



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**PASLANMAZ MİLLERİN FARKLI AKIM TÜRLERİYLE BOR  
TOZU KAPLANMASININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**SEVGİ BUDAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DR. ÖĞR. ÜYESİ SERKAN APAY**

**DÜZCE, 2022**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**PASLANMAZ MİLLERİN FARKLI AKIM TÜRLERİYLE BOR  
TOZU KAPLANMASININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

Sevgi BUDAK tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Gürcan SAMTAŞ

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Volkan ONAR

Pamukkale Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 21/01/2022

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

21 Ocak 2022

Sevgi BUDAK



## TEŐEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında her zaman yanımda olan, desteğini ve emeğini esirgemeyen bu yolda atmış olduğum adımların mimarı tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY'a özverisinden dolayı en içten dileklerle teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Hayatımın her anında ve tez yazım sürecimde, yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen annem İpek BUDAK ve babam Mehmet BUDAK'a ayrıca her zaman her konuda destek olan ablam Serpil AĞAÇ, eniştem Hakan AĞAÇ ve abim Serkan BUDAK, yengem Nuran BUDAK ve kuzenim Uğurcan BUDAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmamda ve hayatımın her noktasında her türlü yardımı ve desteğini eksik etmeyen arkadaşlarım Çağla ALAY ve Eray ALAY'a teşekkürlerimi sunarım.

21 Ocak 2022

Sevgi BUDAK

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. BOR MİNERALLERİ VE BİLEŞİKLERİ.....	4
2.1. BOR MİNERALLERİ.....	5
2.2. TİCARİ ÖNEME SAHİP BOR MİNERALLERİ.....	6
2.3. KALSİYUM BORATLAR.....	7
2.3.1. Kolemanit ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).....	7
2.3.2. Pandemit ( $\text{Ca}_2\text{B}_{10}\text{O}_{19}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ).....	8
2.3.3. İnyoit ( $\text{Ca}(\text{H}_4\text{B}_3\text{O}_7)(\text{OH})\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ).....	9
2.4. SODYUM BORATLAR.....	9
2.4.1. Kernit (Razorit) ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ).....	9
2.4.2. Tinkalkonit ( $\text{Na}_2(\text{B}_4\text{O}_7)\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).....	10
2.4.3. Boraks (Tinkal) ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ).....	10
2.5. SODYUM- KALSİYUM BORATLAR.....	11
2.5.1. Üleksit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ).....	11
2.5.2. Probertit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).....	11
2.6. MAGNEZYUM BORATLAR.....	12
2.6.1. İnderit ( $2\text{MgO}\cdot 3\text{B}_2\text{O}_3\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ ).....	12
2.6.2. Kurnakovit ( $\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ ).....	12
2.6.3. Kotoit ( $\text{Mg}_3(\text{BO}_3)_2$ ).....	12
2.6.4. Mkalisterit ( $\text{Mg}_2(\text{B}_6\text{O}_7(\text{OH})_6)\cdot 2\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ).....	12
2.6.5. Suanit ( $\text{Mg}_2(\text{B}_2\text{O}_5)$ ).....	12
2.7. KALSİYUM- MAGNEZYUM BORATLAR.....	12
2.7.1. Hidroborasit ( $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).....	12
2.7.2. Tünelit ( $\text{SrB}_6\text{O}_9(\text{OH})_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ).....	13
2.8. BOR MİNERALLERİNİN KULLANIM ALANLARI.....	13
2.9. TÜRKİYE BOR YATAKLARININ DAĞLIMI VE JEOLJİK KONUMU.....	14
3. ÇELİK MALZEMELER.....	15
3.1. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİĞİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ.....	16
3.1.1. Nikelin Etkisi.....	16
3.1.2. Kromun Etkisi.....	16
3.1.3. Molibdenin Etkisi.....	16
3.1.4. Vanadyumun Etkisi.....	17
3.1.5. Volframın Etkisi.....	17
3.1.6. Kobaltın Etkisi.....	17

3.1.7. Alüminyumun Etkisi.....	17
3.1.8. Bakırın Etkisi.....	17
3.1.9. Kurşunun Etkisi .....	18
3.1.10. Borun Etkisi.....	18
<b>3.2. BAZI ÇELİKLERİN KULLANIM ALANLARINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI.....</b>	<b>18</b>
3.2.1. Konstrüksiyon Çelikleri.....	19
3.2.2. Yay Çelikleri .....	19
3.2.3. Otomat Çelikleri.....	19
3.2.4. Karbon Çelikleri.....	19
3.2.5. Sementasyon Çelikleri .....	20
3.2.6. İslah Çelikleri .....	20
3.2.7. Rulman Çelikleri .....	20
3.2.8. Takım Çelikleri.....	21
<b>3.3. PASLANMAZ ÇELİKLER.....</b>	<b>21</b>
3.3.1. Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri.....	22
3.3.1.1. Korozyon Dayanımı .....	22
3.3.1.2. Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar .....	22
3.3.1.3. İmalat Kolaylığı .....	22
3.3.1.4. Mekanik Dayanım .....	22
3.3.1.5. Görünüm .....	22
3.3.1.6. Sağlıklı Özellik.....	22
3.3.1.7. Uzun Ömür.....	23
<b>3.4. PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ .....</b>	<b>23</b>
3.4.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	24
3.4.2. Martensitik Paslanmaz Çelikler .....	26
3.4.3. Ferritik Paslanmaz Çelikler .....	27
3.4.4. Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler .....	28
<b>3.5. PASLANMAZ ÇELİKLERDE KAYNAK.....</b>	<b>29</b>
<b>4. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELER.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1. KAYNAK YÖNTEMİNİN SINIFLANDIRILMASI.....</b>	<b>30</b>
4.1.1. Kaynağın İşlem Cinsine Göre Sınıflandırılması.....	30
4.1.1.1. Ergitme Kaynağı.....	31
4.1.1.2. Basınç Kaynağı.....	31
4.1.2. İmalat Cinsine Göre Sınıflandırma .....	31
4.1.2.1. El Kaynağı.....	31
4.1.2.2. Mekanik Kaynak.....	31
4.1.2.3. Yarı Otomatik Kaynak.....	31
4.1.2.4. Tam Otomatik Kaynak .....	32
4.1.3. Amacına Göre Sınıflandırma .....	32
4.1.3.1. Birleştirme Kaynağı.....	32
4.1.3.2. Doldurma Kaynağı.....	32
<b>4.2. KAYNAK YÖNTEMİNDE ISI GİRDİSİ.....</b>	<b>32</b>
<b>4.3. METALLERİN KAYNAK KABİLİYETİ.....</b>	<b>33</b>
<b>4.4. KAYNAK YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>34</b>
<b>4.5. ELEKTRİK ARK KAYNAĞI .....</b>	<b>35</b>
<b>4.6. GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ.....</b>	<b>35</b>
4.6.1. MIG Kaynak Yöntemi (Metal Asal Gaz).....	36
4.6.2. MAG Kaynak Yöntemi (Metal Aktif Gaz) .....	37
4.6.3. TIG Kaynak Yöntemi (Tungsten Inert Gas) .....	38
4.6.4. Tozaltı Kaynağı .....	40
4.6.5. Plazma Kaynağı.....	41

4.6.6. Lazer Kaynak .....	42
<b>5. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>43</b>
5.1. DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER.....	43
5.1.1. Ana Malzeme .....	43
5.1.2. Kaynak Teli.....	43
5.1.3. Kaynak Tozu.....	44
5.2. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN CİHAZLAR.....	44
5.2.1. Kaynak Makinası .....	44
5.2.2. Bakalite Cihazı .....	44
5.2.3. Optik mikroskop ve SEM mikroskobu .....	46
5.2.4. Sertlik Test Cihazı ve Aşınma Testi .....	47
5.3. METOT .....	48
<b>6. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>50</b>
6.1. OPTİK MİKROSKOP VE SEM MİKROSKOBU SONUÇLARI .....	50
6.2. SERTLİK TEST CİHAZI VE AŞINMA TESTİ SONUÇLARI .....	60
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>63</b>
<b>8. KAYNAKLAR .....</b>	<b>65</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>73</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 3.1. Saf demir soğuma eğrisi. ....	15
Şekil 3.2. Bazı paslanmaz çelik türlerinin içyapıları. ....	24
Şekil 3.3. Östenitik paslanmaz çelik mikro yapısı. ....	26
Şekil 3.4. Martenzitik paslanmaz çelik mikro yapısı. ....	27
Şekil 3.5. Ferritik paslanmaz çelik mikro yapısı. ....	28
Şekil 3.6. Dubleks paslanmaz çelik mikro yapısı. ....	28
Şekil 4.1. Ergitme ve basınç kaynağının şematik gösterimi. ....	31
Şekil 4.2. Kaynak kabiliyeti. ....	34
Şekil 4.3. MIG Kaynak yöntemi şematik gösterimi. ....	36
Şekil 4.4. TIG Kaynak yöntemi şematik gösterimi. ....	38
Şekil 4.5. TIG kaynağı kutuplama biçimlerine göre kaynak dikişleri. ....	39
Şekil 4.6. Tozaltı kaynağı şematik gösterimi. ....	41
Şekil 5.1. Bakalit alma cihazı. ....	45
Şekil 5.2. Parlatma ve zımparalama cihazı. ....	45
Şekil 5.3. Optik mikroskobu. ....	46
Şekil 5.4. SEM/EDS Analizi taramalı elektron mikroskobu. ....	46
Şekil 5.5. Dijital mikro sertlik test cihazı. ....	47
Şekil 5.6. Turkyus aşınma test cihazı. ....	47
Şekil 5.7. Kaplama derinliklerinin resmi, a) Numuneler, b) Macun tozların boşluklara sızınması, c) Kaynak işleminin uygulanması. ....	48
Şekil 6.1. B <sub>4</sub> C ve B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> eklenmeden yapılan kaplamalar a) Normal akım b) Pulse akım c) Double pulse akım. ....	51
Şekil 6.2. B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ilaveli yapılan kaplamalar a) Normal akım b) Pulse akım c) Double pulse akım. ....	52
Şekil 6.3. B <sub>4</sub> C ilaveli yapılan kaplamalar a) Normal akım b) Pulse akım c) Double pulse akım. ....	53
Şekil 6.4. Kaplama mikroyapıları, a) Normal akım, b) Pulse akım, c) Double pulse akım. ....	55
Şekil 6.5. B <sub>4</sub> C İlaveli kaynak kaplama SEM görüntüleri. ....	56
Şekil 6.6. B <sub>4</sub> C İlaveli kaynak kaplama EDS analizi. ....	57
Şekil 6.7. B <sub>4</sub> C İlaveli kaynak kaplama element harita analizi. ....	57
Şekil 6.8. B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> İlaveli kaynak kaplama SEM görüntüleri. ....	58
Şekil 6.9. B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> İlaveli kaynak kaplama EDS analizi. ....	59
Şekil 6.10. B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> İlaveli kaynak kaplama element harita analizi. ....	59
Şekil 6.11. Numune sertlik ölçüm bölgeleri. ....	60
Şekil 6.12. B <sub>4</sub> C İlaveli kaynak kaplama aşınma testi 15 dk. ....	61
Şekil 6.13. B <sub>4</sub> C İlaveli kaynak kaplama aşınma testi 30dk. ....	61
Şekil 6.14. B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> İlaveli kaynak kaplama aşınma testi 15 dk. ....	62
Şekil 6.15. B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> İlaveli kaynak kaplama aşınma testi 30 dk. ....	62

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Çizelge 2.1 Ticari öneme sahip bor mineralleri.....	7
Çizelge 2.2. Dünya'daki bor madeni miktarları ve işletilen miktarları.....	14
Çizelge 5.1. Ana malzemenin kimyasal bileşimi (% Ağırlık).....	43
Çizelge 5.2. Deneylerde kullanılan ER308LSi kaynak telinin kimyasal bileşimi.....	44
Çizelge 5.3. Kaplama tozunun kimyasal bileşimleri (% Ağırlık).....	44
Çizelge 5.4. MIG kaynak yöntemiyle kaplama işlemi kaynak parametreleri.....	48
Çizelge 6.1. Normal, Pulse ve Double Pulse sertlik değerleri.....	60



## KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif akım
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
B <sub>4</sub> C	Bor karbür
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bor oksit
dk	Dakika
DC	Doğru akım
EDS	Enerji dispersiv spektrum
gr	Gram
kg	Kilogram
MAG	Metal aktif gaz
MİG	Metal inert gaz
mm	Milimetre
OM	Optik mikroskop
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TİG	Tungsten inert gaz

## SİMGELER

A	Akım
°C	Santigrat derece
C	Karbon
Cr	Krom
Fe	Demir
HV	Vickers sertlik değeri
m	Metre
N	Newton
Ni	Nikel
O	Oksijen
Si	Silisyum
V	Voltaj
W	Watt
%	Yüzde
$\delta$	Delta ferrit
$\alpha$	Ferrit
$\mu$	Mikron
$\mu\text{m}$	Mikrometre

## ÖZET

### PASLANMAZ MİLLERİN FARKLI AKIM TÜRLERİYLE BOR TOZU KAPLANMASININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Sevgi BUDAK

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Ocak 2022, 72 sayfa

Bor mineralleri metalürji sanayinden otomotiv sektörüne, kompozit malzeme üretiminden nükleer sanayiye kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle metalürji alanında malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek amaçlı kullanılmaktadır. Metalik malzemelerin yüzeylerinde kaplama malzemesi olarak kullanılması sıklıkla karşılaşılan durumlardandır. Yüzey kaplama malzemesi olarak bor yüzeye fırın içerisinde borlama ısıl işlemi ile kaplanabildiği gibi kaynaklı birleştirmelerde ilave malzeme olarak da kaplanabilmektedir. Kaynaklı yöntemlerde, TİG, MİG-MAG, Plazma transfer ark kaynak ve lazer kaynak yöntemleri örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik mil malzeme üzerine Bor Karbür ve Bor Oksit tozu 3 farklı akım değerlerinde kaplanmıştır. Sinerjik pulse MİG kaynak yöntemi ile 60 mm uzunluğunda, 8 mm çapında paslanmaz çelik millerine 2 mm derinliğinde ve 7 mm çapında boşluklar açılmıştır. Tepe noktalarına açılan bu boşluklara bu tozlar eklenerek kaynaklı işlem gerçekleştirilmiştir. Açılan boşluklardan tozların uçmasını önlemek amacıyla tozlar saf alkolle macun kıvamına getirilip sürülmüştür. Tozlar ilave edildikten sonra mil üstlerine normal, tek ve double pulse olmak üzere kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi sonucunda optik mikroskopla görüntüler çekilmiştir. Numunelere optik inceleme sonrasında mikro sertlik ölçümü işlemi uygulanmıştır. Kaplama ara yüzü incelemeleri neticesinde, kaynak dikişi ile paslanmaz mil malzemenin metalürjik olarak bağlandığı ve kaynak dikişinde dentritik yapılar olduğu görülmüştür. Kaynak dikişi mikro sertlikleri incelendiğinde double pulse akım ile yapılan kaplamanın, normal akım ve pulse akım ile yapılanlara göre daha sert olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** AISI 304 Mil, Bor Karbür, MİG Kaynağı, Pulse-Double Pulse Akım.

## ABSTRACT

### EFFECT OF BORON POWDER COATING WITH DIFFERENT CURRENT TYPES OF STAINLESS STEEL ROUND ROD ON MECHANICAL

Sevgi BUDAK

Düzce University

Institute of Graduate Studies, Department of Manufacturing Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan APAY

January 2022, 72 pages

Boron minerals and their constituents are used in many fields from metallurgical industry to automotive industry, from composite material production to nuclear industry. Boron and boron minerals are especially used in the field of metallurgy to improve the mechanical properties of materials. For example, the use of metallic materials as a coating material on the surfaces is often encountered. Boron surface as surface coating material can be coated with boron heat treatment inside the furnace as well as additional material in welded joints. In welding methods, TIG, MIG-MAG, plasma transfer arc welding and laser welding methods can be given as examples. In this study, Boron Carbide and Boron Oxide powder is coated on three different flow values on AISI 304 stainless steel shaft material. With the synergic pulse MIG welding method, the holes of 60 mm distance, 8 mm diameter stainless steel rod were drilled in 2 mm depth and 7 mm diameter.  $B_4C$  and  $B_2O_3$  powder was added to these cavities opening to the peaks and the welded process was carried out. In order to prevent the  $B_4C$  and  $B_2O_3$  dust from flying into the cavities opened, it was put into a paste with pure alcohol and applied. After the addition of powder, welding was performed on the shaft tops as normal, single and double pulse. Because of the welding process, optical microscope images were taken. Micro hardness measurement was applied to the samples after optical examination. As a result of the examination of the coating interface, it was seen that the welded seam and stainless shaft material were metallurgical bonded and the welded seam was dendritic structures. When welding micro stiffness was examined, it was determined that the coating with double pulse current was harder than the ones with normal current and pulse current.

**Keywords:** AISI 304 Shaft, Boron Carbide, Boron Oxide, MIG Welding, Pulse-Double Pulse Current.

# 1. GİRİŞ

Metal malzemelerin kaynaklı birleştirilmeleri günümüz endüstrisinde hızlı gelişim süreci içerisinde olan uygulamadır. Gelişen teknoloji ve sanayi sektöründe ki üretimin çoğalmasıyla malzeme ihtiyaçları artmış ve bu ihtiyaçlar malzeme üretimi kullanımı ve geri dönüşümü için yenilikçi metotlar geliştirmeyi mümkün kılmıştır. Sanayi sektöründe hammaddenin ve hammadde kaynaklarının değerlendirilmesi ile birlikte kaynaklı birleştirme uygulamalarının gelişmesinde önemli rol oynamıştır. Yapılan kaynaklı birleştirme uygulamaları genelde sökülemeyen birleştirmeler için kullanılsa da temas eden yüzeyler arasında, aşınma ve yüzey oksidasyonu (korozyon) gibi özelliklerini de geliştirip malzemelerin çalışma sürelerini, mekanik hasarlar oluşmadan ya da biçim değişikliğine uğramış malzemelerin kullanılabilir hale getirilmesi için de tercih edilir. İmalat sektöründe kullanılan metal malzemelerin artması ile birlikte hammadde azalması ve hammadde eksikliğinden kaynaklanan işgücü kayıplarının yaşanmaması için malzemelerde dayanım ve geri dönüşüm büyük önem kazanmıştır. Bu sektörde kullanılan çelik malzemelerinin oksidasyona, çatlama ve diğer mekanik zorlamalara karşı dirençli olmaları beklenmektedir. Bu amaçla en fazla kullanılan kaynaklı birleştirme teknikleri olarak toz altı kaynağı, gazaltı kaynağı ve elektrik ark kaynağı uygulamaları gelmektedir. Gelişen teknolojiler vasıtasıyla bu kaynak uygulamalarının otomasyonu ile kaynaklı birleştirme uygulamalarında insanlardan kaynaklanan kaynak hatalarının en aza indirilmesi sağlanmıştır. Finansal değeri yüksek olan bazı makina parçalarının kırılması veya aşınması nedeniyle kullanılmayacak hale gelmesi işletmenin geri kalmasına neden olabilir. Bu parçaların yerine her zaman yenilerinin takılması da kurtarıcı bir çözüm olmamaktadır. Bu durumu engellemek amacıyla belli mukavemet altındaki parçalar kullanılmaz hale gelmeden önce aşınan kısmın uygun kaynak yöntemiyle doldurulması parçanın hem işlevini yerine getirmesi hem de aşınmalara karşı daha dirençli bir hal almasını sağlayacaktır. Bu durumda hem maliyet azaltılacak hem de istenilen aşınma özellikleri makina parçasına kazandırılarak çalışma ömrü uzatılacaktır. Hatta bazı makina parçalarının yenisini veya yedeğini temin etme durumundan kurtararak iş ve zaman kazancı sağlayacaktır. Makine parçasının iyileştirilmesi esnasında uygulanacak kaynak yönteminin özenle seçilmesinin de önemi büyüktür. Seçilen kaynak yönteminin önemini

maliyet ve zaman açısından değerlendirmek en doğru yaklaşımdır. Programsız seçilen kaynak yöntemi maliyet ve zaman kaybına neden olabilir. Günümüzde metal malzemelerin kaynaklı birleştirilmelerinde tercih edilen MİG kaynağı, ergitmeli kaynak yöntemlerinden biridir. Bu yöntem otomatikleştirilebilme kolaylığı, robotik kullanıma uygunluğu ve birçok malzemeye kaynak edilebilirliği açısından avantaj sağlar ve uygulayıcılar tarafından tercih edilir. Sürekli tel besleme, cürufsuz oluşu, kolay otomasyon ve her pozisyonda kaynak yapabilme gibi özelliği de diğer tercih sebeplerindedir. MİG kaynağı ergiyen ve sürekli beslenen tel elektrotla, malzeme arasında oluşan ark sonucu metal malzemelerin birleşmesini sağlar. Bu metot, elektrot ile kaynak banyosu arasında temassız bir metal transfer geçiş metodudur [1].

İşlem, her akım darbesinde elektrotun ucunda erimiş damlacık metalinin oluşmasıyla gerçekleşir. Ergiyik damla transferi her darbeye bir damla malzemeye geçecek şekilde meydana gelmektedir. Bu damla geçişi sisteminde, tel besleme oranı ile akım şiddeti arasındaki ilişkiye bağlı olarak ark uzunluğu kaynak makinesi tarafından dengelenir. Akım şiddetine ve kaynak hızına bağlı olarak kaynatılan malzemeye geçen ısı miktarı, ısı girdisi olarak adlandırılır. Isı girdisinin fazla olması malzemedeki çarpılma ve distorsiyon hatalarına sebep olmaktadır. Malzemeye ısı girdisini düşürerek, kaynak kabiliyetini olumsuz yönde etkileyen faz oluşumlarını ve erime hatalarını önleyerek, malzemelerin başarılı ve verimli bir şekilde kaynak edilmesine imkân sağlamaktadır [2].

Bor minerali (B), periyodik tabloda, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81, yoğunluğu 2,84 gr/cm<sup>3</sup>, ergime noktası 2200 °C ve kaynama noktası 2250 °C olan, metalle ametal arası yarı iletken özelliğine sahip, 3A grubunun ilk ve en hafif elementidir. Bor minerali tabiiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmadığı bilinmektedir. Doğada yaklaşık olarak 230 değişik bor minerali olduğu bilinmektedir [3].

Bor elmasan sonra ametaller arasında elektropozitifliği ve sertliği en yüksek olan elementtir. Yüksek sıcaklıklarda elektrik iletkenliği ve aşınma direncinin fazla olması, çeliği sertleştirme gibi özellikleriyle tercih sebebi olmaktadır. Metalürji sanayide genellikle cüruf yapıcı ve metallerde alaşım elamanı olarak kullanılan bor elementi ve bu element bileşenlerinin sahip olduğu özellikler birçok çalışmaya da öncülük etmiştir. Bu çalışmada tercih edilen bor karbür tozu hedeflenen amaçları karşılamış ve istenilen sonuçların elde edilmesine imkân sağlamıştır [3].

Bor karbür (B<sub>4</sub>C), yüksek sertliğin yanında düşük yoğunluğa sahip, refrakter seramik

grubuna giren ve ileri teknolojik uygulamalarda kullanılan siyah parlak kristalli bir malzemedir. Diğer önemli özelliklerinin arasında yüksek sıcaklıklarda yüksek elastik modül, kimyasallara karşı çok yüksek dayanıklılık ve yüksek nötron tutma kabiliyetine sahip olmasıdır. Bir miktar toz elmasla karıştırılarak macun halinde parlatma işlerinde kullanılması da diğer bir tercih sebeplerindedir. Bor karbür ayrıca sert girişler, çıkışlar, masterlar, mikrometreler, havanlar, taşlama elemanları, pres kalıbı yapımında kullanılır [3]. Bor oksit ( $B_2O_3$ ), bor ve bor içerikli birçok ileri teknoloji malzeme üretiminin ana hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Bor oksit, borik asidin dehidrasyonundan elde edilir ve bor oksit üretimi, borik asidin kristal suyunun uzaklaştırılması ile gerçekleşir. Bunkerden alınan borik asit kurutucuya beslenir. Kurutma, soğutma, eleme işleminden sonra elde edilen bor oksit depolanır [3].

Metal ve alaşımlarının yüksek sıcaklık, aşınma, korozyon gibi çalışma şartlarında istenilen özellikleri sağlayamadığı durumlarda kompozitler, seramikler, plastikler ve süper alaşımlar gibi yeni malzemeleri devreye sokmaktadır. Bu nedenle metal malzeme yüzeyine karbür, nitrür, oksit veya borür gibi farklı kaplama teknikleriyle (TİG, MİG-MAG, Plazma transfer ark kaynak, lazer kaynak vb.) uygulanmaktadır [4].

Bu çalışmada kullanılan bor karbür ve bor oksit tozu ile yapılan kaplama işlemi diğer yüzey sertleştirme yöntemleriyle elde edilemeyen yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı ve iyi mikroyapı görüntülerinin elde edilmesini sağlamıştır. Kaplama yöntemindeki esas; bileşimleri birbirine uygun ya da benzer olan alaşım tozlarının, kaplanacak olan malzemenin yüzeyinde ergitilmesi olayıdır. Ergime, her iki malzeme de aynı anda gerçekleşir ve hızla katılarak modifikasyon yapılan kaplama malzemesi ile esas metal metalürjik olarak birbirlerine bağlanır. Hızla katılan ince taneli mikroyapılar sert karbür fazlarını içerirler ve oluşan yeni yapılar ile yüzeyin sertlik, aşınma direnci vb. özelliklerinde gelişmeler elde edilir [5].

