

Bekir TOKGÖZ



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**ARK KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN  
AISI 316L ÖSTENİTİK PASLANMAZ  
ÇELİK LEVHALARIN İÇYAPI VE  
MEKANİK ÖZELLİKLERİN  
İNCELENMESİ**

**Bekir TOKGÖZ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

NİSAN 2021

NİSAN 2021



**ARK KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN AISI 316L ÖSTENİTİK  
PASLANMAZ ÇELİK LEVHALARIN İÇYAPI VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

**Bekir TOKGÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2021**

Bekir TOKGÖZ tarafından hazırlanan “ARK KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN AISI 316L ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK LEVHALARIN İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Ahmet YAPICI

Anabilim Dalı, Üniversite Adı (Örnek: Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi)

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**Başkan:** Prof. Dr. Hamza Kemal AKYILDIZ

Anabilim Dalı, Üniversite Adı (Örnek: Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi)

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Prof. Dr. Selçuk MISTIKOĞLU

Anabilim Dalı, Üniversite Adı (Örnek: Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi)

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Doç. Dr. Erdoğan KANCA

Anabilim Dalı, Üniversite Adı (Örnek: Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi)

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

**Üye:** Doç. Dr. Mehmet BAĞCI

Anabilim Dalı, Üniversite Adı (Örnek: Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi)

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....  
.....

Tez Savunma Tarihi: 19.04.2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
  - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirim, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bekir TOKGÖZ

# ARK KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN AISI 316 L ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK LEVHALARIN İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Bekir TOKGÖZ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NİSAN 2021

## ÖZET

Bu çalışmada, ergimeyen elektrotla Tungsten Inert Gas (TIG) ve Metal Inert Gas (MIG) kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilen 6 mm kalınlığındaki AISI 316L östenitik paslanmaz çelik plakalarda kullanılan koruyucu gaz çeşidinin ve pasalarda uygulanan kaynak akım değerlerinin, kaynak dikişinin mikro-makro yapısına ve mukavemetine olan etkisi ele alınmıştır. Koruyucu gaz parametreleri %100 Argon (Ar), %97,5 Ar + %2,5 CO<sub>2</sub> ve Karışım-212 (%84 Ar, %12 CO<sub>2</sub> ve %4 O<sub>2</sub>) seçilmiş ve her bir koruyucu gaz altında üç farklı amper değerleri uygulanmıştır.

Koruyucu gaz olarak %97,5 Ar + %2,5 CO<sub>2</sub> gazının MIG kaynak yönteminde kullanılmasının çekme testinde, çekme mukavemetini artırdığı gözlemlenmiştir. Numunelerin mikro-sertlik incelemelerinde kaynak bölgesi kısımlarında sertlik, tüm numunelerde genellikle dengeli düzeyde olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik değerine MIG kaynak yöntemi ile %97,5 Ar + %2,5 CO<sub>2</sub> gazı ile yüksek amper ile elde edildiği görülmüştür.

ITAB bölgesinde ki tanelerin soğuma morfolojisine uygun bir biçimde kaynak bölgesinden ana metal (kaynaksız bölge) tarafına doğru ilerlediği, kaynaklanan bölgede ise sınırları daha belli olan ve ITAB bölgesine kıyasla daha küçük boyutlu taneler oluştuğu görülmüştür. MIG kaynak yönteminde aynı koruyucu gaz kullanılan numunelerin, kendi aralarında çekme mukavemetleri analiz edildiğinde, MIG kaynak yönteminde orta amper değeri ile yapılan kaynağa sahip plakanın en yüksek çekme dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek çekme mukavemetine ise MIG kaynak yöntemi orta amper değeri ile kaynaklanan plakaya ait olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Ark kaynağı, östenitik paslanmaz çelik, AISI 316L, kaynak karakterizasyonu

