC
8. %84 B<sub>4</sub>C +%16 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>
9. %95 Amorf bor +%5 KBF<sub>4</sub>
10. %20 B<sub>4</sub>C +%5 KBF<sub>4</sub>+%75 Grafit
11. %(40-80) B<sub>4</sub>C +% (20-60) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
12. %100 B<sub>4</sub>C

Aktivatör olarak ise kullanılan toz bileşimlerine bağlı olarak NaBF<sub>4</sub>, KBF<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>BF<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, BaF<sub>2</sub> ve Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> kullanılır.

### 3.2.2 Pasta Borlama

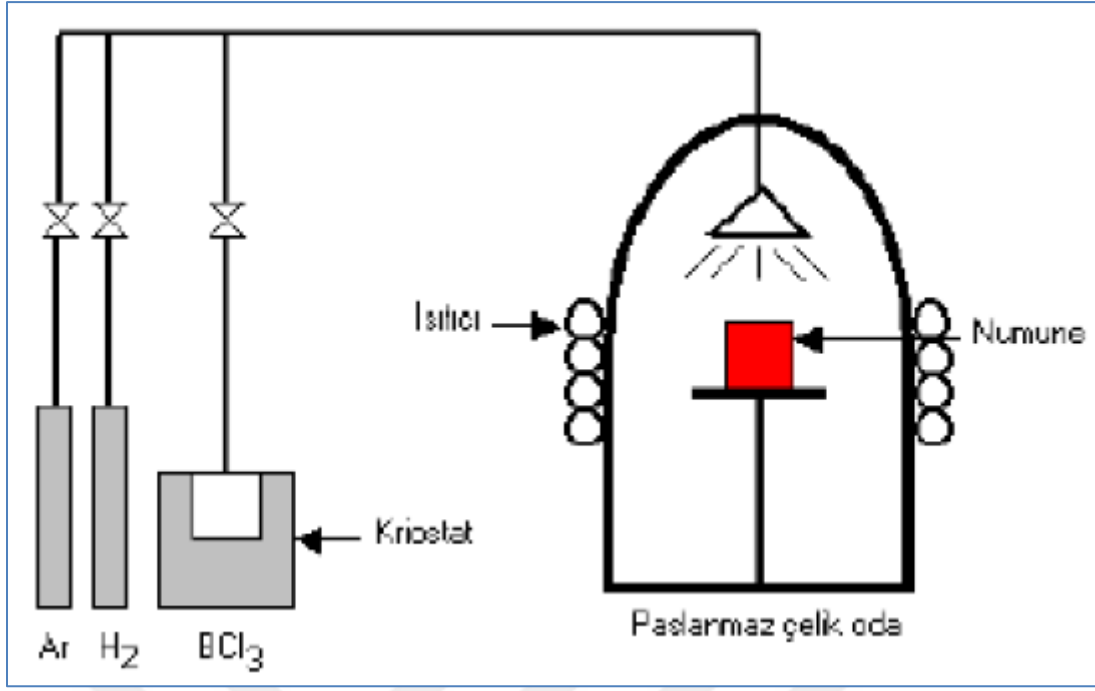
Pasta borlama, kutu borlama tekniğinin uygulanmasının zor veya pahalı geldiği durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem parçaların kısmi borlana bilmeleri ile ön plana çıkmaktadır (Baştürk vd. 2006;Yurtseven, 2008). Bu yöntemde, % 45 B<sub>4</sub>C ve %55 kriyolit (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> flaks ilaveli) kullanılabilirken geleneksel borlama tozu karışımı B<sub>4</sub>C-SiC-KBF<sub>4</sub>'de kullanılır. Bu yöntemle borlayıcı karışım malzemenin yüzeyine püskürtülerek veya fırçayla sürülerek oluşturulur ve kurutmadan sonra istenilen miktarda kurutulmuş tabaka elde edilir (1-10mm). Sonraki aşamada pasta borlama işlemi yapılmış malzeme 800-1000 °C lik bir fırında 2-12 saat süreyle argon, NH<sub>3</sub> veya N<sub>2</sub> gibi kontrollü bir atmosfer altında gerçekleştirilir. Bu proses büyük parçalar ve kısmi borlama gerektirecek parçalar için idealdir (Sinha, 1991;Özbek, 1999).

### 3.2.3 Sıvı Borlama

Bileşikleri, aktivatör ve redükleyici maddelerden oluşan ergimiş tuza, iş parçasının 900 – 1100 °C’de 2-9 saat süre ile daldırılması yöntemidir. Sıcaklığın 850 °C nin altına düşmesi durumunda erimiş boraksın akıcılığı azalacağından borlama imkansız hale gelir dolayısıyla bu yöntemin en büyük dezavantajı sıcaklıktır (Bayça ve Şahin, 2004). Sıvı ortam borlaması sırasında borlanan metal ile redükleyici madde arasında galvanik pil oluşur. Aktif bor oluşumu sırasında metal yüzeyinde katodik bir reaksiyon olurken, redükleyici madde yüzeyinde anodik bir reaksiyon olmaktadır. Bu işlemin oluşması için; borlanacak metal ile redükleyici madde taneleri arasında elektrokimyasal fark olmalıdır. Bu yöntemde borlama banyosu adından da anlaşılabilceği gibi sıvı haldedir. Sıvı borlama işleminde susuz boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ), susuz borik asit ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), metaborik asit ( $\text{HBO}_2$ ), boraks, bor karbür gibi bor bileşikleri kullanılır. Silisyum karbür, ferrosilisyum, grafit, NaCl, Al gibi redükleyiciler kullanılır (Uluköy ve Can, 2006).

### 3.2.4 Gaz Borlama

Gaz borlama işlemi yüksek sıcaklıklarda  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  ve  $\text{BCl}_3$  gaz karışımı atmosferinde gerçekleştirilir. Borlama işlemi Şekil 7’de görüldüğü üzere Ar ve H gazlarının ve bir evapotartörde gaz haline getirilmiş bir bor kaynağının ( $\text{BCl}_3$  gibi) belirli karışımının, dış ortama kapalı paslanmaz çelik bir odadaki numune üzerine püskürtülmesiyle yapılmaktadır (Küper vd, 2000; Nam, 2005; Barış 2007). Gaz borlama işleminde kullanılan bor taşıyabilen gazlar, bor halojenler veya bor hidrürlerdir. (Sinha, 1991; Özbek, 2000). Bu yöntemin en büyük dezavantajı bu gazlar kimyasal olarak kararsız ve zehirleyici özelliğe sahip olmalarından dolayı problemlidirler.



Şekil 7: Gaz borlama ünitesi (Bayça vd. 2004)

### 3.2.5 Plazma Borlama

Plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötr atom veya molekül içeren bir karışımdır. Pratikte plazma, ısı enerjisi verilerek, ışınla veya elektriksel boşalma ile elde edilir. Plazma elde etme yöntemlerinin en önemlisi ve en yaygın olarak kullanılanı elektriksel boşalmadır. Bir elektrik gerilim kaynağı gaz içinde bulunan iki iletken plaka arasına bağlanırsa, belirli şartlar gerçekleştiği takdirde, tatbik edilen gerilim plakalar arasındaki gazın delinme geriliminin üzerine çıktığında, iki iletken plaka arasında bir elektrik boşalması olur ve plakalar arasında bir elektrik akımı akışı olur (Uluköy, 2005).

Plazma borlama  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{BF}_3$ ,  $\text{B}_2\text{H}_6$  ve TEB gibi bor bileşikleri ve redüktan olarak argon veya hidrojen gaz kullanılarak, 800–1000 °C sıcaklıkta, yaklaşık  $10^{-2}$  Pa gibi düşük bir basınçta oluşturulmuş plazma içerisinde yapılan borlamadır (Uluköy, 2005; Barış, 2007). Diğer borlama işlemlerinin çevreye kirletici etkisi nedeniyle son yıllarda plazma borlama işlemi daha yoğun olarak çalışılmaktadır (Bayça ve Şahin, 2004). Bu yöntem Almanya’da otomotiv sektöründe kullanılmaya başlanmasıyla üstün özellikleri nedeniyle endüstrinin dikkatini çekmiş ve artan ilgiyle araştırmalar yoğunlaşmıştır (Uluköy, 2005).

### 3.3 Borür Tabakası

Borlama işleminde, bor atomlarının malzemenin latis boşluklarına difuze olmalarıyla intermetalik bor bileşikleri elde edilmektedir. Yüzey pürüzlülükleri, çizikler gibi makro hatalar ve tane sınırları, dislokasyonlar, atom boşlukları gibi mikro hatalar demirbor bileşiklerinin çekirdeklenmesi için özellikle uygun yerlerdir; kitlesel çekirdekleşme olmasa bile bu bölgelerde çekirdekleşme ilerler ve küçük borür alanları oluşabilir. Çekirdekleşme prosesinin ilk adımı  $Fe_2B$  çekirdeğinin oluşumudur.  $Fe_2B$  çekirdekleşmesini borca daha zengin bileşiklerin çekirdekleşmesi takip eder. İlk oluşan  $Fe_2B$  alanlarının dış yüzeylerinde  $FeB$  ve  $FeB_n$  ( $n>1$ ) bileşiklerinin meydana geldiği tespit edilmiştir (Uluköy, 2005).

Oluşan bor bileşikleri borlanan malzemenin kimyasal bileşimi, borlama şartları ve kullanılan borlama malzemesinin kimyasal bileşimi ile doğrudan ilişkilidir. Borlama ısıl işleminde borun yüzeye yayılması sonucu parçanın en üst bölümünde bileşik tabaka adı verilen borlu bölge, onun altında difüzyon bölgesi ve en iç kısımda ise matrisi oluşturan çekirdek bölgesi yer alır. Ancak Günen (2012) nano boyutlu bor tozları ile yapmış olduğu çalışmada kaplama işlemi sonucunda borür tabakası, geçiş bölgesi, difüzyon bölgesi ve matris bölgelerinden oluştuğunu belirtmiş ve EDS analizleri ile ileri sürdüğü bu tezi desteklemiştir (Günen, 2012).

Demir esaslı malzemelerin yüzeyinde borca zengin  $FeB$  en üstte oluşurken, onun hemen altında daha homojen ve sünek olan  $Fe_2B$  olmak üzere iki demirborür fazı meydana gelir (Bhushan ve Gupta, 1991). Ancak borlanan malzemenin kimyasal içeriğine bağlı olarak Tablo 1 de verilen fazlarında meydana geldiği literatür taramalarından tespit edilmiştir.

Tablo 1: Farklı malzemelerde oluşan borür fazları, sertlik değerleri ve ergime noktaları

Malzeme	Oluşan Bileşik	Sertlik (HV)	Ergime Noktası(°C)
Fe	FeB	1900-2100	1390
	Fe <sub>2</sub> B	1800-2000	1390
	CoB	1850	1390
Co	Co <sub>2</sub> B	1500-1600	1390
	Co <sub>3</sub> B	700-800	1390
	CoB	2200	1390
Co-27.5Cr	Co <sub>2</sub> B	1550	1390
	Co <sub>4</sub> B	700-800	1390
	Ni <sub>4</sub> B <sub>3</sub>	1600	1390
Ni	Ni <sub>2</sub> B	1500	1390
	Ni <sub>3</sub> B	900	1390
	Mo <sub>2</sub> B	1660	2000
Mo	MoB <sub>2</sub>	2330	≈2100
	Mo <sub>2</sub> B <sub>4</sub>	2400-2700	2100
W	W <sub>2</sub> B <sub>5</sub>	2600	2300
Ti	TiB	2500	≈1900
	TiB <sub>2</sub>	3370	2980
Zr	ZrB <sub>2</sub>	2250	3040

### 3.4 Borlama İşleminin Endüstriyel Uygulama Alanları

Bor ve bor kaplamalar üstün özellikleri dolayısıyla geniş endüstriyel kullanım alanına sahiptir. Borlama işlemi, alüminyum ve silisyum ihtiva eden yatak çelikleri haricinde yüzeyi sertleştirilmiş, temperlenmiş takım çelikleri ve paslanmaz çelikler gibi birçok çelik grubuna, dökme demirlere ve bunlara ilaveten nikel, kobalt, molibden ve titanyum esaslı alaşımlara hatta sermetlere kadar birçok malzemeye uygulanmaktadır. Sertlik ile karakterize edilen bu kaplama türü özellikle adhesiv ve abrasiv aşınma şartlarında birçok kullanım alanı mevcuttur (Sinha, 1991; Bindal, 1991; Şen, 1997). Bunlardan bazıları;

1. Tel çekme aletleri, ringleri ve kovanlarında,
2. Tekstil makinelerinde kullanılan dökme demir dramlarda,
3. Su ayar vanalarının dörtlü kavrama besleyicilerinde (AISI 316 Ti çeliğinden),



4. Ateşleme nozülleri, girdaplı dönme elemanları ve kimya endüstrisinde petrol yataklı makinelerde enjektör başlarında, Çeşitli yüksek performanslı tekerlekler ve önemli motorlarda sürme, sonsuz vida ve helisel dişlilerde (Şen, 1997).

Abrasiv aşınmaya dirençli malzemeler olarak paslanmaz çelik malzemelerden; vidalı sürücüler ve kovanlar, delinmiş veya dar ve küçük açılmış faturalar, makaralar, valf elemanları, şaftlar, tamamlayıcılar, Ti- esaslı malzemelerden ise helikopter türbin çanakları borlanma işleminin başlıca uygulamalarıdır (Şen, 1997).

### **3.4.1 Bor Kaplamaların Aşınma Özellikleri**

Bor kaplamalar, 900-1000 °C'ye kadar kendini koruyan yüksek yüzey sertliği ve yüksek aşınma dirençleri ile karakterize edildiklerinden tribolojik uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tribolojik uygulamalarda en çok kullanılan bor kaplamalar, demir borür ve titanyum diborür kaplamalardır. Demir borür kaplamalar, çok yüksek aşınma direnci ve düşük sürtünme katsayısı sağlayan özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler. Borlanmış çelikler yüksek sertliklerinden ötürü abrasif aşınmaya karşı son derece dirençlidirler. Borür tabakasının kalınlığı işlem şartlarına bağlı olarak 20 µm – 300 µm arasında değişir ve teknik ömründeki artış birkaç kattır. Borlama işlemi sonucunda oluşan yüksek sertlik değerleri ve düşük sürtünme katsayıları bor tabakasının ana aşınma mekanizmalarından olan adhezif, abrezif ve tribo-oksidatif aşınma türlerine dirençli hale getirmektedir. Özellikle kalıp ve dişli gibi makine elemanlarında kullanılan borlama işlemi çeliğe nihai şekil ve özellikler verildikten sonra uygulanabilmesi ve karmaşık şekilli parçaların heryerine uygulanabilmesi dolayısıyla bu makine elemanlarının ömrünü oldukça uzatmaktadır.

## BÖLÜM 4

### AŞINMA

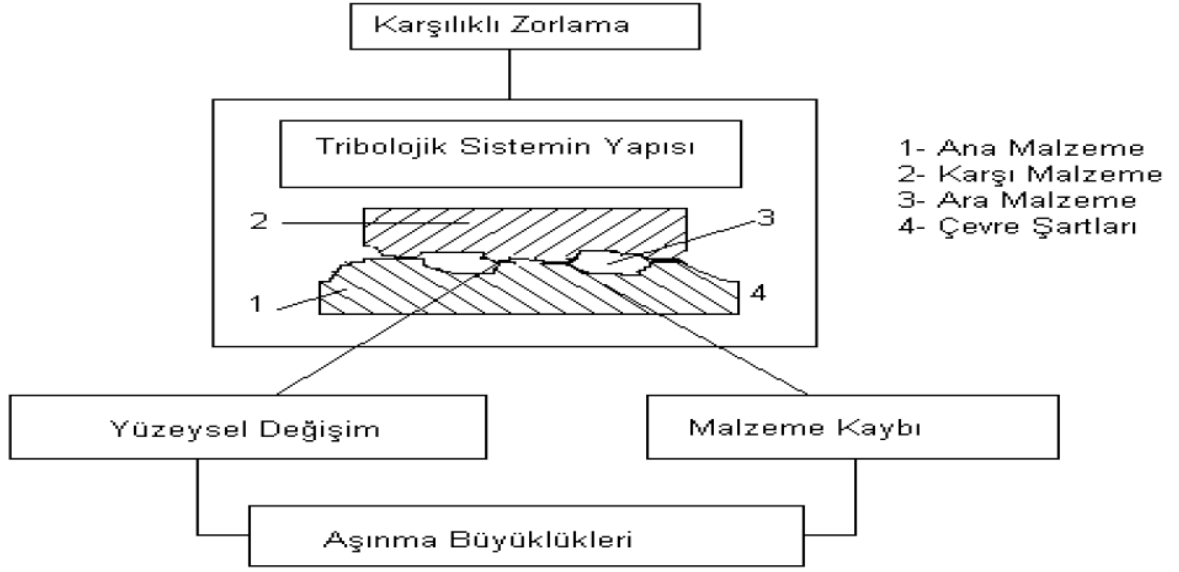
Aşınma genellikle temas eden yüzeylerden mekanik etkilerle malzeme kaybı olarak tanımlanır. Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlar bölgesel erimeler, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel olarak meydana gelen ayrılmalardır. Uygulamada aşınma kapsamına daha çok yüzeyden fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar dâhil edilmektedir.

Bir aşınma sisteminde;

1. Ana malzeme (aşınan)
2. Karşı malzeme (aşındıran)
3. Ara malzeme
4. Yük
5. Hareket

Aşınmanın temel unsurlarıdır. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem, teknikte Tribolojik sistem olarak adlandırılır. Bu tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi şekil 8’de görülmektedir. Aşınma sistemindeki önemli etkilerden biride çevre şartlarıdır. Sistem elemanlarının nem veya korozyon etkileriyle karşı karşıya kalması, aşınmayı hızlandırır. Birbirleri ile temas eden malzemelerde, temas sonucunda oluşan sürtünme uygun yağlama, filtreleme, uygun malzeme seçimi ve uygun tasarım gibi faktörlerle en aza indirilebilir, fakat kesinlikle tümüyle önlenemez. Aşınma çeşitli yönleri ile korozyona benzer. Aşınma da korozyon gibi bir yüzey olayı olduğundan, yüzeyi etkileyen her şey aşınma davranışını da etkiler.

Aşınma hasarları yüzeyden malzeme kaybı, kayma, kırılma, talaş oluşumu, yorulma, kimyasal çözünme ve difüzyon yoluyla gerçekleşebilir. Aşınma parçacıkları 0,01 – 0,02  $\mu\text{m}$  arasında ise hafif aşınma, 1  $\mu\text{m}$  den büyük ise şiddetli aşınma olarak kabul edilir



Şekil 8: Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi (Kayalı vd.1997).

#### 4.1 Aşınmayı etkileyen faktörler

Aşınmayı etkileyen çeşitli faktörler farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler, aşağıda dört grup halinde verilmiştir:

1. Ana malzemeye bağlı faktörler;
  - a) Malzemenin kristal yapısı
  - b) Malzemenin sertliği
  - c) Elastisite modülü
  - d) Deformasyon davranışı
  - e) Yüzey pürüzlüğü
  - f) Malzemenin boyutu
2. Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi
3. Ortamın etkisi
  - a) Sıcaklık
  - b) Nem
  - c) Atmosfer

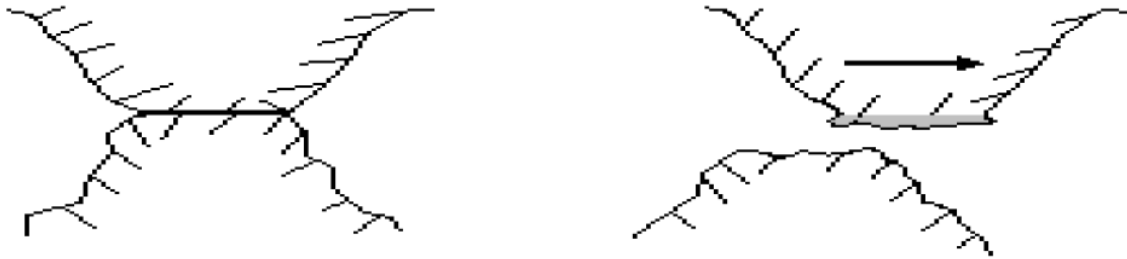
#### 4. Servis koşulları

- a) Basınç
- b) Hız
- c) Kayma yolu

### 4.2 Aşınma Mekanizmaları

#### 4.2.1 Adhezif Aşınma (Yapışma Aşınması)

Yapışma aşınması olarak da adlandırılan adhezif aşınma, en sık rastlanan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle hasarları hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhezif aşınma en genel olarak karşılıklı etkileşim içerisinde birbirlerine göre göreceli olarak hareket eden iki yüzeyin birisinden bir parçacığın koparak diğer yüzeye yapışması sonucunda, bir yüzeyden diğer yüzeye olan malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir. İki ayrı metal yüzeyi basınç altında şekil 9'da olduğu gibi getirildiği zaman, iki ayrı yüzeyde bulunan karşılıklı çıkıntılar sürtünme, ısı, gerekse de soğuk kaynaklaşma etkisiyle birbirleriyle bağ yaparlar. Yüzeylerin birbirlerine karşı olarak yaptığı hareketin devam etmesiyle birleşen iki çıkıntı, bağ kuvvetinin en zayıf olduğu noktadan kopacaktır.