Sinerjik Pulse MİG kaynak yönteminin sağladığı avantajlar birçok elementin kaynak edilebilirliğini sağladığı gibi bu çalışmada kullanılan bor karbür tozunun paslanmaz çelik millerine etkili şekilde uygulanmasını da sağlamıştır.

Bu çalışmada, bor karbür ve bor oksit tozu ile paslanmaz çelik millerine yapılan kaynaklı kaplamaların, optik mikroskopla görüntüleri çekilmiştir ve numunelere optik inceleme sonrasında mikrosertlik ölçümü yapılmıştır. Numuneler daha sonra SEM ve EDS haritalama yöntemi ile analiz edilmiş ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

## 2. BOR MİNERALLERİ VE BİLEŞİKLERİ

İngiliz kimyager Sir Humpry Davy ve Fransız kimyagerler Gay-Lussac ile Baron Louis Thenard tarafından bulunan Bor periyodik sistemin üçüncü grubunun başında B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5 ve atom ağırlığı 10,81 olan geçiş elementidir. Şekil 2.1’de görülen kristalize bor, görünüm ve optik özellikleri bakımından elmasa benzemektedir ve sertlik olarak elmasa yakındır.

Bor, farklı elementlerle bileşik oluşturma özelliği ve nötronları absorbe etme özelliği ile endüstriyel uygulamaların ve üretim sektörlerinin değişmez elementlerinden biri olmuştur. Metal ile ametal arası yarı iletken özelliğe sahip olup yapılarında farklı oranlarda bor oksit bileşiği bulunan ve bu bileşikten ayrıştırılan elementtir [6].

Doğada birden çok bor ve bor bileşiği bulunmaktadır. Bu bileşiklerden ticari önemi olanlar; tinkal (boraks), kolemanit, kernit, üleksit, pandemit, borasit, szaybelit ve hidroborasit’tir. Türkiye’de bulunan bor bileşikleri, tinkal, kolemanit ve üleksit’dir. Bu bileşikler, ayrıştırma işlemi öncesinde borca zenginleştirme işlemine tabi tutulurlar. Zenginleştirme işlemi sonrası rafinasyon işlemi ile bu bileşiklerden çeşitli bor kimyasalları elde edilir [7].

Doğada yaklaşık olarak 230 çeşit bor mineralinin olduğu bilinmektedir ve çeşitli metal veya ametal elementlerle yapmış olduğu bileşiklerin göstermiş olduğu farklı özellikler, endüstride birçok bor bileşiğinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır [8].

Boraksın doğada yaygın bulunması ve endüstriyel kullanımının fazla olmasından dolayı ticari olarak en fazla önem taşıyan bileşikler boratlardır. Günümüzde bor ürünleri birçok endüstri alanının ana ham maddesidir. Tercih edilen alanlar da tüketimi hızla artmaktadır. Her gün farklı ve inovatif bir kullanım alanlarının geliştirilmesi ile bor, önümüzdeki gelecek yıllar içerisinde enerji kaynağı olarak kullanılma ihtimalini de arttırmaktadır ve bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Bu nedenle bor madenine olan ilgi daha da artmakta ve giderek daha güçlü bir element olmak yolunda gelişmektedir. Türkiye de bulunan bor madeni miktarı dünyanın yaklaşık % 73’ünü oluşturmaktadır ve bu nedenle ülkemizdeki bor madenlerini ve işlenmesi daha büyük bir önem kazanmaktadır [9].



Şekil 2.1. Bor mineralinin görünümü.

## 2.1. BOR MİNERALLERİ

Volkan gazlarından ve tuzlu su göllerinden elde edilenler dışında, bor ürünleri çoğunlukla boratlardan elde edilir. Türkiye'deki borat yatakların en belirgin özelliği, yatakların oluşum koşullarının, tipik karasal evaporit yatakların gelişmesine yol açan etmenlerden farklı olduğunu göstermektedir. Yaygın bir kalsiyum borat olan kolemanit, Kırka hariç hemen hemen tüm borat bölgelerinde egemen mineraldir ve Türkiye borat yataklarının mineralojisi önemli derecede farklılıklar gösterir [10].

Yataklarda boratların, kalsiyum karbonat tortullarının çökmesinin izlenir ve borat geliştirecek olan çözeltilerin birleşiminde karbonat fazlalığından dolayı ilk çökelen boratlar karbonat boratlardır. Çökmenin ilerlemesi ve buharlamanın devam etmesi ile sodyum-karbonat boratlar çökmeye başlar. Uygun şartların sağlandığı yataklarda çözeltiler sodyum-karbonat borat alanından, sodyum borat alanına, diğer yataklarda ise tersine dönerek tekrar karbonat borat çökmesini gerçekleştirirler. Buna göre, Türkiye'deki yatakların büyük bir kısmı eksik bir çökelim, buna karşı da Kırka yatağın da tam bir borat mineralleri dizilimi çökmesi gözlenir [11].

Türkiye’de borat mineralleri yataklarında, kimyasal bileşimlerine göre aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- i. Kalsiyum boratlar,
- ii. Sodyum – kalsiyum boratlar,
- iii. Sodyum boratlar,
- iv. Magnezyum – kalsiyum boratlar,
- v. Magnezyum boratlar,
- vi. Stronsiyum boratlar,
- vii. Silisyum – kalsiyum boratlar,
- viii. Kompleks boratlar [8].

## **2.2. TİCARİ ÖNEME SAHİP BOR MİNERALLERİ**

Boratlar grubunda yer alan bor mineralleri, yerkabuğunda pegmatit ve metamorfik kayaçlar gibi farklı jeolojik yapılardan çeşitli formlarda bulunmaktadır. Bugün Dünya’da bulunan ve ticari değeri olan en yaygın bor mineralleri; Tinkal, Tinkalkonit, Kolemanit, Kernit, Üleksit, Pandermit, Borasit, Hidroborasit, İnderit, Ascharite, Datolit, Sassolite, Meyerhofferit, İnyoit ve Probertit’tir [8]. Ticari bor mineralleri, flux, boraks tozu veya sıır haline getirilebilir. İnşaat malzemelerinde, pencereler ve fayanslar için cam yüzeylerde, bulaşık veya tava gibi sterilize edilmiş mutfak eşyalarında, halı ve çarşaflardan inatçı lekeleri çıkarmak için temizlik maddelerinde bulunur. Çizelge 2.1’de ticari öneme sahip bor mineralleri tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 2.1 Ticari öneme sahip bor mineralleri.

Grubu	İsmi	Formülü	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Bölge
<b>Ca boratlar</b>	İnyoit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .13H <sub>2</sub> O	37,62	Türkiye (Kırka, Bigadiç), Kazakistan, Arjantin
	Kolemanit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .5H <sub>2</sub> O	50,81	Türkiye (Kestelek, Bigadiç, Emet, Kırka, Susurluk), Amerika, Arjantin, Peru, Sırbistan, Meksika
	Pandermit	Ca <sub>4</sub> B <sub>10</sub> O <sub>19</sub> .7H <sub>2</sub> O	49,83	Türkiye (Bigadiç, Susurluk, Peru)
<b>Na boratlar</b>	Boraks (Tinkal)	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O	36,51	Türkiye (Kırka), Amerika, Arjantin, Hindistan, Bolivya
	Kemit (Razorit)	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .4H <sub>2</sub> O	47,97	Türkiye (Kırka), Amerika, Arjantin
<b>Na-Ca boratlar</b>	Üleksit	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .8H <sub>2</sub> O	42,95	Türkiye (Kırks, Kestelek, Bigadiç, Emet), Arjantin, Amerika, Bolivya, Peru, Şile, Sırbistan, Çin
	Probertit	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .5H <sub>2</sub> O	49,56	Türkiye (Kestelek, Emet)
<b>Mg boratlar</b>	İnderit	2MgO.3B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .15H <sub>2</sub> O	37,32	Türkiye (Kırka), Kazakistan
	Kumakovit	Mg <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .15H <sub>2</sub> O	37,32	Türkiye (Kırka)
	Admontit	MgB <sub>6</sub> O <sub>10</sub> .7(H <sub>2</sub> O)	55,66	Avusturya, Alp Dağları
	Kotoit	Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	36,54	Kuzey Kore
	Mkallisterit	Mg <sub>2</sub> B <sub>12</sub> O <sub>14</sub> (OH) <sub>12</sub> .9(H <sub>2</sub> O)	54,35	ABD, Kaliforniya
	Suanit	Mg <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	46,34	Kuzey Kore
<b>Ca-Mg boratlar</b>	Hidroborasit	CaMgB <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .6H <sub>2</sub> O	50,53	Türkiye (Kırka, Kestelek, Bigadiç, Emet), Arjantin, Çin
	İnderborit	CaMgB <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .11H <sub>2</sub> O	41,49	Türkiye (Kırka), Kazakistan
<b>Sr boratlar</b>	Tünelit	SrB <sub>6</sub> O <sub>10</sub> .4H <sub>2</sub> O	54,31	Türkiye (Kırka)

## 2.3. KALSİYUM BORATLAR

### 2.3.1. Kolemanit (Ca<sub>2</sub>B<sub>6</sub>O<sub>11</sub>.5H<sub>2</sub>O)

Monoklinik sistemde kristallenen kolemanitin kimyasal bileşimi Ca<sub>2</sub>B<sub>6</sub>O<sub>11</sub>.5H<sub>2</sub>O'dur. Sertliği mohr cetveline göre 3,4-3,8 arasında değişen, kristalsiz amorf yapıda parlak yüzeyli metamorfik bir mineraldir. Kolemanitler suda yavaş, hidroklorik asit içinde çözülür ve soğuyan çözeltide bor, borik asit olarak çözeltiden ayrılır. Kolemanit ısıtıldığında suyunu kaybeder ve toza dönüşür. Kolemanit iri, parlak, saydam kristaller halinde bulunur ve tekstil sektöründen nükleer sektöre kadar birçok alanda

kullanılmaktadır. Kolemanit mineralinin görünümü Şekil 2.2’de verilmiştir [12].



Şekil 2.2. Kolemanit mineralinin görünümü.

### 2.3.2. Pandemit ( $\text{Ca}_2\text{B}_{10}\text{O}_{19}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

Tek parça olarak beyaz renklidir. Bazen kireç taşına benzetilmektedir. Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. Kil ve jips seviyelerinin altında küresel halde ve 1000 kg ağırlığına yakın kütleler şeklinde bulunmaktadır. Kolemanit ve kalsite dönüşebilmektedir.  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği % 49,8’dir. Şekil 2.3’de pandemit’in görünümü verilmiştir [13].



Şekil 2.3. Pandemit mineralinin görünümü.

### 2.3.3. İnyoit ( $\text{Ca}(\text{H}_4\text{B}_3\text{O}_7)(\text{OH})\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )

İnyoit yersel olarak, Kırka ve Bigadiç yataklarındaki ocakların bir kısmında gözlenen kristal sistemi monoklinik bir yapıdır. Bu mineral, renksizden beyaza kadar değişkenlik gösteren tonlar da bulunmaktadır. Büyük granüllü, silindirik iri agregalar şeklinde bulunan camsı parlak bir yapıya sahiptir. Kristallerin bazıları 3 cm veya üzerinde olabilir. Fakat çok geniş bir kısmı mikroskobik ölçülerdedir ve iki kökene bağlı farklılıklar göstermektedir. İnyonit mineralinin görünümü Şekil 2.4’de gösterilmiştir [14].



Şekil 2.4. İnyoit mineralinin görünümü.

## 2.4. SODYUM BORATLAR

### 2.4.1. Kernit (Razorit) ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )

Kimyasal bileşimi  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  olan kernit monoklinel sistemde kristelleşir. Camsı yapıda saydam, renksiz ve boylamasına uzanan iğneli kristal haldedir. Mohr sertlik değeri 3,  $1,95 \text{ g/cm}^3$  ağırlığındadır. Gerekli atmosfer şartları sağlandığında tinkalkonit’e dönüşür ve soğuk suda yavaş çözünür. Bu kristaller iğnemsî yapısı ile kırılgen yapıdadır. Bor içeriği %15,8 boroksit içeriği %51’dir. Şekil 2.5’de kernit mineralinin görünümü verilmiştir [15].



Şekil 2.5. Kernit mineralinin görünümü.

#### **2.4.2. Tinkalkonit ( $\text{Na}_2(\text{B}_4\text{O}_7)\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )**

Trikonal rengi olmayan saydam görünümlü kristal yapıya sahiptir. Kil-şeyl dokusal ve mineralojik değişime sahip borat yatağında bulunur. Özgül ağırlığı 1,88 olup sertliği 3'tür ve kesinlikle ölçülmez. Bor muhteviyatı % 14,7, boroksit içeriği % 47,9'dur. Tebeşir görünümünde sahiptir ve kendine has kristal yapısı yoktur. Boraksın suyunu kaybetmesi veya kernitin su almasıyla oluşan minerallerdir [16].

#### **2.4.3. Boraks (Tinkal) ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )**

Tinkal, doğal boraks dekahidrattır ve monoklinal sistemde kristalleşir. Ticari kullanım alanı çok geniş olan borakslar diğer türevlerine nazaran doğada en çok bulunma özelliğine de sahiptir. Sertliği 2-2,5 arasında, özgül ağırlığı 1,7'dir. Bor içeriği %11,3 ve  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %36,5'dir. Borakslar genelde beyaz renkte görünse de, gri, mavi veya yeşil renkli olanları da bulunmaktadır. Bazı borakslar cam saydamlığında ve parlaklığındadır. Boraksların üzerinde beyaz çiziler de bulunmaktadır ve ters manyetik yönlüdürler [17]. Suda kolaylıkla çözülür ve çözünürlüğü çözelti sıcaklığının artması ile artar. Tinkal çabuk bozularak, suyunu kaybederek tinkalkonite dönüşebilir. Kille ara katkılı tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur. Türkiye'de Eskişehir-Kırka yatağında bulunmaktadır. Boraks mineralinin görünümü Şekil 2.6'de verilmiştir.



Şekil 2.6. Boraks mineralinin görünümü.

## 2.5. SODYUM- KALSİYUM BORATLAR

### 2.5.1. Üleksit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ )

Kimyasal bileşimi  $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  olan üleksit karnabahar, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Üleksit minerali birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Üleksit; ilk olarak zenginleştirme işlemine tabi tutulur, sonrasında çeşitli mekanik işlemlerinden geçirilerek ticari kullanıma hazır hale getirilir. Isı ve ses yalıtımında, cam, seramik ve gübre endüstrisinde önemli bir yer tutmaktadır. Üleksit; masif, karnabahar, lifsel, koni, rozet, pamuk yumağı ve çubuk görünümüyle doğada yer almaktadır. Mohs sertlik, sınıflandırmasına göre sertliği 2,5 özgül ağırlığı  $1,95\text{-}2 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Kütahya/ Emet'te bulunan bor yataklarında üç farklı düzeyde rastlanılan Üleksit, bu yataklarda kolemanit ve hidroborasit ile birlikte yer alır. Kırka'da borat yatakları içinde boraks, kolemanit ve inyonit ile birlikte yer alır. Üleksit mineraline dünyada ise Arjantin'de rastlanmaktadır [18].

### 2.5.2. Probertit ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )

Kristal boyutları 5 mm ve 5 cm arasında değişen probertit, grimsi, açık sarı renklerde olup fiber şekilli kristaller şeklinde bulunan minerallerdir. Boroksit muhteviyatı % 49,5'dir. Kestel yataklarında üleksitin yanında ikincil mineral olarak bulunmaktadır. Ancak Emet'te tabakalı olarak, Doğanlar-İğdeköy'de kalın tabakalı olarak bulunmaktadır [19].

## **2.6. MAGNEZYUM BORATLAR**

### **2.6.1. İnderit ( $2\text{MgO}\cdot 3\text{B}_2\text{O}_3\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ )**

Kazakistan'daki İnder yataklarında çıkartıldığı için adına İnderit denmektedir. Kristal sistemi triklinikdir. Küresel ve yumruk büyüklüğüne yakın taş benzeri şekilde elde edilir. Mohr sertliği 3, özgül ağırlığı  $1,87 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Camsı saydamlıkta ve parlak kristalli yapıdadır [20].

### **2.6.2. Kurnakovit ( $\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ )**

Rus mineralog N.S. Kurnakov tarafından bulunan kurnakovit kristal yapılı olarak toplu bişr şekilde bulunur. Monoklinik kristal yapıdadır. Mohr sertliği 3, özgül ağırlığı  $1,86 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Diğer minerallere benzer olarak beyaz renklidir ve saydam yapıdadır. Ayırıştırma işlemi için sıcak asit kullanımı gerekmektedir ve suyla etkileşime girmemektedir. İnderit gibi Kazakistan'daki İnder Borat yataklarında bulunmaktadır [21].

### **2.6.3. Kotoit ( $\text{Mg}_3(\text{BO}_3)_2$ )**

Kristal yapıları ortorombik yapıdadır. Saydam görüntüde renksiz granül yapıdadır. Saydam olması nedeniyle parlaktır ve bazı damarlı formlardan oluşur. Işık geçirgenliği bazılarında yarı geçirgen durumdadır [22].

### **2.6.4. Mkalisterit ( $\text{Mg}_2(\text{B}_6\text{O}_7(\text{OH})_6)\cdot 2,9\text{H}_2\text{O}$ )**

Kristal yapıları trigonal yapıdadır. Saydam görüntüde renksiz bazalt damarlı yapıdadır.

### **2.6.5. Suanit ( $\text{Mg}_2(\text{B}_2\text{O}_5)$ )**

Kristal yapıları monoklinik yapıdadır. Deniz incisine benzer bir görünüme sahiptir ve beyaz ipek görüntüsündedir.

## **2.7. KALSİYUM- MAGNEZYUM BORATLAR**

### **2.7.1. Hidroborasit ( $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )**

Odak merkezden yayılan ışınlar benzeri iğne yapılı kristallerin kompozit malzemelerde olduğu gibi rastgele yönlendirilmiş şekildedir. Parçacık yapılı olduğu için fiber yapılara benzemektedir. Genel olarak beyaz renkte olmakla birlikte içerdiği diğer minerallere göre göre kırmızı ve sarı renklerde de olabilir. Kütahya ilinde bulunmaktadır [23].

### 2.7.2. Tünelit ( $\text{SrB}_6\text{O}_9(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )

Kristal yapıları monoklinik yapıdadır. Saydam görüntüde renksiz yarı geçirgen yapıdadır. Beyaz ve gri renklerde bulunur.

## 2.8. BOR MİNERALLERİNİN KULLANIM ALANLARI

Bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları; Cam, seramik, deterjan, ilaç ve kimya sanayii, yanmayı önleyici (geciktirici) madde yapımı, tarım, metalurji, enerji depolama, arabalar (hava yastıkları, hidrolik fren vb.), su arıtma, pigment ve kurutucu olarak, nükleer uygulamalar ve diğer kullanım alanlarıdır [24].

Sanayi alanında bor ve bileşiklerinin çok çeşitli kullanım alanları mevcuttur. Türkiye de ham veya yarı işlenmiş olarak, sabun deterjan, cam sanayilerin de ABD’de uzay mekiği, savaş uçakları gibi birçok alanda kullanılır. Genel kullanım alanı olarak, cam, porselen, seramik eşya sanayisi, itfaiye giysileri, elektrik kabloları, fren balataları gibi yanmaz eşya yapımında, tekstil kimyasalları, deri giysileri, mobilya ve benzeri ahşap eşya koruyucu sıvıları, yapay gübre katkı maddesi, yapıştırıcı, kozmetik alanı ve bazı ilaçların üretiminde kullanılır [25].

Yaygın kullanım alanından dolayı borikasit ve boraks tuzları gibi işlem görmemiş halde boratlar için ihtiyaç yoğunluğu fazladır ve işlenmiş bor ürünlerinin üretimi artmaktadır. Bor bileşikleri, düşük erime noktası ve çok iyi seviyede olan ergime özelliklerinden dolayı özellikle cam ve seramik endüstrisinde fazlasıyla tercih edilme sebebi olmuştur. Bu fazlasıyla talep gören bileşikler, lehimleme, kaynak işlemleri ve arıtma işlemlerinde de büyük avantajlar sağlamaktadır.

Su içinde kolay erime, yumuşama ve bakteri öldürücü özelliği gösteren boraks ve borik asit, sabunlarda, deterjanlarda kullanılmaktadır.

Ziraatta bitki besleyici olarak gübrelere boraks ilave edilir ve yabancı otları kontrol etmek için de kullanılır [26].

Ergime özelliklerinin çok iyi olmasından dolayı bor ve bileşikleri kaynak işlerinde, sertliği arttırmak amacıyla çelik alaşımlarına ilave edilir. Bazı bor bileşikleri, demir metalürji reaksiyonlarında oksijen giderici, tane arıtıcı ve atomik reaktörlerde kullanılmaktadır.

## 2.9. TÜRKİYE BOR YATAKLARININ DAĞLIMI VE JEOLJİK KONUMU

Fransız mühendis Desmazes kendisine hediye edilen delikli bir malzemeden yapılan küçük heykelin, kimyasal analiz sonuçlarında yüksek oranda bor oksit minerali içerdiğini görmüştür ve Türkiye de ilk bor yatağı bu rastlantı ile keşfedilmiştir. Bu rastlantı ile Türkiye'nin dünya pazarlarında söz sahibi olduğu tek maden bor olmuştur [27].

Türkiye üzerinde bulunan bor madenleri, doğudan batıya doğru 301 km, kuzeyden güneye doğru da yaklaşık 155 km'lik bir bölge içinde Marmara Denizinin güneyinde Batı Anadolu'da yer almaktadır. Başlıca bulunduğu iller, Eskişehir, Kütahya, Balıkesir ve Bursa'dır [28].

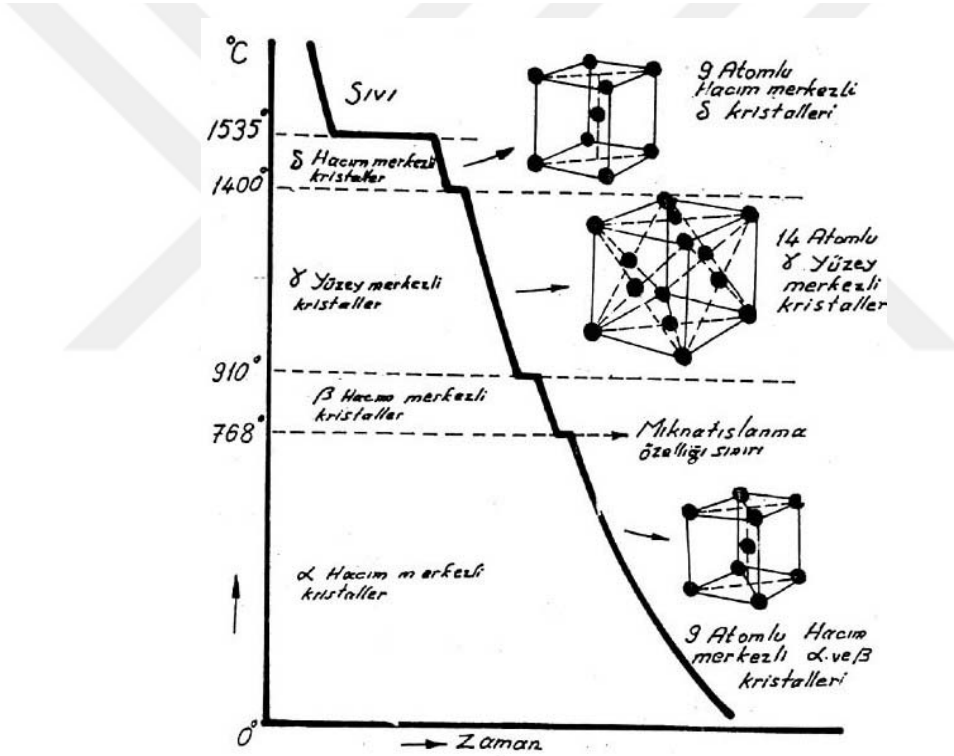
Bilinen bu borat yatakları, volkanik aktivitelerin yer aldığı dönemlerde, Tersiyerin gölgesel sedimanlarında meydana gelmiştir. Kurak veya yarı kurak bölgelerde ayrı ayrı ya da birbirleriyle bağlantılı göl havzalarında depolanan borat mineralleri, oldukça geniş alanı kapsar. Dünyada bor rezervleri dağılımı Çizelge 2.2'de gösterilmiştir [29].

Çizelge 2.2. Dünya'daki bor madeni miktarları ve işletilen miktarları.

Ülke	Bilinen rezerv miktarı (%)	İşletilen rezerv miktarı (%)
Toplam	1275-100	488-100
Türkiye	803-63	320-66
ABD	209-16	60-12
Kazakistan	136-11	54-11
Çin	36-3	27-6
Güney Amerika	91-7	27-6

### 3. ÇELİK MALZEMELER

Mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri iyi olan çelik maksimum % 2 karbon içeren demir alaşımli bir malzemedir. Farklı elementlerle rahat bir şekilde bileşim sağlayabilen malzemelerdir. Demir birçok değişik fiziksel halde bulunma özelliğine sahip bir allotropik metaldir ve 910 °C dereceye kadar hacim merkezli küp şeklindeki yapısını korur. Bu sıcaklıktan sonra yüzey merkezli küp yapısına dönüşür [30]. Isıtma devam ettirildiği takdirde 1400 °C'larda tekrar hacim merkezli küp yapısına döner, 1535 °C'da ergir ve soğurken de aynı dönüşümleri tersine izler. Bu özellikler Şekil 3.1'de görülmektedir [31].