Sayfa Adedi : 97

Danışman : Prof. Dr. Ahmet YAPICI

INVESTIGATION OF INTERIOR STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES  
OF AISI 316 L AUSTENITIC STAINLESS STEEL SHEETS JOINT WITH ARC

WELDING

(M. Sc. Thesis)

Bekir TOKGOZ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENGINEERING AND SCIENCE ESNTITUTE

APRIL 2021

ABSTRACT

In this study, the effect of the shielding gas type used in 6 mm thick AISI 316L austenitic stainless-steel plates combined with non-melting Tungsten Inert Gas (TIG) and Metal Inert Gas (MIG) welding methods and the welding current values applied in the passes on the micro-macro structure and strength of the weld seam are discussed. Shielding gas parameters were selected as 100% Argon (Ar), 97.5% Ar + 2.5% CO<sub>2</sub> and Mix-212 (84% Ar, 12% CO<sub>2</sub> and 4% O<sub>2</sub>) and three different heat inputs were applied under each shielding gas.

It has been observed that the use of 97.5% Ar + 2.5% CO<sub>2</sub> gas in the MIG welding method increases the tensile strength in the tensile test. In the micro-hardness studies of the samples, it was observed that the hardness in the weld zone was generally at a balanced level in all samples. It was observed that the highest hardness value was obtained by MIG welding method with 97.5% Ar + 2.5% CO<sub>2</sub> gas with high ampere.

It has been observed that the grains in the ITAB region progressed from the source area towards the base metal (unwelded region) side in accordance with the cooling morphology, and the grains with more clear boundaries and smaller size than the ITAB region were formed in the region of origin. It was observed that the highest tensile strength belonged to the plate with the MIG welding method medium amperage value.

Key Words : Arc welding, austenitic stainless steel, AISI 316L, weld characterization

Page Number : 97

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet YAPICI

## TEŞEKKÜR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tez çalışmalarında gece-gündüz demeden yardımlarını esirgemeyen çok değerli danışmanım Prof. Dr. Ahmet YAPICI hocama, çalışmam boyunca, bizlere tecrübelerini, bilgilerini ve nasihatlerini aktaran çok değerli Öğr. Gör. Dr. Göksel SARAÇOĞLU hocama, çalışmalarım boyunca desteğini ve yardımlarını benden hiçbir zaman esirgemeyen İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı Emine BAŞER'e, ayrıca eğitim ve öğrenim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem çok kıymetli Havva TOKGÖZ ve babam Nizamettin TOKGÖZ'e teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	2
3. GENEL BİLGİLER .....	6
3.1. Çelik.....	6
3.1.1. Çeliklerin temel özellikleri.....	6
3.2. Paslanmaz Çelikler .....	7
3.2.1. Paslanmaz çeliklerin özellikleri.....	8
3.3. Elektrik Ark Kaynağı (SMAW) .....	9
3.4. TIG Kaynak Yöntemi.....	9
3.4.1. TIG kaynak elektrot ve telleri.....	10
3.4.2. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar .....	12
3.4.3. TIG kaynak kullanım alanları.....	14
3.4.4. TIG kaynak yönteminin avantaj ve dezavantajları .....	15
3.5. MIG Kaynak Yöntemi .....	16
3.5.1. MIG kaynak telleri .....	17
3.5.2. MIG kaynağında kullanılan gazlar.....	17
3.5.3. MIG kaynak yöntemi kullanım alanları .....	18