Şekil 9: Adhezif aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi (Kayalı vd. 1997).

#### **Adhezif aşınma, şu önlemlerden bir tanesinin kullanılmasıyla azaltılabilir:**

**Yağlama:** Adhezif aşınma, sıcaklığın bölgesel olarak arttığı bölgelerde meydana geldiğinden, iyi bir yağlamanın yapılmasıyla hem yüzeyler arasında sürtünme azaltılabilir hem de yağlayıcılar sistemden ısıyı uzaklaştırabilir.

**Birbirleri içerisinde çözünmeyen metaller kullanmak:** Birbirleri içerisinde çözünmeyen iki metalin bir arada kullanılmasıyla, adhezif aşınmanın meydana gelişi tamamen ortadan kaldırılabılır.

**Düz yüzeyler kullanmak:** Eğer birbirleriyle etkileşen yüzeylerde soğuk kaynaşmayı meydana getirecek şekilde karşılaşacak çıkıntılar yok ise, adhezif aşınma meydana gelmeyecektir.

**Metal metal temasını önlemek:** Metal yüzeylerde kimyasal filmler oluşturmak, aşınmayı engeller. Örneğin fosfat kaplamalar.

Adhezif aşınma yüzeye etkiyen normal yük, kayma yolu ve aşınan malzemenin yüzey sertliği ile orantılıdır. Tablo 2’de adhezif aşınmaya malzeme özelliklerinin etkisi özetle verilmiştir (Kayalı vd.1997).

Tablo 2: Adhezif Aşınmaya Malzeme Özelliklerinin Etkisi (Kayalı vd.1997).

ÖZELLİKLER	ADHEZİF AŞINMA
Oksitli yüzey	Az
Kübik kristal yapı	Çok
Hegzagonal kristal yapı	Az
Yüksek deformasyon sertleşmesi	Çok
Yüksek sertlik	Az
Yüksek elastisite modülü	Az
Yüksek ergime sıcaklığı	Az
Yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı	Az
Küçük atom yarıçapı	Az

#### 4.2.2 Abrazif Aşınma

Yırtılma ve çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrazif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrazif aşınma en genel olarak, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan partiküllerle basınç altında etkileşmesiyle, sert partiküllerin malzeme yüzeylerinden parçalar koparması şeklinde tanımlanır. Bu mekanizmaya örnek

olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma şekli verilebilir. Bu tip aşınmada sert ve keskin partiküller, malzeme yüzeyinden mikron boyutlu talaş kaldırma etkileri gösterirler. Bu aşınma iki elemanlı veya üç elemanlı olmak üzere ikiye ayrılır. İki elemanlı abrazif aşınma, sürtünen elemanların doğrudan birbirleriyle etkileşimleri sonucu meydana gelir. Üç elemanlı abrazif aşınmada ise, ana ve karşı malzeme arasında serbest ara malzeme olması söz konusu olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeyden ayrılan parçacıkların birer ara malzeme gibi davranmaları da üçüncü eleman olarak görev yapabilir. Abrazif aşınmayı etkileyen iki temel faktör, aşındırıcı parçacık ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı ve teması meydana getiren basıncın büyüklüğüdür. Abrazif aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden normal yük azaltılarak düşürülebilir.

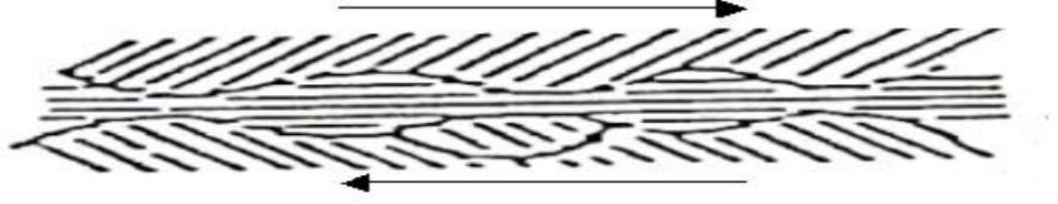
Abrazif aşınmanın engellenmesinde veya abrazif aşınma hızının en aza indirilmesinde aşağıdaki yöntemlere başvurulabilir:

- 1.Yüzey sertliğini arttırmak:** Abrazif aşınmanın engellenmesinde veya aşınma hızının azaltılmasında en etkili yol, malzeme yüzey sertliğinin artırılmasıdır. Ancak bu yöntemin bazı malzemelere uygulanmasıyla gevrek kırılma gibi daha büyük problemlerle karşılaşılır.
- 2.Abrazif parçacıkları uzaklaştırmak:** Abrazif aşınmaya sebebiyet veren sert partiküllerin sistemden uzaklaştırılması ile abrazif aşınma engellenebilir.
- 3.Aşınmış parçaları değiştirmek:** Abrazif aşınmaya uğrayacak parçanın kolay bir şekilde değiştirilmesine imkân verecek dizaynlar geliştirmek ile pratikte en çok kullanılan yöntemlerden birisidir.

#### **4.2.3 Yorulma Aşınması**

Değişken, tekrarlı yüklemeler sonucu meydana gelir. Tribolojik zorlanmalar genel olarak yüzeyde görülen, büyüklüğü zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden, yorulma aşınması birçok aşınma prosesinde görülür.

Neticede malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur, bu ise yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur. Şekil 10'da yorulma aşınmasının şematik gösterilişi verilmiştir.



Şekil 10: Yorulma aşınmasının şematik gösterimi (Kayalı vd. 1997).

Maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerde, plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelir. Bu boşlukların zamanla yüzeye doğru ilerleyerek büyümesi, yüzeyde küçük çukurların ortaya çıkmasına sebep olur. Bu tür aşınma daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeylerinde görülür (Kayalı vd.1997).

#### 4.2.4 Eroziv Aşınma

Bir sıvı ya da gaz akımı tarafından taşınan farklı geometrik boyut ve yapıdaki taneciklerin, temas da buldukları katı yüzeylerinde sürekli darbe etkisi yaparak oluşturdukları hasar erozyon aşınması olarak tarif edilmektedir. Eroziv aşınmada; aşındırıcı taneciklerin ve bunları taşıyan akımın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin farklılık göstermesi yanı sıra, sadece sıvı ya da gaz akımının kendisinin de aşındırıcı madde özelliği teşkil etmesi sebebiyle bu mekanizmaların tek başına, kombineli ve yüksek sıcaklık uygulamalarında malzemede bıraktıkları hasar türleri farklılık gösterir. Bundan dolayı püskürtme, yıkama, kavitasyon-erozyon, erozyon-korozyon, yağdırma ve termal aşınma mekanizmaları adları altında sınıflandırılmaktadır. Pratikte en çok bu aşınma türü, pnomatik iletim hatları ve ekipmanlarında, türbün çarklarında, hidrolik pompalarda, kumlama makineleri ekipmanlarında ve püskürtme lülelerinde karşımıza çıkar. Eroziv aşınmaya maruz kalan parçaları borlamak suretiyle işletme ömürlerinde kayda değer bir artış sağlamak mümkündür (Yıldızlı vd. 2003).

Sıcaklık ve akış hızı arttıkça, aşınma hızlanır. Akış halindeki sıvılarda ani basınç düşmesi ile oluşan gaz kabarcıkları da aşınmaya sebep olur. Bu durum gemi pervanelerinde çok görülür.

Erozif aşınma, aşağıdaki durumlarda meydana gelebilir:

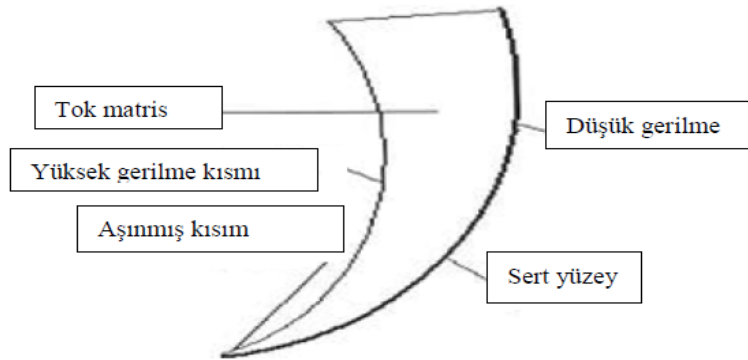
**Sert olmayan malzeme yüzeylerinde oluşan kopma;** Örneğin fan pervanelerinin kullanımı sırasında, ortamda bulunan tozların ve sert partiküllerin pervanenin konkav tarafında hızlı bir şekilde yuvarlanmaları ve kaymaları sırasında bu aşınma türü oluşur.

**Malzeme yüzeyinde kanalların veya yivlerin oluşması;** Bu tür aşınma hasarları, gazların veya sıvıların hızlı bir şekilde arttığı sistemlerde akış hızının veya yönünün değiştiği bölgelerde görülür.

**Köşelerin yuvarlanması;** Erozif aşınma meydana geldiği pervane ve türbin kanatları gibi malzemelerin şekillerinde köşelerin yuvarlanması şeklinde değişiklikler meydana gelebilir.

#### 4.2.5 Öğütmeli Aşınma (Grinding Wear)

Öğütmeli aşınma, yüksek basınçlar altındaki partiküllerin metal yüzeyleri ile düşük hızlarda karşılaşmaları sonucunda, metal yüzeyinden parçacıkların kesilerek veya çok sayıda ufak çizikler açılarak kopartılması ile meydana gelir. Bu yüksek basınç ve düşük hız kombinasyonu, genellikle kepçe gibi ağır iş makinelerinin çalışma koşullarında meydana geldiği için, bu araçların kesici uç yüzeylerinde Şekil 11'den de görüldüğü gibi bu hasar türü meydana gelir.



Şekil 11: Öğütmeli aşınmanın şematik gösterilişi (Kayalı vd.1997).

Öğütmeli aşınmaya diğer bir örnek ise, bilyeli değirmenler olarak gösterilebilir. Öğütmeli aşınmayı engellemek için malzeme sertliğini arttırmak, akla gelen ilk çözümdür. Ancak sertlik artarsa gevrek kırılma şansı da artacağı için bu yöntemin uygulanması mümkün değildir. Bu tip aşınmayı engellemek için yapılan girişimlerin başarılı olmaması nedeniyle,



malzemenin kontrollü olarak aşındırılması yoluna gidilmeye çalışılmıştır. Kontrollü aşınma ile malzeme kendi kendine bilenerken, körlleme sebebiyle meydana gelen performans düşüklüğünden kurtulabilinir (Kayalı vd.1997).

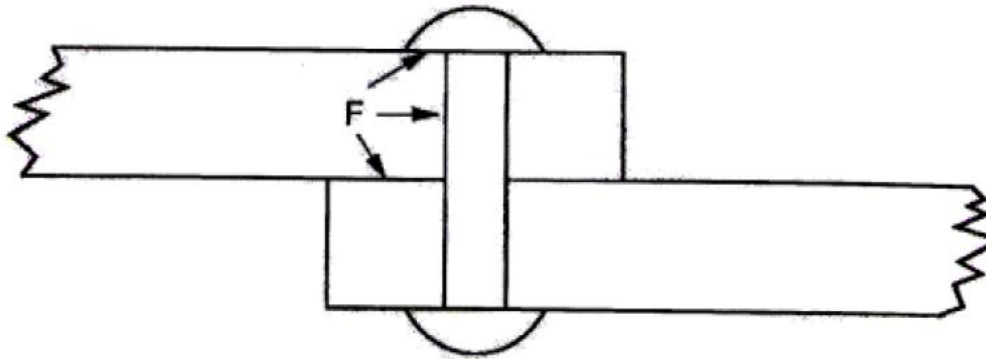
#### 4.2.6 Oymalı Aşınma (Gouging Wear)

Oymalı aşınma malzeme yüzeyinin çok yüksek gerilmelerdeki çarpma durumlarında, yüzeyden bir parçanın kesilerek veya oyularak kopmasıyla meydana gelir. Bu tip aşınmaya genellikle hafriyat, madencilik, petrol kuyularını delme işlemi ve benzeri koşullarda çalışan malzemelerin kesme ve delme görevi yapan kısımlarında görülür. Bu işlemler sırasında sert abrazif parçacıkların çok yüksek gerilmeler altında malzeme yüzeyine çarpmaları ile yüzeylerde hızlı bir şekilde hasar oluşumu meydana gelir. Oymalı aşınma diğer aşınma türlerine göre çok daha hızlı olarak geliştiğinden, bu aşınmaya uğrayan parçaların yenileriyle değiştirilerek kullanılması daha ekonomik olmaktadır (Kayalı vd.1997).

#### 4.2.7 Kazımalı Aşınma (Fretting Wear)

Kazımalı aşınma, karşılaşan yüzeylerde mikro kaynaşmanın meydana geldiği adhezif aşınmaya bir miktar benzemektedir. Aralarındaki fark ise şu şekilde açıklanabilir:

Adhezif aşınma, birbirleri üzerinde kayan yüzeylerde meydana gelirken, kazımalı aşınma birbirlerine göre hareket etmeyen yüzeylerde meydana gelir. Ancak kazımalı aşınma, çok düşük genlikteki hareketlerin (vibrasyon) meydana geldiği sistemlerde, Şekil 12'den de görüldüğü gibi mikro kaynaşmanın oluşması ile meydana gelir.



Şekil 12: Kazımalı aşınmanın şematik gösterilişi (Kayalı vd.1997).

Kazımalı aşınma vibrasyonlu ortamlarda çalışan somun, perçin gibi bağlantı elemanları ile birleştirilmiş sistemlerde, otomobil şaftlarının birleşme noktalarında ve yataklarda en yaygın olarak rastlanan hasar oluşum mekanizmasıdır. Kazımalı aşınmayı engellemek kolay değildir. Ancak bu aşınma mekanizmasının meydana getirdiği hasarlar, aşağıda verilen uygulamalarla en aza indirilebilir:

1. Vibrasyonun azaltılması veya giderilmesi
2. Ara yüzeydeki kaymaları azaltmak veya gidermek.
3. Bağlantı noktalarında elastomer kullanmak.
4. Bağlantı noktalarının yağlanması.
5. Kırılmayı engellemek.

#### **4.2.8 Korozi Aşınma**

Korozi aşınma olayında çalışma ortamıyla parça yüzeyleri arasındaki etkileşim etkin rol oynamaktadır. Korozi aşınmada, aşınma olayı iki kademe gerçekleşmektedir:

1. Temas halindeki yüzeyler ortamla reaksiyona girerler ve yüzeyde reaksiyon ürünlerinden oluşan bir tabaka meydana gelir.
2. Daha sonra, temas noktasında çatlak oluşumu veya abrazyon etkilerinden dolayı reaksiyon tabakası hasara uğrar.

Triboksidasyon aşınması adı da verilen korozi aşınma durumunda, ana malzeme ile karşı malzeme arasındaki tribolojik zorlanmalardan dolayı meydana gelen kimyasal reaksiyon etkindir. Malzeme yüzeylerinin hava ile reaksiyona girerek oluşturduğu yüzey tabakaları (oksit tabakası) aşınmayı azaltmasına rağmen, bu yüzey tabakalarının triboksidasyon sonucu özelliklerinin değişmesi, aşınmayı hızlandırmaktadır. Yağ gibi kimyasal maddeler bulunan ortamda çalışan makine parçalarının yüzeylerinde oluşan yüzey tabakalarının bir kısmının tribolojik zorlamalar ile kırılması ve aşındırıcı parçacıklar oluşturması, aşınmayı artırır. Triboksidasyon aşınması, özellikle metalik malzeme yüzeylerinde görülür. Neticede malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur; bu ise, yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur. Büyük oranda aşınmaya sebep olan bu aşınma mekanizmaları dışında, “Tribosüblimasyon” ve “Yayınma” mekanizmalarından da bahsetmek mümkündür. Tribosüblimasyon, yüzeydeki sıcaklığın sürtünme ısıyla yükselmesi sonucu etkin hale geçer. Yayınma ise, tribolojik zorlanmada ana malzemenin üst

yüzeylerindeki atomların yayılma ile karşı malzemeye geçmesi sonucunda malzeme kaybının meydana gelmesidir (Kayalı vd.1997).

### **4.3 Malzemede Aşınmanın Ölçülmesi**

#### **4.3.1 Ağırlık Farkı ile Ölçme**

Kullanılan ölçme aletinin hassas olması nedeniyle çok sık kullanılan metottur. Deney numunelerinin her ölçümü için, yerinden çıkarılıp ölçülmesi en büyük dezavantajdır. Ağırlık kaybının ölçülmesi için 10-4 veya 10-5 hassasiyetindeki teraziler kullanılır. Aşınma miktarı gram veya miligram olarak bulunur.

#### **4.3.2 Kalınlık Ölçme Metodu**

Aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değerinin karşılaştırılması ile elde edilir. Kalınlık olarak tespit edilen değer, hacimsel olarak tespit edilip birim hacimdeki aşınma miktarı elde edilir. Kalınlık hassas ölçme aletleri ile  $\pm 1\mu\text{m}$  duyarlılıkta ölçülebilir.

#### **4.3.3 İz Değişiminin Ölçülmesi Metodu**

Sürtünme yüzeyi bölgesine geometrisi belirli bir iz, plastik deformasyonla oluşturulur. Deney boyunca bu iz karakteristik bir boyutunun değişimi ölçülür. Uygulamalarda en çok kullanılan alet HV veya HB sertlik ölçme aletleridir.

#### **4.3.4 Radyo İzotoplarla Ölçme Metodu**

Sürtünmenin yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü  $\alpha$ - parçacıkları ile bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınma miktarının yüksek derecede hassasiyetle ölçülmesi ve sistem içerisinde çalışma şartları değiştirmeden ölçü alınabilmesi en büyük avantajıdır (Keleştimur, 1989).

## BÖLÜM 5

### LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

Sondaj matkapları üzerinde yapılan çalışmalar WC esaslı kimyasal bileşimin değişimi ve sinterleme şartlarının değişimine bağlı matkaplar üzerine yoğunlaşmıştır. Sondaj matkapları üzerindeki kaplama çalışmaları ise CVD ve PVD yöntemleri ile TiN, TiC, TiCN, AlTiN, CrN, CrC, ZrN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vb. Kaplamalar üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. PVD ile üretilen kaplamaların optimum kaplama kalınlıklarının WC esaslı malzemeler için 3-6 µm, HSS çelikleri için ise 3 µm olması, bir CVD kaplama prosesi 3 saat ısıtma, 4 saat kaplama ve 7 saat soğutma olmak üzere toplam 14 saat sürmektedir. Kaplama işlemi koruyucu atmosfer ortamında ve vakumda yapılması gibi olumsuzluklar bu kaplama yöntemlerinin sınırlamalarıdır (Astakhov, 2006; Smith, 2008).

Çelik dişli sondaj matkapları üzerinde borlama ile ilgili literatürde bir yayına rastlanmamıştır. Ancak yapılan kaplama çalışmalarında kullanılan kaplama malzemelerinin çoğunda Bor elementi katkılarının bulunduğu ve olumlu katkıları olduğu belirtilen çalışmalar gözlemlenmiştir. Sondaj matkapları üzerine yapılan son 5 yıldaki çalışmalardan bazıları güncel sıralamaya göre aşağıda verilmiştir.

X. Yang vd. (2014) WC esaslı takımların kaya delme işlemlerindeki aşınmanın sebebinin oyuk korozyonu (pitting) olduğunu belirtmektedirler. Pitting'in kayanın çizme, çarpma ve malzemeyi yorma etkenlerinden meydana gelmediği, matkabın kayaya teması sonucu ani yükselen ısının etkisiyle meydana gelen termal gerilmeden kaynaklandığını belirtmektedirler. Ayrıca yüzey pittinglerinin çoğunun termal gerilmeden dolayı WC ile Co fazının birleşme noktalarında meydana geldiğini belirtmektedirler

M. Reyes ve A Neville. (2014) Kobalt bazlı, WC-Cu bazlı ve WC-Ni (Ni-Cr-Si-B oksit asitlen ve toz püskürtme ile kaplanmış) bazlı üç çeşit matkabı deniz koşullarındaki aşınma ve korozyon davranışlarını inceledikleri çalışmalarında sermet ile yüzeyin kaplanmasının verimli olmadığı mikro yapının daha önemli bir etken olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca tüm matkaplardaki aşınma ve korozyon davranışlarının karmaşık olduğu, tribokorozyonun mekanik proseslerden, elektro kimyasal proseslerden ve delinecek yüzey ile matkabın etkileşim açısından etkilendiğini belirtmişlerdir

M. Figueroa vd. (2014) yaptıkları çalışmada ticari olarak temin edilen 4 matkabın aynı koşullar altındaki aşınma dirençlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda yüzey sertliğinin matkap performansında iyi gösterge olmadığı, daha çok malzemenin tüm sertliğinin ve bilya üzerindeki aşınma kraterinin daha iyi bir gösterge olduğu sonucuna varmışlardır

Guobiao vd. (2013 ) % 11 Co içeren WC sinterlenmiş karbürlere;  $B_4C$ ,  $KBF_4$ ,  $SiC$ ,  $Al_2O_3$ , Mg tozu, grafit partikülleri ve nadir toprak elementlerinden oluşan bir borlayıcı ortamda, Ar ve  $H_2$  koruyucu atmosferinde,  $950\text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık ve 5 saat süre altında yaptıkları borlama işlemi sonucunda;  $CoW_2B_2$ ,  $CoWB$  ve çok az miktarda  $Co-C-W-C$ 'den oluşan bir yapı elde ettiklerini belirtmişlerdir. Aşınma test sonuçlarına göre borlanmamış numuneye göre % 30 iyileşme sağlandığını bildirmişlerdir.