Şekil 3.1. Saf demir soğuma eğrisi.

Sıvı halde bulunan saf demir katılaşmaya başladığında yani 1530 °C'nin altına indiğinde, hacim merkezli kübik kristal yapıda bulunan delta (δ) demirine dönüşür. Her demir atomunun çevresi sekiz komşu demir atomu ile donanmıştır katılaşmayla dokuz atomlu bir kristal yapı olmuştur. Soğuma işlemine devam edilirse, 1411 °C'de kristal yapıdaki atomların birbirlerine yaklaşması sonucu hacim merkezli kübik yapı östenit fazına yani yüzey merkezli kübik yapıya geçer. Bu yüzey merkezli kübik yapıda, yeni atom 14 atoma

sahiptir. Devam eden soğuma işlemiyle birlikte saf demir kristal yapısı, 911 °C'de öncelikle duraklar ve yüzey merkezli kübik yapı bu kez ferrit ( $\alpha$ ) fazı olan hacim merkezli kübik yapıya dönüşmektedir. Bu bölgedeki demire alfa demiri de denilmektedir. Bu dönüşüm işlemi artık saf demirin soğuma eğrisindeki son dönüşümdür ve artık yapı hacim merkezli kübik yapı olarak alfa demiri adı ile oda sıcaklığında bile aynı kristal yapıda kalmaktadır [32].

### **3.1. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİĞİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Sade veya düşük karbonlu çeliklerin, yüksek dayanım, süneklik, sertlik ve tokluk gibi özellikleri iyileştirmek, yüksek temperleme sıcaklıkları, korozyon direncini arttırmak, düşük veya yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özellikler istemesi, yüksek oksidasyon, aşınma ve yorulma dayanımı gibi özelliklerin en iyi seviyelerde sağlanması için bazı alaşım elementleri çeliğe ilave edilmektedir [33]. Çelik malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılan alaşım çelikleri ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

#### **3.1.1. Nikelin Etkisi**

Birçok mekanik malzemenin yapımında kullanılırlar. Çeliklere ise yüksek sıcaklık direnci, ısıl genleşme ve elektrik geçişine direnç gösteren tellerinin imalatında büyük katkı sağlar. Silisyum ve mangana nazaran daha yüksek çekme dayanımı ve düşük özgül uzama sağlar. Çeliğin çekirdeğe kadar sertleşebilmesini sağlar. Krom ve nikel çelikleri paslanma, korozyon ve kimyasal maddelere karşı koruma sağlar. Genel amaç, östenitik yapı, korozyon ve tufallaşmaya dayanım sağlamasıdır [34].

#### **3.1.2. Kromun Etkisi**

Dayanımı yüksek çelik elde edilmesini sağlar. Özgül uzamayı azaltarak tufallaşmayı en aza indirir. Yüksek krom değerleriyle çelik malzemede oluşan krom oksit tabakası ile birlikte korozyona karşı direnç kazanır ve aşınma dayanımı maksimuma çıkar. Çelik içerisinde krom miktarını azaltarak kaynak edilebilirliği artırılır. Karpit elemanlarının oluşumuna yardımcı olur. Akma sınırı ve çekme dayanımını artırır [35].

#### **3.1.3. Molibdenin Etkisi**

Çelikte tane büyümesini önler, aşınmaya karşı dayanımı ve korozyon direncini artırır. Alaşimsız çeliğe az miktarda ilave edildiğinde krom elementi gibi paslanmaya yani

korozyona karşı ilk direncin oluşmasında büyük katkı sağlar [36].

#### **3.1.4. Vanadyumun Etkisi**

Çeliğe malzemeye sertlik kazandırır böylece ilk yapıya göre ince taneli bir yapı oluşur. Kırılma ve farklı çalışma yüklerine karşı çok sağlam direnç gösterirler. Genel kullanım alanı kesici takımlardır. Vanadyumun az miktarda katılması kaynak edilebilirlikte hissedilir düzeyde değildir. İyi karpit oluşumu sağlar ve çeliklerde akma sınırı, çekme mukavemeti ve yüksek sıcaklıklarda çalışma imkânı sağlayarak mekanik özellikleri geliştirir [37].

#### **3.1.5. Volframın Etkisi**

Çelik içerisine ilave edilen volframın en önemli etkisi tüm sıcaklıklarda sertlik değerini korumasıdır. Yapısal dönüşüm hızını azaltarak, çeliğin iç merkezine kadar sertleşmesini mümkün kılar. Az miktarda volfram korozyon hızını azaltıcı özelliğine sahiptir. Mukavemeti, sertliği, dayanıklılığı ve kesme kabiliyetini yükseltir [38].

#### **3.1.6. Kobaltın Etkisi**

Yüksek hız çeliklerinde ve sıcaklığa bağlı çalışılan yerlerde çeliğin mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanılır. Manyetik özellikleri iyi olduğundan mıknatıs yapımında kullanılır. Çeliğin ısıya ve yüklere karşı dayanımını artırır [39].

#### **3.1.7. Alüminyumun Etkisi**

Çelik yapısında pullanma ve oksitlenmeyi engeller. Karbonun yapıdan ayrılmasını kolaylaştırır ve fazla ilave edildiğinde çeliği iri taneli yaparak tufallaşma oluşumunu engeller. Çelikte kullanılmasının en önemli sebebi ağırlığını azaltmasıdır ve azota ilgisi olduğundan nitürasyon çeliklerine katkı sağlamasıdır. Akma ve darbe tokluğunu artırması da diğer önemli özelliklerindedir [39].

#### **3.1.8. Bakırın Etkisi**

Özgül uzamayı azaltır ve çekme ve akma sınırını yükseltir. Hurda malzemelerin dönüşümünde çeliklerin içerisine katılır. Korozyon direncini artırır [40].

### **3.1.9. Kurşunun Etkisi**

Çelik malzemelere ilave edilen kurşun çeliğin daha rahat talaş kaldırılmasını sağlayarak talaşlı imalatı kolaylaştırır [40].

### **3.1.10. Borun Etkisi**

Östenitik çeliklerde alaşım elemanı olarak kullanılmaktadır. Ayrışma sertleşmesinin ve özel durumlarda kullanılmaktadır.

Düşük ve orta karbonlu çeliklere alaşım elementi olarak bor ilavesi, bu çeliklerin sertleşebilirlik özelliklerini ve bu yüksek çekme dayanımları ve yüksek aşınma dayanımları elde edilmektedir (bor alaşım). Bor ilavesi beyaz dökme demir malzemelerde aşınma dayanımını geliştirmektedir ve borun etkisiyle mikroyapının modifikasyonu ve bor karbür türü sert bileşiklerin oluşumunu sağlamaktadır. Çeliğe ilave edilen düşük oranlardaki bor, hem sade karbonlu çeliklerin hem de alaşımlı çeliklerin sertleşebilirliğini, sertlik ve dayanımını arttırmaktadır ve diğer karbür yapıcı elementlerle kıyaslandığında, borun düşük oranda eklenmesi de gerekli mukavemet sağlamaktadır [12].

Sertleştirmeyi arttırmak için çelik bileşimine en fazla 30 ppm bor ilavesi yeterli olmakla birlikte bor ilavesi, çelik yapısındaki karbon, mangan, krom, molibden gibi diğer sertleştirici alaşım elementlerin sertleştirme derecesini de arttırmaktadır böylece çelikte kullanılan diğer pahalı alaşım elementleri maliyetinde tasarruf sağlamaktadır.

## **3.2. BAZI ÇELİKLERİN KULLANIM ALANLARINA GÖRE SINIFLANDIRILMASI**

Gelişen teknolojiler ile birlikte üretim sektörünün ve sanayi kollarının gelişimine paralel olarak değişik özelliklerde ve kalitelerde demir-çelik ürünleri geliştirilmektedir. Yeni keşfedilen veya geliştirilen bu demir çelik ürünleri de mekanik özellikleri ve fiziksel özelliklerine göre kategorize edilmişlerdir. Bazı grup çelikler ise kullanıldıkları alanlara göre kategorize edilmişlerdir. Kullanım alanlarına göre yapılan tasnifleme aşağıda verilmiştir [41].

### **3.2.1. Konstrüksiyon Çelikleri**

Yüksek sertliğin düşünülmediği kolay şekillendirme ve kolay kaynatılabilme özellikleri ile konstrüksiyon çelikleri yani yapı çelikleri inşaat sektöründen taşımacılık sektörüne makine imalatından taşımacılık sektörüne kadar geniş kullanım alanları bulmaktadır. Çeşitli inşaat çelikleri, H, I, L ve U kesitli profiller şeklinde de üretilerek kullanıma sunulmaktadır [42].

### **3.2.2. Yay Çelikleri**

Yay çeliği çok çeşitli yay üretimlerinde kullanılan çeliklere verilen isimdir. Bu çelikler özellikle otomotiv ve endüstriyel süspansiyon uygulamalarında kullanılır. Yay çelikleri genellikle düşük alaşımli manganez, orta karbonlu çelik veya çok yüksek akma dayanımına sahip yüksek karbonlu çeliktir. Bu, yay çeliğinden yapılan parçalara önemli eğilme ve burulmalara rağmen orijinal şekline dönmeye imkan verir. Yorulma yüklerine maruz kalan yaylarda yüksek yüzey kalitesi ve temiz içyapı istenir [43].

### **3.2.3. Otomat Çelikleri**

Çelik malzemeden istenen özellikler arasında talaşlı işlenebilirlik kabiliyeti önem arz eder. İmalat aşamasında, yüksek kesme hızları ve buna bağlı olarak işlem zamanı, takım ömrü, iyi yüzey kalitesi, daha düşük kesme kuvvetleri kullanarak sağlanacak enerji tasarrufu gibi kriterler, diğer faktörlerle birlikte malzeme kalitesiyle de direkt alakalıdır. Bu kaliteyi sağlamak amacıyla otomat çelikleri geliştirilmiştir. Otomat çelikleri karbon haricinde kükürt ve fosfor içerir. Kükürt ve fosfor talaşlı işlem kabiliyetini artırmasından dolayı otomat çelikleri içine özellikle ilave edilir. Otomat çelikleri kurşun ile alaşımlandırılmış şekilde de yağlama özelliğini artırır [44].

### **3.2.4. Karbon Çelikleri**

Yapılarında az miktarda mangan, silisyum, kükürt ve fosfor gibi çelik üretim yöntemlerinden gelen elementler bulunduran demir karbon alaşımlarıdır. Kullanım alanları yapı ve imalat sektörü olduğundan dolayı imalat çelikleri olarak da bilinirler. Karbonlu çeliklerin tüm özellikleri, içerdikleri karbon miktarına bağlı olarak, sahip oldukları yapılarla doğrudan ilişkilidir. Artan karbon miktarı ile çeliklerde sertlik, akma ve çekme dayanımı artarken, süneklik ve darbe dayanım özellikleri azalmaktadır. Karbon miktarının artışı çeliklerin kalıcı şekil değişikliği üzerinde olumsuz etkileri olmaktadır. Fakat karbon artışı ile birlikte çelik içyapısı martenzitik dönüşüm oluşumunu teşvik

etmektedir [45].

### **3.2.5. Sementasyon Çelikleri**

Sementasyon çelikleri, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların imalatında kullanılan, düşük karbonlu, alaşımsız veya alaşımlı çeliklerdir. Parçaya bu özelliklerin kazandırılması, çelik yüzeyine karbon emdirilmesi suretiyle olur. Sementasyon çelikleri, dişliler, miller, piston pimleri, zincir baklaları, zincir dişlileri ve makaraları, diskler, kılavuz yatakları, rulman yataklar, merdaneler, bir kısım ölçü ve kontrol aletleri, orta zorlanmalı parçalar, kesici takımlar gibi parçaların imalinde kullanılırlar [46].

### **3.2.6. Islah Çelikleri**

Islah işlemi, sertleştirme ve sonrasında yapılan tavlama işlemlerinin tamamına verilen addır. Sertleştirme işlemiyle maksimum değerine çıkan çekme dayanımı, tavlama işlemiyle nispeten azaltılarak malzemeye darbe dayanımı kazandırılmaktadır. Kimyasal kompozisyonları ve özellikle karbon miktarları bakımından sertleştirilmeye uygun ve ıslah sonrası yüksek çekme dayanımı ve tokluk değerlerine sahip olan alaşımsız ya da alaşımlı imalat çeliklerine “ıslah çelikleri” adı verilmektedir. Islah çeliklerinin kullanılmasıyla motor parçaları, dövme parçaları, otomobil ve makine parçaları, somun, cıvata, mil çeşitleri, akslar, piston kolları ve dişliler gibi parçaların üretilmesi sağlanabilir [47].

### **3.2.7. Rulman Çelikleri**

Rulman çeliği veya yuvarlanma elemanları için çelik, çok yüksek karbon içeriği ile karakterize edilir. Yüksek sertlik, yüksek derecede kimyasal bileşim saflığı, yüksek sertleşme kapasitesi, yüksek mukavemet ve statik yorulma ve ayrıca yeterli malzeme dayanıklılığı ile karakterizedir. Bu çelik türünde asıl vurgu aşınma direncidir. Bileşenler ve daha yakın uygulamaların diğer bileşenleri sürekli harekete maruz kalır, diğer bileşenlerle genellikle yüksek basınç altında temas eder. Birçok durumda, belirli çeliklerin daha yüksek sıcaklıkları için spesifik korozyon direnci ve direnci gereklidir. Bazı durumlarda, kimyasal bileşim ile belirlenebilir ve yatak çelikleri takım çelikleri altında değerlendirilebilir. Rulman çelikleri yüksek işlenebilirliğe, ısı işlem sırasında deformasyona, minimum metalik olmayan inklüzyonlara ve kükürt, fosfor, oksijene ve

ayrıca yüzey dekontaminasyonuna karşı sınırlı bir duyarlılığa sahip olmalıdır [47].

### **3.2.8. Takım Çelikleri**

Takım çelikleri çeşit olarak oldukça fazladır. Takım çelikleri, sertlik, aşınma direnci, tokluk ve yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya karşı direnç gibi farklı özelliklere sahip bir aile karbon ve alaşımlı çeliklerdir. Takım çelikleri, krom, vanadyum, molibden ve tungsten gibi karbür oluşturan elementleri ile farklı bileşikler içerir. Ayrıca yüksek sıcaklık performanslarını artıran kobalt veya nikel içerirler. Genellikle sertliği arttırmak için ısıtılma tabii tutulurlar ve metallerin damgalanması, şekillendirilmesi, kesilmesi ve kesilmesi ve plastiklerin şekillendirilmesi için kullanılırlar. Bileşimlerine ve özelliklerine göre çeşitli kategorilere ayrılırlar [49]. Sonuç olarak takım çelikleri, diğer malzemelerin şekillendirilmesinde kullanımları için uygundur. Altı grup takım çeliği vardır: suda sertleşen, soğuk iş takım çelikleri, darbeye dayanıklı, yüksek hızlı, sıcak iş ve özel amaçlı/plastik kalıp takım çelikleri. Seçilecek grubun seçimi, maliyete, çalışma sıcaklığına, gerekli yüzey sertliğine, mukavemete, şok direncine ve tokluk gereksinimlerine bağlıdır. Servis durumu ne kadar şiddetli ise alaşım içeriği ve buna bağlı olarak takım çeliği için gereken karbür miktarı o kadar yüksek olur [47].

### **3.3. PASLANMAZ ÇELİKLER**

Paslanmaz çelik bir demir alaşımıdır. İçerisinde min %11 Cr ve max %1,2 C elementi içermelidir. Paslanmaz çelikte kullanılan Cr elementinin önemi; malzeme yüzeyinde oksit tabakası oluşturması ve böylece malzemenin oksijenden korunmasını sağlamasıdır [48].

Paslanmaz levha yüzeyleri 1. ve 8. kalite arasında değişir. Kalite numarası arttıkça yüzey kalitesi de doğru orantılı olarak artmaktadır. 1. Kalite paslanmaz levhalar da yüzey düzgünlüğü aranmaz, 8. Kalite paslanmaz levhalar ise en parlak yüzeye sahip olup, bazı yerlerde ayna olarak bile kullanılırlar.

Paslanmaz çubuk yüzey kaliteleri A dan F ye kadar artar. A kalite paslanmaz çubuklar kaba bir yüzeye sahipken, F kalite paslanmaz çubukların yüzeyi en parlak yüzeye sahiptir.

### 3.3.1. Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri

#### 3.3.1.1. Korozyon Dayanımı

Bütün paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı oldukça yüksektir. Hatta düşük alaşımlı türleri atmosferik korozyona, yüksek alaşımlı türleri ise asit, alkali çözeltileri ile klorür içeren ortamlara dahi dayanıklıdır. Ayrıca paslanmaz çelikler yüksek sıcaklık değerlerinde kullanılabilirdiği gibi yüksek basınçlı ortamlarda da kullanılabilirler [36].

#### 3.3.1.2. Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar

Paslanmaz çeliğin bazı türlerinde, yüksek sıcaklıklarda işlem görse dahi malzemenin mekanik dayanımının da kaideye değer bir düşme gözlemlenmez. Bazı türleri de düşük sıcaklıklarda gevrekleşmez ve tokluklarını korurlar [36].

#### 3.3.1.3. İmalat Kolaylığı

Paslanmaz çeliklerin geneli kesme, kaynak, sıcak ve soğuk şekillendirmeye birlikte talaşlı imalat işlemlerine de uygundur ve kolaylıkla şekillendirilebilirler [36].

#### 3.3.1.4. Mekanik Dayanım

Paslanmaz çeliklerin geneli soğuk şekillendirmeye elverişliliği ve buna bağlı olarak da dayanımın artmasıyla, tasarımlarda malzeme kalınlıklarını istenilen ölçülere kadar azaltılmasına imkân sağlayarak parça ağırlığı ve fiyatta önemli düşüşler sağlayabilmektedir [36].

Bazı türlerine ısı işlem uygulayarak malzemeye yüksek dayanım sağlamak mümkündür böylece yüksek mukavemet istenilen özelliklerde ki imalat işlemlerine de öncülük etmektedir [36].

#### 3.3.1.5. Görünüm

Paslanmaz çelikler çok farklı desen ve yüzey kalitelerinin de temin edilebilir. Bu yüzey ve görünüm kalitesi estetik açıdan hoş bir tasarım sağlayabildiği gibi bakım işlemleri de kolay olduğu için uzun süreli korunabilirler [36].

#### 3.3.1.6. Sağlıklı Özellik

Temizlenmesinin kolay olması gibi özelliği ile paslanmaz çelikler, mutfak, hastane, gıda ve ilaç sanayisinin de yaygın olarak tercih edilmesini sağlamaktadır [36].

### 3.3.1.7. Uzun Ömür

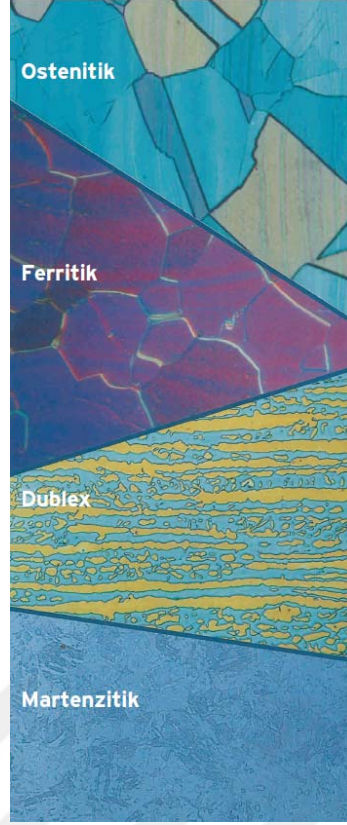
Kullanım alanlarına göre seçilen paslanmaz çelik türleri dayanım ve bakım kolaylığı sağladığı gibi kullanım ömrü de dikkate alındığında oldukça ekonomik malzeme olma özelliği göstermektedir [36].

## 3.4. PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ

Paslanmaz Çelikler iç yapısına göre 5ana gruba ayrılır. Bunlar;

- Östenitik,
- Martenzitik,
- Ferritik,
- Ferritik-Östenitik (dubleks),
- Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar.

Bu gruplandırma malzemelerin iç yapısının özelliklerine göre yapılmıştır ve bu gruplar içerisinde imalat sektöründe en yaygın olarak kullanılanlar östenitik ve ferritik çelikler olup, kullanımları paslanmaz çelikler içinde % 95'e kadar ulaşır. İç yapılarının şematik gösterimi Şekil 3.2'de verilmiştir [48].



Şekil 3.2. Bazı paslanmaz çelik türlerinin içyapıları.

### 3.4.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Bu paslanmaz çelikleri diğerler paslanmaz çeliklerden ayıran en önemli özellikleri;

- Mıknatıslanmamaları
- Tokluk derecelerinin yüksek olması
- Korozyona karşı oldukça sağlam dayanımlarıdır.

Piyasada AISI 301, 302, 303, 304, 305, 308, 309, 310, 314, 316, 317, 321, 329, 347, 348 kalite olarak bilinen paslanmaz çelikler Östenitik paslanmaz çeliklerdir. Paslanmaz çelik bileşiminde yeterli miktarda nikel bulunursa oda sıcaklığında dahi içyapı özelliği olarak östenitik yapı olur. Bu çeliklerin temel bileşimi % 18 krom ve % 8 nikel oluşturur [49].

Östenitik paslanmaz çelikler zengin alaşım içerikleriyle kullanım alanı olarak daha fazla alana hitap eder. Şekillendirme, mekanik özellikler, korozyon dayanımı, süneklilik ve tokluk bakımından düşük sıcaklıklarda bile mükemmel derecede uyum sağlamaktadır. Mekanik dayanımları ancak soğuk şekillendirme yöntemleri ile sağlanabilir, manyetik olmayan bu çeliklerin östenitik yapıları dönüşüm sağlamadığı için sertleştirme ısı

işlemleri uygulanamaz. Paslanmaz çelik üretiminin % 70'ini östenitik çelikler kapsar ve aralarında en çok kullanılan 304 kalitedir [50]. Başlıca özellikleri;

- Korozyon dayanımı oldukça iyidir
- Kaynaklı birleştirmelere elverişlidir
- Sünek oldukları için şekillendirme kolaydır
- Bakımı kolaydır
- Yüksek ve düşük sıcaklıklarda mekanik özellikleri iyidir
- Pekleşme ile dayanımları artırılabilir
- Tavlanmış halde manyetik değildir

Makina ve imalat sanayinde, mimari uygulamalarda, gıda işleme ekipmanlarında, mutfak gereçleri, asansörlerde, bina ve dış cephe kaplamaları vb. alanlarda kullanılmaktadır.

Östenitik paslanmaz çeliklerde mukavemeti arttırmak için genellikle soğuk şekillendirme yöntemleri ve alaşımlama yöntemlerinden yararlanılır. Östenitik çelikler sünek ve tok olmakla birlikte ısı etkisiyle sertleşmedikleri için kaynaklı birleştirmeler için de uygundur. Stabilize edilmiş türlerinin seçilmesi kaynak bölgesinde oluşabilecek karbür çökmesini engeller ve ısı girdisinin düşük tutulması kaynakta çarpılmayı önler [49].

Kritik sıcaklıklarda kromca zengin karbürler, taneler arası korozyona ve tane ayrılmasına yol açar bunun nedeni ise krom miktarının dayanıklılık sınırının altına düşmesidir. Bunu engellemek için iç yapıyı karbona ilgisi kromdan fazla olan elementler ekleyerek kararlı hale getirmek veya belli bir sıcaklıkta çözülen karbon miktarını bu çözülen değerden az tutmak ya da çökelmiş karbürleri tavlayıp tekrar çözündürmek ve hızlı soğutarak yeniden çökmenin olmasını engellemek. Şekil 3.3'de mikro yapı gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.3. Östenitik paslanmaz çelik mikro yapısı.

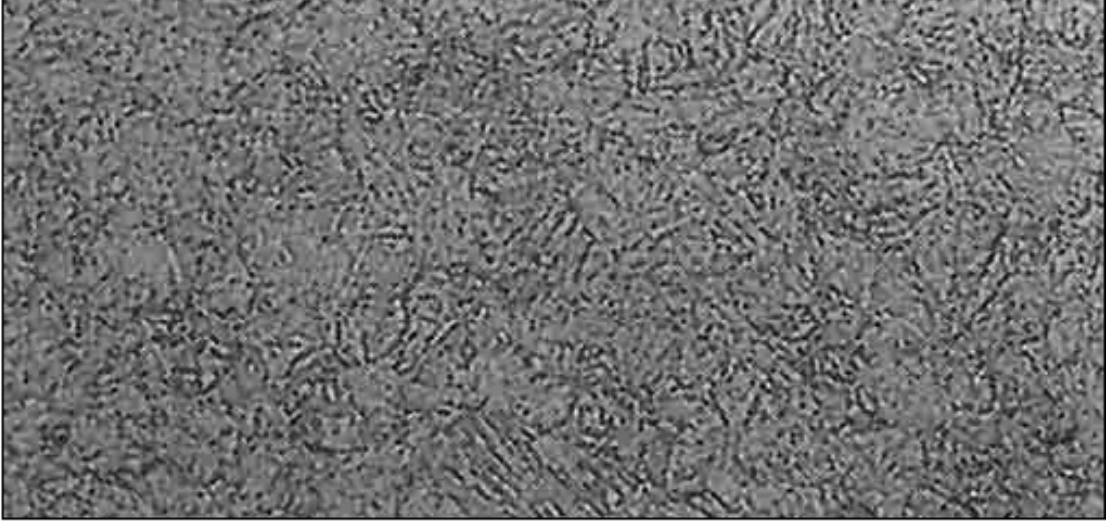
### 3.4.2. Martensitik Paslanmaz Çelikler

Bu paslanmaz çeliklerin en önemli özelliği ısı işlem yolu ile sertliklerinin arttırılabilmeleridir. Bu paslanmazlar korozyona karşı en az direnç gösteren malzemelerdir. Piyasada AISI 403, 410, 414, 416, 418, 420, 422, 431, 440, 501, 502 kalite olarak bilinen paslanmaz çelikler martenzitik paslanmaz çeliklerdir [50].