	<b>Sayfa</b>
3.5.4. MIG kaynak yönteminin avantajı ve dezavantajları .....	19
3.6. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı .....	19
3.6.1. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti .....	20
3.6.2. Östenitik paslanmaz çelikler için kullanılan kaynak yöntemleri .....	20
3.7. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Karşılaşılan Problemler.....	21
3.7.1. Krom karbür çökmesi ve taneler arası korozyon .....	21
3.7.2. Sıcak çatlak oluşumu.....	23
3.7.3. Sigma faz oluşumu .....	24
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
4.1. Materyal .....	26
4.1.1. Ana metal.....	26
4.1.2. Koruyucu gazlar .....	26
4.1.3. Dolgu Malzemesi .....	29
4.2. Yöntem.....	30
4.2.1. Levha kesimi.....	30
4.2.2. Kaynak ağzı .....	30
4.2.3. Levha puntalama .....	31
4.2.4. Levha tanımlama.....	31
4.2.5. Koruyucu gaz.....	32
4.2.6. Kaynak makinesi.....	32
4.2.7. Kaynak kalitesi ve paso kaynakları.....	33
4.2.8. Levha Sıcaklığı .....	39
4.3. Kaynaklı İmalatta Tahribatlı ve Tahribatsız Testler .....	39
4.3.1. Çekme deneyi.....	40
4.3.2. Sertlik testi.....	42

	<b>Sayfa</b>
4.3.3. Makroyapı.....	43
4.3.4. Mikroyapı .....	44
4.3.5. SEM ve EDS.....	44
<b>5. BULGULAR.....</b>	<b>45</b>
5.1. Çekme Testi Bulguları .....	45
5.2. Sertlik Testi Bulguları.....	47
5.3. Kaynaklı Numunelere ait Mikroyapı ve Makroyapı Bulguları .....	50
5.4. SEM EDS İncelemeleri.....	58
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>89</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>91</b>

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Tungsten elektrot renk kodları .....	11
Çizelge 4.1. AISI 316L kalite çeliğin kimyasal bileşimi .....	25
Çizelge 4.2. Kaynak parametreleri.....	35
Çizelge 4.3. ASTM E8/8M'e göre şerit tip numune ölçüleri .....	39
Çizelge 5.1. TIG ve MIG kaynak yöntemi mikro sertlik deney sonuçları .....	46
Çizelge 5.2. TIG %100 Argon EDS çizelgesi .....	65
Çizelge 5.3. TIG karışım koruyucu gazı EDS çizelgesi.....	75
Çizelge 5.4. MIG EDS çizelgesi.....	85
Çizelge 5.5. SEM-EDS analiz sonuçları .....	86

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. TIG kaynak yöntemi şematik gösterimi .....	10
Şekil 3.2. MIG kaynak yöntemi şematik gösterimi .....	16
Şekil 3.3. Paslanmaz çeliğin tane sınırlarında meydana gelen karbür çökmesi .....	22
Şekil 3.4. Krom karbür çökmesi sonucu hassas bölgede meydana gelen korozyon .....	22
Şekil 3.5. Schaeffler diyagramı .....	24
Şekil 4.1. 200x200mm ebadında kesilen levhalar.....	30
Şekil 4.2. Kaynak ağzında kullanılan standart (TS EN ISO 9692) (CAN, 2018). .....	30
Şekil 4.3. a. Levhaların puntalanması, b. Levha çatma.....	31
Şekil 4.4. Kaynağı tamamlanmış tanımlamalı levha.....	31
Şekil 4.5. Koruyucu (%100 argon) gaz tüpü. ....	32
Şekil 4.6. Kaynak makineleri.....	32
Şekil 4.7. Kalite sertifikaları.....	34
Şekil 4.8. Kaynakçı personel setifikası .....	35
Şekil 4.9. TIG kaynak yöntemi pasolar şekli.....	36
Şekil 4.10. MIG kaynak yöntemi pasolar şekli.....	37
Şekil 4.11. İlk paso kaynak işlemi .....	37
Şekil 4.12. Lazer termometre ile sıcaklık ölçme .....	39
Şekil 4.13. Çekme numunesi hazırlık aşaması .....	40
Şekil 4.14. ASTM E8/8M' e göre şerit tip numune ölçüleri [4].....	41
Şekil 4.15. Zwick/Roel Z600 test makinası (Casalino, Michele ve Perulli, 2020).....	41
Şekil 4.16. Sertlik ölçümlerinde kullanılan şablon [4].....	42
Şekil 4.17. Nikon SMZ 800N model optik mikroskop (Anonim, 2020) .....	43
Şekil 4.18. Nikon EPIPHOT 200 optik mikroskop (Anonim, 2019).....	44
Şekil 5.1. TIG çekme testi sonuçları.....	45
Şekil 5.2. MIG-TIG çekme testi sonuçları .....	45
Şekil 5.3. Sertlik değeri alınan noktalar .....	47
Şekil 5.4. TIG saf argon gazı sertlik deneyi grafiği.....	49
Şekil 5.5. TIG karışım 212 gazı sertlik deneyi grafiği.....	49
Şekil 5.6. MIG karışım 212 gazı sertlik deneyi grafiği.....	50