F.A. Almedia vd. (2011) WC içerikli sinterlenmiş matkapların yüksek sertli ve WC doğasındaki abrasiv aşınmadan dolayı takım ömürlerinin düşük olduğundan dolayı bu malzemeleri yüksek flamet kimyasal buhar biriktirme metodu ile (1940-1980 C) nanokristal elmas (NCD) ile kapladıkları çalışmalarında kaplamanın adhezyon dayanımı ve takımların kesme verimliliğini incelemişlerdir. Bu çalışmada iyi bir adhezyon dayanımına sahip bir kaplama tabakasının elde edilmesinde sıcaklığın büyük bir etken olduğu belirtilmiş ve kaplanmamış matkaplardaki kesme hızının 20 mm/dak iken kaplanmış matkapta kesme hızının 940 mm/dak olduğunu belirtmişlerdir.

Wei vd. (2010) yaptığı çalışmada farklı ön işlemler yapıldıktan sonra WC-Co altlıklar üzerine sıcak filamanlı CVD yöntemi ile mikro ve nanokristalin elmas kaplamışlardır. Burada yaptıkları ön işlemlerden biriside borlama ısıl işlemidir. Yaptıkları XRD analizinde borlanmış tabakada  $CoW_2B_2$ , WC ve çok az miktarlarda  $CoB$  ile  $CoWB$  bulunduğunu saptamışlardır. Yüzeye yakın bölgelerdeki Co'ın Co-W-B üçlü fazını oluşturarak elmas filmin büyüme morfolojisine olumlu etkilediğini savunmuşlardır.

Baştürk vd. (2010) plazma ortamında borlanmış WC-Co kesici takımlar ile Ti-6Al-4V işlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, borlama yapılmayan kesici takımındaki mikrosertlik değeri 1448 HV iken, borlanmış takımlarda en yüksek mikro sertlik değeri 3100 HV olarak ölçülmüştür. Takımların performansı tornalama ve yüzey frezeleme operasyonları ile test edilmiştir. Farklı süre ve sıcaklıklarda borlanan 4 farklı kesici takımın serbest yüzey aşınması değerleri borlama yapılmayan kesici takımla karşılaştırılmış, bunun

yanında kesme kuvvetlerindeki değişimler elde edilmiştir. Burada en yüksek takım ömrü en düşük işlem sıcaklığında (600°C) ve en yüksek işlem süresinde (6 saat) plazma borlamaya maruz kalan takımlarda meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Ülkemizde sondaj matkapları Tungsten karbür gibi aşınma direnci ve yüksek sıcaklıktaki dayanımı yüksek olan malzemelerden çelik uçlara göre daha dayanıklı fakat pahalı uçlar sipariş üzerine ve sınırlı sayıda üretilmelerine dair çalışmalar olsa da (URL 2, 2013) bu uçların satışı henüz yapılmamaktadır. Ayrıca CBN kaplama (Kaftanoğlu vd. 2012) veya oksitasetilen alevi, Termal püskürtme sistemleri ile Tungsten karbür kaplama (URL 3, 2013) yüzey sertleştirme adı altında çeşitli kaplamalar tamir amaçlı yapılmaktadır. Fakat yapılan bu kaplamaların sadece sondaj matkaplarının aşınmış yanak kısımlarına yapılabilmesi (çelik dişlere kaplama yapılması ile orijinal diş şeklinin verilmesinin zorluğu) 5 saat gibi sürede yapılması ve bu sistemlerin kurulum maliyetlerinin çok yüksek olması bu yöntemleri sınırlandırmaktadır. Borlama işlemi ile sondaj takımının tüm yüzeyleri kaplanacağından büyük bir üstünlük sağlayacağı açıktır. Ayrıca Nano bor tozu ile borlama ile çok daha kısa sürelerde kaplama tabakası elde edilebileceği ve arzu edilen aşınma direncine ulaşılarak takım ömrünün artırılacağı öngörülmektedir. Nano bor tozu kullanımıyla azami olarak 100 dakika gibi düşük bir kaplama süresinin kullanılması kaplama maliyetini düşürecektir. Temokimyasal yöntem kullanılmasının sebebi: Mevcut kaplama yöntemlerinden plazma püskürtme yönteminde kaplama tabakası ve ana malzeme arasında sadece mekanik bir bağlanmanın olması, dinamik bir kullanım alanına sahip olan sondaj kaplama tabakasının kalkmasına ve ana malzemeden ayrılmasına sebep olmaktadır. Çalışmada kullandığımız kutu sementasyon yönteminde kaplama tabakası ve ana malzeme arasında kimyasal bir bağ oluşacak ve kaplama tabakasının ana malzemeden ayrılması çok zor olacaktır. Yapılan çalışma ile zaman, enerji ve ekonomik faktörler bakımından daha avantajlı bir yöntemin endüstriye kazandırılmıştır.

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 6.1 Amaç

Çalışmada sondaj uygulamalarında yaygın şekilde kullanılmakta olan fakat takım ömürlerinin düşük olması sebebiyle sondaj maliyetlerinin artışına neden olan çelik uçlu sondaj takımların (gövde ve konileri de dâhil) ömürlerinin artırılması için borlanmıştır. Yapılan çalışma ile matkap ucunun tüm kısımları sertleştirileceğinden çelik dişli sondaj matkaplarında iyleşme sağlamasının yanında WC uçların yerlerinde çıkmaları sorununun çözümüne de katkıda bulunması beklenmektedir. Bu takımlarda hedeflenen aşınma direncinin elde edilmesi durumunda, sondaj maliyetlerinin düşeceği, derin sondaj uygulamaları için kullanılan ve 5-10 kat daha pahalı olan tungsten karbid uçlu takımların yerine daha ucuz olan bu takımların kullanılabilirliğinin sağlanması amacıyla yapılmıştır.

Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada, Ni-Mo-Cr esaslı çelik dişli sondaj matkaplarından 70x20x10 ölçülerinde çıkarılan çelik numuneler altlık malzeme olarak tercih edilmiştir. Altlık malzeme üzerine 10-50 nm boyutuna sahip nano bor tozu kullanılarak, termo kimyasal yöntem ile numunelerin yüzeyleri bor kaplanmıştır. Kaplama işlemleri nano boyuttaki bor tozunun oksijen affinitesi göz önünde bulundurularak vakum ortamında açılmış ve deneyler Ar ortamında 1000 °C sıcaklık ve 30, 45, 60, 75, 90, 105 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. Kaplama işleminin ardından numuneler, optik mikroskobu, SEM, X-ışını, mikrosertlik, ve mikro abrasyon aşınma testleri uygulanmış ve herhangi bir işlem uygulanmayan numune ile kıyaslanarak yorumlanmıştır.

#### 6.2 Toz ve Altlık Malzemelerin Karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan Sondaj matkapları proje ekibinin sektör çalışanları ile yapmış olduğu görüşmeler ve fabrika ziyaretleri ile belirlenmiştir. Kullanılan altlık çeliklerin spektral analiz sonucu Ni-Mo alaşımlı çelikler oldukları belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3: Kaplanan numunelerin kimyasal bileşimi

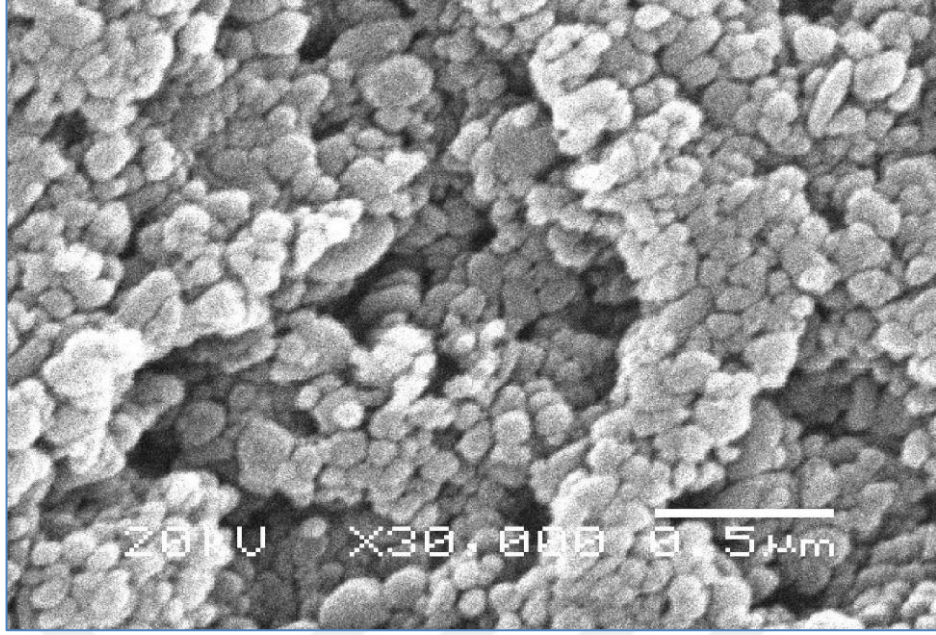
Fe	Ni	Mo	C	Si	Cr	Mn	Diğer
93,6	3,82	0,42	0,2	0,21	0,6	0,34	0,81

Kaplama tozu olarak kimyasal bileşimi Tablo 3’de, SEM görünümü Şekil 13’de verilen ve AISI 304 çeliği üzerindeki daha önceki çalışmalarımızda mikron boyutlu bor tozlarına göre çok daha iyi sertlik, aşınma ve korozyon dayanımı elde edilmesini sağlayan 10-50 nm boyutundaki Nanobor tozu kullanıldı. Aktivatör olarak NaBF<sub>4</sub> kullanıldı. Nano bor tozunun O<sub>2</sub> karşı affinitesi olduğundan bor tozunun potaya doldurulması Ar gazı ortamında yapılmıştır.

Tablo 4: Nanobor tozunun kimyasal bileşimi (Günen, 2012).

Ortalama Partikül Boyutu	10-50 nm
Şekil	Amorf
Safılık	% 99,7
Safsızlıklar (diğer alaşım elementleri)	
Mg	0.0005
Al	0,022
Ca	0,0013
Ti	0,0017
Cr	0,013
Fe	0,035
Ni	0,004
Cn	0.0009
Cu	0.18
Si	0.01





Şekil 13: Nanobor tozunun SEM görünümü (Güven, 2012).

### 6.3 Numunelerin Kaplama İşlemleri İçin Hazırlanması

Çelik dişli sondaj matkapları üretici firmalar tarafından farklı ısıl işlemlere tutulduğundan ve bu ticari bilgiler kullanıcılar ile paylaşılmadığından kesme işlemi esnasında zorluklar ile karşılaşılmıştır. Sanayide kullanılan Nitrürlenmiş testereler ile kesim işlemleri gerçekleştirilemediğinden PCD ( sentetik elmas) şerit testereler sipariş edilmiş ve bu testerelerde düşük kesme hızları ile kesim işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Takımların ağır ve kaba olmaları nedeniyle Şekil 14 de görüldüğü şekilde otomatik şerit testerede öncelikli olarak sondaj matkapları pin gövde ve uç şeklinde 3 kısma ayrıldı. Kesme işlemi esnasındaki ısıdan dolayı yapıda herhangi bir değişikliğe meydan vermemek için soğutma sıvısı kullanıldı.



Şekil 14: Sondaj Matkaplarının kaplama işlemleri için kesimi

Kayaçla temas eden tüm bölgelerinden (uç-gövde) Abrasiv aşınma deney testlerine uygun olacak şekilde enaz 70x20x10 ebatında her bir takım ucundan yeteri sayıda numune şerit testere ile kesildi.

Bor kaplama tabakasının daha iyi yapışması için numunelerin yüzeyi satıh taşlama tezgâhı ile parlatılarak kaplama işlemi için hazır hale getirildi.

Kaplama işlemlerinin gerçekleştirileceği atmosfer kontrollü ve vakumlama özelliğine sahip fırın özel imalat olarak bir firmaya yaptırılmıştır. Yapılan fırın ile ilgili patent alma araştırmaları yürütüldüğünden resimlerine yer verilmemiştir.

#### 6.4 Kaplamanın Üretilmesi

Deneylerde borlama ortamı olarak, Tablo 4’ de kimyasal bileşimi ve Şekil 13’de SEM görüntüsü verilen 10–50 nm tane boyutuna sahip ticari olarak temin edilen Nanobor tozu ve Aktivatör olarak  $\text{NaBF}_4$  tuzu, kullanılmıştır. Çalışmada maksimum 1 saat süre ile 1000-1500 HV sertlik elde edilmesi hedeflendiğinden ve daha önceki çalışmalarda Ekabor tozuna göre çok daha iyi aşınma direnci sağladığı belirlenen Nanobor tozu kullanılmıştır (Günen vd. 2014). Yapılan kaplama çalışmalarında yüzey sertliğinin 30 dakikada bile 1300 HV’nin üstünde olduğu belirlenmiştir. Bu durum toz ve yöntem seçiminin doğruluğunu göstermektedir.

#### 6.4.1 Borlama Ortamının Hazırlanması

Yüzeyi satih taşlama tezgâhı ile taşlanmış numuneler, Nanobor tozunun oksijene karşı olan affinitesi göz önünde bulundurularak vakumlama işlemi sonrası argon gazı ortamda numunelerin tüm yüzeylerine önceden hazırlanan %95 Nanobor tozu ve %5  $KBF_4$  karışım tozu temas edecek şekilde paslanmaz çelikten imal edilen potaya yerleştirilmiştir (şekil 15). Karışımın homojen olması için borlama malzemesi ve aktivatör malzeme hasas terazi ile tartılarak kapaklı plastik bir kutu içine yerleştirilmiş ve potaların dolumu sırasında bocalanarak tozların homojen karışımı sağlanmıştır. Deney sırasında potaların kapakları hava almayacak şekilde sıkıca kapatılmıştır (Günen A, 2012).



Şekil 15: Borlama işleminde kullanılan pota

#### 6.4.2 Borlama İşlemi

Borlama işlemi için hazır hale getirilmiş potalar 1000 °C’de 30, 45, 60, 75, 90 ve 105 dakika süreyle borlama işlemine tabi tutulmuştur. Potalar, deney sıcaklığına önceden ulaşmış olan fırın içerisine yerleştirilmiş ve istenilen süre bekletilmiştir. Deney sonrası numuneler fırın dışına alınarak açık hava ortamında soğumaya bırakılmıştır. Deney sonunda numunelerinin üzerinde kaplama tabakası olduğu, herhangi bir kalıntı toz partikülünün yapışmadığı ve gözle görünür bir yüzey pürüzlülüğünün olmadığı gözlenmiştir. (Şekil 16)



Şekil 16: 1000 °C'de 60 dakika süre ile borlanan numunelerin yüzey görünümü

### **6.5 Mikroyapı İncelemeleri için Numune Hazırlanması ve Mikroyapı Çalışmaları**

Borlanan numuneler, mikroyapı incelemeleri için 20x20x10 mm boyutunda uygun ölçülerde kesilmiştir. Kesme işlemleri Metkon metacut-M250 hassas kesme cihazında yapılmıştır. Kesme diski 1,5 mm kalınlığındaki SiC kesici diskidir.

Borlanan numunelerden metalografik inceleme için uygun ölçülerde kesilen numuneler dikdörtgen kesit yüzeyleri görünecek şekilde soğuk bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numunelerin kesit yüzeyleri parlatma cihazı ile sırasıyla 240-320-400-600-800-1000-1200'lük zımparalama işleminden sonra önce alümina pasta sonra 1 µm elmas pasta ile parlatma işlemleri yapılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler %2 nital ve %98 saf su çözeltisi ile dağlanarak mikroyapılar ortaya çıkarılmıştır.

### **6.6 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri**

Mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numunelerin SEM ve EDX analizleri, Bartın Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi Laboratuvarında bulunan Scanning Elektron Mikroskobu (SEM) cihazıyla yapılmıştır. Kaplama tabakası ve difüzyon bölgesinde oluşan fazlar, SEM cihazına adapte edilmiş olan EDS analiz sistemi kullanılarak belirlenmiştir.

### **6.7 Optik Mikroskopi İncelemeleri ve Borür Tabakası Kalınlık Ölçümleri**

Metalografik olarak hazırlanmış numunelerin kaplama yüzeylerinin karakteristiklerinin mikroskopi incelemeleri ve borür tabakası kalınlıklarının ölçülmesi için Nikon MA-100

mikroskop ve bu mikroskop üzerine monte edilmiş Clemex görüntü analiz sistemi kullanılmıştır. Borür tabaka kalınlığı, borlama için geliştirilmiş tabaka kalınlığı belirleme yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Tabaka kalınlığı olarak en dış yüzeyden uç kısmına kadar olan bölge seçilmiş ve tabaka kalınlıkları 10 ölçüm ortalaması alınarak belirlenmiştir.

### **6.8 Borür Tabakasının Sertlik Ölçümlerinin Yapılması**

Numunelerin mikrosertlik deneyleri, Future Tech FM-700 mikrosertlik cihazı ile 10 sn süre ve 100 gf yük kullanılarak yapılmıştır.

Doğru bir sertlik değerinin elde edilebilmesi için, borür tabakası kesit yüzeyinden ana malzeye doğru, her bir numunenin yüzeye eşdeğer uzaklıktaki noktalarından 3'er adet sertlik ölçümünün aritmetik ortalaması alınmış ve elde edilen bu değer o noktanın değeri olarak verilmiştir. Ayrıca elde edilen veriler, yüzeyden mesafeye, borlama sıcaklıklarına ve borlama sürelerine göre hazırlanan grafikler ile de incelenmiştir.

### **6.9 X ışınları Analizi**

Borür tabakasında oluşan fazları belirlemek amacıyla Rigaku RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü XRD cihazı kullanılmıştır. Borlama sıcaklığının etkilerini görebilmek amacıyla 950 °C ve 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile Nanobor tozu ile ve 950 °C ile 1000 950 °C'de 4 saat süre ile Ekabor 3 tozu ile yüzey alaşımlandırma işlemine tabi tutulan numuneler incelenmiştir.

### **6.10 Mikro-Abrasyon Aşınma Testinin uygulanması**

Aşınma deneylerinde serbest ve sabit top mikro-abrasyon aşınma yöntemleri kullanılmıştır. Bu deney yönteminin kullanılmasının sebebi yüzeyde oluşturulan ince borür katmanının aşınma direncini doğru bir şekilde tespit edebilmesi ve üretilen numunelerin sert kaya ve partiküllerin aşındırmasına maruz kalması sebebiyledir. Sabit top mikro-abrasyon test yönteminde, bilya belli yükler altında numune üzerinde hareket eder. Bilyaların numune üzerinde oluşturduğu dairesel kesitli iz SEM veya optik mikroskop altında ölçülerek, elde edilen değerler ile belirli eşitlikler kullanılarak hacim kaybı hesaplanmakta ve numunenin aşınma dayanımları belirlenmektedir.

Deneyleerde 1" (25,4mm) apında AISI 5210 (100Cr6) rulman çeliği kullanılmıştır. Aşındırıcı olarak 800 mesh boyutunda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC aşındırıcı solüsyon kullanılmıştır. Bilya şaft hızı olarak 90 ve 140 d/dk lık hızlar kullanılmıştır. Ayrıca aşınma testi sonrası yüzeyleerde meydana gelen aşınma izleri SEM Mikroskobu kullanılarak tespit edilmiştir.