Karbon miktarı % 0,1'den fazla olan çelikler yüksek sıcaklıklarda östenitik içyapıya sahip olurlar ve östenitleme sıcaklığında tutularak su verme işlemi yapılırsa martenzitik yapı elde edilir böylece elde edilen sertlik ve mekanik dayanım karbon yüzdesi ile doğru orantılı olarak artar.

Bu çelikler tavllanmış ve su verme + temperleme işlemlerinden sonra pazara sunulur. Temperleme sıcaklığını değiştirerek değişik özelliklerde yapılar elde edilebilir fakat en iyi korozyon dayanımı için bu sıcaklıklara dikkatli şekilde uymak önem arz eder. Şekil 3.4'de Mikro yapı gösterimi verilmiştir [49].

En önemli özellikleri; Orta derece korozyon dayanımına sahip olmak, ısı işlem uygulamaları ile mukavemet kazanabilmeleri ve manyetik olmalarıdır. Bıçaklar, miller, pimler ve ameliyat aletleri bazı kullanım alanlarıdır.



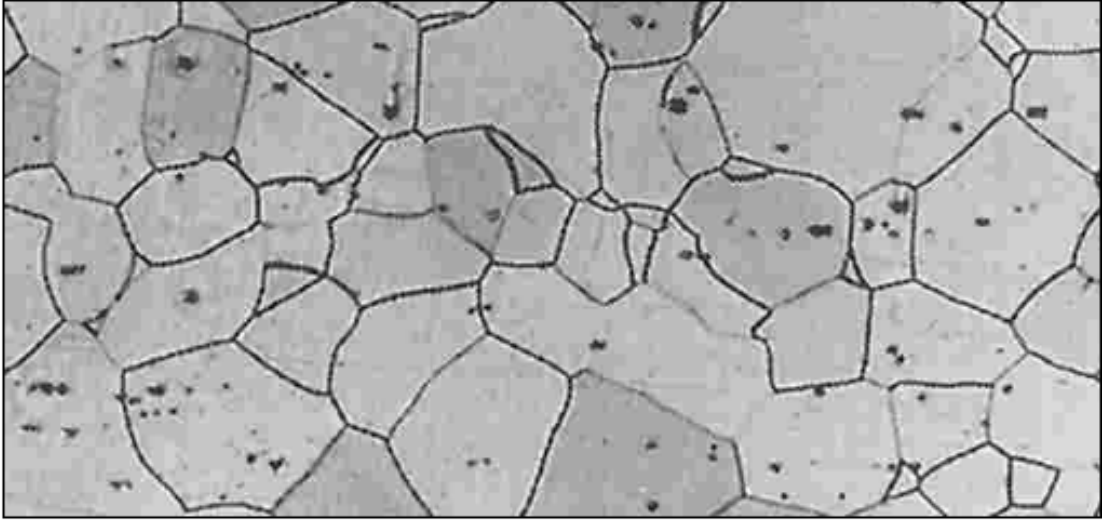
Şekil 3.4. Martenzitik paslanmaz çelik mikro yapısı.

### 3.4.3. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Düşük karbonlu ve yapısında % 12-18 krom içeren paslanmaz çeliklerdir. Isıl işlem yöntemleriyle içyapılarını ve mekanik özelliklerini etkilemek mümkün değildir. Bu sebeple de mekanik özellikleri değiştirilmediğinden dayanımları yüksektir. Düşük tokluk ve hassas gevrekleşme özelliklerinden dolayı makine parçası olarak kullanımları sınırlıdır. En önemli avantajlarından biri atmosferik korozyona ve oksidasyona dayanıklı olmalarıdır [49]. Başlıca özellikleri;

- Orta ve iyi dereceli korozyon dayanımı
- Sadece tavllanmış halde kullanılır ısıl işlemle dayanım arttırılmaz
- Manyetiklerdir
- Kaynaklı birleştirme kabiliyetleri düşüktür
- Östenitik çelikler gibi kolay şekillendirilemezler

Bazı kullanım alanları olarak; mutfak gereçleri, dekoratif uygulamalar, egzoz elemanları ve sıcak su tankları örnek verilebilir.



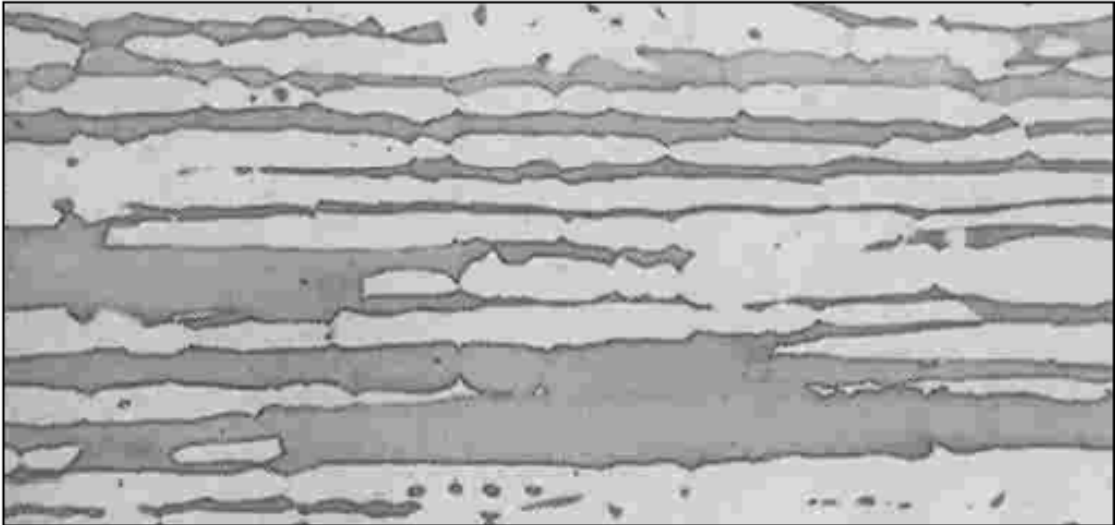
Şekil 3.5. Ferritik paslanmaz çelik mikro yapısı.

#### 3.4.4. Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Yüksek oranda krom ve orta miktarda nikel içerirler ancak nikel miktarının en fazla %8 olması bütün iç yapının östenitik olması için yetersiz kalmaktadır bu sebeple iç yapının ferrit ve östenit fazlardan oluşur ve bu yapıya dubleks çelik denir [50].

İyi mukavemet ve süneklilik sahibi olmalarının sebebi yapılarında belli oranda molibden içermeleridir. Yorulma dayanımlarıyla birlikte gerekli talimatlara uyulmasıyla kaynak edilebilirliği de sağlanır. Östenitik ve ferritik çeliklere nazaran daha yüksek mekanik direnç gösterirler. Mikro yapısı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Deniz ve tuzlu su ortamları, orta sıcaklık değerleri, ısı değiştiricileri ve petrokimya tesisleri bazı kullanım alanlarıdır [49].



Şekil 3.6. Dubleks paslanmaz çelik mikro yapısı.

### 3.5. PASLANMAZ ÇELİKLERDE KAYNAK

Paslanmaz çeliklerin hemen hemen hepsi ark kaynağı yöntem ile birleştirilebilir ancak korozyon dayanımı, kaynak metali, artık gerilmeler, çarpılma, dikiş çatlaması gibi unsurlara dikkat edilmelidir. Paslanmaz çelikler karbon çeliğinden sonra en çok direnç kaynağı uygulanan malzemelerdir [51].

Östenitik çelikler, kaynaklı birleştirmeler de paslanmazlar arasında en çok tercih edilen çeliklerdir. Düşük ısı iletimi, yüksek elektrik direnci, manyetik olmamaları ve düşük akımlarda kaynak edilebilirliği bu çeliklerin en önemli özelliklerindedir. Östenitik çelikler farklı kaynak davranışlarına sahiptirler [49].

Çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çeliklerin hemen hemen hepsi östenitik olanlara benzer şekilde ark kaynağı ile birleştirilebilir. Kaynak katkı metali benzer tercih edilerek, ısı etkilerine tepkinin aynı olması sağlanır. Kaynak işlemi sonrası ısı işlem yapılır ve dikişin mekanik özelliklerinin ana metalle aynı olması sağlanır.

Paslanmaz çeliğin kaynağında estetik bir sonuç elde etmek için yöntem ne olursa olsun metalin ısıtılması ve soğutulması kontrol edilmelidir. Metalin ısıyı muhafaza ettiği ve bu da eğilme, paslanma veya gevrekleşme gibi sorunlara yol açabileceği bilinmektedir. Paslanmaz çeliğin kaynağı için en yaygın üç yöntem TIG kaynağı, MIG kaynağı ve direnç kaynağıdır. Her birinin kendi yararları ve benzersiz özellikleri vardır [50].

## 4. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELER

Kaynaklı birleştirme genel kabul gören tanımı ile açıklamak gerekirse, iki farklı yâda aynı malzemeyi ısı, basınç ve bazen ısı-basınç aynı anda kullanılarak yapılan malzemelerin sökülemeyen birleştirilmesi olarak verilebilir. En yaygın kullanılan sökülemez bağlantı yöntemidir. İki malzemenin birleştirilmesi için kullanılan kaynak dikişinin özelliklerinin ana malzeme özellikleriyle benzer olmalıdır [51].

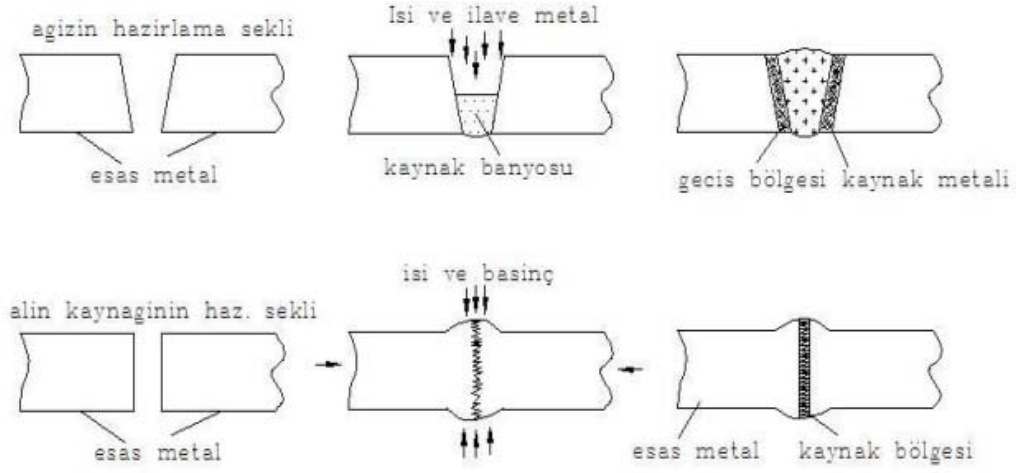
Avantajları:

- İlave malzeme miktarı çok az olduğu için hafif konstrüksiyonlar elde edilir.
- Kaynak bağlantılarının görünüşleri düzgündür.
- Kaynak işleminin esnekliği nedeni ile değişiklik ve ilaveler yapmak her zaman mümkündür.
- Nispeten düşük maliyetlidir.
- Zor geometrilerle dahi bağlantı yapmak mümkündür.
- Bağlantı yüksek mukavemetlidir.

### 4.1. KAYNAK YÖNTEMİNİN SINIFLANDIRILMASI

#### 4.1.1. Kaynağın İşlem Cinsine Göre Sınıflandırılması

İşlem cinsine göre kaynak yöntemleri Ergitme ve Basınç Kaynağı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu iki yöntemin şematik gösterimi Şekil 4.1’de verilmiştir [52].



Şekil 4.1. Ergitme ve basınç kaynağının şematik gösterimi.

#### 4.1.1.1. Ergitme Kaynağı

Birleştirilecek olan iki malzemeyi ilave metal katarak veya katmayarak ısının etkisiyle bölgesel olarak eritip birleştirme işlemi sağlamaktır. Elektrik ark kaynağı, elektrik direnç kaynağı, oksijenli gaz kaynağı, lazer kaynağı başlıca yöntemlerindedir.

#### 4.1.1.2. Basınç Kaynağı

Birleştirmeyi sağlamak için ilave metal kullanmadan ısı veya basınç kullanarak bölgesel birleştirme sağlamaktır. Demirci kaynağı, difüzyon kaynağı, sürtünme kaynağı başlıca yöntemlerindedir [52].

### 4.1.2. İmalat Cinsine Göre Sınıflandırma

#### 4.1.2.1. El Kaynağı

Kaynak penci veya torcu ve yardımcı aletler elle manuel olarak idare edilir ve birleştirme sağlanır.

#### 4.1.2.2. Mekanik Kaynak

Kaynak penci veya torcu el kaynağında olduğu gibi manuel olarak kontrol edilmektedir ama kaynak esnasında kullanılacak olan diğer araç gereçler mekanik bir şekilde çalışır ve bu şekilde birleştirme sağlanır.

#### 4.1.2.3. Yarı Otomatik Kaynak

Kaynak işlemi otomatik bir şekilde devam eder fakat kaynak işlemi, kaynakçı tarafından kumanda edilir ve kontrolünü sağlayarak birleştirme sağlanır.

#### 4.1.2.4. *Tam Otomatik Kaynak*

Kaynak işlemi öncede belirlenmiş olan bir programa göre devam eder fakat kaynak işlemini başlatmak ve durdurmak kaynakçı tarafından yapılarak birleştirme sağlanır.

### 4.1.3. **Amacına Göre Sınıflandırma**

Kaynak işlemi amacına göre birleştirme ve doldurma kaynağı olarak iki şekilde sınıflandırılır [53].

#### 4.1.3.1. *Birleştirme Kaynağı*

İki veya ikiden fazla parçayı bir bütün haline getirerek çözülemez duruma getirmek için yapılan birleştirmelerdir.

#### 4.1.3.2. *Doldurma Kaynağı*

Bir parçanın hacmindeki eksikliği tamamlamak, büyütme veya aşınma ve korozyona karşı direncini arttırmak için kullanılan birleştirme yöntemidir. Kaplama, tampon tabaka doldurması ve zırlama bu birleştirme yönteminin başlıca örneklerindedir.

## 4.2. **KAYNAK YÖNTEMİNDE ISI GİRDİSİ**

Başarılı bir kaynak işleminin en önemli ve dikkat edilmesi gereken hususlarından birisi de ısı girdisidir. Isı girdisi, malzemeye kaynaklı birleştirme esnasında geçen ısı miktarı demektir ve ısı, ark kaynağında ark, oksijen gaz kaynağında ise gaz alevi ile ortaya çıkmaktadır. Kaynak yapılacak alana bu iki yöntemden biri ile ısı verildiğinde kaynatılacak olan malzemenin sıcaklığı kaynak sıcaklığından daha az olduğu için oluşan ısı yayılımı yoluyla metalin her tarafına doğru yayılır. Bu ısı dağılımı ile birlikte metalin farklı bölgelerinde farklı ısı değişimleri ortaya çıkar. Bu nedenle, ergime oluşması ve devamlılığı için kaynaklı bağlantıya aktarılan ısı girdisi miktarının, metal üzerinde oluşacak olan ısı iletimi miktarından fazla olması gerekmektedir. Ana metalin ısı iletimi, kaynak parametrelerinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken önemli konulardandır [42].

Isı girdisi bakır malzemelerde, çeliğe göre daha hızlı bir yayılım ile atmosfere iletilmektedir. Bu yüzden, kaynaklı birleştirmenin sağlıklı oluşturulabilmesi için ısı değerinin aynı kalınlıklardaki bakırın kaynaklı birleştirilmesinde, düşük karbonlu çeliklerin kaynağına göre daha fazla ve hızlı olması gerekmektedir. Çünkü imalat

işlemlerinde kullanılan farklı tür metaller ısıyı farklı hızda iletir metalin ergime sıcaklığı da bu yüzden önemlidir.

Kaynak esnasında oluşan ergiyik bölgenin genişliğini sınırlandırmak zor olabilmektedir. Bu yüzden kaynatılacak ana malzemeyi, kaynaktan önce ısıtarak ön tavlama yapmak, kaynak için gerekli ısıyla kaynak için gerekli sıcaklık seviyesini küçülterek ergiyik oluşumu hızlanır böylece kaynaklı birleştirme başlamış olur [54].

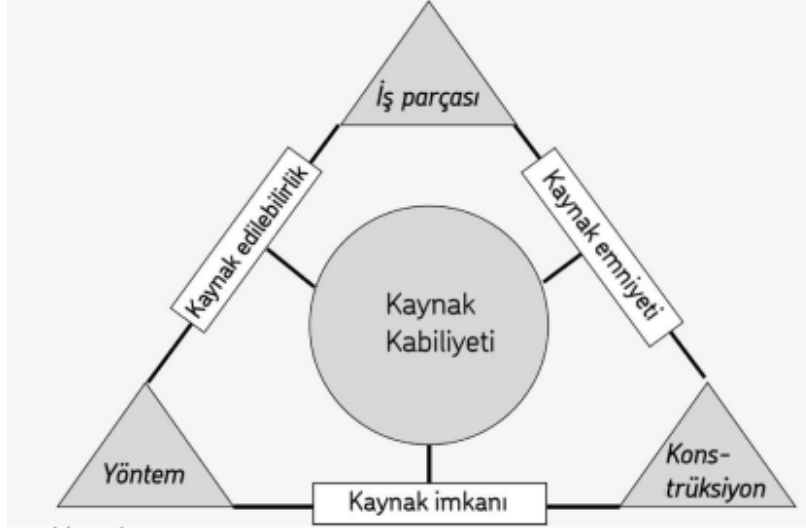
Kaynak işlemlerinde genellikle kalınlıkla daha fazla ilgilenilir fakat kesit alanının önemini de göz önünde bulundurmalıdır. Kaynaklı birleştirilen malzeme kalınlığı arttıkça, malzemeye geçen ısı miktarı da o derecede daha hızlı iletim yoluyla uzaklaşır. Bazı durumlarda kaynak yapılan malzeme geometrisi de ısı iletimde önemli rol oynamaktadır. Örneğin T şeklinde köşe kaynağı yapılan bir malzemede ısı üç yönde iletilir ve alın kaynağı gibi birleştirmede iki yönde iletilen kaynak ısısına göre daha hızlı iletilir ve soğur.

Sağlıklı bir kaynaklı birleştirme için ısı girdisinin önemi kadar, metal kalınlığı ve bağlantı tipi, ana malzemenin kaynak öncesi sıcaklığı, kaynak esnasındaki ergiyik sıcaklığı, elektrotun hareketi ve ısı iletkenliğinin de önemi büyüktür [55].

### **4.3. METALLERİN KAYNAK KABİLİYETİ**

Metaller kaynaklı birleştirmelere uygun bulunmamaktadır. Bir malzemeye uygulanacak kaynaklı birleştirme yöntemi, seçilen malzemeye, uygulanan birleştirme yöntemine yapı ve kalınlık gibi faktörlerle bağlı olarak değerlendirilir.

Metal bir malzemenin kaynak kabiliyetine uygunluğu, bu malzeme için önceden belirlenen yöntemlerin önceden tasarlandığı anlaşılabilir ve böylece kaynak dikişinin de kalite seviyesi de hedeflenen derecede olacağı beklenir. Kaynak kabiliyetinin şematik gösterimi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Kaynak kabiliyeti.

Bir yapıda tasarım esnasında belirlenen ölçülere, şekle ve tasarım kesitlerine göre seçilen malzeme ile hedeflenen mekanik ve dayanım özelliklerine ulaşmak mümkündür ancak seçilecek kaynak yönteminin bu yapıya uygulanabilmesi önemli şarttır [56].

Kaynak yöntemleri birçok yöntemden yararlanılarak geliştirilmektedir. Amaçları ve benzer türev yöntemleri kaynak kabiliyetini daha uygun ve daha kaliteli olmasına yöneliktir.

Kalın kesitli bir malzemede kaynaklı birleştirmedeki kaynak kabiliyeti ısı girdisine de bağlı olarak ön tavlama ile gerçekleştirilebilir. Fakat kaynak yöntemi değiştiğinde ön tavlama sıcaklığı ve kaynak kabiliyeti tümüyle değişecektir. Yani kaynak kabiliyeti aynı zamanda seçilen kaynak yöntemine göre de değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle kaliteli bir kaynak için yöntemin seçimi büyük önem arz etmektedir.

#### 4.4. KAYNAK YÖNTEMLERİ

İmalatta kullanılan malzemeler farklı dayanım, şekillendirme ve korozyon dayanımı gösterirler. Dolayısıyla kaynak edilebilme kabiliyetleri de çeşitlilik gösterir. Kaynak yönteminde başarılı bir birleştirme için kullanılan ilave malzemeler, ısı girdisi ve kaynak yöntemi seçimi önemlidir [57].

#### **4.5. ELEKTRİK ARK KAYNAĞI**

Elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesi özelliğinden yararlanılarak aynı cins elektrotla metal parçalarının ergitilerek birleştirilmesine elektrik ark kaynağı denir. Elektrik Ark kaynağı, metalleri birleştirmek için kullanılan en yaygın füzyon işlemi olarak bilinmektedir. Yoğun ısının uygulamasıyla iki parça arasındaki bağlantı metallerin eritilip ve eritilmiş araların erimiş bir dolgu metal ile karışmayla oluşur. Kaynak dikişinin görünüşü ve davranışı elektrotu kaplayan örtü tarafından belirlenir. Elektrot örtüsünün görevleri; gaz oluşumunu sağlamak, ergimiş metal içerisinde istenmeyen maddeleri kabuk halinde toplayarak cüruf oluşturmak ve ergimiş metali korumak, ergimiş metalin alایشımını sağlamak, ark etkisini arttırmaktır.

Kaynak edilecek malzemenin kalınlığı kaynak ağızı tasarımında en önemli etkenlerden birisidir. Sağlıklı bir kaynaklı birleştirmenin gerçekleşmesi, kaynak yapacak kişinin ustalığına, kaynak hızına, akım şiddetine, kaynak pozisyonuna, ark boyuna ve ark özelliklerine bağlıdır [58].

Bu kaynak yöntemi paslanmaz çeliklerin kaynağında; basitlik, alet yatırımının düşüklüğü, atölye ve şantiyelerde kolay uygulanabilirliği, farklı kullanımlar için özel elektrot çeşitliliği, ısı girdisinin az olması ve zor pozisyonlar da bile kolay kullanım sağlayabilmesi ile önemli bir yere sahiptirler.

#### **4.6. GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ**

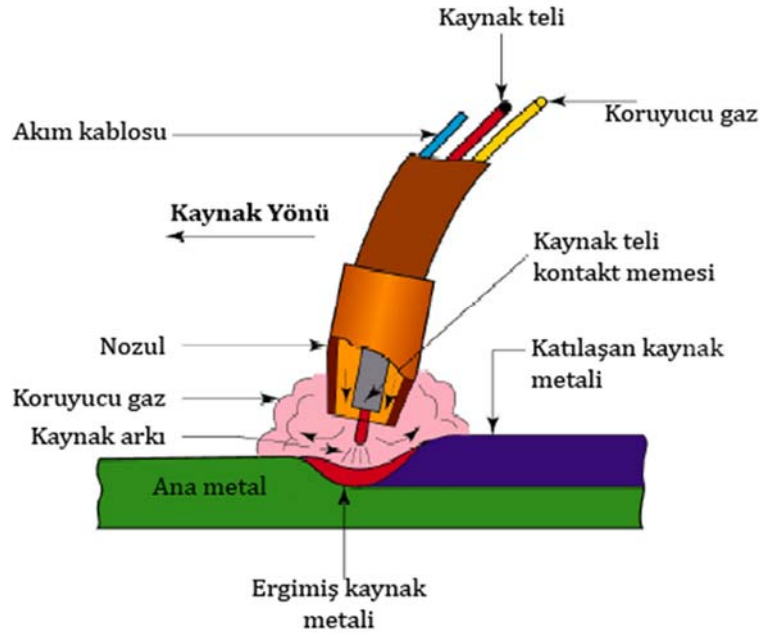
Gazaltı kaynağı, bugün pek çok imalat yapan sektörde kullanılmaktadır. Çeşitli kurum ve kuruluşlar gazaltı kaynak eğitimleri ile sektörün kaynakçı açığını azaltmaktadır. Bu yöntemle yapılan kaynağın en önemli avantajı kaynak sırasında kaynak yapılacak yerin belirli gazlar ile korunması ve bu sayede havadan ve başka etmenlerden etkilenmemesidir. Gazaltı kaynağı, kaynak yapılacak metal ile tükenen bir kaynak teli parçasının arasında oluşan elektrik arkının gaz korumalı olarak yapılması işlemidir. Kaynak yapılacak metale sürekli sürülen kaynak teli eriyerek kaynak metalini oluşturmaktadır. Gazaltı kaynağı üç çeşittir. MIG (Metal Inert Gaz) ve TIG (Tungsten Inert Gas) ve MAG (Metal Active Gas) olarak incelenir [59].