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.7. Numune 1 makro ve mikroyapı görüntüsü (%100 Argon Düşük Amper) .....	52
Şekil 5.8. Numune 2 makro ve mikroyapı görüntüsü (%100 Argon Orta Amper).....	52
Şekil 5.9. Numune 3 makro ve mikroyapı görüntüsü (%100 Argon Yüksek Amper).....	53
Şekil 5.10. Numune 4 makro ve mikroyapı görüntüsü (Karışım 212 Düşük Amper) .....	54
Şekil 5.11. Numune 5 makro ve mikroyapı görüntüsü (Karışım 212 Orta Amper) .....	54
Şekil 5.12. Numune 6 makro ve mikroyapı görüntüsü (Karışım 212 Yüksek Amper) .....	55
Şekil 5.13. Numune 7 makro ve mikroyapı görüntüsü (%97 Ar MIG Düşük Amper).....	56
Şekil 5.14. Numune 8 makro ve mikroyapı görüntüsü (%97 Ar MIG Orta Amper).....	56
Şekil 5.15. Numune 9 makroya ve mikroyapı görüntüsü (%97 Ar MIG Yüksek Amper)	57
Şekil 5.16. Numune 1 kaynaklanan metalin SEM görüntüsü.....	58
Şekil 5.17. Numune 1 kaynaklanan metalin EDS analizi.....	58
Şekil 5.18. Numune 1 ITAB SEM görüntüsü.....	59
Şekil 5.19. Numune 1 ITAB EDS analizi.....	59
Şekil 5.20. Numune 1 kaynak bölgesi SEM görüntüsü.....	60
Şekil 5.21. Numune 1 kaynak bölgesi EDS analizi .....	60
Şekil 5.22. Numune 2 kaynaklanan metalin SEM görüntüsü.....	61
Şekil 5.23. Numune 2 kaynaklanan metal EDS analizi.....	61
Şekil 5.24. Numune 2 ITAB SEM görüntüsü.....	62
Şekil 5.25. Numune 2 ITAB EDS analizi.....	62
Şekil 5.26. Numune 2 kaynak bölgesi SEM görüntüsü.....	63
Şekil 5.27. Numune 2 kaynak bölgesi EDS analizi .....	63
Şekil 5.28. Numune 3 kaynaklanan metal SEM görüntüsü.....	64
Şekil 5.29. Numune 3 kaynaklanan metal EDS analizi.....	64
Şekil 5.30. Numune 3 ITAB SEM görüntüsü.....	65
Şekil 5.31. Numune 3 ITAB EDS analizi.....	65
Şekil 5.32. Numune 3 kaynak bölgesi SEM görüntüsü.....	66
Şekil 5.33. Numune 3 kaynak bölgesi EDS analizi .....	66
Şekil 5.34. Numune 4 kaynaklanan metal SEM görüntüsü.....	68
Şekil 5.35. Numune 4 kaynaklanan metal EDS analizi.....	68
Şekil 5.36. Numune 4 ITAB SEM görüntüsü.....	69
Şekil 5.37. Numune 4 ITAB EDS analizi.....	69