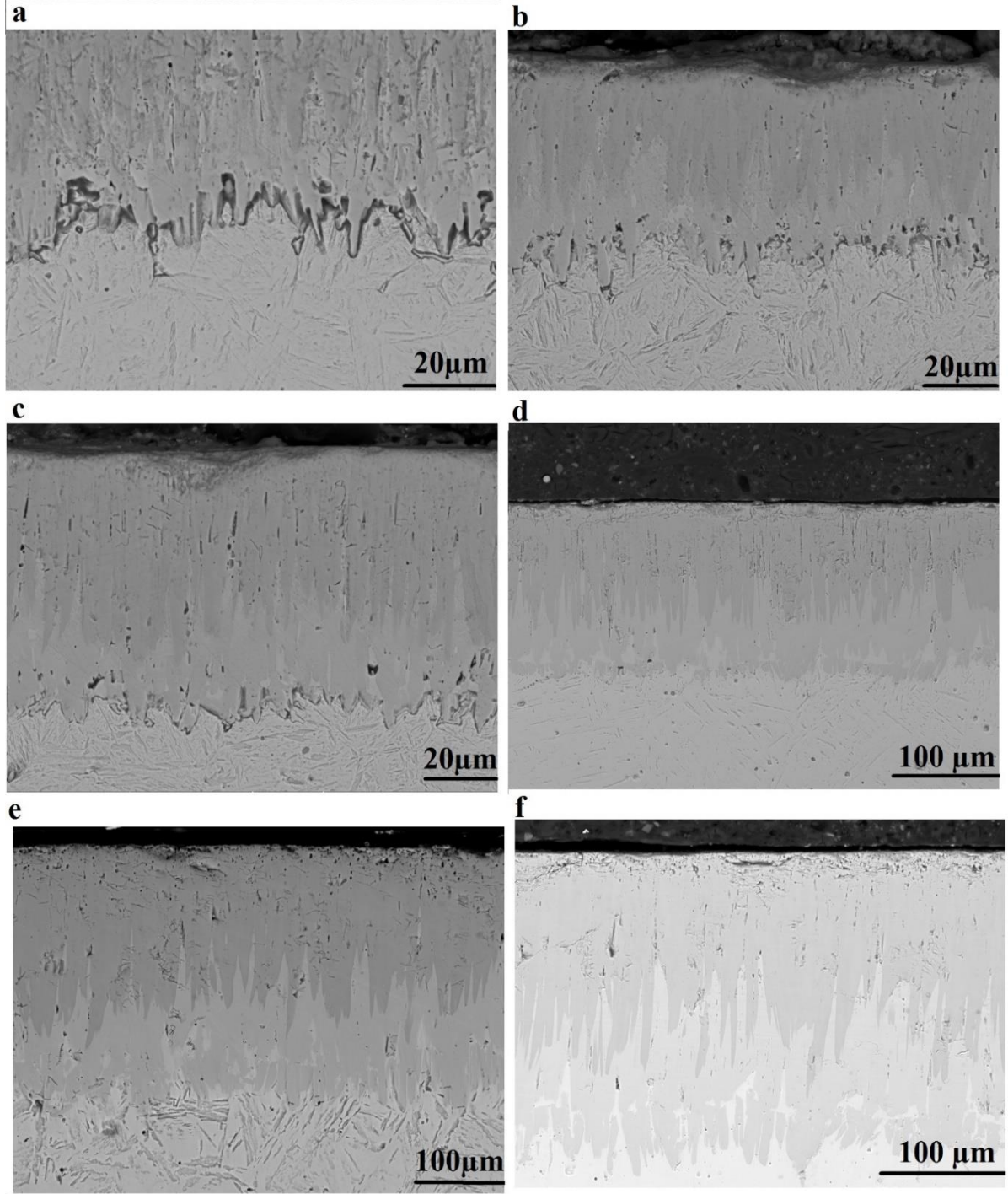
## BÖLÜM 7

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Tablo 3’de kimyasal bileşimleri verilen Ni-Cr-Mo esaslı çelik dişli sondaj matkaplarının 1000 °C sıcaklıkta ve 30,45,60,75,90,105 dakika sürelerde termokimyasal olarak kutu borlama tekniği ile elemental nanobor tozu kullanılarak borlanmıştır. Çeliklerin işlem şartlarına bağlı olarak, mikroyapının ve çeliğin yüzeyinde oluşan borür tabakasının özelliklerinin ve faz dağılımlarının değiştiği görülmüştür. Borlanan bu çeliklerin borür tabaka türleri ve mekanik davranışları; geleneksel metalografi yöntemleri, X-ışınları difraksiyon analizi, taramalı elektron analizi, mekanik testler (aşınma ve sertlik testi) yardımıyla incelenmiş ve borlanmamış numune ile kıyaslanmıştır.

#### 7.1 Borlanmış Ni-Cr-Mo Esaslı Çeliklerin Yüzey Karakterizasyonu

Şekil 17’de 1000°C’de farklı işlem süreleri ile borlanmış numunelerin SEM mikroyapı resimleri verilmiştir. Borlama işlemi sonucunda numuneler üzerinde oluşan borür fazlarının testere dişli bir yapı (saw-toothed) şeklinde oluştuğu görülmektedir. Metalografik resimlerden görüldüğü üzere koyu bölgeler FeB, açık renkteki bölgeler ise Fe<sub>2</sub>B fazını göstermektedir. Literatürde de çeliklerin borlanması sonucunda FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarından meydana geldiği ve bu fazların mikroyapı incelemeler sonucunda belirgin bir şekilde ayrılmakta olduğu bilinmektedir (Culha vd. 2008, Campos-Silva vd. 2008, Gunen vd. 2014 ).Borlama sıcaklığı sabit, borlama süresinin artmasıyla birlikte borür tabaka kalınlıklarında artışlar gözlenmiştir. İşlemin difüzyon kontrollü bir işlem olması dolayısıyla bu durum beklenen bir sonuçtur (Günen vd. 2013).Daha önceki çalışmalarda da borlama sıcaklık ve süresinin artmasıyla borür tabaka kalınlığının arttığı belirtilmiştir (Tabur vd. 2009;Oliveria vd. 2010,). Ancak Nanobor tozunun sahip olduğu tane boyutu dolayısıyla daha yüksek kaplama sürelerinin kaplama tabakasının yüzeyinden dökülmesine yol açtığı belirtilmiştir (Günen, 2012).



Şekil 17: 1000 °C’de (a) 30 dakika, (b) 45 dakika, (c) 60 dakika, (d)75 dakika, (e) 90 dakika ve (f) 105 dakika süre ile borlanan numunelerin SEM resimleri.

## 7.2 Borlama Sonucunda Elde Edilen Borür Tabaka Kalınlıkları ve Sertlik Ölçümleri

Tablo 5’de borlanmış numunelerin borür tabaka kalınlıkları ve sertlik değerleri verilmiştir.

Nikon MA-100 optik mikroskoba bağlı bir aparat yardımıyla 10 farklı yerden alınan



değerlerin aritmetik ortalamasından bor tabakası kalınlıkları hesaplanmıştır. Mikrosertlik değerleri ise Future Tech FM-700 marka mikrosertlik aleti ile 100 gf yük altında 10 sn bekletilerek 5 sertlik değerinin ortalaması alınarak bulunmuştur.

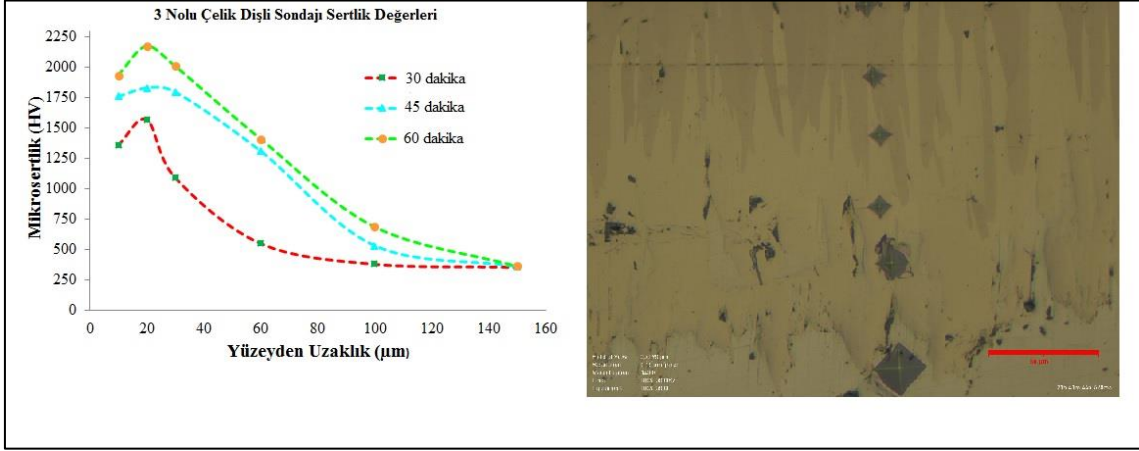
Tablo 5: Borlama işlemi sonucu elde edilen borür tabakası ve sertlik değerleri

Temperature (°C )	Duration (minute)	Layer thickness (µm)	Micro- hardness (HV <sub>0.1</sub> )
1000	30	35.29	1300
	45	50.65	1395
	60	73.36	2176
	75	125.50	2205
	90	145,00	2251
	105	202.56	2333

Tablo 5 incelendiğinde borlama süresinin artmasıyla birlikte borür tabaka kalınlıklarının ve sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu durum literatürle uyum göstermektedir (Özdemir vd. 2006; Oliveria vd 2010; Günen vd. 2014). En düşük tabaka kalınlığı ve sertlik değeri 30 dakika ile borlanan numunede meydana gelmiş iken en yüksek değerler ise 105 dakikada borlanan numunede meydana gelmiştir. Klasik borlama tozları ile yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde nano boyutlu bor tozları ile yapılan bu çalışmada daha kısa işlem sürelerinde daha kalın borür tabakalarının elde edilebilmesinin yanında çok daha yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Bu durum nanobor tozunun sahip olduğu tane boyutu ve saflık derecesi ile ilgilidir. Çünkü borlama malzemesinin tane boyutu küçüldükçe temas yüzeyi artar, temas yüzeyinin artması yayılımı kolaylaştırır (Günen, 2012).

Şekil 18’de borlanmış numunelerin yüzeyden içeriye doğru sertlik dağılımlarını gösteren mikro yapı sertlik iz görünümü ve 60 dakikada borlanmış numunelerin borlama sonucu oluşan kaplama tabakasından elde edilen sertlik izleri görülmektedir. Nanobor tozuyla kutu sementaston borlama işlemi sonucunda oluşan FeB, Fe<sub>2</sub>B, CrB ve Cr<sub>2</sub>B, TiB, TiB<sub>2</sub> (Tablo 5) fazlarından dolayı yüzey sertlikleri değeri 1300-2333 HV aralığında borlama süresine bağlı olarak değişmiştir. TiB ve TiB<sub>2</sub>, CrB ve Cr<sub>2</sub>B fazları FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarına göre daha

yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu bilinmektedir (Sinha, 1991;Taktak, 2007;Gubeş vd.2011).

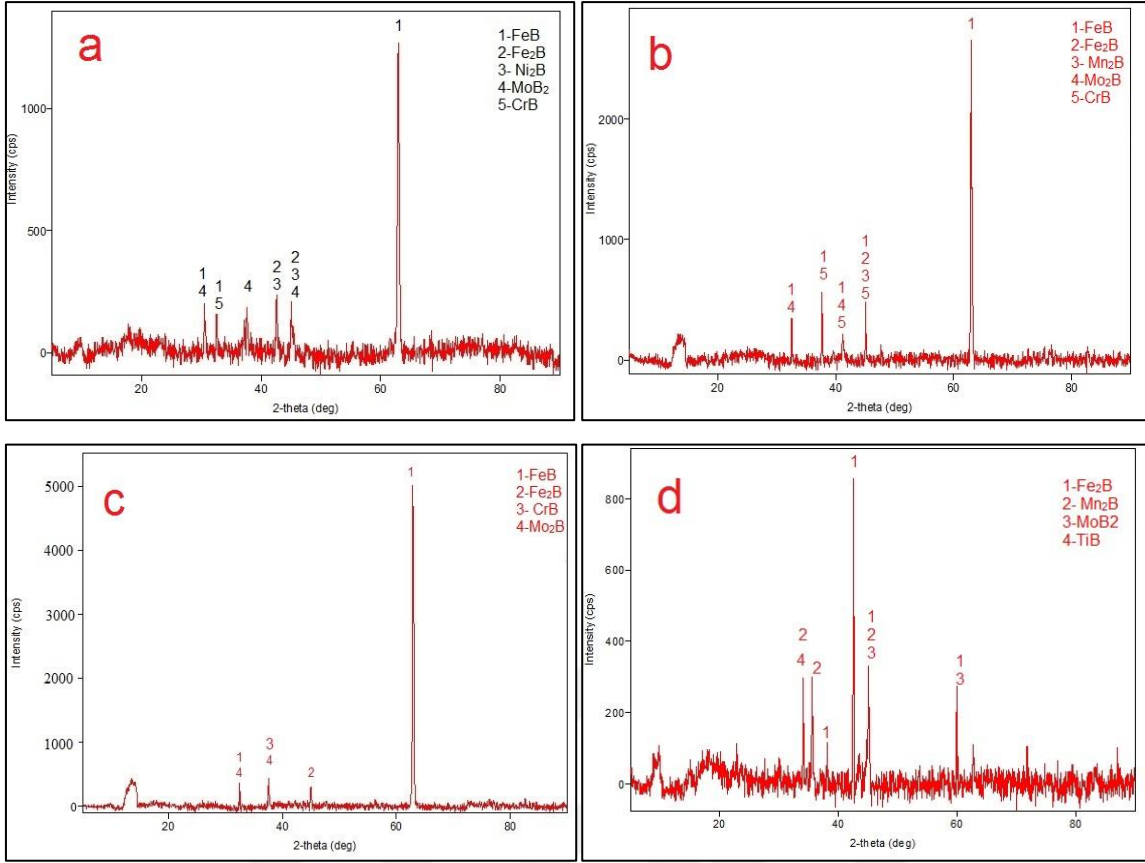


Şekil 18: a) Borlanmış numunelerin sertlik değerleri grafiği b) 1000 °C’de 60 dakika süre ile borlanan numunenin sertlik iz görünümünün optik resmi

Literatürde olduğu gibi borlama süresinin artmasıyla birlikte bor tabakalarının sertlik değerleri artmıştır. Literatürde 1500-2000 HV gibi sertlikler elde etmek için 8 saat gibi süreler gerekmekte iken Nano boyutlu bor tozları ile 1 saat’te bu sertlik değerine ulaşılmıştır. Herhangi bir işlem görmemiş olan çelik dişli sondaj matkapları ortalama 350 HV civarında oldukları göz önünde bulundurulduğunda sertlik artışının 5-6 kat aralığında olduğu tespit edilmiştir. Aşınma dayanımı için sertliğin önemli bir parametre olduğu bilindiğinden bu sertlik artışının malzemelerin aşınma direncine olumlu katkıda bulunacağı öngörülmektedir.

### 7.3 Borlanmış Numunelerin X-Işınları Difraksiyon Analizi

Şekil 19a, 19b, 19c de Nano bor tozu ile şekil 19d’de ise Ekabor 2 tozu ile borlanmış dişli çeliklerin XRD analizleri görülmektedir.



Şekil 19: a) 30 dakika b) 45 dakika c) 60 dakika Nanobor tozu ile d) Ekabor tozu ile 8 saat süre ile borlanan numunelerin xrd analizleri

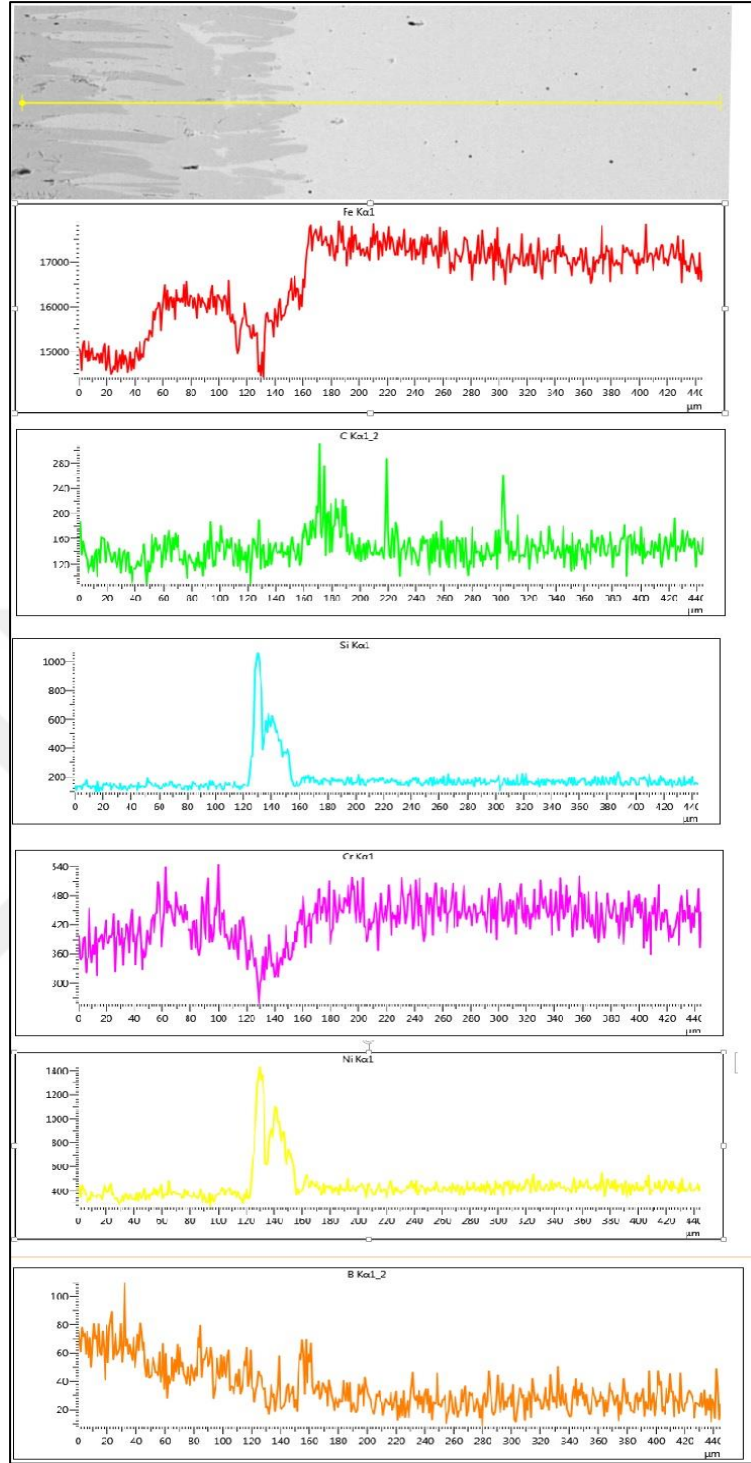
Borlama işlemi sonucunda tüm sürelerde çift fazlı ( $\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$ ) fazlarının baskın fazlar olduğu bunların yanında  $\text{CrB}$ ,  $\text{Cr}_2\text{B}$ ,  $\text{TiB}$ ,  $\text{Mo}_2\text{B}$ ,  $\text{Mn}_2\text{B}$  fazları elde edilmiştir. Artan süre ile beraber oluşan faz  $\text{FeB}$  fazı şiddetinde artış görülürken  $\text{Fe}_2\text{B}$  fazında azalma tespit edilmiştir. Artan süre ile beraber oluşan faz sayısı ( $\text{Mo}_2\text{B}$ ,  $\text{Mn}_2\text{B}$  vb) azalmıştır. Bu durumun yüzeyde yoğunlaşan  $\text{FeB}$  fazından dolayı bu fazların belirlenemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Chen,(2008) ve Yu (2005) ortamdaki bor konsantrasyonunun artması  $\text{FeB}$  fazı oluşumunu artırırken, bor atom potansiyelinin düşmesiyle tek bileşenli  $\text{Fe}_2\text{B}$  fazı oluştuğu bildirmiştir (Yu vd.2005; Chen vd. 2008).

Çalışmada  $\text{FeB}$  fazının baskın faz olması %99,7 saflıkta kullanılan Nanobor tozuna atfedilebilir. Çünkü aynı malzemeler Ekabor 2 tozu ile 8 saat süre ile borlama işlemine tabi tutulmuş ve süre 16 kat daha yüksek olmasına rağmen yapıda hiç  $\text{FeB}$  fazına rastlanmamıştır (Şekil 19d). Bu durum esas malzemenin borlama süresi ve kimyasal bileşiminden ziyade borlama malzemesinin kimyasal içeriğinin oluşacak fazlar üzerinde çok daha etkili olduğunu göstermektedir.