Gazaltı (MIG/MAG) kaynağında kullanılan teller TS EN 440 standardında belirlenmiştir. Kaynak tellerinin çapı 0,6 mm ile 8 mm arasında değişmektedir ve en çok kullanılan

kaynak telleri 0,8, 1, 1,2 ve 1,6'dır. Demir çelik metallerin kaynağında kullanılan kaynak telleri elektriği daha iyi iletmesi ve arkın kararlı olması için bakır ile kaplanmıştır. Bakır kaplamak ayrıca tel sürme makaraları arasında telin kaynak bölgesine aktarılmasını kolaylaştırır ve teli oksitlenmekten korur.

#### 4.6.1. MIG Kaynak Yöntemi (Metal Asal Gaz)

Kaynak akımı, asal gaz atmosferi içinde eriyen tel elektrot ile metal temas yoluyla oluşan ark yardımıyla oluşur. Masif ve özlü tel elektrotlar kullanılır ve tel çapları 0,8 ile 1,6 mm arasındadır. Gaz olarak genellikle argon gazı kullanılır. Düşük karbonlu çeliklerin kaynağında argon gazına % 3-6 oksijen, % 5-13 karbondioksit gazları ilave edilir. Daha fazla karbondioksit kullanılırsa kaynak banyosu karbon alır ve korozyon dayanımı düşer. Karışımda oksijenin bulunması, erimiş damlaların yüzeye kolay tutulmasını, arkın kararlılığını ve gözenek oluşumunu engeller. MIG kaynak yönteminde, kullanılan asal gazın gazının saflığı fazla olması gerekmektedir. Doğru akım kullanılarak elektrot genellikle pozitif kutba bağlanmalıdır. Böylece derin nüfuziyet elde edilir ve metal yüzeyindeki oksit kırılarak kaynaklı birleştirme kolaylaşır. Şekil 4.3'de MIG kaynağının şematik gösterimi verilmiştir [60].



Şekil 4.3. MIG Kaynak yöntemi şematik gösterimi.

MIG kaynağı çoğu malzemenin kaynaklanmasına olanak sağlar fakat bazı dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Örnek olarak alüminyum malzemelerin kaynaklı birleştirilmesi esnasında her zaman dalgalı akım ve pozitif kutuplama yaparak kaynaklı birleştirme

işlemi gerçekleştirilir [61].

Tel elektrotlar uygulama alanına göre, püskürtme, kısa veya darbeli arklı olarak kaynak edilirler. Yatay ve oluk pozisyonlarda püskürtme ark ile çalışılır. Sıçrama eğiliminin düşük olması kısa devresiz olması ince damlalı malzeme geçişini sağlar. İnce saclar veya zor pozisyonlarda ki kaynak işlemi için düşük ısı girdisi gerekir ve bu nedenle kısa ark kullanılır. Kısa arkın sıçrama eğilimi ve yüksek kalınlığı dezavantajdır bu sebeple darbeli ark ile ısı girdisi azaltılır ve kolay birleştirmeler sağlanabilir. MIG kaynaklı birleştirme işleminde de elektrik ark kaynağında olduğu gibi kaynak için gereken akım değeri değiştirilebilir. Akım değeri, kaynatılacak malzeme kalınlığına ve kaynak için kullanılacak tel çapına göre farklılık göstermektedir [62].

#### **4.6.2. MAG Kaynak Yöntemi (Metal Aktif Gaz)**

Bu yöntemde kaynak teli, kaynak eriyiği ile aktif etkileşimde bulunan karbondioksit atmosferi altında yapılan gaz korumalı kaynak işlemidir. MAG kaynağının MIG kaynağından farklı olan yönü koruyucu gaz olarak karbondioksit gazı kullanılmasıdır. Bu sebeple MIG kaynak yönteminde kullanılan donanımın tamamı MAG kaynak yönteminde de kullanılır. Bu kaynak yöntemi genellikle çelik malzemelerin kaynağında kullanılmaktadır. Oksitlenmesi hızlı olan demir dışı metallerin kaynağında MAG kaynak yöntemi kullanılmaktadır.

MAG kaynağında kullanılan karbondioksit gazının saf ve kuru olmasına dikkat edilmelidir aksi takdirde oluşabilecek olan rutubet kaynak dikişini gevrekleştirir ve gözenek oluşumuna neden olur. Kaynak dikişinde oluşan karbondioksit metal banyosunu azot ve hidrojen karışımı gazlar korur fakat oksidasyona engel olamaz. Birleştirmeler de oluşan element kayıplarını karşılamak için kaynak tellerinin kaynatılacak olan metaller ile aynı bileşimde olması gerekmektedir [63].

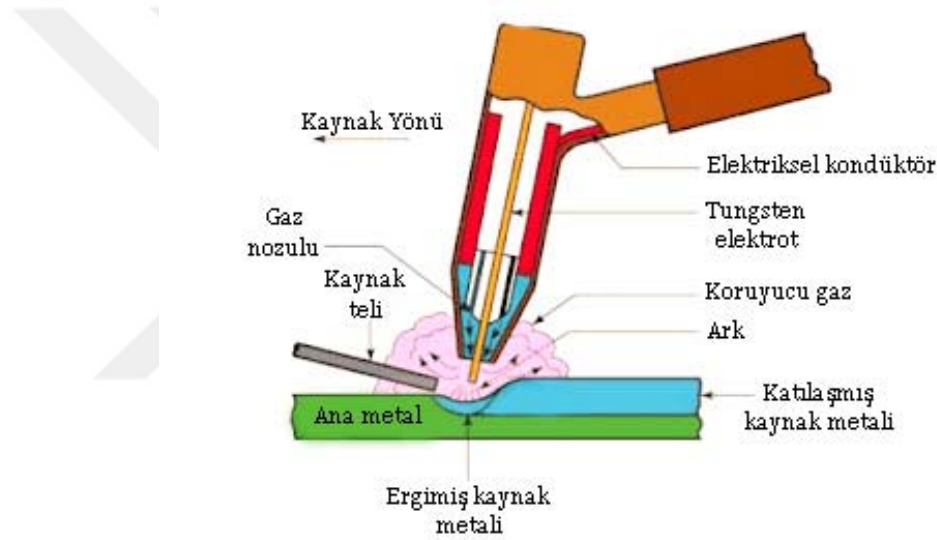
MAG kaynak yönteminde doğru akım ve negatif kutupta kaynak torcu kullanılır. Ergime tamamen akım şiddeti miktarına bağlıdır. Bu yöntemde kısa ark boyu kullanılır. Kaynak arkı 2-3 mm boyundadır. Ark boyunun gerekenden yüksek olması, dikiş içerisinde gaz kabarcıklarının kalmasına ve sağlıklı birleştirme yapılamamasına neden olur. Kaynak tabancası kaynak edilecek olan parçaya dik olarak tutulmalıdır. El ile yapıldığında bütün pozisyonlara olanak sağlar ve buda bu yöntemde önemli bir özellik sağlar. Otomatik yapıldığında derin nüfuziyet ve düzgün görünüme sahip kaynak dikişleri elde edilir.

Bu yöntemde kullanılan gazın maliyetinin, asala gazlara göre daha az olması, nüfuziyetin

daha derin olması, daha hızlı kaynak yapılabilmesi ve kızılötesi ışınlarının daha az oluşu diğer yöntemlere göre bu kaynak yönteminin avantajları olarak önemli yer kazandırır. Yüzey özelliği olarak MIG kaynak yöntemine göre daha pürüzlüdür [64].

#### 4.6.3. TIG Kaynak Yöntemi (Tungsten Inert Gas)

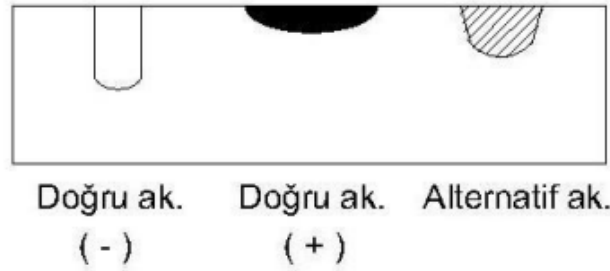
TIG kaynağı, kaynak için gerekli ısının, tükenmeyen bir elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Elektrot, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden kaynak torcundan gelen gaz veya karışım gazlar tarafından korunur. Gaz, kaynak bölgesini tam olarak koruyabilmelidir, aksi takdirde çok küçük bir hava girişi dahi kaynak metalinde hataya neden olur. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. TIG Kaynak yöntemi şematik gösterimi.

Tungsten inert gaz (TIG) kaynağı, 1940'larda magnezyum ve alüminyumun birleştirilmesi için bir gecede başarıya ulaştı. Kaynak havuzunu korumak için cüruf yerine bir soy gaz kalkanı kullanan süreç, gaz ve manuel metal ark kaynağı için oldukça çekici bir alternatifti. TIG, alüminyumun yüksek kaliteli kaynak ve yapısal uygulamalar için kabul edilmesinde önemli bir rol oynamıştır. TIG kaynak işleminde ark, sivri uçlu bir tungsten elektrot ile iş parçası arasında atıl bir argon veya helyum atmosferinde oluşturulur. Sivri elektrot tarafından sağlanan küçük yoğun ark, yüksek kaliteli ve hassas kaynak için idealdir [65]. Kaynak sırasında elektrot tüketilmediği için, metal ergime elektrotundan biriktiğinden, TIG kaynakçısının arktan gelen ısı girdisini dengelemesi gerekmez. Dolgu metali gerektiğinde kaynak havuzuna ayrıca eklenmelidir. TIG kaynağı,

sarkık, sabit akımlı bir güç kaynağı ile çalıştırılmalıdır. DC veya AC Elektrot iş parçası yüzeyinde kısa devre yapıldığında aşırı yüksek akımların çekilmesini önlemek için sabit bir akım güç kaynağı gereklidir. Bu, ark başlatma sırasında kasıtlı olarak veya kaynak sırasında yanlışlıkla olabilir. MIG kaynağında olduğu gibi, düz karakteristikli bir güç kaynağı kullanılırsa, iş parçası yüzeyi ile herhangi bir temas, elektrot ucuna zarar verir veya elektrotu iş parçası yüzeyine yapıştırır. DC akımda, ark ısısı katotta yaklaşık üçte biri (negatif) ve üçte ikisi anotta (pozitif) dağıtıldığından, aşırı ısınmayı ve erimeyi önlemek için elektrot her zaman negatif polaritededir. Bununla birlikte, DC elektrot pozitif polaritesinin alternatif güç kaynağı bağlantısı, katot iş parçası üzerindeyken yüzeyin oksit kirliliğinden arındırılması avantajına sahiptir. Bu nedenle, alüminyum gibi inatçı bir yüzey oksit filmi olan malzemeleri kaynak yaparken AC kullanılır [66]. Bu kaynak yönteminde kullanılan akım ve kutba göre dikiş formları Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. TIG kaynağı kutuplama biçimlerine göre kaynak dikişleri.

Koruyucu gaz, kaynak yapılacak malzemeye göre seçilir. Aşağıdaki yönergeler yardımcı olabilir;

Argon - çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum ve titanyum dahil olmak üzere çok çeşitli malzemelerin kaynağında kullanılabilen en yaygın kullanılan koruyucu gazdır.

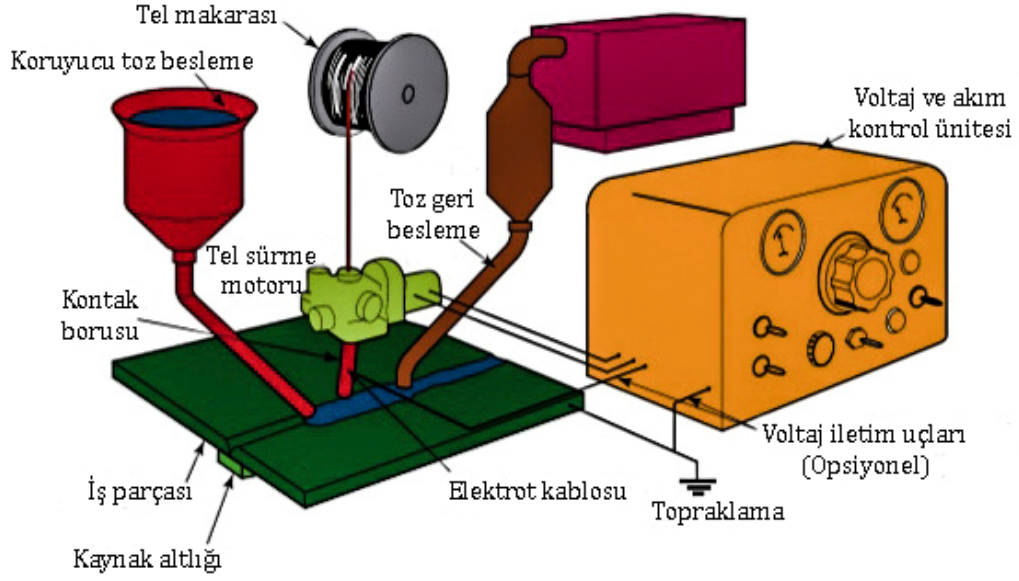
Argon + % 2 ila % 5 H<sub>2</sub> - argona hidrojen eklenmesi gazı biraz azaltarak yüzey oksidasyonu olmadan daha temiz görünümlü kaynakların üretilmesine yardımcı olur. Ark daha sıcak ve daha dar olduğu için daha yüksek kaynak hızlarına izin verir. Dezavantajları arasında karbon çeliklerinde hidrojen çatlaması ve alüminyum alaşımlarında kaynak metali gözenekliliği riski yer alır.

Helyum ve helyum/argon karışımları argona helyum eklenmesi arkın sıcaklığını yükseltecektir. Bu, daha yüksek kaynak hızlarını ve daha derin kaynak penetrasyonunu destekler. Helyum veya helyum/argon karışımı kullanmanın dezavantajları gazın yüksek maliyeti ve ark başlatmanın zorluğudur.

Kaynak hızı yüksek olması, ısıl distorsiyonlarının az olması, kaynak dikişleri temiz ve kaynaktan sonra temizlemeye gerek duyulmaması, kolay mekanize edilebilir olması, iş parçasında deformasyonun düşük olması ve kolay kaynak edilebilirliği başlıca avantajlarıdır [67].

#### **4.6.4. Tozaltı Kaynağı**

Genel olarak kaynak için gerekli ark elektrik ark kaynağındaki yöntemle benzer şekilde üretilmektedir. Tozaltı ark kaynağı, sürekli beslenen bir elektrot ile iş parçası arasında bir ark oluşumunu içeren yaygın bir ark kaynağı işlemidir. Toz akı örtüsü, koruyucu bir gaz kalkanı ve kaynak bölgesini koruyan bir cüruf (ve kaynak havuzuna alaşım elementleri eklemek için de kullanılabilir) oluşturur. Koruyucu gaz gerekli değildir. Ark, akı örtüsünün altına daldırılır ve kaynak sırasında normalde görünmez. Bu, iyi kurulmuş ve son derece çok yönlü bir kaynak yöntemidir. Otomatikleştirilebilen bir kaynak olmasıyla birlikte yüksek amper değerlerinde olması da en büyük avantajlarıdır. Tozaltı ark kaynağı genellikle mekanize bir süreç olarak çalıştırılır [68]. Kaynak akımı (tipik olarak 300 ve 1000 amper arasında), ark voltajı ve hareket hızının tümü, boncuk şeklini, penetrasyon derinliğini ve biriken kaynak metalinin kimyasal bileşimini etkiler. Operatör kaynak havuzunu gözlemleyemediğinden, dolgu telinin parametre ayarına ve konumlandırılmasına büyük önem verilmelidir. Elektrot, katı veya özlü bir tel veya levha veya sinterlenmiş malzemedan yapılmış bir şerit olabilir. Akı, camsı bir cüruf oluşturmak için bileşenlerin kaynaştırılması (daha sonra bir toz oluşturmak üzere ezilir) veya bileşenlerin bir bağlayıcı ve bir köşeleme işlemi kullanılarak topaklaştırılmasıyla yapılabilir. Akının kimyasal yapısı ve boyut dağılımı ark kararlılığına yardımcı olur ve kaynak metalinin mekanik özelliklerini ve boncuk şeklini belirler. Tozaltı kaynak yönteminin şematik gösterimi Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Tozaltı kaynağı şematik gösterimi.

Tozaltı kaynağında normalde AC veya DC akım kullanılarak tek bir tel ile çalıştırılrsa da, iki veya daha fazla telin kullanımı, kaynaktan önce bağlantıya doğranmış tel eklenmesi ve metal tozu ilavelerinin kullanılması gibi bir dizi varyant vardır. Kaynak havuzunun ön kenarına küçük çaplı iletken olmayan bir tel besleyerek ek iletkenlik elde edilebilir. Bu, biriktirme oranlarını % 20'ye kadar artırabilir. Bu varyantlar, belirli durumlarda, artan biriktirme oranları ve/veya seyahat hızı yoluyla iletkenliği artırmak için kullanılır. Telin tipik olarak 60 mm genişliğinde 0,5 mm kalınlığında bir şeritle değiştirilmesi, işlemin bileşenlerin yüzey kaplaması için kullanılmasını sağlar. Bu kaynak yöntemiyle bir paso ile 85 mm, iki paso ile 180 mm ve daha çok paso ile 300 mm kalınlıktaki parçaların kaynağı yapılabilir. Kaynak yapılabilecek sac kalınlığı ise 1,2 mm'dir [69]. Bu yöntemde teli daha yüksek akım şiddetiyle yükleyebilir ve derin girişli, geniş banyolu kaynak dikişi elde edilebilir. Kaynakta hız kazandırma, malzeme ve işçilikten finansal olarak kar sağlama ve güzel görünümlü kaynak dikişi sağlama amacıyla tercih edilen yöntemlerdendir.

#### 4.6.5. Plazma Kaynağı

Bu yöntem TIG kaynak yöntemine benzer. Ark'ın yoğunlaşmasıyla daha yüksek enerji elde edilir ve gaz olarak argon kullanılır, dış koruyucu gaz olarak argon hidrojen karışımı kullanılır. Genellikle otomatik bir donanımla uygulanır [70].

Düşük ısı girdisi, yüksek kaynak hızları, düşük çarpılma, kaynak dikişinin ve ısı tesiri altındaki bölgenin dar olması bazı avantajlarındandır.

#### 4.6.6. Lazer Kaynak

Lazer ışın kaynağı veya daha yaygın adıyla lazer kaynak, metalleri lazer ile tutturmada kullanılan bir ısı birleştirme tekniğidir. Lazer kaynak genellikle mühendislik uygulamalarında kullanılan, derinlemesine nüfuz eden bir anahtar deliği kaynak tekniğidir. Lazer ışını, malzeme kalınlığının hafif altındaki bir konum veya yüzeye odaklanır ve onunla hizalanır. Odaklanmış ışının son derece yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle ( $>106 \text{ W/cm}^2$ ) metal, anahtar deliğinin içinde buharlaşır ve ışın kanal boyunca ilerledikçe, çevresinde sıvılaştıran eriyik havuzu anahtar deliğinin arkasına akar, eriyik havuzu katılaştır ve böylece kaynak işlemi gerçekleşir [71]. Lazer kaynağın lazer kesimden farkı, eriyik havuzunun bir gaz jetiyle dışarı üflenmesinin yerine, erimiş malzemenin bir düşük basınçlı koruyucu gaz süreciyle korunmasıdır. Lazerli kaynak sırasında lazer hammaddeyi ergitme sıcaklığına ertirir. Işınlara bir optik yardımıyla odaklanır. Lazer ışını ve iş parçası arasındaki göreceli hareket sayesinde kaynak dikişi oluşur. Kaynak yüzeyini oksidasyona karşı korumak için yöntem sırasında argon koruyucu gazı beslenir. Otomasyona elverişli bir ertitme kaynağı olarak dikkat çeker ve derin kaynama etkisi yaratır. Kaynak dikişi çok dardır ve yüksek güçlü lazerlerin kullanımı ile 15 mm'ye kadar levha kalınlıklarının kaynakla birleştirilmesi mümkündür [72].

Lazer kaynağı, Alüminyum (Al), Magnezyum (Mg) ve Titanyum (Ti) gibi hafif metallere ve bileşiklerine uygulanabilir. Ayrıca çelik ve diğer farklı metaller için de kullanılabilir. Lazer kaynağı su altında da yapılabilir. Son yıllarda su altı kaynakçılığında ark kaynağı kullanılırken, günümüze lazer kaynağı daha pratik ve aktif olarak kullanılmaktadır [73].

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada farklı parametrelerin kaplama kalitesini nasıl etkilediği, bor tozu kaplanmış malzemelerin deneylerde nasıl sonuç verdiği ve verilen sonuçların kıyaslanarak sanayi ortamında faydalı bir kaplamanın bu parametrelerle ile yapılabileceği bununla birlikte silindirik malzemelere farklı parametreler uygulanarak Sinerjik pulse MİG kaynak yöntemi kaplama kalitesini artırıp ana malzemenin tokluğunu etkilemeden malzeme yüzeyine sertlik kazandırmak, sürtünmeye ve korozyona karşı dirençli olması, ana malzemenin ömrünü uzatmak yüzeyi aşınmış veya şekli bozulmuş malzemelerin geri dönüşümü araştırılmıştır.

### 5.1. DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER

#### 5.1.1. Ana Malzeme

Yüzey kaplama işlemlerinde malzeme olarak, 60 mm uzunluk 8 mm çap ölçülerindeki AISI 304 paslanmaz çelik milleri kullanılmıştır. Numunelerin her biri 60 mm uzunluğunda kesilmiştir ve eklenecek tozlar için 2 mm derinliğinde frezeleme ile boşluklar açılmıştır. Açılacak boşluklar deneylerden önce saf aseton ile temizlenmiş ve üzerinde bulunan yağ, kir ve pisliklerden arındırma yapılmıştır. Asetonla temizlikten sonra kuru bir ortamda malzemeler kurumaya bırakılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Ana malzemenin kimyasal bileşimi (% Ağırlık).

	C	Ni	Si	Mn	Cr	Fe
AISI 304 paslanmaz mil	0,035	8,73	0,40	1,24	18,57	Kalan

#### 5.1.2. Kaynak Teli

Deneyler de ER308LSi gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Bu tel koroziv şartlarda taneler arası korozyona karşı yüksek dayanıma sahiptir. Kaynak metali, kaynak sonrasında düşük miktarda karbon içerir. İçerdiği yüksek orandaki silisyum (Si) sayesinde erimiş kaynak metalinin yüzey gerilimi iyileştirilmiş ve bunun sonucunda ana metale mükemmel bir

şekilde yayılması sağlayabilmektedir. Kullanılan kaynak telinin kimyasal bileşimi Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2.Deneylerde kullanılan ER308LSi kaynak telinin kimyasal bileşimi.

Element	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe
% oran	0,03	0,85	1,70	20	10	0,15	Kalan

### 5.1.3. Kaynak Tozu

Deneylerde koruyucu kaynak tozu olarak B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Bor Oksit) ve B<sub>4</sub>C (Bor Karbür) tozları kullanılmıştır. Kaplama tozlarının kimyasal bileşimi Çizelge 5.3’de verilmiştir. Bu tozlar birçok malzemenin kaynaklı birleştirmesine elverişlilik sağladığı gibi bu araştırmada kullanılan AISI 304 kalite paslanmaz çelik millerinin kaynaklı birleştirilmesine de imkân sağlamıştır.

Çizelge 5.3. Kaplama tozunun kimyasal bileşimleri (% Ağırlık).

	B	C
B <sub>4</sub> C tozu	34,98	60,52
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99,9	-

## 5.2. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN CİHAZLAR

### 5.2.1. Kaynak Makinası

Deneyde Magmaweld IDS 320 MM Pulse İvertör Sinerjik Pulse MİG kaynağı makinası kullanılmıştır. Çok çeşitli demir esaslı ve demir esaslı olmayan malzemelerin kaynağında yaygın olarak kullanılan bu kaynak yöntemi akım taşıyan sürekli beslenen telin erimesi ile metallerin birleşimini sağlar. Sinerjik Pulse MİG kaynak yönteminin sağladığı avantajlar birçok elementin kaynak edilebilirliğini sağladığı gibi bu çalışmada kullanılan bor karbür ve bor oksit tozunun paslanmaz çelik millerine etkili şekilde uygulanmasını da sağlamıştır.

### 5.2.2. Bakalite Cihazı

Küçük parçalar haline getirilen numuneler üzerinde kolay çalışabilmek için Şekil 5.1’de verilen bakalit alma cihazı ile tutulabilir hale getirilmiştir.



Şekil 5.1. Bakalit alma cihazı.