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.38. Numune 4 kaynak bölgesi SEM görüntüsü.....	70
Şekil 5.39. Numune 4 kaynak bölgesi EDS analizi .....	70
Şekil 5.40. Numune 5 kaynaklanan metal SEM görüntüsü.....	71
Şekil 5.41. Numune 5 kaynaklanan metal EDS analizi.....	71
Şekil 5.42. Numune 5 ITAB SEM görüntüsü.....	72
Şekil 5.43. Numune 5 ITAB EDS analizi.....	72
Şekil 5.44. Numune 5 kaynak bölgesi SEM görüntüsü.....	73
Şekil 5.45. Numune 5 kaynak bölgesi EDS analizi .....	73
Şekil 5.46. Numune 6 kaynaklanan metal SEM görüntüsü.....	74
Şekil 5.47. Numune 6 kaynaklanan metal EDS analizi.....	74
Şekil 5.48. Numune 6 ITAB SEM görüntüsü.....	75
Şekil 5.49. Numune 6 ITAB EDS analizi.....	75
Şekil 5.50. Numune 6 kaynak bölgesi SEM görüntüsü.....	76
Şekil 5.51. Numune 6 kaynak bölgesi EDS analizi .....	76
Şekil 5.52. Numune 7 kaynaklanan metalin SEM görüntüsü.....	78
Şekil 5.53. Numune 7 kaynaklanan metalin EDS analizi.....	78
Şekil 5.54. Numune 7 ITAB SEM görüntüsü.....	79
Şekil 5.55. Numune 7 ITAB EDS analizi.....	79
Şekil 5.56. Numune 7 kaynak bölgesi SEM görüntüsü.....	80
Şekil 5.57. Numune 7 kaynak bölgesi EDS analizi .....	80
Şekil 5.58. Numune 8 kaynaklanan metalin SEM görüntüsü.....	81
Şekil 5.59. Numune 8 kaynaklanan metal EDS analizi.....	81
Şekil 5.60. Numune 8 ITAB SEM görüntüsü.....	82
Şekil 5.61. Numune 8 ITAB EDS analizi.....	82
Şekil 5.62. Numune 8 kaynak bölgesi SEM görüntüsü.....	83
Şekil 5.63. Numune 8 kaynak bölgesi EDS analizi .....	83
Şekil 5.64. Numune 9 kaynaklanan metalin SEM görüntüsü.....	84
Şekil 5.65. Numune 9 kaynaklanan metal EDS analizi.....	84
Şekil 5.66. Numune 9 ITAB SEM görüntüsü.....	85
Şekil 5.67. Numune 9 ITAB EDS analizi.....	85
Şekil 5.68. Numune 9 kaynak bölgesi SEM görüntüsü.....	86
Şekil 5.69. Numune 9 kaynak bölgesi EDS analizi .....	86

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)

AWS : American Welding Society (Amerikan Kaynak Derneği)

EDS : Enerji dağılımı spektrometresi

FN : Ferrit numarası

ITAB : Isının tesiri altındaki bölge

MPa : Megapascal

SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı elektron mikroskopu)