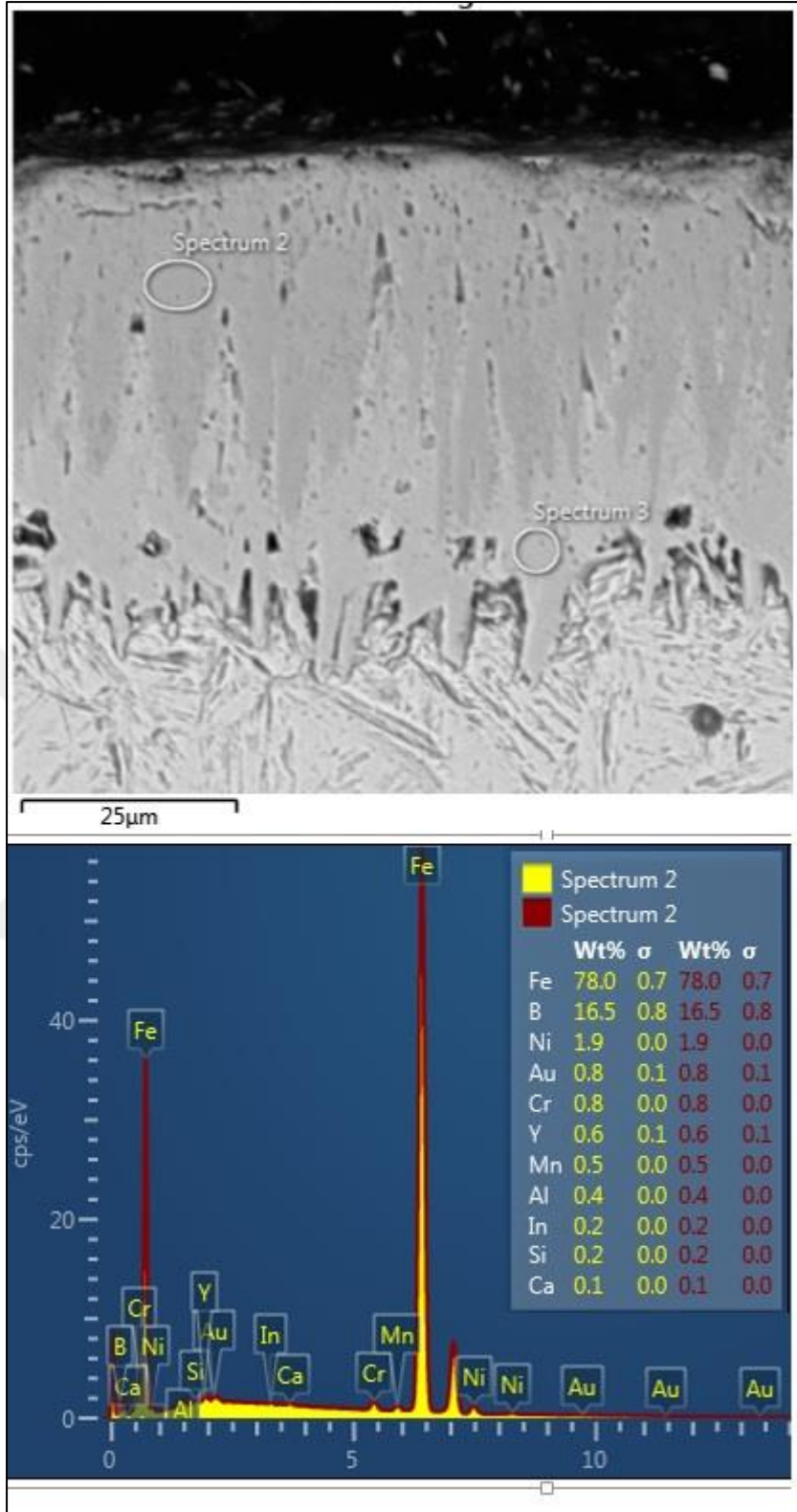
#### 7.4 Borlanmış Dişli Çeliklerinin EDS Analiz Sonuçları

Şekil 20’de numunelerin tamamından ve kaplama bölgesinden alınan çizgi boyunca EDS analizleri görülmektedir. EDS analizi sonucunda numunede ve kaplama bölgesinde Fe, B, C, Cr, Ni, Mn ve az miktarda Si elementine rastlanmıştır. Şekil 20’de görüldüğü üzere Cr’un atom numarası demirden küçük olduğundan malzeme içinden kaplama tabakasına doğru yayılırken C, Si ise FeB ve Fe<sub>2</sub>B tabakalarının içerisinde çözünemediklerinden dolayı matrise doğru yayıldıkları tespit edilmiştir.

Şekil 21’da ise Kaplama bölgesinden alınan EDS analizi verilmiştir. Şekil 21 incelendiğinde ise yüzeye yakın yerlerde FeB fazının alt tarafta ise Fe<sub>2</sub>B fazlarının oluşumunu destekler nitelikte bor miktarları tespit edilmiştir.



Şekil 20:1000°C 60 dakika süre ile borlama işlemine tabi tutulmuş numunenin EDS analizi



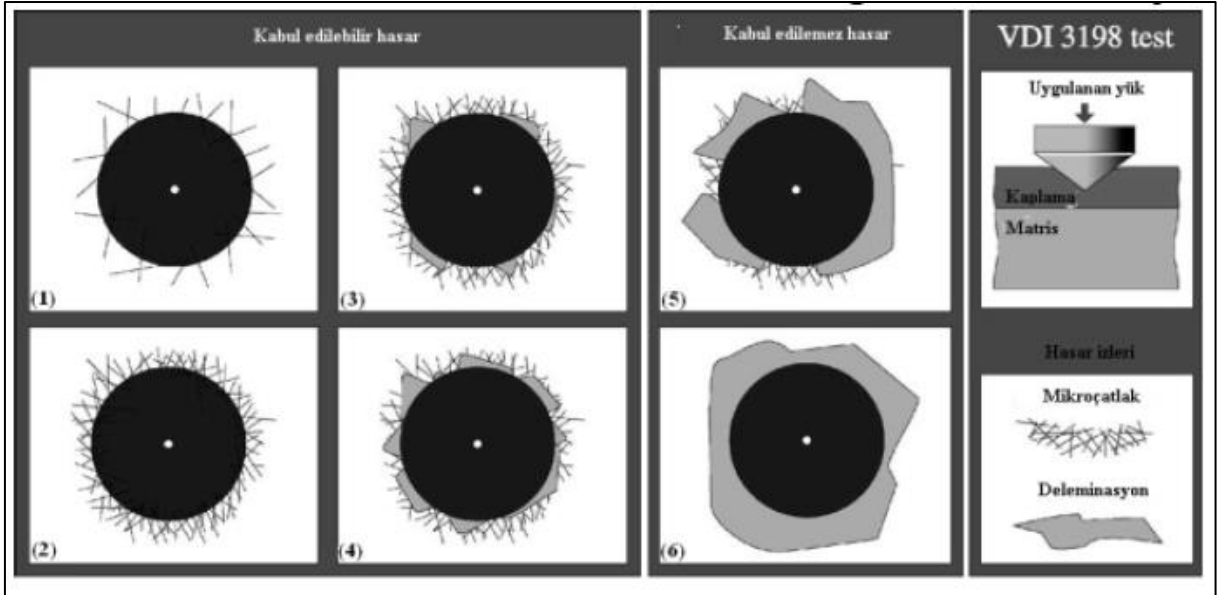
Şekil 21: Kaplama bölgesi EDS analizi

İncelemeler sonucunda mikroyapılarda testere dişi şeklindeki kolanlarda farklı bileşiklerin oluştuğunu görmek mümkün olmuştur. Kaplama tabakasının dış yüzeyinin koyu renkli alanlar FeB fazının olduğu düşünülen kısımdan Spektrum 2 yapılan analiz FeB olduğunu

göstermiştir. Spektrum 3 daha iç kısımda ise açık renkli alanların Fe<sub>2</sub>B fazının varlığını göstermektedir.EDS sonuçlarından elde edilen Cr, Ni, Mn elementlerinin varlığı XRD analizlerinde elde edilmesi CrB, Cr<sub>2</sub>B, MnB, NiB vb. fazların varlığını destekler niteliktedir.

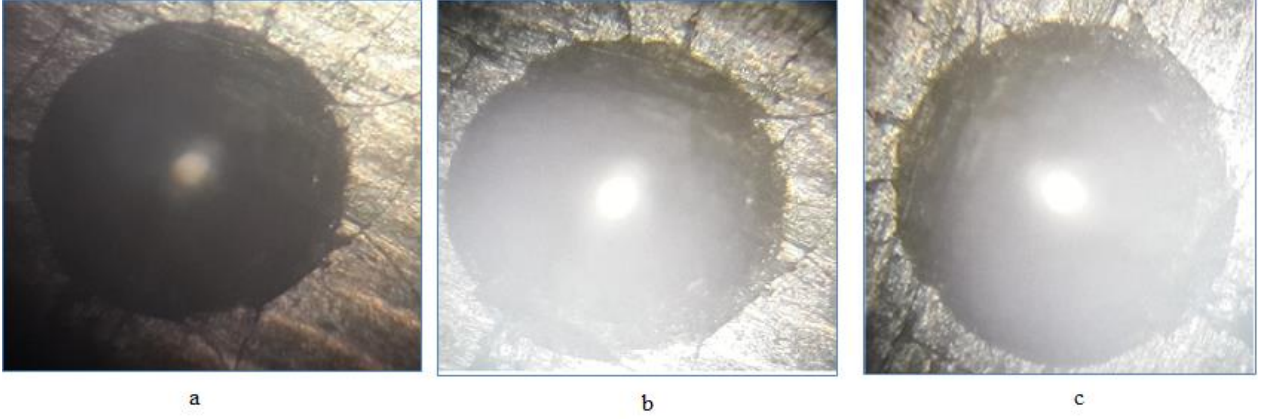
### 7.5 Adhezyon Testleri

Borlanmış numunelerdeki borür tabakalarının adhezyon davranışı Daimler-Benz Rockwell-C indentasyon testi (VDI 3198) ile belirlenmiştir. Test sonucu ortaya çıkan hasar görünüşlerinin haritaları Şekil 22’de gösterilmiştir. Bu haritaya göre 1-4 şekiller adhezyon bakımından kabul edilebilir. 5 ve 6 ise kabul edilemez olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 22: VDI 3198 indentasyon testi (Daimler, 1992).

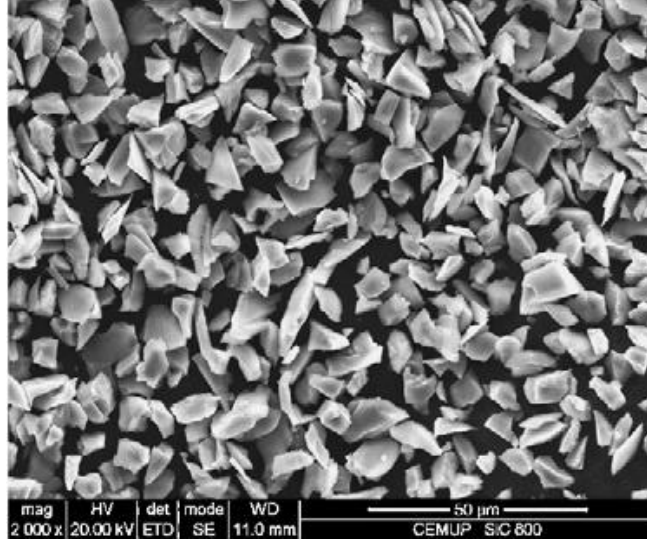
Numunelere uygulanan 150 kgf’lık yük sonucunda 30, 60 ve 105 dakikalık numunelere uygulanmış ve optik resimleri Şekil 18’de verilmiştir. Şekil 23 incelendiğinde 30 ve 60 dakika ile borlanan numunenin indentasyon testindeki 1 şeklinde, 105 dakikalık numunede ise 2 şeklinde kaplama tabakasında sadece çatlaklar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu durum yapılan kaplamaların adhezyon mukavemetlerini çok iyi olduğunu göstermektedir.



Şekil 23: Adhezyon testi sonrası a) 30 dk b) 60 dk c) 105 dk süre ile borlanmış numunelerin yüzey görünümü

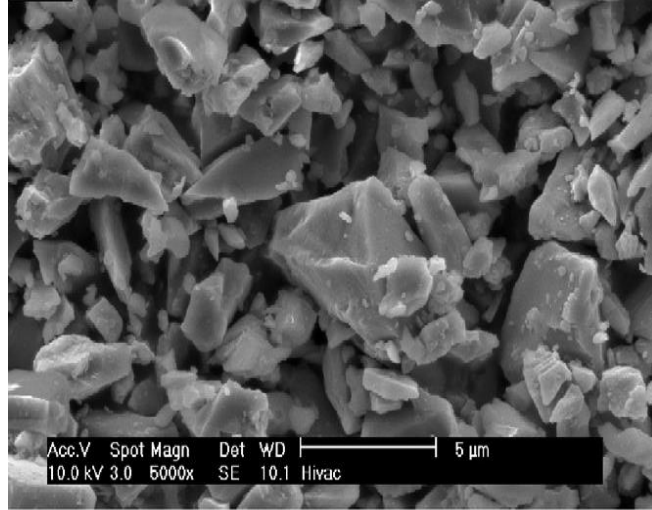
### 7.6 Sabit Top Mikro Abrasyon Aşınma Deneyleri

Bu çalışmada 30, 45, 60, 75, 90, 105 dakika süre ile 1000 °C sıcaklığında yüzeyi nanobor tozları ile kaplanan Ni-Cr-Mo tip soğuk iş takım çeliğinin farklı hız ve yüklerde sabit top mikroabrasyon aşınma özellikleri test edilmiştir. Aşındırıcı olarak 800 mesh SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları kullanılmıştır. Sabit top mikroabrasyon aşınma deneyinde aşındırıcı olarak kullanılan bu tozların SEM görüntüleri şekil 24 ve 25’de verilmiştir.



Şekil 24: SiC aşındırıcı partikül.



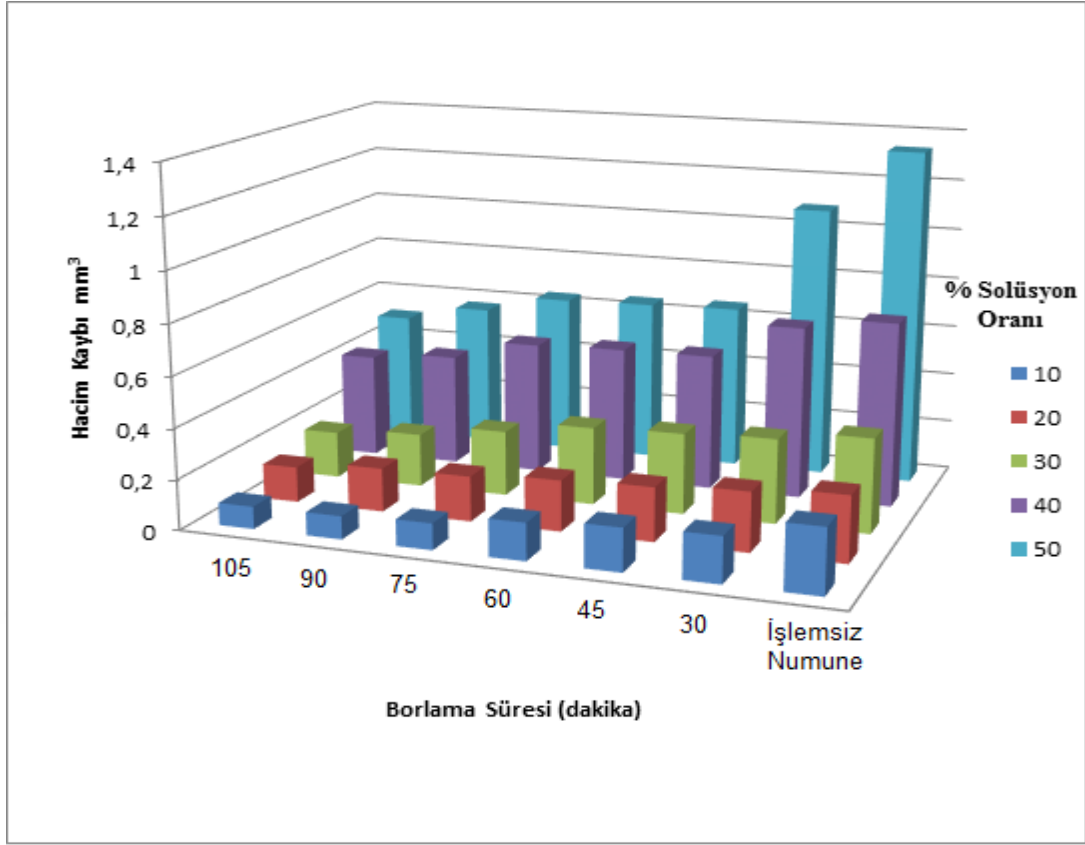


Şekil 25: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcı partikül.

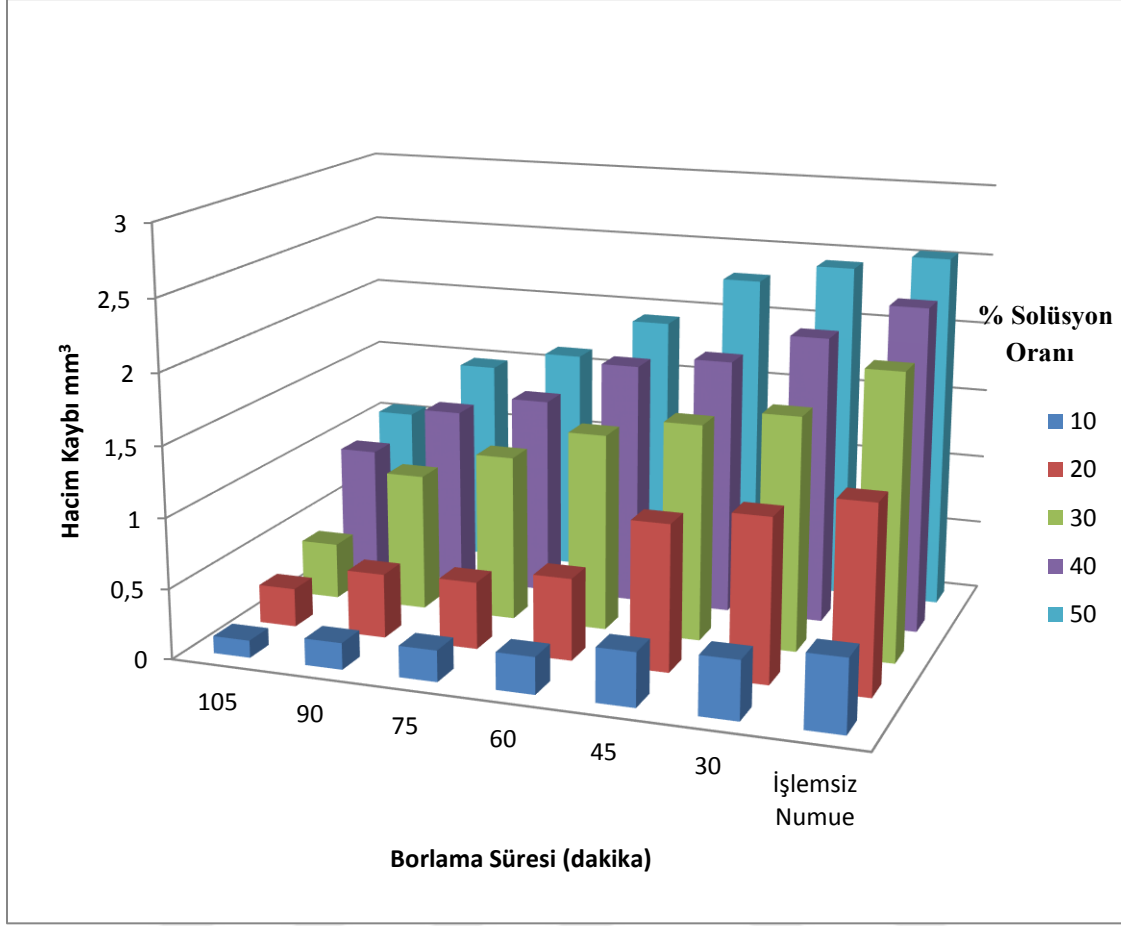
Şekil 24 ve 25 den de görüleceği üzere aşındırıcı tane boyutları 5-15 mikron arasında değişmektedir.

Şekil 26 a- b; 90 dev/dk dönme hızın da ve farklı aşındırıcı süspansiyon oranlarında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC tozları ile yapılan aşınma deneylerinden sonra numunelerde meydana gelen hacimsel kayıpları göstermektedir. Borlama süresine bağlı olarak numunelerin aşınma performansları değerlendirilirse artan borlama süresine bağlı olarak numunelerdeki aşınma direnci artmıştır.

Borlamasız standart numune de ise; tüm aşındırıcı süspansiyon oranlarında en yüksek hacim kayıpları bu borlanmamış soğuk iş takım çeliğinde görülmüştür.



Şekil 26a:90 dev/dk 1 N luk yük altında %10-%50 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcı solüsyon ile gerçekleştirilen sabit top mikro abrazyon deney sonuçları.