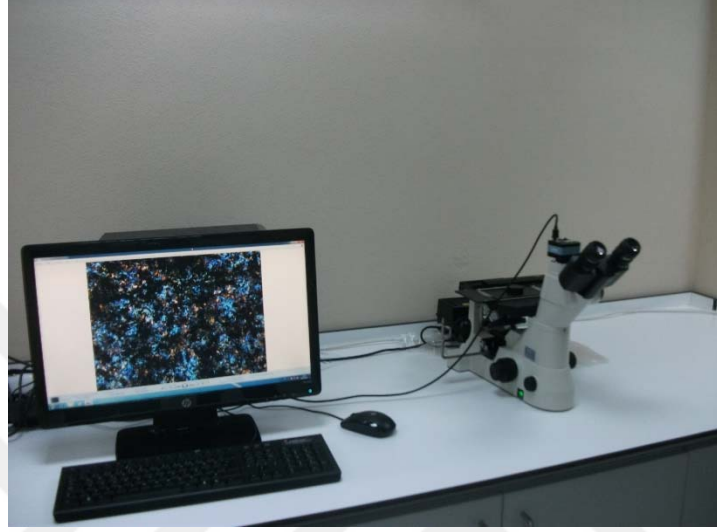
Bakaliti alınan numune yüzeylerini Şekil 5.2’de verilen parlatma ve zımparalama cihazı ile 320-400-600-800-1000-1200’lük numaralı zımparalarla zımparalanıp sonrasında ise 6-3-1 mikron elmas pasta (alümina süspansiyon) kullanılarak parlatma keçesinde parlatılmıştır.



Şekil 5.2. Parlatma ve zımparalama cihazı.

### 5.2.3. Optik mikroskop ve SEM mikroskobu

Yüzeyleri parlatılan numuneler elektrolitik dağlama yöntemi ile oksalik asit, saf su çözeltisi içinde 20 V'da 8 saniye sürede dağladıktan sonra mikro yapı incelemeleri, kaplama kalınlık ölçümü ve mikro yapı fotoğrafları Şekil 5.3'de görülen ters metal optik mikroskobu (OM) ile çekilmiştir.



Şekil 5.3. Optik mikroskobu.

Dağlanan numunelerin optik mikroskop incelemesi sonrasında Şekil 5.4'de verilen Quanta FEG 250 SEM taramalı elektron mikroskobu ile daha yüksek büyütmelerde incelenmiş ve EDAX analizi ile element haritalaması yapılmıştır.



Şekil 5.4. SEM/EDS Analizi taramalı elektron mikroskobu.

#### 5.2.4. Sertlik Test Cihazı ve Aşınma Testi

Taramalı elektron mikroskobu ile yapılan incelemelerden sonra numunelerin yüzey mikro sertliğini ölçmek için Şekil 5.5’de verilen DIGIROK marka cihazda, Vickers sertlik ölçüm metoduyla ölçülmüştür. Ağırlık olarak 500 gr yük kullanılmıştır.



Şekil 5.5. Dijital mikro sertlik test cihazı.

Kaplama işlemlerinden sonra numune yüzeylerine pin-on-disk aşınma cihazı ile 60 HRC sertliğe sahip metal disk ile adhesiv aşınma testine tabi tutulmuştur. Ağırlık olarak 5N yük kullanılmıştır. Adhesiv aşınma devir sayısı 250 devir/dakika olarak ayarlanmıştır. Aşınma testi süre ile ayarlanmıştır. 15 dk ve 30 dk olarak iki süre kullanılmıştır. Aşınma testi cihazı Şekil 5.6’da verilmiştir. Kaynakla kaplanan numunelerde üst yüzeyi öncelikle aşındırma ile düzleştirilmiş ve deneyler o şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.6. Turkyus aşınma test cihazı.

### 5.3. METOT

Yüzey kaplama işlemlerinde malzeme olarak, 60 mm uzunluk 8 mm çap ölçülerindeki AISI 304 paslanmaz çelik milleri kullanılmıştır. Kaplama tozu olarak B<sub>4</sub>C (bor karbür) ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (bor oksit) element tozları kullanılmıştır. Sinerjik pulse kaynak makinesinde MİG kaynak yöntemi ile kaplama öncesinde, paslanmaz çelik malzemeleri yüzeyleri aseton ile temizlenerek kurutulmuştur. Deney numunelerinin tepe noktalarına 7 mm genişlik ve 2 mm derinliğinde boşluklar açılmıştır. Kaplama tozu boşluklara yerleştirilmeden önce, MİG kaynak yönteminde tozun argon koruyucu gaz debisinden dolayı sıvanan yüzeyden uzaklaşmaması için toz saf alkolle macun haline getirilip daha sonra boşluklara sıvanmıştır. Kaynak uygulamasına hazırlanan numune tutucu aparat üzerinde sabitlenmiştir. MİG kaynağı ile numunelere normal, pulse ve double pulse olarak kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaplama akım parametreleri Çizelge 5.4’de, Sinerjik Pulse MİG kaynak yöntemiyle yapılan kaplama işleminin şematik görüntüsü ise Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Kaplama derinliklerinin resmi, a) Numuneler, b) Macun tozların boşluklara sıvanması, c) Kaynak işleminin uygulanması.

Çizelge 5.4. MIG kaynak yöntemiyle kaplama işlemi kaynak parametreleri.

	Normal Akım	Pulse Akım	Double Pulse Akım
Akım (A)	150-180	110-130	85-105
Voltaj (V)	24-29	20-23	15-20

Kaplama üretim parametreleri Çizelge 5.4’de verilmiştir. Sinerjik pulse MİG kaynak yöntemiyle yüzey kaplama işlemleri normal akım 150-180 A, pulse akım 110-130 A’de ve Double pulse akım 85-105 A, voltaj değerleri ise normal işleminde 24-29 V, pulse işleminde 20-23 V ve Double pulse işleminde 15-20 V da gerçekleştirilmiştir. Tel sürme

hızını 4 m/dk. olarak, kaynak hızı ise 5 mm/sn. olarak sabit tutulmuştur.

Kaynak yöntemi ile B<sub>4</sub>C kaplanan numunelerden metalografik inceleme için uygun ölçülerde şerit testere ile kesilen numune kesit yüzeyleri görünecek şekilde bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numunelerin kesit yüzeylerine zımparalama ve parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi sonrası elektrolitik dağlama yöntemi ile oksalik asit ortamında 20 V da 8 saniye dağlanarak mikroyapılar elde edilmiştir. Dağlanan numunelerden optik mikroskop ile görüntüler alınmıştır.

AISI 304 milinin geleneksel şekilde normal darbeli akım kullanılarak elde edilen, kaynak bölgesinin her iki yanında ana malzemelerde ısı girdisinin yüksek oluşu ve katılaşmanın yavaş olmasına bağlı olarak belirgin tane irileşmesinin oluştuğu ve kaynak metalinde de tanelerin iri dendritler şeklinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Ancak, sinerjik kontrollü darbeli akım kullanıldığında, kaynak metalinde oluşan taneler daha ince bir hal almıştır. Dolayısı ile sinerjik kontrollü darbeli akım kaynak metali tane yapılarında incelemeye neden olmuştur.

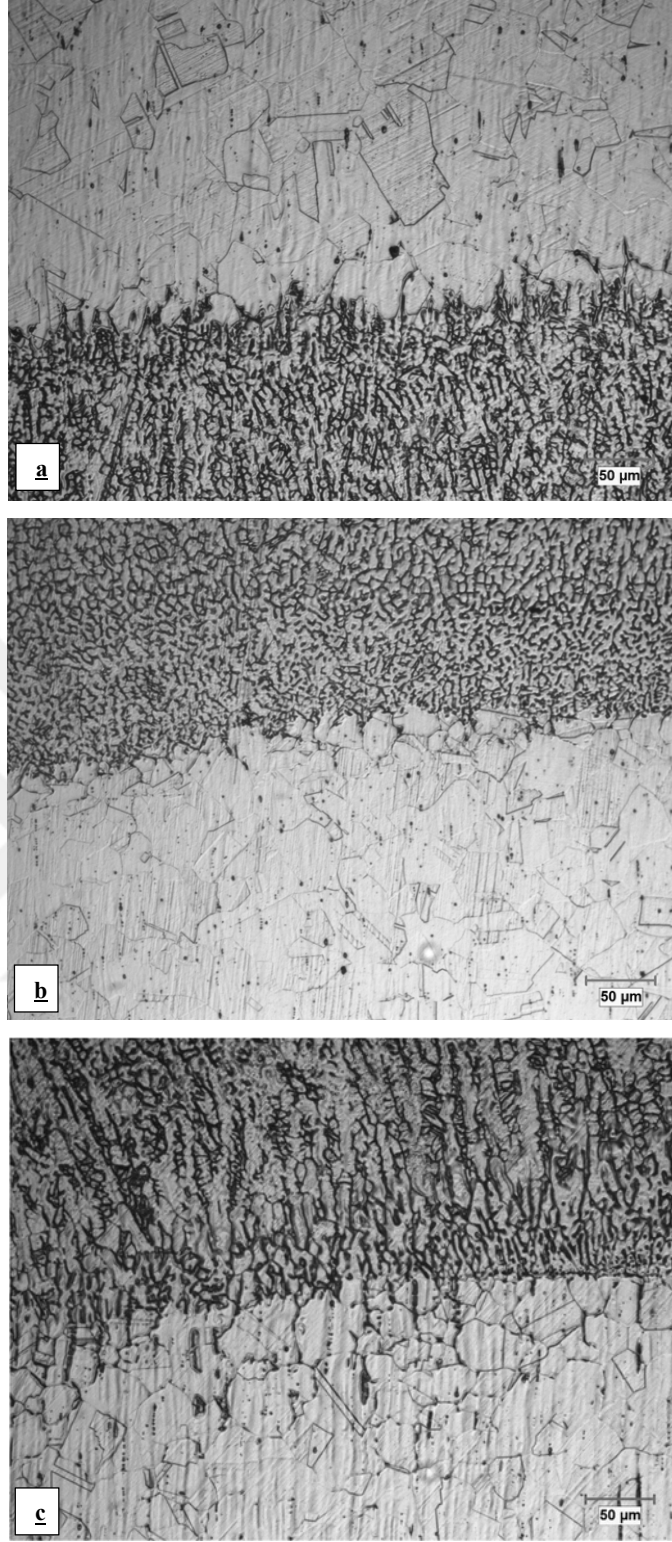


## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 6.1. OPTİK MİKROSKOP VE SEM MİKROSKOBU SONUÇLARI

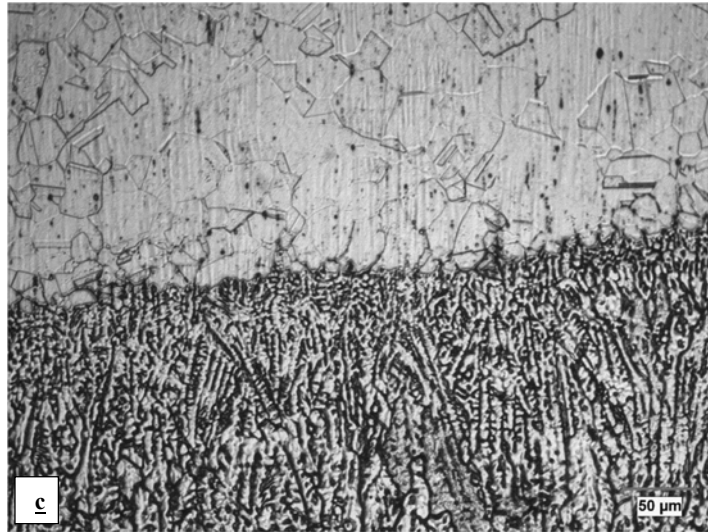
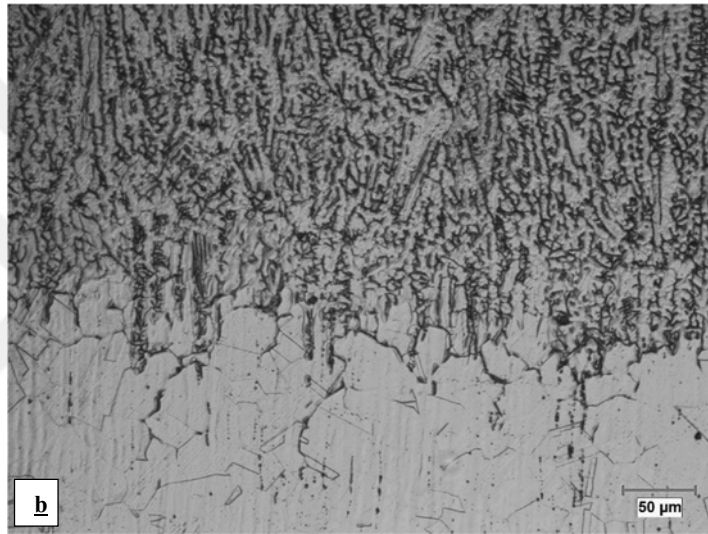
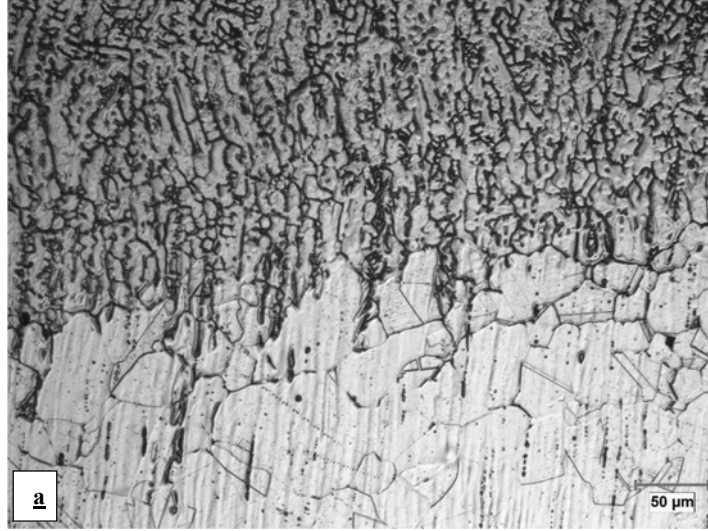
B<sub>4</sub>C (bor karbür) ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (bor oksit) tozu ile paslanmaz çelik (AISI 304) millerinin Sinerjik pulse MIG kaynak yöntemi ile kaplandığı bu çalışmada, kaplama tabakası ile alt tabaka ara yüzey bölgesinde tam birleşme gerçekleşmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde paslanmaz çelik östenitik mikro yapıda olup ve kaynak dikişinin dendritik kollardan oluştuğu görülmektedir.

Şekil 6.1’de tozların kullanılmadan paslanmaz çelik (AISI 304) millerine normal, pulse ve Double pulse kaynak dikişlerine ait optik mikroskop görüntüleri incelenmiştir. Görüntüler genel olarak değerlendirildiğinde tüm birleştirmelerde kaynak metalleri kaynak ergime sınırına bitişik bölgelerin birbirlerine benzer görüntüler sergilediği belirlenmiştir. Mil-kaynak dikişi geçiş bölgesinde dendritik yapıya rastlanmış ve paslanmaz çelik milinde östenit yapı gözlenmiştir. Görüntüye yaklaştıkça kaynak dikişinde oluşan dendritik yapının iç yüzeye doğru ilerlediği ve paslanmaz çelik milinde oluşan östenit yapı daha net gözlemlenmiştir.



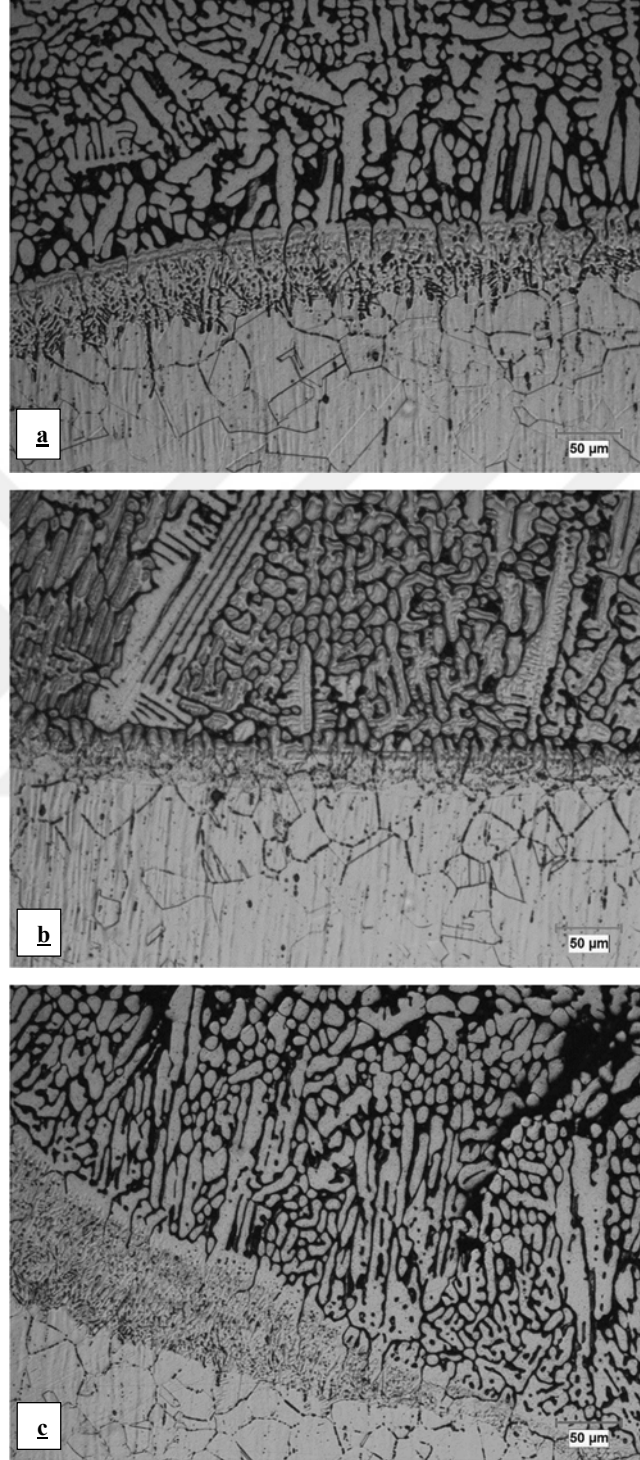
Şekil 6.1.  $B_4C$  ve  $B_2O_3$  eklenmeden yapılan kaplamalar, a) Normal akım, b) Pulse akım, c) Double pulse akım.

Şekil 6.2’de  $B_2O_3$  (bor oksit) tozu ilave edilerek AISI 304 paslanmaz çelik millerine normal, pulse ve Double pulse kaynak dikişlerine ait optik mikroskop görüntüleri incelenmiştir.



Şekil 6.2. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilaveli yapılan kaplamalar, a) Normal akım, b) Pulse akım, c) Double pulse akım.

Şekil 6.3’de B<sub>4</sub>C (bor karbür) tozu ilave edilerek AISI 304 paslanmaz çelik millerine normal, pulse ve Double pulse kaynak dikişlerine ait optik mikroskop görüntüleri incelenmiştir.



Şekil 6.3. B<sub>4</sub>C ilaveli yapılan kaplamalar, a) Normal akım, b) Pulse akım, c) Double pulse akım.

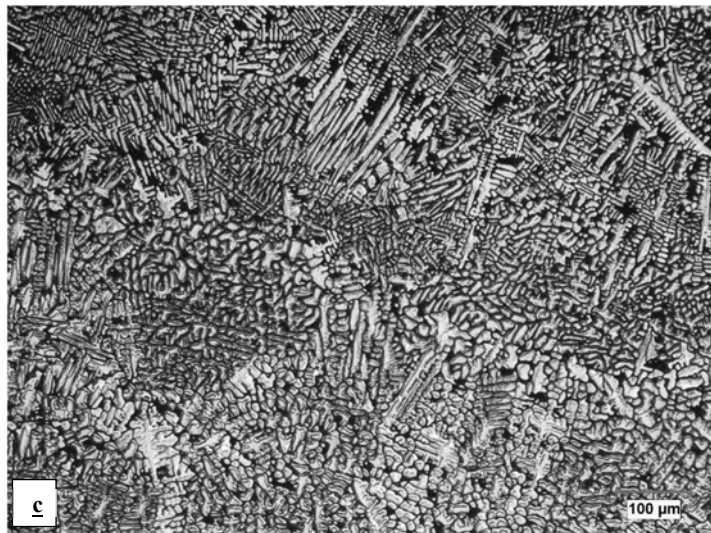
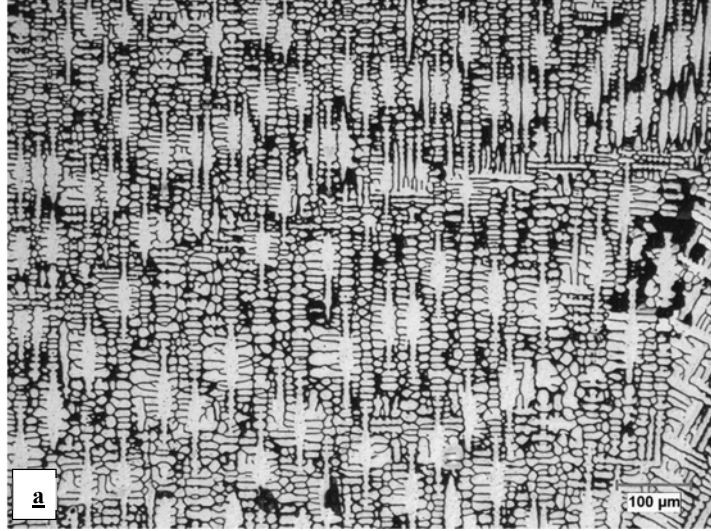
B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve B<sub>4</sub>C tozu ilave edilerek paslanmaz çelik millerine normal-tek-çift pulse kaynak dikişlerine ait Optik Mikroskop (OM) görüntüleri incelenmiştir. Tel ve toz bileşimi etkileri hariç, tüm numunelerdeki ısı girdisi sabit olduğundan, tane boyutlarının birbirlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve B<sub>4</sub>C tozunun mikro yapıları hemen hemen aynı yapıya sahiptir.

Normal akım da kaynak havuzundaki ergime ile oluşan yüksek sıcaklık, bu bölgenin mikroyapısı genellikle dentritik yapının hâkim olduğu sütunsal tanelerden meydana gelmiştir. Paslanmaz mil yapısında daha sık şekilde östenit yapı gözlemlenmiştir.

Pulse akım görüntüleri incelendiğinde tüm birleştirmelerde kaynak metalleri kaynak ergime sınırına bitişik bölgelerin birbirlerine benzer görüntüler sergilediği belirlenmiştir. Mil-kaynak dikişi geçiş bölgesinde dentritik yapıya rastlanmış ve paslanmaz çelik milinde östenit yapı gözlenmiştir. Görüntüye yaklaştıkça kaynak dikişinde oluşan dentritik yapının iç yüzeye doğru ilerlediği ve paslanmaz çelik milinde oluşan östenit yapı daha net gözlemlenmiştir.

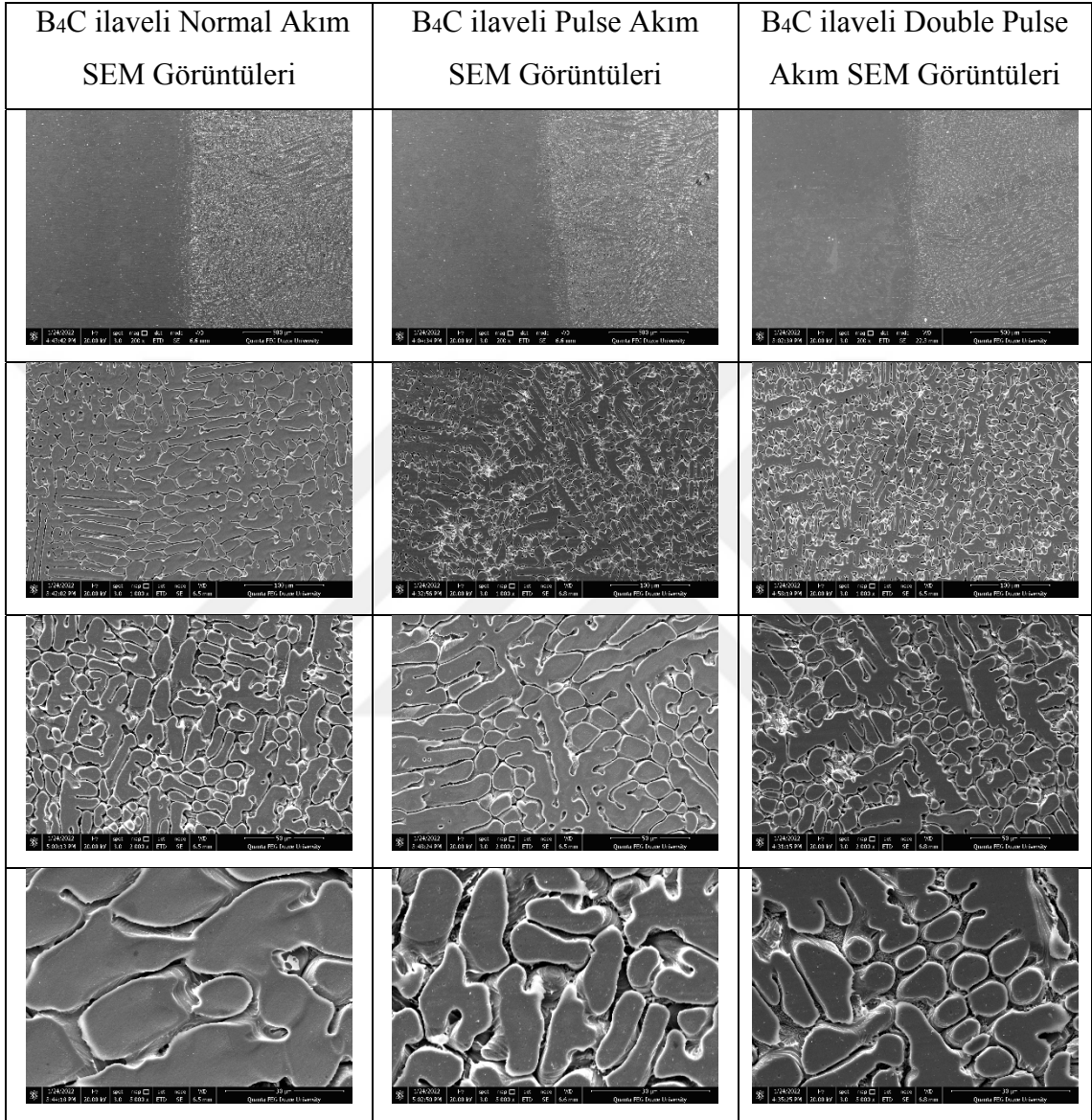
Double pulse akım da kaynak dikişi geçiş bölgesinden itibaren metalin üst merkezine doğru dentritik tane yapısı şeklinde yönelmeler görülmektedir. Kaynak dikişlerinde tanelerin dentritik bir yapıda oluştukları gözlenmekle birlikte millerde ki mikro yapı, östenitik yapıya benzemektedir.

Kaplama yapılan kaynak bölgesinin mikro yapıları Şekil 6.4'de görülmektedir. Tüm mikro yapılarda kaynaklı yapının dentritik kollardan oluştuğu tespit edilmiştir.



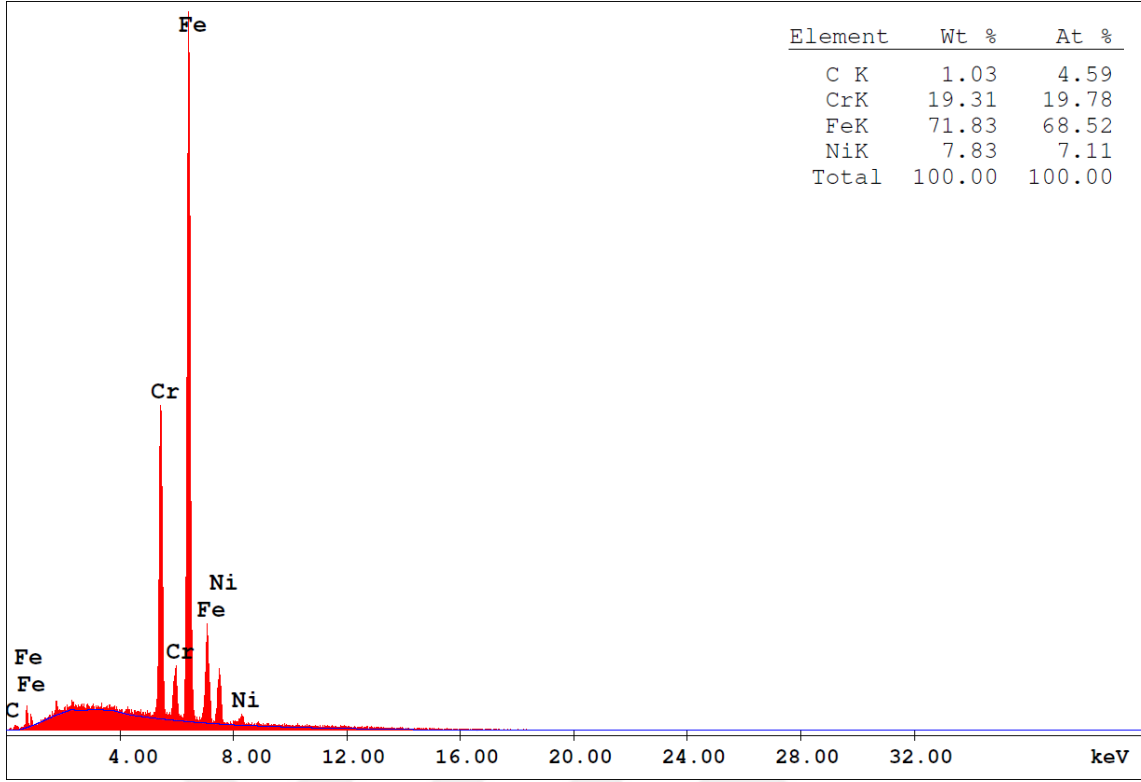
Şekil 6.4. Kaplama mikroyapıları, a) Normal akım, b) Pulse akım, c) Double pulse akım.

Şekil 6.5 ve Şekil 6.8’de B<sub>4</sub>C – B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama yapılan numunelere ait SEM görüntüleri verilmiştir. Büyütme oranları ve tane boyutu kıyaslaması olması açısından numunelerin görüntüler aşağı doğru inildikçe büyümektedir. Kaynak metalinde taneler daha rahat görünmesi için x1000 ve üzeri büyütme kullanılmıştır.

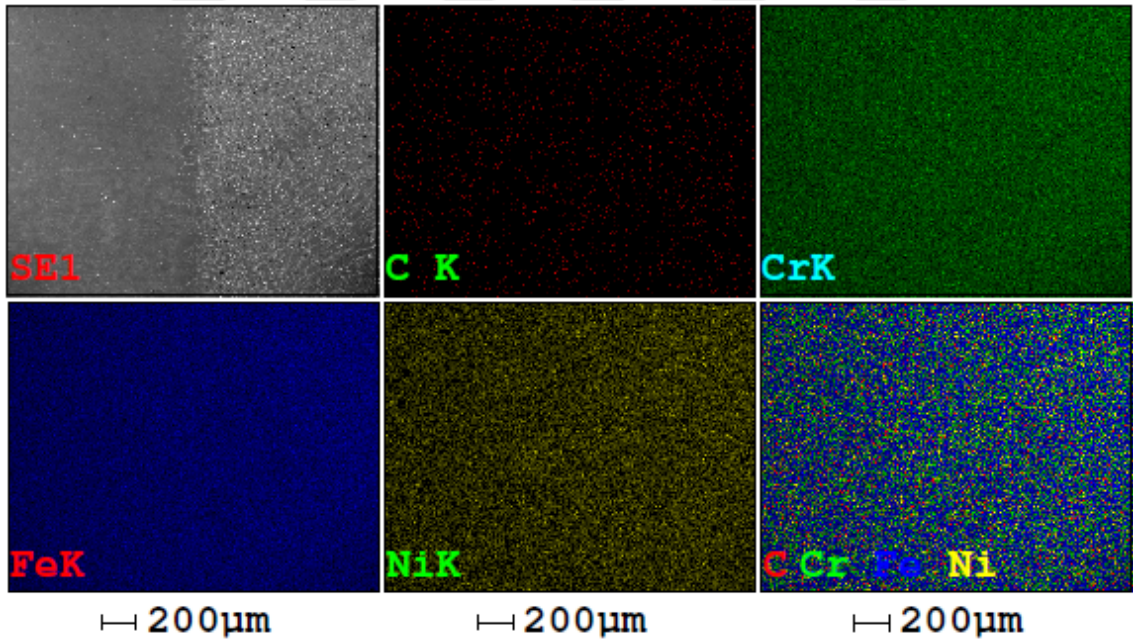


Şekil 6.5. B<sub>4</sub>C İlaveli kaynak kaplama SEM görüntüleri.

Şekil 6.6, 6.7, 6.9 ve 6.10’da ise numunelere ait EDS analizi sonuçları ve element haritalama değerleri verilmiştir. Yapılan analizler incelendiğinde EDS ve element haritalama sonuçları benzer olduğu için sadece birer adet sonuç grafikleri ve resimleri kullanılmıştır.

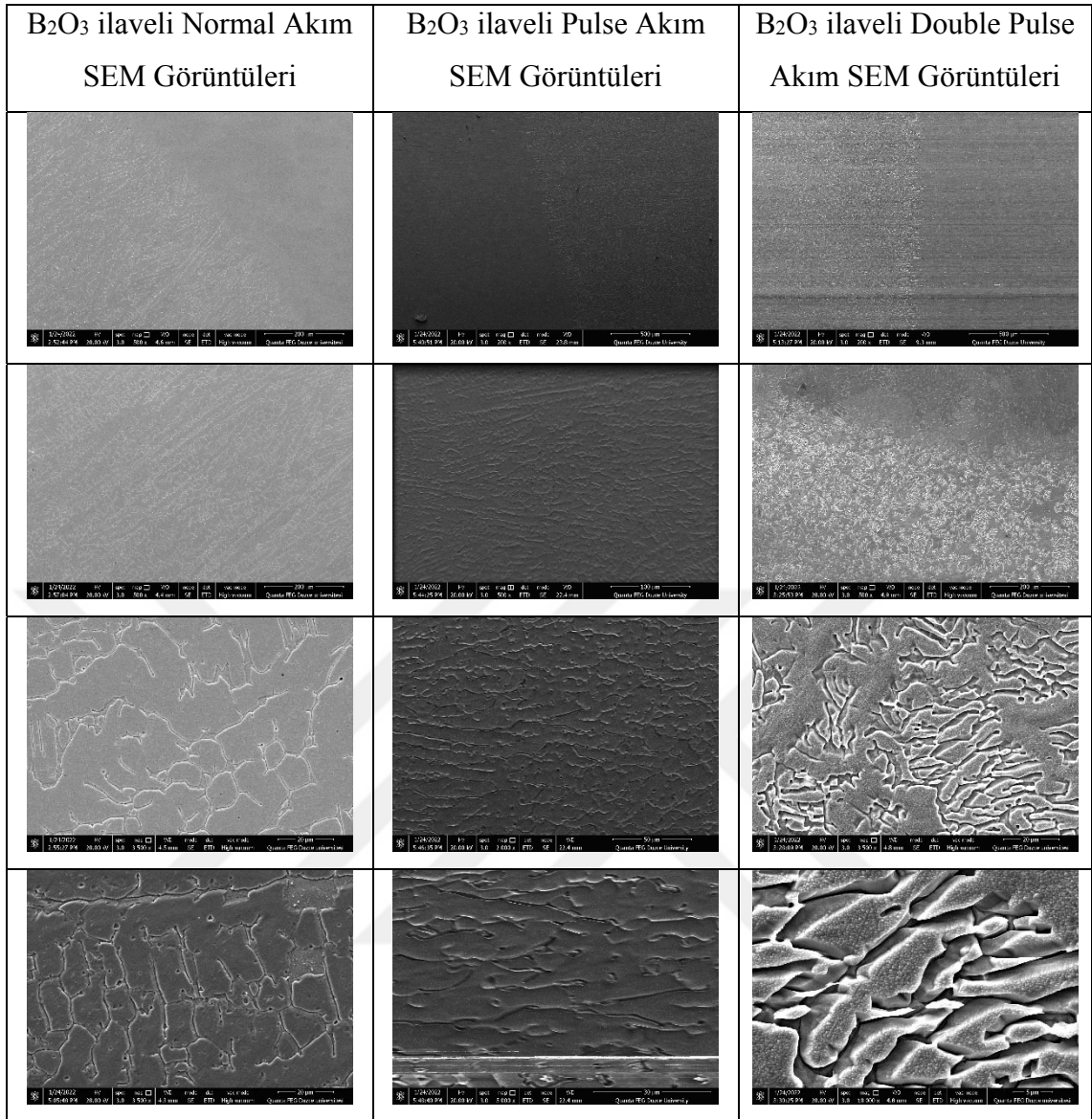


Şekil 6.6. B<sub>4</sub>C İlaveli kaynak kaplama EDS analizi.



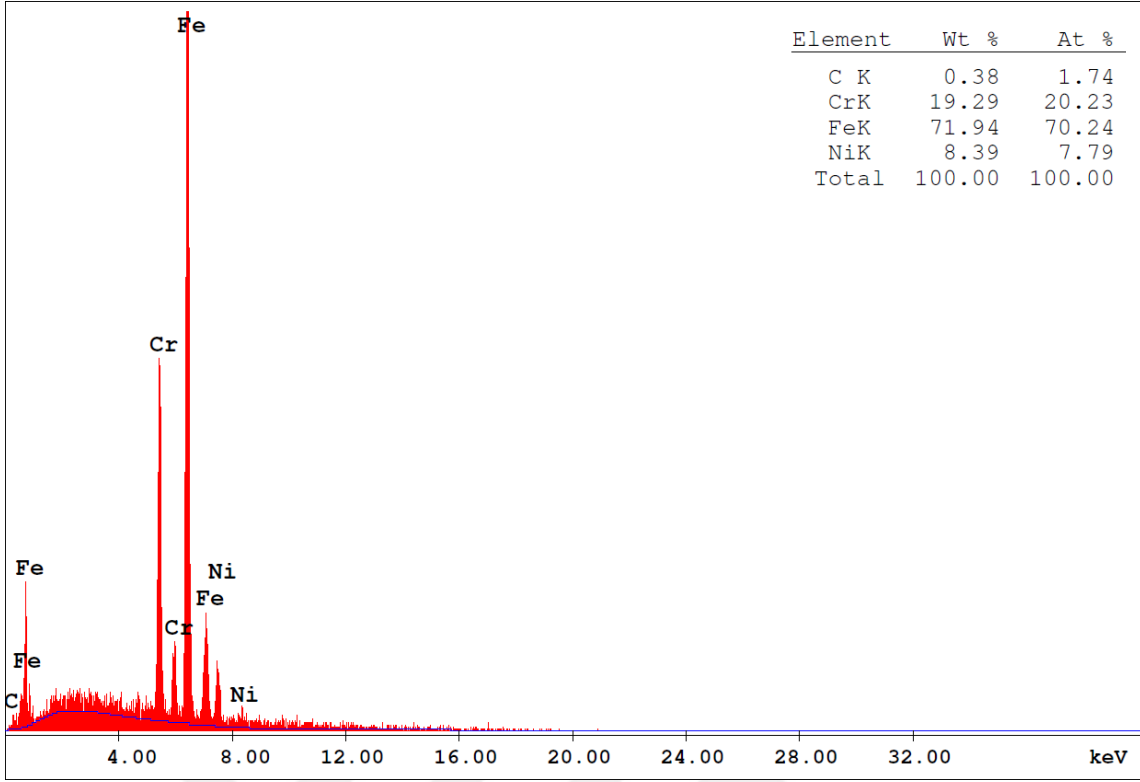
Şekil 6.7. B<sub>4</sub>C İlaveli kaynak kaplama element harita analizi.

Şekil 6.6 EDS analizi sonuçları incelendiğinde yapı içerisinde yaklaşık olarak %1 oranında karbon elementi olduğu görülmektedir. Bu sonuç sisteme ilave edilen B<sub>4</sub>C tozundan karbon geçişi olarak yorumlanmıştır.

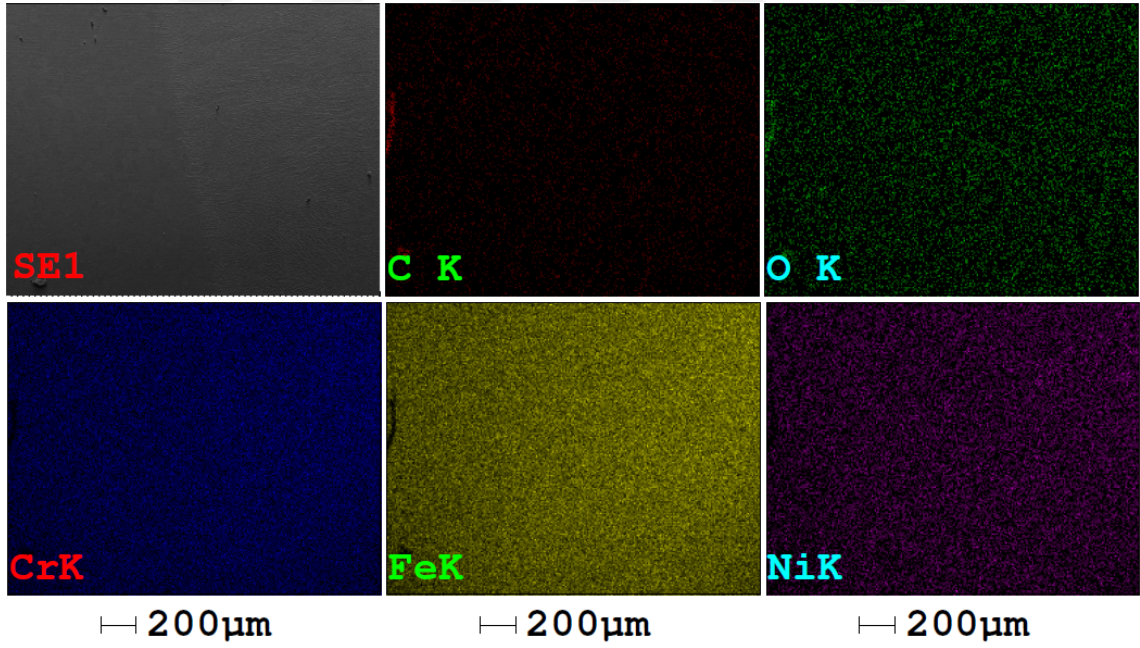


Şekil 6.8. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İlaveli kaynak kaplama SEM görüntüleri.

Şekil 6.5 ve 6.8 SEM görüntüleri karşılaştırmalı olarak incelendiğinde akım türü değiştiğinde kaynak tane boyutlarının da değiştiği ve küçüldüğü görülmektedir. Double pulse akım ile kaynak dikişi tane yapısı iyice küçülmüştür. Durgutlu ve arkadaşları da yapmış oldukları çalışmada pulse ve double pulse akım ile kaynak dikişi tane boyutlarının küçüldüğünü tespit etmişlerdir [74]. Şekil 6.10 element haritalama incelendiğinde ise sistemde eser miktarda karbon girişi olduğu bunun da kullanılan karışım gazının etkisi ile olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda oksijen fazlalığı ise kullanılan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozundan kaynaklandığı ön görülmektedir.



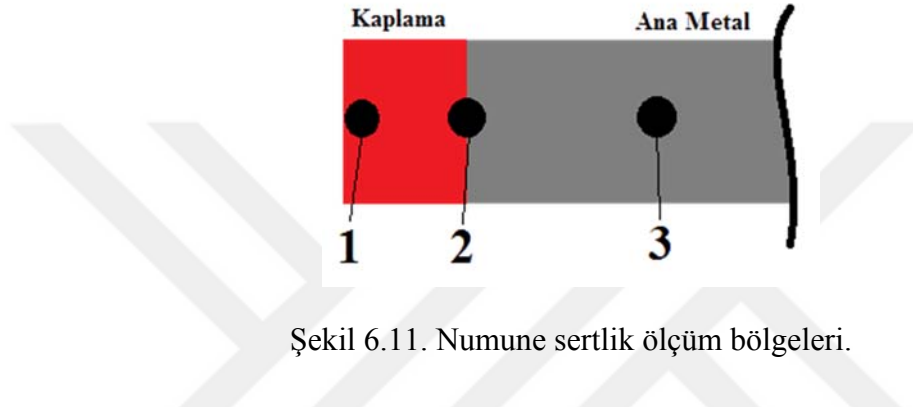
Şekil 6.9. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İlaveli kaynak kaplama EDS analizi.



Şekil 6.10. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İlaveli kaynak kaplama element harita analizi.

## 6.2. SERTLİK TEST CİHAZI VE AŞINMA TESTİ SONUÇLARI

Bor karbür ve bor oksit kaplama yapılan numunelerde mikroyapı inceleme işlemlerinden sonra sertlik ölçümleri işlemlerine geçilmiştir. Şekil 6.5’de verilen şematik görüntüye göre sertlik ölçümlerinde kaplamanın dış yüzeyi son nokta olarak kabul edilmiş ve ana malzeme merkezine doğru 0,5 mm aralıkta her nokta etrafından 5 adet ölçümün ortalamaları alınarak değerler elde edilmiştir. Sertlik ölçümleri 500 gr yük altında Vickers sertlik ölçüm yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.11. Numune sertlik ölçüm bölgeleri.

En az 5 ölçüm ortalamaları alınarak Çizelge 6.1’deki değerler elde edilmiştir. Sertlik sonuçları tablosu incelendiğinde, en yüksek sertlik değerleri kaynak bölgesinden ölçülürken, onu sırasıyla ana malzemenin takip ettiği görülmüştür. Kaynak dikişi ısı girdisinin etkisi ile sıcaklık yükselmiş ve kaynak sonrası ani soğuma şartlarında kısmi dönüşüm gerçekleşerek, ana malzemenin sertliğinden daha yüksek sertlik elde edilmiştir.

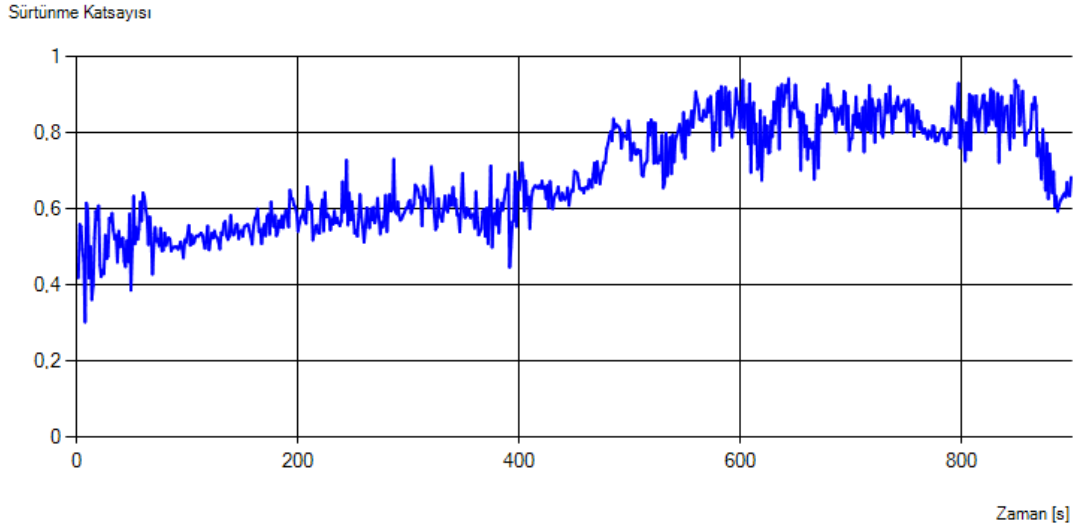
Çizelge 6.1. Normal, Pulse ve Double Pulse sertlik değerleri.

	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge
Normal Akım	203,8 HV <sub>0,5</sub>	178,4 HV <sub>0,5</sub>	155,3 HV <sub>0,5</sub>
Pulse Akım	274,4 HV <sub>0,5</sub>	218,9 HV <sub>0,5</sub>	155,3 HV <sub>0,5</sub>
Double Pulse Akım	356,4 HV <sub>0,5</sub>	312,1 HV <sub>0,5</sub>	155,3 HV <sub>0,5</sub>

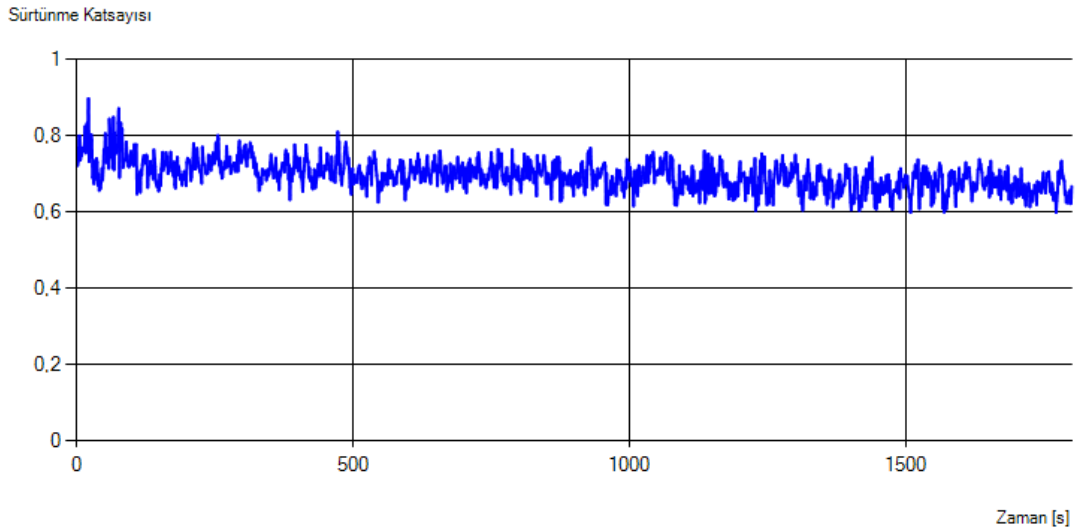
Daha önce yapılmış olan literatür taramalarından, bor tozunun alüminyum, titanyum, paslanmaz çelik vb. malzemelere ilave edildiğinde metallere sertlik kazandırdığı gözlemlenmiştir. Kaynaklı parçaların sertlik değerleri incelendiğinde genel olarak düşük kaynak akımının, sertlik değerleri yükselttiği tespit edilirken bu çalışmada kullanılan MIG kaynağı normal, pulse ve Double pulse akımları uygulanması incelendiğinde kaplama bölgesinde ve ana malzeme geçiş bölgesine doğru en yüksek sertlik değerleri

double pulse kaynak yöntemi ile yapılan kaynakta elde edilmiştir.