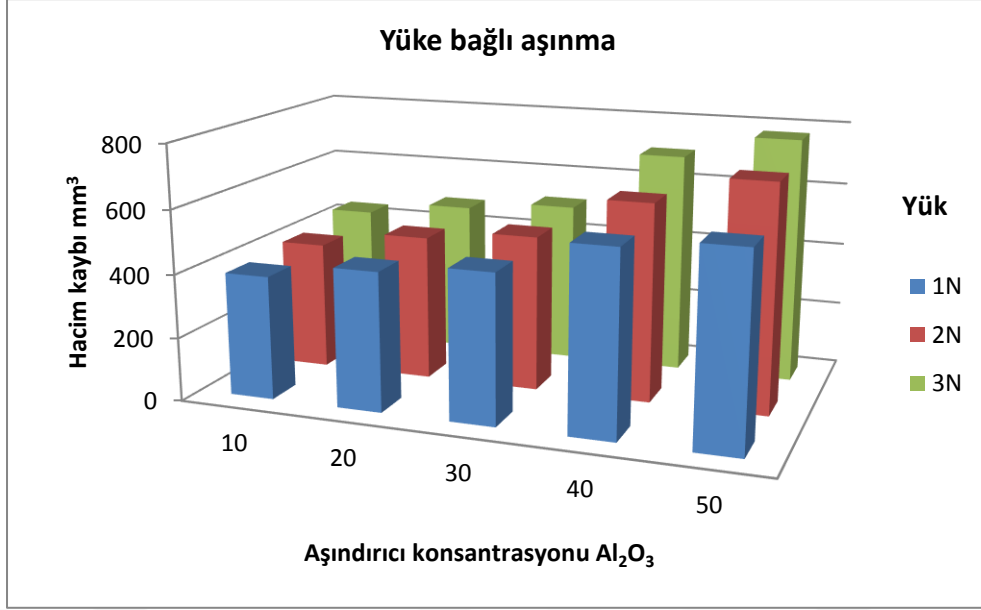
Şekil 26b: 90 dev/dk 1 N luk yük altında %10-%50 SiC aşındırıcı solüsyon ile gerçekleştirilen sabit top mikro abrazyon deney sonuçları.

Bu durumu öncelikle artan borlama süresi ile birlikte numune yüzeyinde oluşan FeB ve Fe<sub>2</sub>B bor tabaka kalınlıklarının artması ile açıklamak mümkündür. Çünkü artan borlama süresi ile birlikte soğuk iş takım çeliği yüzeyinde oluşan borür tabakasının kalınlıkları artmıştır. Artan tabaka kalınlığı numune mikrosertliklerinde artmasında etkili olmuştur. Malzemelerin aşınma dirençlerinin artmasında bir çok parametere etkin rol oynamasına karşın sertlik malzemelerin aşınma dirençlerinin artmasında rol oynayan en önemli parametrelerden birisidir. Borlama işlemi üzerine çalışan bilim adamları yüzeyde oluşan sert ve kırılğan FeB tabakasının aşınma direncini olumsuz etkilediğini belirtmektedirler (Yapar, 2003). Ancak mikroyapı resimlerinde de görüleceği gibi FeB'nin altında yeterli kalınlıkta oluşan Fe<sub>2</sub>B bu olumsuz etkiyi dengelemiştir

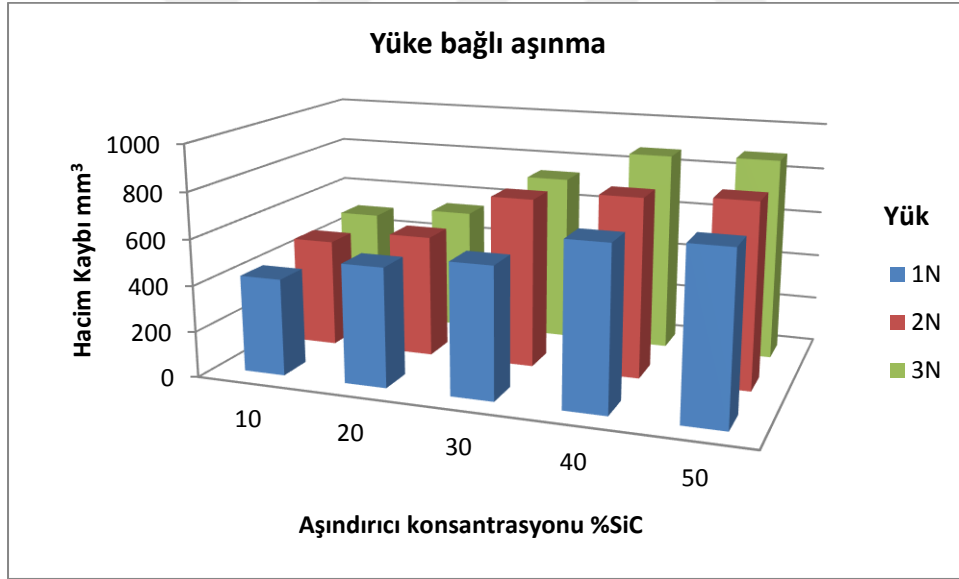
Yapılan çalışmalarda FeB tabakasının oluşmasında alaşım elementlerinin rol oynadığı belirtilmektedir. Hatta yeterli alaşım elementinin olmadığı sade karbonlu çeliklerde FeB

tabakasının oluşmadığı belirtilmektedir. Tribolojik uygulamalarda FeB tabakasının Fe<sub>2</sub>B ile birlikte oluşması istenilen bir durum değildir, çünkü iki tabakanın termal genleşme katsayıları arasındaki önemli farklılık artık gerilmelerin oluşumunu ve buna bağlı olarak çatlak ilerlemesini teşvik edici rol oynamaktadır. Nanobor tozları ile yapılan borlama işlemi sonucunda elde edilen borür tabakası FeB-Fe<sub>2</sub>B arayüzeyinde daha düşük oranda artık gerilme oluşturacağı söylenebilir

Uygulanan yüke bağlı olarak numunelerin aşınma davranışı incelenecek olursa artan yüke bağlı olarak numune hacim kayıplarında artış olmuştur Şekil 27 a-b. Numunelere üç farklı yük uygulanmıştır. Bunlar 1, 2 ve 3 N luk yüklerdir. Artan yüke bağlı olarak hacim kayıplarında meydana gelen artışı şu şekilde açıklamak mümkündür. Öncelikle aşınma çiftini oluşturan üç eleman mevcuttur. Bunlar aşındırıcı olarak kullanılan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + su solüsyonu, 1'' çapındaki bilya (top) ve aşındırılacak yani yüzeyi borlama işlemine tabi tutulan numuneler. Nanoborla kaplı numunelerin yüzeyinden aşındırıcı partikülün malzeme transfer edebilmesi için iki kuvvete gereksinim vardır. Bunlardan biri partikülün malzemeye batmasını sağlayan basma kuvvetidir. Bu kuvvet ise direk numuneye uygulana nominal kuvvet ile orantılıdır. Yani yük ne kadar arttırılır ise aşındırıcı partikül üzerine uygulanan kuvvet okadar artacağı için partikülün aşındırılacak numuneye batma oranı okadar artacaktır. Malzeme yüzeyine batan partikülün ikinci görevi ise önündeki malzemeyi keserek yerinden kopartmaktır. Burada ise kesme kuvvetlei iş görmektedir. Kesme işlemi basma ve kesme kuvvetlerinin bir bileşkesi olarak düşünülürse artan nominal kuvvet hem basma hem de kesme kuvvetini arttırmış olacaktır.



Şekil 27a: 90 dev/dk 1-3 N luk yük altında %10-%50 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcı solüsyon ile 30 dakika süreyle borlanan numunenin sabit top mikro abrazyon deney sonuçları.



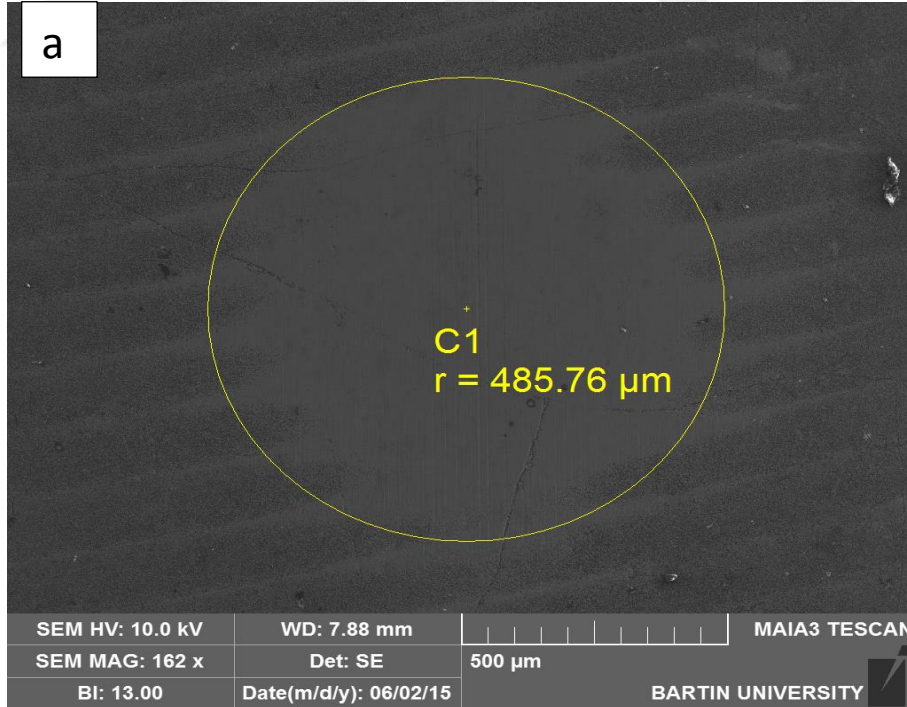
Şekil 27b: 90 dev/dk 1-3 N luk yük altında %10-%50 SiC aşındırıcı solüsyon ile 30 dakika süreyle borlanan numunenin sabit top mikro abrazyon deney sonuçları.

Sabit top mikroabrazyon deneylerinde iki farklı aşındırıcı tipi kullanılmıştır. Bunlar hem teknikte hemde deneysel çalışmalarda sıkça kullanılan SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşikleridir. Ucuz olmaları, kolay bulunmaları ve setrtlik sklasında üst seviyelerde olmaları bu iki aşındırıcıyı popüler kılmaktadır. Yapılan çalışmada SiC içeren aşındırıcı solüsyon ile aşınma işlemine tabi tutulan numunelerin hacim kayıpları Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile işleme tabi tutulan numunelerden daha yüksek

olmuştur (Şekil 28). Bu çalışmada kullanılan aşındırıcı türlerinin içerisinde en yüksek sertlik değerine sahip aşındırıcı SiC partikülleridir (2900–3000 HV30). Bu sertlik değeri borlama sonucu elde edilen sertlik değerinden daha fazladır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nin sertliği SiC aşındırıcı partiküllerinden az olsada (2100–2200 HV) elde edilen en yüksek borlama sertliği bu değerlere yaklaşmıştır. Dolayısıyla aşındırıcı partikül üzerine gelen normal kuvvet aynı olsada partikülün yüzeye batma derinliği azalmıştır.

Aşındırıcı konsantrasyonuna bağlı olarak numune kütle kayıpları incelenecek olursa (Şekil 26 a-b) artan aşındırıcı konsantrasyonun artması numuneledeki hacim kayıplarını arttırmıştır. Ancak bu artış %30 aşındırıcı konsantrasyonuna kadar yüksek oranda gerçekleşirken % 40 ve % 50 aşındırıcı konsantrasyonunda hacim kaybı değerleri düşmüştür. Bunun nedeni ise partikül miktarı arttıkça partikül başına düşen basıncın azalmasıdır.

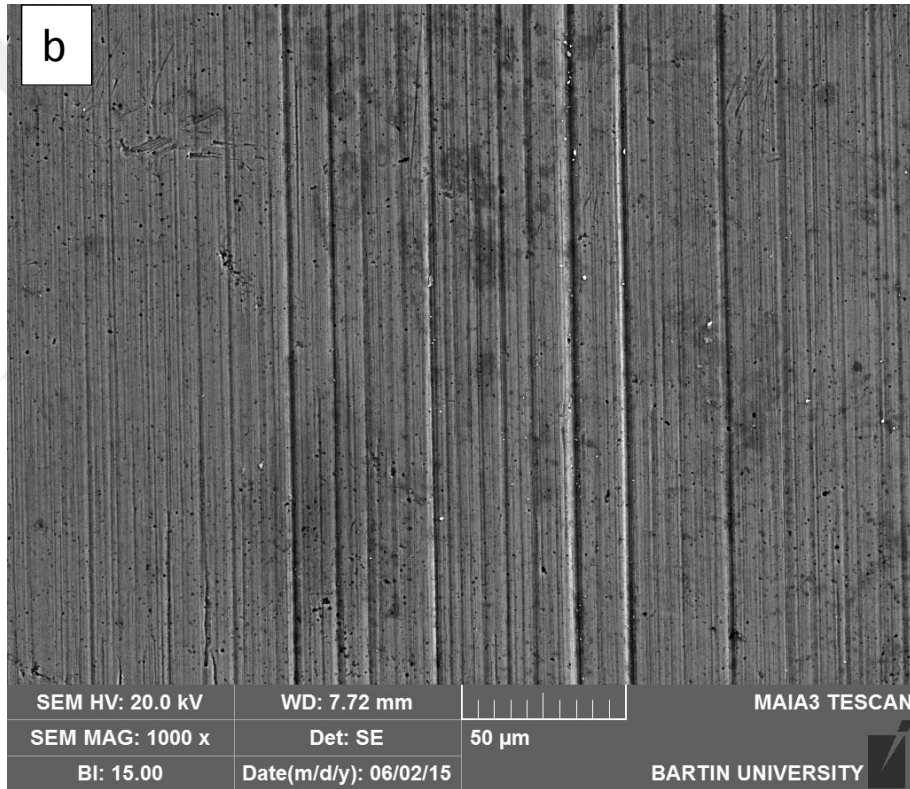
Şekil 28 de 45 dakika borlama işlemine tabi tutulan numunenin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tip abrasiv kullanılarak hazırlanan solüsyon ile sabit top mikroabrasyon işlemine tabi tutulduktan sonra yüzeyinden alınan SEM aşınma izi fotoğrafları sırası ile verilmektedir.



Şekil 28:1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X162

% 10 solüsyon oranı ile 1 N luk yükte işlem gören numunenin ASTM G77 standartlarında gerçekleştirilen test sonucunda elde edilen aşınma izleri beklenildiği şekilde dairesel geometride oluşmuştur (Şekil 28a).

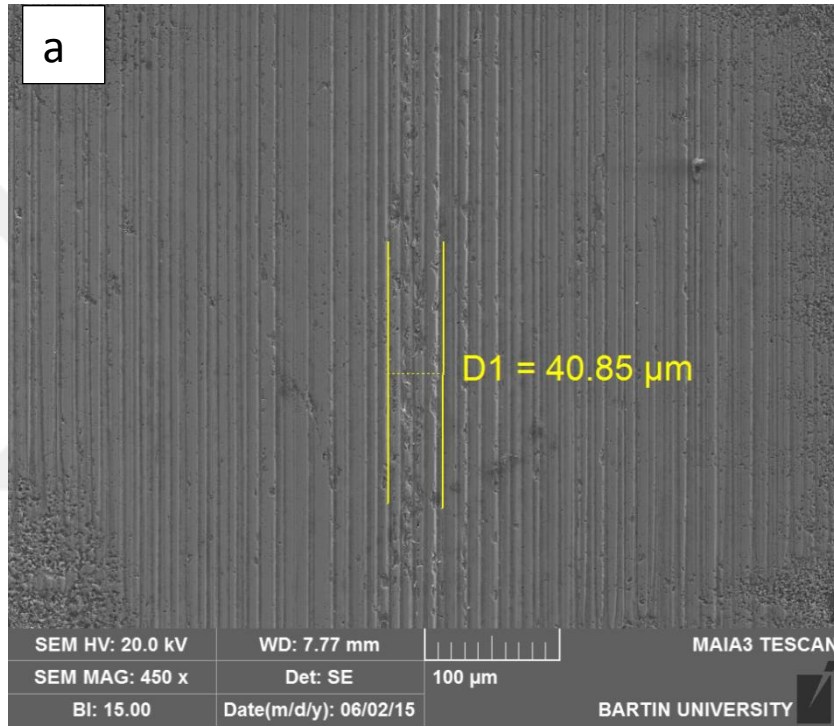
Aynı görüntünün daha büyük görüntüsü incelenecek olursa Şekil 29 yaklaşık 75 µm lik bir genişlikte kaba mikroçiziklerin meydana geldiği, bu bölgenin dışında ise daha ince çiziklerin olduğu görülmektedir. Bu 75 µm bölge top yüzeyi ile aşındırılan numunenin tam olarak etkileşim sergileği bölgedir. Bu sebeple aşınma izleri numune merkezinde ve solüsyon oranının düşük olması nedeniyle dar olarak oluşmuştur.



Şekil 29: 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X1000.

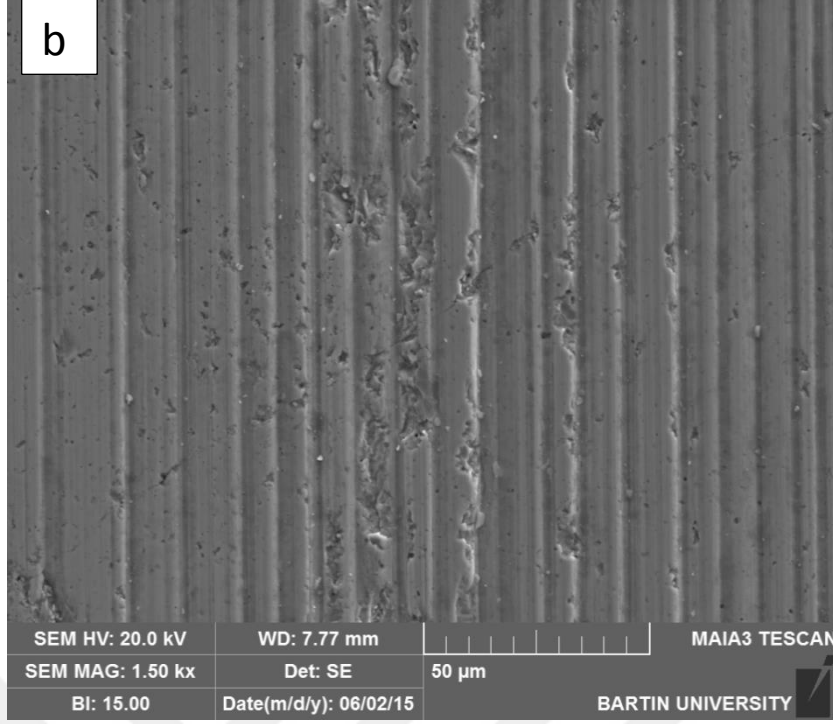
Şekil 30 da aynı numunenin % 20 solüsyon oranı ile yine aynı deney şartlarında sabit top mikroabrasyon işlemine tabi tutulduktan sonra yüzeyinden alınan SEM aşınma izi fotoğrafları sırası ile verilmektedir. Solüsyon içerisinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasiv partikül oranının artması numune yüzeyinde meydana gelen hasarı arttırmıştır. Özellikle etkileşimin

maksimum seviyede olduğu merkez noktada meydana gelen mikro çizikler bir önceki numuneki olduğundan daha fazla plastic deformasyona uğramıştır. Bu deformasyon bölgesi resim üzerinde D1=40.85 µm olarak etiketlenmiştir. Yine bir önceki numune ile kıyaslandığında merkez bölgenin sağında ve solunda meydana gelen mikro çizilmelerin oranının arttığı görülmektedir. Bu durumu solüsyon içerisinde artan abrasiv partikül ile ilişkilendirmek mümkündür. Çünkü solüsyon içerisinde abrasiv oranının artması ile birim zamanda yüzeye temas eden abrasiv oranı artmış, bu da yüzeyde hem daha fazla aşınmaya hem de daha fazla hasar sebebiyet vermiştir.

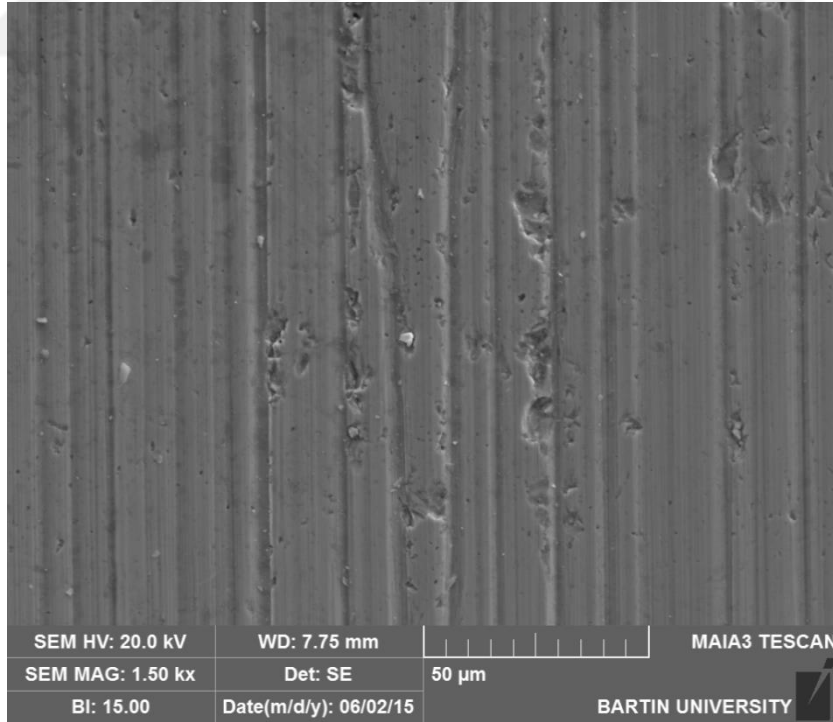


Şekil 30: 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin % 20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X450.