Aşınma deneyleri numunelerin sertlik değerlerine göre bakılarak sadece en yüksek sertliğin tespit edildiği double pulse akımlı kaplamalara uygulanmıştır. Literatür çalışmaları neticesinde bir malzemede sertlik değeri yüksek ise aşınma direncinin de arttığı görülmüş olup diğer numunelere aşınma testi gerçekleştirilmemiştir.

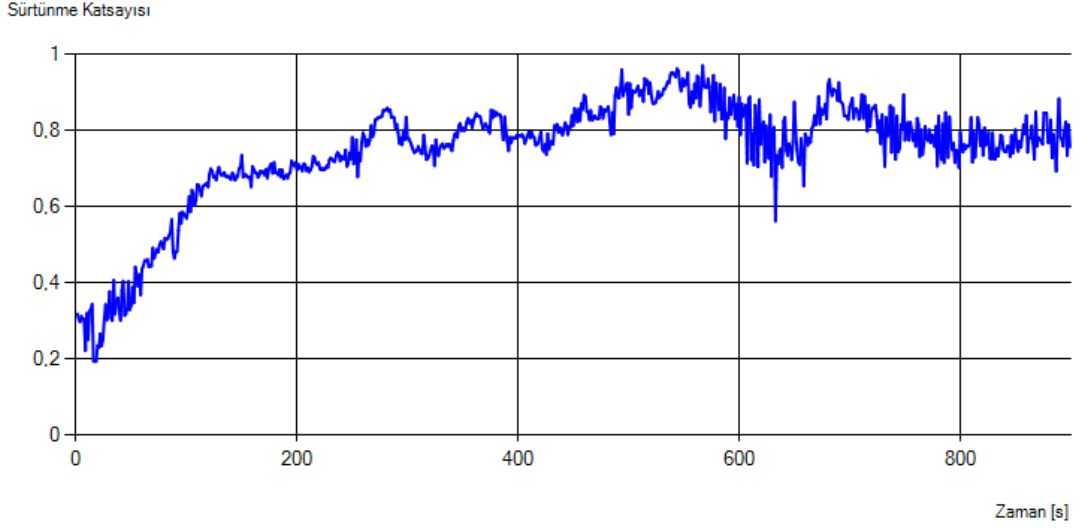


Şekil 6.12. B<sub>4</sub>C İlaveli kaynak kaplama aşınma testi 15 dk.

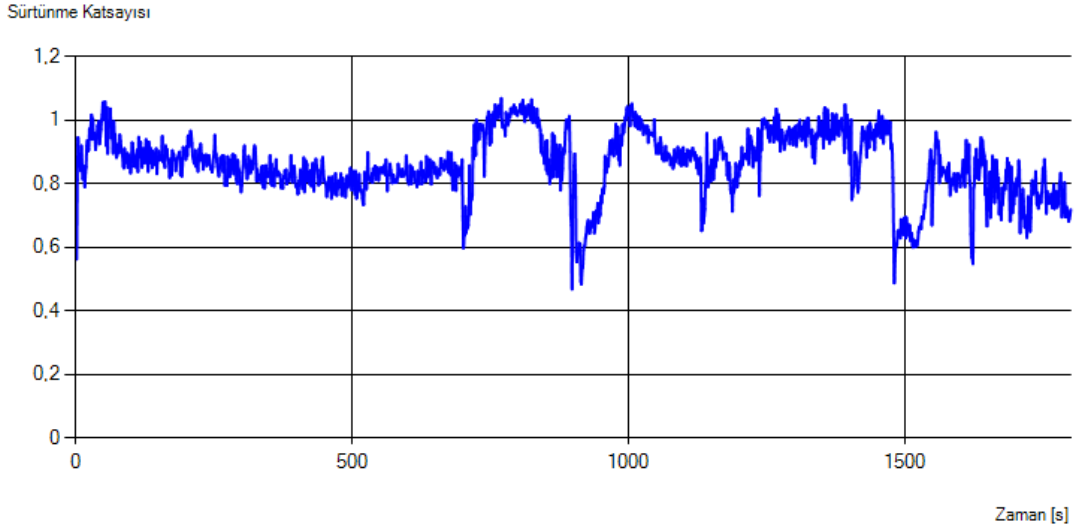


Şekil 6.13. B<sub>4</sub>C İlaveli kaynak kaplama aşınma testi 30 dk.

Şekil 6.12 ve 6.13 B<sub>4</sub>C ilaveli kaynak kaplama aşınma değerlerini göstermektedir. 15 dk. aşınma testinde sürtünme katsayısı 0,3 – 0,9 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 30 dk. testinde ise sürtünme katsayısının 0,6 – 0,8 aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 6.14. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İlaveli kaynak kaplama aşınma testi 15 dk.



Şekil 6.15. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İlaveli kaynak kaplama aşınma testi 30 dk.

Şekil 6.14 ve 6.15 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilaveli kaynak kaplama aşınma değerlerini göstermektedir. 15 dk. aşınma testinde sürtünme katsayısı 0,3 – 1,0 aralığında olduğu tespit edilmiştir. 30 dk. testinde ise sürtünme katsayısının 0,7 – 1,2 aralığında olduğu görülmektedir. Tüm aşınma değerleri incelendiğinde sürtünme katsayısı double pulse kaynak yöntemi ile B<sub>4</sub>C toz kaplamalı numunelerde en düşük olarak tespit edilmiştir. Sertlik sonuçları da bu aşınma değerlerinin düşük olmasını desteklemektedir. Yani artan sertlik değeri aşınma direncini de arttırmıştır.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, AISI 304 paslanmaz çelik millerin üç farklı akımda (Normal, Pulse ve Double Pulse) B<sub>4</sub>C ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplanabilirliği ve kaplama sonrası mekanik özelliklere etkileri incelenmiştir. Aşınma deneylerinden önce malzemelerin yapısal karakterizasyon çalışmaları; OM-SEM ile mikroyapı analizi ve sertlik ölçümlerini kapsamaktadır. Daha sonra numuneler 5 N yükte ve 15-30 dakikada aşınma testine tabii tutulmuştur. Yapılan incelemeler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. AISI 304 paslanmaz çelik millerinin üzerine normal, pulse ve Double pulse akımları ile herhangi bir safsızlık veya hata olmadan başarılı bir şekilde kaplama yapılmıştır.
2. Mikro yapılar incelendiğinde normal yöntemlerde kaplama mikro yapısı dentritik kollarının, pulse ve Double pulse göre daha iri olduğu tespit edilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde tane küçülmesi Double pulse kaynaklı kaplamada daha net görülmektedir.
3. B<sub>4</sub>C kaplı numunede B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı numuneye göre yüksek miktarda karbon içerdiği EDS analizi ile tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak B<sub>4</sub>C tozunda bulunan karbon miktarının kaplama ile kaynak dikişine geçtiği düşünülmektedir. Tespit edilen karbon miktarı % 1 oranındadır.
4. EDS analizi element haritalaması analizleri incelendiğinde B<sub>4</sub>C kaplı numunelerde karbon varlığı göze çarparken B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplı numunelerde ise oksijen elementinin varlığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak tozlarda bulunan karbon ve oksijen elementlerinin varlığı söylenebilir.
5. Numunelerin mikro sertlik ölçüm sonuçları birbirine yakın değerler olarak görülmüştür. Double pulse yöntemiyle yapılan kaplamadan 356,4 HV<sub>0,5</sub> ile en yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Ana malzeme sertliği 155,3 HV<sub>0,5</sub> olarak ölçülmüştür. Ana malzemeye kıyasla yaklaşık olarak 2 kat sertlik artışı olmuştur.
6. En düşük sürtünme katsayısına B<sub>4</sub>C tozunun Double pulse kaynak yöntemi ile kaplandığı numunede ulaşılmıştır. B<sub>4</sub>C ilaveli kaynak kaplama 15 dk. aşınma testinde sürtünme katsayısı 0,3–0,9 aralığında olduğu, 30 dk. testinde ise

sürtünme katsayısının 0,6–0,8 aralığında olduğu tespit edilmiştir. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilaveli kaynak kaplama 15 dk. aşınma testinde sürtünme katsayısı 0,3–1,0 aralığında, 30 dk. testinde ise sürtünme katsayısının 0,7–1,2 aralığında olduğu görülmektedir. Sürtünme katsayısı Double pulse kaynak yöntemi ile B<sub>4</sub>C toz kaplamalı numunelerde en düşük olarak tespit edilmiştir.

Öneri olarak aşağıdaki maddeler sunulmaktadır.

1. Farklı miktarlarda B<sub>4</sub>C ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozlarının sertlik ve aşınma değerlerine etkileri incelenebilir.
2. TİG kaynak, PTA kaynak ve lazer kaynak yöntemi ile numunelere B<sub>4</sub>C ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları kaplanarak mekanik özelliklere etkileri araştırılabilir.
3. Numunelere detaylı bir taylı bir XRD analizi yapılarak oluşan bir karbür varlığı teyit edilebilir.
4. Aşınma deneylerinde hız değerleri ve uygulanan yük miktarı artırılarak, daha yüksek hızlarda ve ağırlıklarda aşınma ve sürtünme testleri uygulanabilir.

## 8. KAYNAKLAR

- [1] N. Kahraman ve B. Gülenç, “MIG-MAG Kaynağı”, *Modern Kaynak Teknolojisi*, 2016, ss. 100–117.
- [2] P. K. Palani and N. Murugan, “Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 172, sayı 1, ss. 1–10, 2006,
- [3] Y. Kayalı ve Y. Yalçın, “Borlanmış AISI 316 L paslanmaz çeliğin difüzyon kinetiğinin incelenmesi”, *Journal of Materials and Mechatronics*, c. 1, sayı 1, ss. 12–21, 2020.
- [4] T. Kurun and T. Teker, “Effect on microstructure and hardness of synergic controlled pulsed (MIG+P) and manual (MIG) welding of AISI 430/AISI 1030 steel couples”, *Electronic Journal of Machine Technologies*, c. 8, sayı 3, ss. 27–37, 2011.
- [5] A. Atasoy, “The effect of the metallic aluminum powder addition on the production of boron carbide”, *International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey, 2011, ss. 1–4.
- [6] S. Apay, “Sert dolgu kaynağına bor tozu ilavesinin mekanik özelliklere etkisi”, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 5, sayı 3, ss. 1–9, 2016.
- [7] E. Kalafatoğlu ve N. Örs, “Tübitak-Marmara Araştırma Merkezi’nde bor kimyasalları araştırmaları”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 5, sayı 1, ss. 72–82, 2003.
- [8] A. S. Kıpçak, “Çeşitli magnezyum ve bor kaynaklarından farklı yöntemler ile yapay magnezyum borat üretimi ve üretim parametrelerinin incelenmesi”, Doktora tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [9] Ü. A. Çelik, “Mekanik alaşımlama yöntemi ile demir bor alaşımlarının üretimi ve karakterizasyonu”, Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2020.

- [10] A. Günen, C. Çarboğa, B. Kurt, ve N. Orhan, “Borlama işleminde kullanılan bor tozu tane boyutunun kaplama tabakası üzerine etkisi”, *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 2, sayı 1, ss. 12–19, 2013.
- [11] C. Helvacı, “Borate deposits: An overview and future forecast with regard to mineral deposits”, *Journal of Boron*, c. 2, sayı 2, ss. 59–70, 2017.
- [12] R. V. Yılmaz, S.S., B.S. Ünlü, “Borlama ve bilyalı dövmenin demir esaslı T/M malzemelerde aşınma ve mikro yapı özelliklerine etkisi”, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 4, sayı 1, ss. 1–8, 2008.
- [13] S. Taktak, “Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels”, *Materials & Design*, c. 28, sayı 6, ss. 1836–1843, 2007,
- [14] A. Uluköy ve A. Can, “Çeliklerin borlanması”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 12, sayı 2, ss. 189–198, 2005.
- [15] D. Ş. Arslan, “Türkiye’de farklı yörelerde bulunan kolemanit minerallerinin fiziksel, kimyasal ve termal özelliklerinin tayini”, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 11, sayı 4, ss. 1225–1234, 2021.
- [16] S. Dedeoğlu, “Magnezyum ve kalsiyum boratların sentezi ve konveyör bantlarda yanma geciktirici özelliklerinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2020.
- [17] H. Taligacı, “Bor özel ürünleri ve teknolojileri”, Yüksek lisans tezi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye, 2019.
- [18] M. Aytekin, “Kalsiyum sülfat esaslı bor atığının alçı içerisindeki etkilerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Bilimi Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2019.
- [19] H. Vapur O. E. Kök ve Y. Erdoğan, “Bor içerikli atık killerin sondaj çamurlarında kullanımı”, *Journal of Boron*, c. 6, sayı 4, ss. 360–369, 2021.
- [20] H. Söylemez ve O. Y. Bayraktar, “Bor mineralleri ve atıkları ile üretilen betonarme yapılarda yangına dayanıklılığın araştırılması”, *International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, c. 4, sayı 1, ss. 4–7, 2019.

- [21] B. Demircan ve Y. S. Veliöğlu, “Gıda ve çevreden alınan bor bileşiklerinin toksikolojik değerlendirmesi”, *Akademik Gıda*, c. 18, sayı 3, ss. 312–322, 2020.
- [22] M. Akduman, “Düşük karbonlu ST37 yapı çeliğinin ısığ işlem sonrası yapısı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makina Mühendisliği Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2021.
- [23] Ş. Aktepe ve İ. Dal, “The use of boron mineral in the textile industry and its contribution to the Turkish”, *Pamukkale Journal of Eurasian Socioeconomic Studies*, c. 8, sayı 2, ss. 53–69, 2021.
- [24] E. Çevik ve F. Sarıçam, “1040 Kalite çeliğin korozyon aşınma davranışına farklı oranlarda ilave edilen borun etkisi”, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 33, sayı 2, ss. 421–430, 2021.
- [25] E. N. Sarı ve Y. Soysal, “Bor elementi ve biyolojik sistemlere etkisi”, *Tıp Klinikleri Dergisi*, c. 2, sayı 4, ss. 57–65, 2021.
- [26] Ü. İpekoğlu ve M. Polat, “Bor endüstrisine genel bakış”, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, c. 26, sayı 1, ss. 5–16, 1987.
- [27] A. V. Karakaş, “Türkiye’de bulunan bor rezervlerinin jeostratejik ve jeoekonomik açıdan önemi”, Yüksek lisans tezi, Sosyal Bilimler Bölümü, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2021.
- [28] S. Doğdu, “Çelik malzemelerde kimyasal bileşimin kaplamaya ve korozyona etkisinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2021.
- [29] H. Kahraman. M. A. Güvenç ve S. Mıstıkoğlu, “AISI 304 östenitik paslanmaz çelik levhaların TIG kaynağı ile birleştirilmesinde farklı koruyucu gaz tiplerinin mekanik özelliklerine etkisi”, *Journal of Materials and Mechatronics*, c. 2, sayı 1, ss. 1–12, 2021.
- [30] Ü. E. and B. Par, “The investigation on abrasive wear resistance of surface hardened AISI 1030 and AISI 1050 steels by boronizing”, *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. XVII, sayı 1, 2004.
- [31] D. Çeçen, “Bor cevherleri ve borun çağımız ve gelecekteki önemi”, *Etibank*, c. VIII, sayı 1, ss. 10–17, 1968.

- [32] M. Korkmaz, “Ferritik paslanmaz çeliğin malzeme yapısal denklem parametrelerinin belirlenmesi ve doğrulanması”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, sayı 1, ss. 628–639, 2019.
- [33] Ş. Çetin, “15- 5 Ph paslanmaz çeliğin tornalanmasında işleme parametrelerinin Taguchi metodu ile optimizasyonu”, Yüksek lisans tezi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2016.
- [34] M. Korkmaz T. Meral ve M. Günay, “AISI 420 Martenzitik paslanmaz çeliğin delinebilirliğinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi”, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 4, sayı 3, ss. 223–229, 2018.
- [35] A. Savaş, “MIG Kaynak yöntemiyle birleştirilen Hardox 400, AISI 304L ve St52 kalite çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makina Mühendisliği, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2021.
- [36] A. Kısasöz ve A. Karaaslan, “Çift fazlı paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında ısı girdisinin kaynak mikroyapısı üzerindeki etkisi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 31, sayı ÖS1, ss. 143–146, 2016.
- [37] N. A. Özbek, A. Çiçek. M. Gülesin ve O. Özbek, “AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, c. 20, sayı 1, ss. 43–49, 2017.
- [38] Y. Kaya, G. Çayırhan, M. Bökü, ve N. Kahraman, “An investigation of joinability of stainless steel and the low carbon steel materials by MIG welding method”, *E-Journal of New World Sciences Academy*, c. 15, sayı 2, ss. 89–99, 2020.
- [39] E. Uyguntürk, N. Kahraman, A. Durgutlu, ve B. Gülenç, “Titanyum boruların lazer kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve kaynak bölgesinin karakterizasyonu”, *Journal of Polytechnic*, c. 24, sayı 1, ss. 255–262, 2021.
- [40] G. Başman ve M.K. Şeşen, “AISI 316 L tipi paslanmaz çeliğin yüzey özelliğinin borlama ile geliştirilmesi”, *İtüdergisi*, c. 10, sayı 2, ss. 115–121, 2011.
- [41] R. C. Ersin, “Isı girdisinin ve kaynak sonrası gerilim giderme ısıl işleminin mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek lisans tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Türkiye, 2009.

- [42] F. Karcı, “Soğuk deformasyon ve kaynak ısı girdisinin AISI 304 paslanmaz çelik direnç kaynak kalitesine etkisi”, Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi Anabilim Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2008.
- [43] A. S. ve H. A. Ş. Talaş , M. S. Sarı, “Heat treatment and microstructural analysis of 54SiCr6 and 60SiMn5 spring steels”, *Journal of Materials and Mechatronics*, c. 1, sayı 2, ss. 76–84, 2020.
- [44] U. E. ve Ş. Ö. R. Özgün , E. Köse , M. K. Külekçi, “Yüksek ısı ortamının otomat çeliklerinin yorulma ömrüne etkisinin incelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 33, sayı 1, ss. 209–218, 2018.
- [45] S. Öztürk, “Düşük karbon çeliğinin asidik ortamdaki korozyonuna karşı inhibitör özelliği gösteren 4-okso-kinazolin türevi katyonik yüzey aktif maddelerin sentezi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, sayı 3, ss. 986–1000, 2018.
- [46] N. Turkan, “Bor alaşımlı çelikler ve yüksek zorlamalara karşı kullanılan bor alaşımlı yeni semantasyon çelikleri”, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, c. 3, sayı 11, ss. 743–748, 1963.
- [47] N. A. Özbek ve E. Saraç, “Temperleme ısıl işlem sıcaklıklarının AISI 4140 çeliği üzerine etkilerinin araştırılması”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, sayı 3, ss. 1574–1586, 2019.
- [48] E. Mertgenç, “Examination of wear and rockwell-C adhesion properties of nitronic 50 steel coated with pack boriding method”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 24, sayı 3, ss. 521–530, 2020.
- [49] H. Demirören, “The electrochemical synthesis of ferritic stainless steel alloyed with Nb in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> environment”, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 9, sayı 4, ss. 1836–1843, 2020.
- [50] E. Şakar, “Investigation of the protective capacities of precipitation-hardening stainless steels in terms of charged and un-charged particle radiation”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 10, sayı 1, ss. 190–201, 2020.
- [51] F. Kahraman. Ş. Kasman. A. D. Kahraman ve O. Tunuslu, “Östenitik paslanmaz çelikler ile takım çeliklerinin birbirleri ile kaynağında oluşan kaynak bölgesinin incelenmesi”, *El-Cezeri*, c. 4, sayı 1, ss. 57–64, 2017.

- [52] H. İ. Kurt, “TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Marmara Üniversitesi, Türkiye, İstanbul, 2006.
- [53] A. Akın ve A. S. Ersoyoğlu, “Ark akımı ve ark geriliminin bağlantı mukavemeti üzerine etkilerinin araştırılması”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, sayı 4, ss. 237–255, 2016.
- [54] B. Gülenç, İ. Candan, ve N. Kahraman, “MIG-MAG kaynağı ile birleştirilen boruların tahribatlı ve tahribatsız muayenesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 21, sayı 4, 2013.
- [55] A. Şık, “MIG/MAG kaynağı ile kaynatılan çelik yapılarda koruyucu gaz karışımlarının mekanik özelliklere etkilerinin araştırılması”, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 8, sayı 1, ss. 55–60, 2016.
- [56] N. K. ve B. G. İ. Candan, A. Durgutlu, “Farklı pozisyonlarda MAG kaynağı ile birleştirilen boruların kaynak dikişlerinin ultrasonik ve mekanik muayenesi”, *Politeknik Dergisi*, c. 9, sayı 3, ss. 203–209, 2006.
- [57] A. Tasdemir, B. Baksan, ve I. Celikyürek, “Investigation of the effect of some factors on resistance spot welding of DKP steel using response surface method”, *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, c. 16, ss. 145–152, 2021.
- [58] C. Aytekin, A. Çalık, ve N. Uçar, “A Study on mechanical properties of dissimilar steels welded with electric arc welding”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, c. 15, sayı 1, ss. 124–129, 2020.
- [59] A. R. Akyaka ve D. M. Sekban, “Örtülü elektrod ark kaynağı ve gazaltı kaynağı kullanılarak birleştirilen gemi inşa çeliğinde kaynak bölgesinin içyapı ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi”, *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, sayı 218, ss. 54–64, 2020.
- [60] H. V. Ökavakz ve S. Mercan, “Investigation of joining properties of AA 5083 material in MIG and TIG weldings”, *Cumhuriyet Science Journal*, c. 42, sayı 4, ss. 951–964, 2021.

- [61] K. Nurveren ve B. B. Gündüz, “6082 Alüminyum alaşımının MİG kaynağı sonrası mikro yapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 7, sayı 2, ss. 909–916, 2018.
- [62] İ. Topcu, “TIG ve MIG kaynağı ile işlem gören 304 ve 1040 çeliklerin ITAB bölgesindeki mekanik özelliklerin incelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 34, sayı 3, ss. 171–182, 2019.
- [63] N. Altınkök, “MAG-TIG-Tozaltı kaynak bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile termal analizi”, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 7, sayı 2, ss. 536–544, 2017.
- [64] C. Yıldız ve E. Karadeniz, “MAG kaynağında nüfuziyeti etkileyen kaynak parametrelerinin incelenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 7, sayı 3, ss. 110–118, 2003.
- [65] T. Karagöz, “TIG kaynağı yapılan alüminyum bir sac parçanın çarpılma miktarının incelenmesi”, *Mühendis ve Makina*, c. 62, sayı 702, ss. 55–69, 2021.
- [66] M. Ayvaz ve H. Çetinel, “Welding of different aluminium alloys by TIG welding method and the analysis of their mechanical characteristics”, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 7, sayı 1, ss. 39–46, 2011.
- [67] H. Karakoç ve R. Çıtak, “B4C takviyelendirilmiş alüminyum kompozit malzemelerin TIG kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin incelenmesi”, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 4, sayı 3, ss. 584–592, 2017.
- [68] Z. Taş, “Tozaltı kaynağıyla birleştirilmiş API X52 çeliğinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Technological Applied Sciences*, c. 13, sayı 1, ss. 1–8, 2018.
- [69] S. Apay, M. Gel ve G. Çil, “Tozaltı kaynak yöntemi ile farklı kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilen API X70M PSL2 malzemelerin kaynak bölgesinin incelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, sayı 4, ss. 714–723, 2018.
- [70] N. Katı, M. Bölükbaşı, ve S. Ozan, “Inconel 718 süper alaşımın plazma kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde akım şiddetinin etkisi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, sayı 2, ss. 593–599, 2018.

- [71] C. Köse ve R. Kaçar, “Lazer kaynağı ile birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi”, *Technological Applied Sciences*, c. 11, sayı 4, ss. 98–109, 2016.
- [72] M. Çakmakkaya, F. Çolak, R. Kara, ve A. Kağaçlı, “Lazer kaynak yöntemiyle birleştirilen otomotiv endüstrisinde kullanılan farklı tür çeliklerin kaynak dikiş geometrisi ve nüfuziyetine kaynak parametrelerinin etkisi”, *Journal of Materials and Mechatronics: A*, c. 1, sayı 1, ss. 1–11, 2020.
- [73] B. Aydemir, E. Aydemir, ve E. Kaluç, “DP1000 Çelik sacların uzaktan lazer (RLW) ve direnç nokta kaynaklı (RSW) birleştirmelerinin çekme ve yorulma özelliklerinin incelenmesi”, *Mühendis ve Makina*, c. 58, sayı 687, ss. 17–28, 2017.
- [74] A. Durgutlu, N. Kahraman, ve B. Gülenç, “Al - Si Alaşımının TİG kaynağında darbeli akımın mikroyapı, sertlik, eğme ve çekme dayanımına etkisi”, *Politeknik Dergisi*, c. 11, sayı 4, ss. 339–344, 2008.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sevgi BUDAK

Yabancı Dili : İngilizce

## ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Müh.	Düzce Üniversitesi	2022
Lisans	İmalat Müh.	Düzce Üniversitesi	2018
Lise	Sayısal	Süleyman Demirel Anadolu Lisesi	2011

## YAYINLAR

1. S. Budak ve S. Apay, “Farklı akım türleri ile AISI 304 paslanmaz çelik milin B<sub>4</sub>C kaplanması”, *International Symposium On Boron*, 2019, ss. 318–326, Nevşehir.