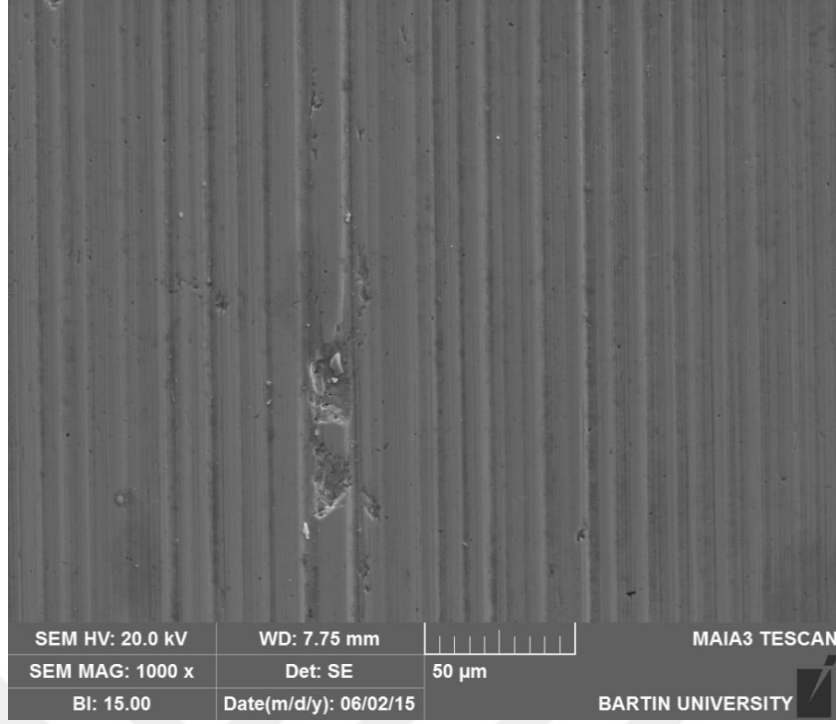




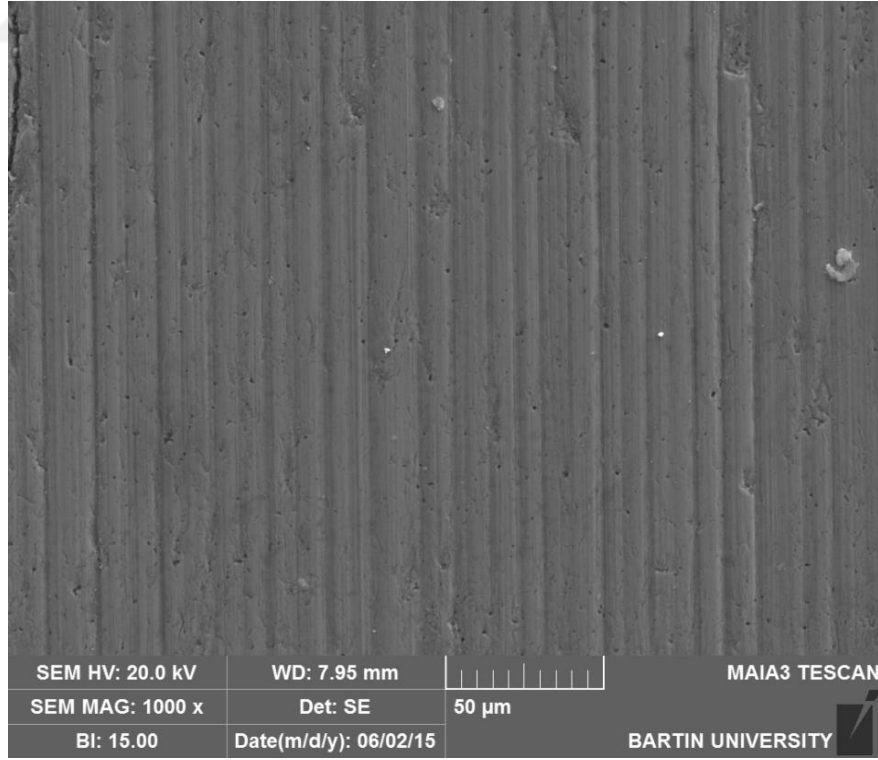
Şekil 31: 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X1500.



Şekil 32: 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %30 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X1500.



Şekil 33: 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin % 40 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X1000.



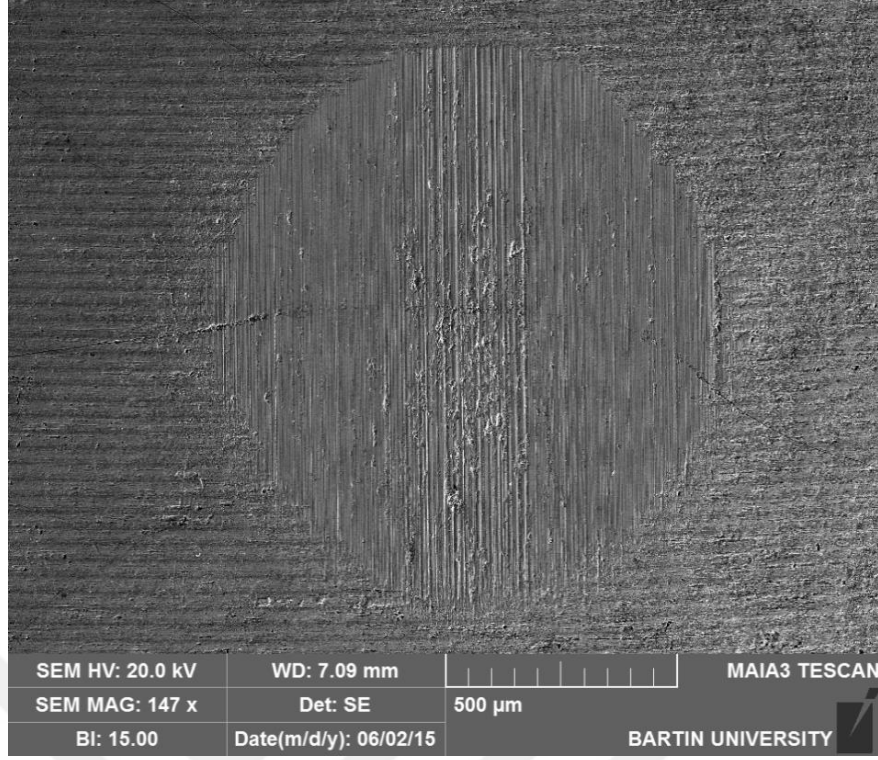
Şekil 34: 1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %50 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X1000.

Şekil 33. ve 34 de sırası ile % 30- 50 solüsyon ile aşındırma işlemine tabi tutulan numunelerin SEM aşınma yüzey fotoğrafları verilmiştir.  $Al_2O_3$  ile gerçekleştirilen aşındırma işleminde % 30 ve % 50 lik solüsyon numunenin aşınması üzerinde benzer etki sergilemiştir. Ancak % 30 luk solüsyonun numune yüzeyinde meydana getirdiği çiziklerin daha geniş yüzey teşekkül ettiği görülmektedir. Aşınma mekanizması olarak mikro yuvarlanma olmuştur.

Bu çalışmada daha öncede belirtildiği gibi iki farklı aşındırıcı partikül kullanılmıştır. SiC aşındırıcılar kullanılarak yapılan aşınma testlerinde numunelerin hacim kayıpları daha yüksek olmuştur Şekil 26 b.

Aşındırıcı tipine bağlı olarak numunelerin aşınma dirençleri değerlendirilecek olursa SiC aşındırıcı solüsyon ile aşınma işlemine tabi tutulan numunelerin hacim kayıpları  $Al_2O_3$  ile işleme tabi tutulan numunelerden daha yüksek olmuştur. Bu çalışmada kullanılan aşındırıcı türlerinin içerisinde en yüksek sertlik değerine sahip aşındırıcı SiC partikülleridir (2900–3000 HV30). Bu sertlik değeri borlama sonucu elde edilen sertlik değerinden daha fazladır.  $Al_2O_3$  nin sertliği SiC aşındırıcı partiküllerinden az olsada (2200–2100 HV) elde edilen en yüksek borlama sertliği bu değerlere yaklaşmıştır. Dolayısıyla aşındırıcı partikül üzerine gelen normal kuvvet aynı olsada partikülün yüzeye batma derinliği azalmıştır.

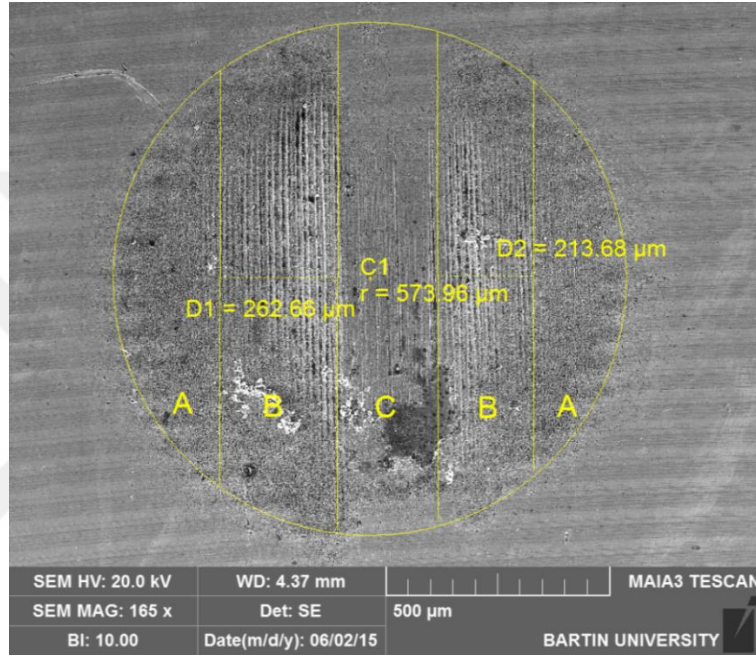
Şekil 35' de 45 dakika borlama işlemine tabi tutulan numunenin SiC tip abrasiv kullanılarak hazırlanan solüsyon ile sabit top mikroabrasyon işlemine tabi tutulduktan sonra yüzeyinden alınan SEM aşınma izi fotoğrafları sırası ile verilmektedir. % 10 solüsyon oranı ile 1 N luk yükte işlem gören numunenin ASTM G77 standartlarında gerçekleştirilen test sonucunda elde edilen aşınma izleri beklenildiği şekilde dairesel geometride oluşmuştur. Aşınma mekanizması olarak değerlendirilecek olursa 200 µm lik bir ve numunenin merkezine denk gelen bölgede mikrogroving tipi aşınma ile birlikte plastik deformasyon da görülmektedir.  $Al_2O_3$  partikül içeren solüsyon ile aynı şartlarda aşındırılan numune kıyaslanacak olursa (Şekil 29) SiC içeren solüsyonun aşınmada daha etkin olduğu görülmüştür.



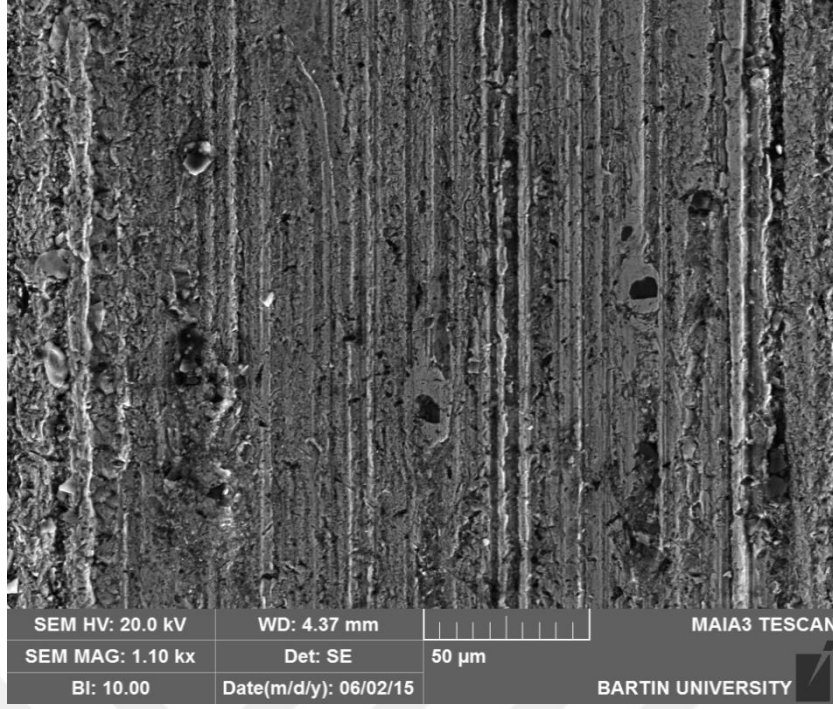
Şekil 35:1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %10 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X1000.

İşlemsiz soğuk iş takım çeliği düşük aşındırıcı konsantrasyon oranlarında (% 10-20) grooving tipi abarasyon mekanizması etkin sergilerken % 30 luk konsantrasyon değerinin grooving tipi abarasyondan rolling ve misked tip abarasyona bir geçiş olduğu görülmüştür. Bu durum şekil 36 a-d de verilen SEM aşınma fotoğrafında açıklanmaya çalışılmıştır. Öncelikle makro boyutta alınan aşınma fotoğrafı üzerinde 3 farklı aşınma tipi dikkat çekmektedir (Şekil 36a). A-C ile işaretlenen daha düzgün ve pürüzsüz olarak oluşan bölge. Yükün en fazla etkili olduğu bu bölgede aşındırıcı partiküller çelik bilya altında yuvarlanmadan kayma etkisi ile numune yüzeyinden partikül kopartmışlardır. Az miktarda oluşan oluklar ise yine bu bölgeden alınan SEM aşınma yüzey fotoğrafında görülmektedir (Şekil 36b). C ile ifade edilen bölgenin büyük büyütmdeki fotoğrafı incelenirse grooving tipi aşınma mekanizmasının baskın hale geldiği görülmektedir. Ancak olukların arasında ve üzerinde meydana gelen rolling tipi aşınmalarada dikkat çekmektedir (Şekil 36c). En dış bölgede ise mekanizmanın tamamen rolling tipi aşınma mekanizmasına döndüğü görülmektedir (Şekil 36d).

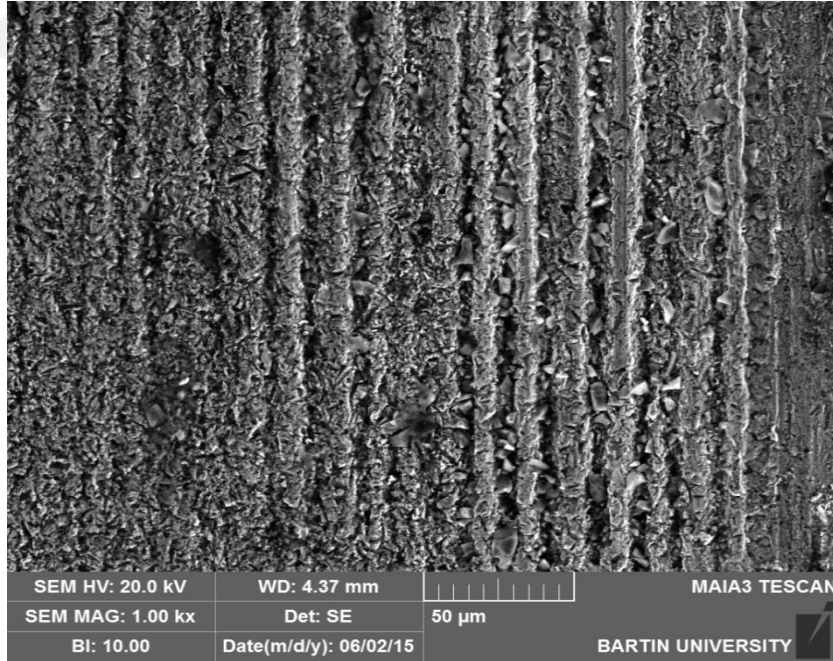
Top ve aşındırılan numune arasında meydana gelen aşınma mekanizması abrasiv partikülün bu bölgedeki hareketi ile yakından ilgilidir. Eğer aşındırıcı partikül top üzerinde hareket edemez ise aşındırılan yüzey üzerinde bir seri paralel oluklar meydana getirilir. Bu tip aşınmaya grooving tipi veya iki cisimli abarasyon denir. Eğer aşındırıcı partikül iki yüzey arasında rahat ediyorsa kamalamaya benzer bir etki ile rolling tipi veya üç cisimli abarasyon meydana gelmektedir (Uzun, 2002; Yapar, 2006)



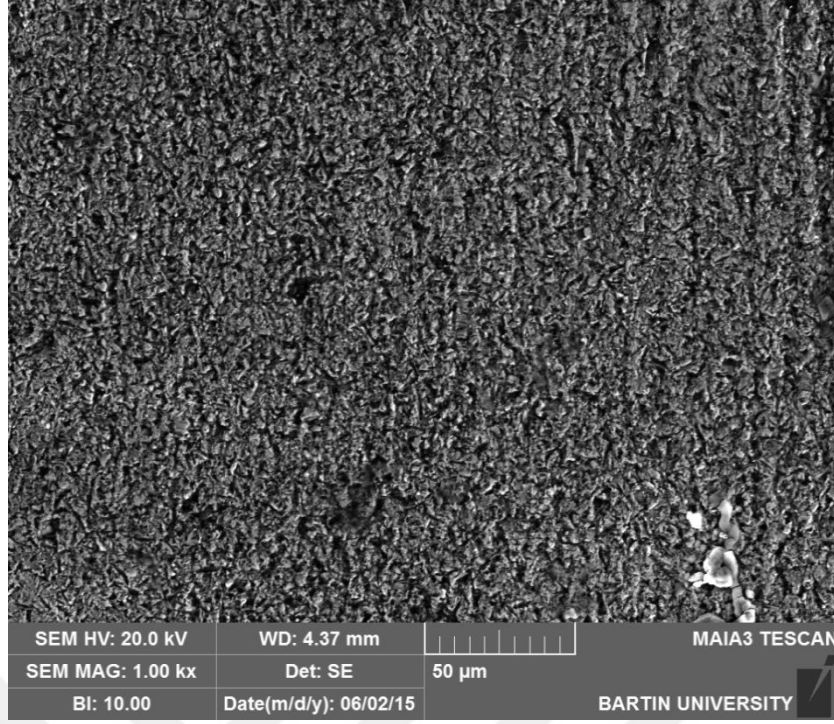
Şekil 36a:1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %30 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X165.



Şekil 36b:1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %30 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan C bölgesi SEM görüntüsü X1100.

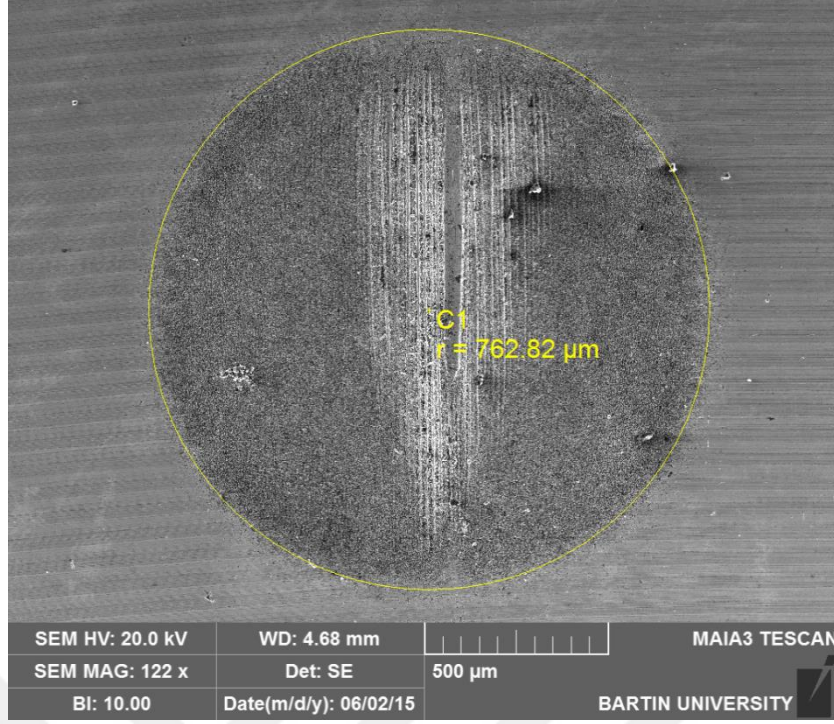


Şekil 36c:1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %30 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan A bölgesi SEM görüntüsü X1000.

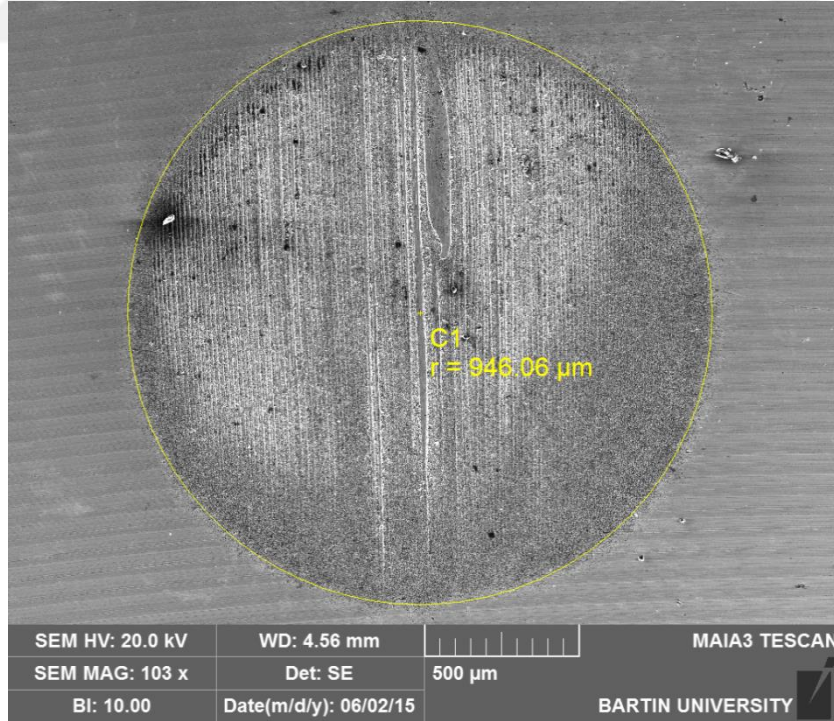


Şekil 36d:1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %30 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan B bölgesi SEM görüntüsü X1000.

Soğuk iş takım çeliğinde olduğu gibi aşındırıcı konsantrasyonunu değişimi yüzeyi bor ile kaplanan numunelerde aşınma mekanizmasının değişiminde etkili olmamıştır. Gerek 10% gerekse 50% oranlarındaki solüsyon ile yapılan çalışmalarda benzer tip aşınma mekanizması görülmüştür. (Şekil 37-41) Farklı büyütme oranlarında %30 aşındırıcı konsantrasyonuna sahip çözelti ile aşınma işlemine tabi tutulan numunenin SEM aşınma izi fotoğrafı verilmiştir. Topun merkez kısmında plastik deformasyon görülürken merkezden uzaklaştıkça grooving tipi aşınma meydana gelmiştir. Borlanmış numunelerin yüksek yüzey sertlikleri ve borun yağlayıcı etkisi aşınma mekanizmasında önemli olmuştur.

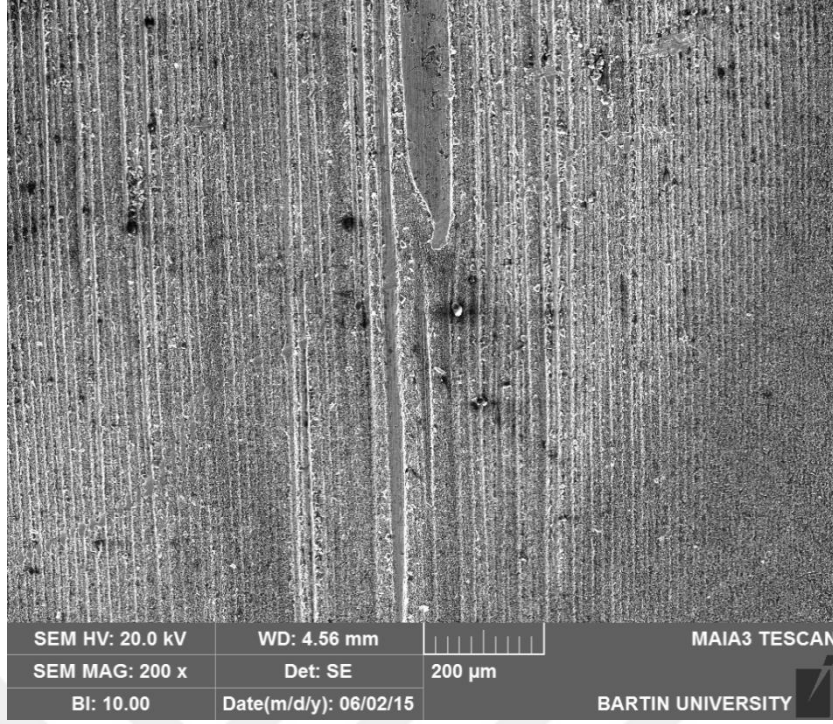


Şekil 37:1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %10 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X122.



Şekil 38:1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %50 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X103.





Şekil 39:1000 °C 45 dakika borlama işlemine tutulan numunenin %30 SiC abrasiv içeren solüsyon ile 1 N luk yükte sabit top mikroabrasyon işleminden sonra yüzeyden alınan SEM görüntüsü X200.

Aşındırıcı konsantrasyonuna bağlı olarak numune kütle kayıpları incelenecek olursa (Şekil26a-b) artan aşındırıcı konsantrasyonun artması numuneledeki hacim kayıplarını arttırmıştır. Ancak bu artış %30 aşındırıcı konsantrasyonuna kadar yüksek oranda gerçekleşirken % 40 ve % 50 aşındırıcı konsantrasyonunda hacim kaybı değerleri düşmüştür. Aşındırıcı tipinin değişimi aşınma mekanizmasının değişiminde etkin rol olmazken uygulanan malzeme yapısı ve aşındırıcı süspansiyon oranı aşınma mekanizmasında etkili parametre olmuştur.

## BÖLÜM 8

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 8.1 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada soğuk iş takım çeliği üzerine Nanobor tozları kaplanmıştır. Kaplama işlemi TRD esaslı kutu borlama yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Borlama işlemi 1000 °C sıcaklık ve 30, 45, 60, 75, 90, 105 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. Borlanan numunelere farklı yükler altında mikroabrasyon aşınma deneyleri uygulanarak, borlama süresinin ve borlamanın soğuk iş takım çeliği üzerien olan etkisi araştırılarak aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

1. Borlama işlemi 1000 °C de ve tüm zaman aralıklarında başarılı bir şekilde gerçekleşmiştir.
2. Borlama zamanının artması ile alt yüzey üzerinde oluşan bor kalınlığı artmıştır.
3. Bor kalınlığının artması numune sertliklerinin artmasında etkili olmuştur.
4. Borlama işlemi sonrasında numune yüzeylerinde gerçekleştirilen X-ray incelemelerinde iki farklı fazın yüzeyde oluştuğu anlaşılmıştır. Bunlardan biri sert ve kırılğan bir yapıya sahip olan FeB fazı diğeri ise daha sünek bir yapıya sahip Fe<sub>2</sub>B fazı olmuştur.
5. Artan borlama zamanına bağlı olarak numune yüzeylerinde oluşan borür tabakasının kalınlığı arttığı için numunelerin aşınma direncide artmıştır.
6. SiC tip aşındırıcı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tip aşındırıcı ile kıyaslandığında aşınma üzerinde daha etkili olduğu anlaşılmıştır.
7. Solüsyon içerisindeki aşındırıcı partikül oranının artması aşınma mekanizmasında değişiklik olmasına sebep olmuştur. Şöyleki % 10 aşındırıcı partikül içeren solüsyonda merkezde groving (oluklanma) tipi aşınma görülürken solüsyon içerisindeki aşındırıcı oranının % 30 un üzerine çıkması karışık tip aşınmaya geçişi sağlamıştır.
8. Tüm şartlarda borlanmış numunelerin borlanmamış numunelere göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

## 8.2 Öneriler

Bu tez kapsamında elde edilen verilere göre gelecek çalışmalar için öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

1. Solüsyon içerisindeki aşındırıcı tane boyutu değiştirilerek, tane boyutunun aşınmaya olan etkisi incelenebilir.
2. Borlama işlemi farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilerek sıcaklığın borlama ve mikroyapı üzerindeki etkileri araştırılabilir.
3. Altlık numune olan soğuk iş takım çeliği sert karbür yapıcı başka elementler ile yüzey modifikasyonuna tabi tutularak bir kıyaslama içine girilebilir.

## KAYNAKLAR

- A. Galibois, O. Boutenko, B. Voyzelle, Mecanisme de Formation des Couches Borurees Surles Aciers a Haut Carbone Technique des Pates. *Acta Metall*, 28, 1753 (1980).
- A. Küper, X. Qiao, Hr. Stock, P. Mayr A novel approach to gas boronizing Surf Coat Technol, 130 (2000), pp. 87–94
- Ali Günen, Mustafa Ulutan, M. Sabri Gök, Bülent Kurt, Nuri Orhan Friction and wear behaviour of borided AISI 304 stainless steel with nano particle and micro particle size of boriding agents, *Journal of the Balkan Tribological Association*, (2014) Vol. 20, No 3, pp. 362–379, 2014.
- Almeida, F.A., Carrapichano, J.M., Fernandes A.J.S., Sacramento, J., Silva, R.F., Oliveira, F.J., Nanocrystalline, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (2011) 29;618–622.
- Astakhov, V., P. *Tribology of metal cutting*, Elsevier press (2006).
- Atik, E., 1997 "Çeliklerin Borlanarak Aşınma Dayanımlarının Arttırılması" *Makine ve Mühendis Dergisi*, C. 38, S.445,17-20
- B. Bhushan and B.K. Gupta. Hand Book of Ttribology: *Materials, Coatings, and Surface Treatments*, McGraw-Hill, Inc., New York, NY, 1991.
- Barış M. (2007). Farkli Borlama Sürelerinin Transmisyon Çeliğinde Abrasif Aşınma Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Basman, G. and Sesen, K. (2011), "The improvement of the surface properties of AISI 316L type stainless steel by boronizing", *ITU Journal*, 10;115-121.
- Baştürk, S., Erten, M., 2006. "Borlama ile Yüzey Sertleştirme Çalışmaları", *Mühendis ve Makine*, (2006) 47 (563), 57-74.
- Baştürk, S., Şenbabaoğlu, F., İslam, C., Erten, M., Lazoğlu, İ., Gülmez, T. Titanium machining with new plasma boronized cutting tools, *Manufacturing Technology*, (2010) 59, 101-104.
- Bayça, S. U., Şahin, S. 2004. Borlama, *Mühendis ve Makina*, Sayı 510.
- Bindal, C., 1991. Az alaşımlı ve karbon çeliklerinde borlama ile yüzeye kaplanan borürlerin bazı özelliklerinin tespiti, Doktora Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bozkurt, N., 1984. Bor yayınımlıyla çeliklerde yüzey sertleştirme, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Campos-Silva, I., Balankin, A.S., Sierra A.H., Lopez-Perrusquia, N., Escobar-Galindo, R. and Morales-Matamoros, D., 2008. "Characterization of rough interfaces obtained by boriding", *Applied Surface Science*, 255:2596-2602.

- Chen, X. J., Yu, L. G., Khor, K. A., Sundararajan, G., 2008. "The Effect of Boron-Pack Refreshment on the Boriding of Mild Steel by the Spark Plasma Sintering (SPS) Process", *Surface and Coatings Technology*, 202: 2830-2836.
- Culha O., Toparli, M., Sahin, S. and Aksoy, T. 2008. "Characterization and determination of FexB layers' mechanical properties", *Journal of Materials Processing Technology*, 206:231-240.
- Daimler Benz adhesion test. Verein Deutscher Ingenieure (VDI) Richtlinie 3198;7: 1992.
- ER Ü, Par B., 2004 *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi* C.XVII, S.1, 2004
- Ersoy, A., *Sondaj Teknikleri ve Uygulamaları*, Cilt no:1, Adana Nobel kitabevi, 2008, 350
- Figueroa, M., Garcia, E., Stephen Muhl,S., Rodil, S., *Preliminary Tribological Study and Tool Life of Four Commercial Drills*, Tribology Transactions, (2014) Vol:57, pp. 581-588.
- Göktürk, A., *Sondaj Tekniği, İTÜ maden fakültesi yayınları*,1983.
- Güven, A. Gök, M.S., Erdoğan, A., Kurt, B., Orhan, N., 2013. "Investigation of mikro-abrasion wear behavior of boronized stainless steel with nanoboron powder", *Tribology Transactions*, Volume: 56; Issue:3 pp:400-409.
- Güven, A., 2012 "Nanobor tozu ile yüzeyi alaşımlandırılan östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri ve korozyon davranışının araştırılması, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- Gunes, I., Ulker, S. and Taktak, S. Plasma paste boronizing of AISI 8620,52100 and 440C steels. *Mater. and Des.* (2011)., 32: 2380-2386.
- Guobiao, L., Zhongjian, Z., Zhihai, Q., Xiang, L., Jiahua, W., Feifei, Z. Boronizing mechanism of cemented carbides and their wear resistance, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, (2013) 41, 351-355.
- Kaftanoğlu, B., Dökmetaş, N., Kübik Bor Nitrür (C-BN) Kaplamalar, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 04-05 Ekim 2012, Ankara, Türkiye
- Karamış, M.B, Nair, F, Selçuk, B. Borlanmış malzemelerin tribolojik özellikleri, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiri Kitabı S:446-454 (1995).
- Kayalı, E.S., Prof.Dr., Eruslu, N., Prof.Dr., Ürgen, M., Prof.Dr., Taptık, Y., Prof.Dr., Çimenoğlu,H., Prof.Dr. (1997). Hasar Analizi Seminer Notları 07-11 Nisan, İstanbul.
- Keleştimur, M.H. (1989). Makine Yapı Çeliklerinde Abrasif Asınma Direncine Yüzey Sertliğine Etkisi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Nam vd.: "A study on plasma-assisted boriding of steels" *Surface and Coatings Technology* 2005, 98 (886-890).

- Oliveria, C.K.N., Casteletti, L.C., Lombardin, A., Totten, G.E. and Heck, S.C. 2010. "Production and characterization of boride layers on AISI D2 tool steel", *Vacuum*, V:84, pp. 792-796.
- Özbek, I. and Bindal, C., 2002. "Mechanical properties of boronized AISI W4 steel", *Surface and Coatings Technology*, V:154 pp.14-20.
- Özbek, İ., 1999 "Borlama Yöntemiyle AISI M50, AISI M2 Yüksek Hız Çeliklerinin ve AISI W1 Çeliğinin Yüzey Performansının Geliştirilmesi" SAU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya
- Özdemir, A., *Kayaların Delinebilirliği Sondajcılık Uygulamalarına Giriş*, Elma matbaası Ankara, 2012.
- Özdemir, A., 2009. *Sondaj Tekniğine Giriş* (2.Baskı), Mattek Matbaası, 74 s.
- Ozdemir, Ö., Usta M., Bindal C. and Üçışık A.H., 2006. "Hard iron boride (Fe<sub>2</sub>B) on 99.97 wt% pure iron", *Vacuum*, V:80, pp. 1391-1395.
- Özsoy, A., 2001. "Borlama ile İlgili Genel Bir Değerlendirme" *Endüstriyel Yüzey Teknolojileri Dergisi*, Sayı, 22, 10-13
- Reyes, M., and Neville, A., Degradation mechanisms of Co-based alloy and WC metal–matrix composites for drilling tools offshore, *Wear*, (2014) vol:255, pp 1143-1156.
- Saygın, M. (2006) AISI 1020 Çeliklerinde Borlamanın Yorulma Dayanımına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 59s.
- Şen, Ş. Özbek, I. Sen, U. ve Bindal, C., Mechanical behavior of borides formed on borided cold work tool steel, *Surface and Coat. Technol.* (2001) Vol. 135, 173-177.
- Şen, U., 1997. Küresel grafitli dökme demirlerin borlanması ve özellikleri, İ.T.Ü, FBE, İstanbul.
- Sezer, V., *Sondaj Tekniği*, MTA yayınları ,1974.
- Sinha, A. K. , Boriding(Boronising), *ASM Handbook*, Vol. 4, J. Heat Treating, pp. (1991) 437-447.
- Smith, G.,T. *Cutting Tool Technology*, Springer press (2008).
- Tabur, M., İzciler, M., Gül, F. and Karacan, İ. 2009, "Abrasive wear behavior of boronized AISI 8620 steel". *Wear*, V:266 pp.1106-1112.
- Taktak, Ş., 2007. "Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels", *Materials and Design*, V:28, pp.1836-1843.
- Tezcan Rıdvan., *Borlama İşlemi ve Endüstriyel Uygulamaları*. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 1996.
- Thuro, K., "Drillability prediction: geological influences in hard rock drill and blast

tunnelling”, *Geol Rundsch*, 86, 426-438 (1997).

Ulker S, Gunes I and Taktak S 2011 Investigation of tribological behaviour of plasma paste boronized of AISI 8620, 52100 and 440C steels. *Indian J. Eng. Mater. Sci.* 18: 370–376

Uluköy, A., ve Can A. C., 2006. “Çeliklerin Borlanması” *Pamukkale Üniversitesi mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt:12 sayı:2 sayfa 189-198.

Ulutan, M., AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi (Ph. D.), Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2007.

URL1 [www.ozyalcinlarsondaj.com.tr](http://www.ozyalcinlarsondaj.com.tr), Sivas, 2011. Özyalcınlar Mühendislik Sondaj ve Maden İşleri,

URL2 <http://nurolteknoloji.com/tr/sectorler/ozel-tungsten-karbur-wc-urunler.html> erişim tarihi 10.09.2013 Nurol teknoloji, Tungsten Karbür Delme ve Sondaj Uçları,

URL3 Mates Malzeme Ekipman, Petrol Sondajı Ekipmanları Aşınma Önleme, Aşınmaya Karşı Çözümler, <http://www.mates-e.com/a-oil.php> erişim tarihi 10.09.2013.

Uzun, H.A., 2002 "Borlam İle Yüzeyleri Sertleştirilen Çeliklerin Aşınma ve Korozyona Karşı Dayanımları" Y.Lisans Tezi

Wei, Q., Yu, Z.M., Ashfold, M. N.R., Ye, J., Ma, L. Synthesis of micro- or nano-crystalline diamond films on WC-Co substrates with various pretreatments by hot filament chemical vapor deposition, *Applied Surface Science*, (2010) 256, 4357-4364.

Yalçın, A., Sondaj Yöntemleri ve Uygulamaları, TMMOB, Maden Müh. Odası Yayınları, 1991.

Yang, X., Wu, S., Kang, Y., Wang, X., Xia R., *Pitting mechanism of cemented carbide tool in the early stage of rock drilling*, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials* (2014) Vol: 42 pp.103–107.

Yapar, U., 2003. Düşük ve orta karbonlu çeliklerin termokimyasal borlama ile yüzey özelliklerinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yıldızlı, K., Odabaş D., NAİR F. (2003). Borlanmış AISI 1020 Çeliğinin Eroziyon Aşınma Davranışının İncelenmesi. Makine Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, 38039, *BAÜ Fen Bil. Enst. Derg.* (2003). 5.1, Kayseri.

Yu, L. G., Chen, X. J., Khor, K. A., Sundararajan, G., 2005. “FeB/Fe<sub>2</sub>B Phase Transformation During SPS Pack-Boriding: Boride Layer Growth Kinetics”, *Acta Materialia*, 53, pp. 2361-2368.

Yurtseven, R., 2008. ”Tel Çekme Sanayinde Borlamanın Endüstriyel Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Gökhan SAĞLAM  
Doğum Yeri ve Tarihi : 29/03/1990 /ANKARA

### Eğitim Durumu

**Lisans Öğrenimi** : Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği  
Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü

**Bildiği Yabancı Diller** : İngilizce

**Sertifikalar** : Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Uluslararası Kaynak Mühendisliği(02/2014)  
ÇSGB C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı(01/2014)

### İş Deneyimi

**Stajlar** : Erkunt Sanayi A.Ş (İmalat stajı)  
Bodycote İstaş Isıl İşlem(İşletme stajı)

**İş Deneyimi** : Döksan Isıl İşlem A.Ş.(Üretim ve Kalite Mühendisi)  
02/2014-02/2015  
Aksan Kardan LTD.(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)  
04/2015-07/2016

**İletişim** : saglamgokhan@yandex.com