$\delta$  : Delta ferrit

$\sigma$  : Sigma fazı

Cr : Krom

Ni : Nikel

C : Karbon

Fe : Demir

Si : Silisyum

Mo : Molibden

## 1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler, korozyon direncinin büyük önem arz ettiği alanlarda yaygın olarak kullanılan mühendislik malzemeleridir. Bu malzemeler ferritik paslanmaz çelikler, östenitik paslanmaz çelikler, martensitik paslanmaz çelikler, duplex paslanmaz çelikler ve çökeltme sertleştirilmiş paslanmaz çelikler olmak üzere beş farklı grupta üretilmektedir. En yaygın kullanılan grup östenitik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelik içinde, krom alaşım elementi ile östenitik bastırıcının oda sıcaklığında östenitik kalmasını sağlayan nikel elementi içerir, bu da çeliğe korozyon direnci kazandırır. Genel olarak, bu malzemeler yüksek derecede şekillendirme yeteneğine sahiptir, karmaşık ve derin geometrilerin üretilmesine imkan sağlar (Kanbolu, 1996). Özellikle, tabakanın şekillendirilebilme kabiliyetinin belirlenmesi, kalıp düzeltmelerini azaltmak için oldukça önemlidir. Sonucunda, üretim maliyeti büyük ölçüde azaltılabilir. Bu bağlamda sac metal malzemelerin fizibilitesini hem deneysel hem de teorik olarak inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda paslanmaz çeliklerin özelliklerinin incelenmesi, paslanmaz çeliklerin kaynak tekniklerinden ve paslanmaz çelik malzemelerin türlerine kadar birçok incelemeye yer verilmiştir (Yaşar, 2017).

Son yıllarda paslanmaz çelik kaynaklarında ark kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Kullanılan ark kaynak yöntemleri içerisinde en çok tercih edilen kaynak çeşidi TIG kaynak türüdür. Birtakım sınırlamalar dışında farklı çelikler için kullanılan tüm kaynak türleri paslanmaz çelikler için de kullanılır. Paslanmaz çelikler elektrik ark kaynağı, TIG kaynak yöntemi, MIG kaynak yöntemi, toz altı kaynak yöntemi, plazma kaynak yöntemi ve lazer ışın kaynağı ile kaynaklanması mümkündür (Çimen, 2015).

TIG kaynağı genellikle kaynak edilmesi zor olan malzemelerde kullanılır. Bunlar için birkaç örnek verir isek; alüminyum, magnezyum, bakır ve diğer demir dışı metallerin kaynağında tercih edilebilir (Baran, 2019).



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kant ve arkadaşlarının çalışmalarında AISI 304 ve AISI 316L levhaların kaynağında SMAW de E347-16 tip elektrot kullanılmış olup GTAW'de ise ER-309L tip elektrot kullanılmıştır, çalışmanın amacı kaynak amperlerini düşük amperden başlayıp yüksek amperlerde kaynak yapılıp, bu kaynaklı levhaları çekme testinde analiz etmektir (Kant, Mittal, Kumar ve Rana, 2018).

Bu tez çalışmasında GTAW (TIG)'de ER308 tip elektrot kullanılacak ve farklı olarak MIG-TIG kaynakları yapılacak, amper, kaynak hızı, gaz karışımı ve bunların radiografik test, çekme testi ve diğer testlerinin analizi yapılmıştır.

Chandrasekar ve arkadaşlarının araştırması, TIG kaynağı ile 5 mm kalınlığında AISI 316L östenitik paslanmaz çelik plakaların birleştirilmesini ifade eder. Kaynak işleminden önce, plakaların tek paso bir kaynakta birleştirilmesi için işlem parametrelerinin optimizasyonu ve uygun akının seçimi gerçekleştirilmiştir ve bu parametrelere göre inceleme yapılmıştır (Chandrasekar, Kailasanathan, Verma ve Nandagopal, 2017).

Bu araştırma aktif tungsten gaz (A-TIG) kaynağı ile 5 mm kalınlığında AISI 316L östenitik paslanmaz çelik plakaların birleştirilmesini açıklamaktadır. Ayrıca bu çalışmada mikroskopik çalışma, kaynak bölgesinde delta ferrit, sigma fazı ve çeşitli östenit formlarının varlığı açıklanmıştır.

Valsan ve arkadaşları AISI 316L ve AISI 316 plakalarını farklı sıcaklıklarda 773K ve 873K olarak gerçekleştirmiştir. Toplam yorulma testleri sabit bir gerilimde gerçekleştirildi ve deneyler sonucunda ana metalden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür (Valsan, Sundararaman, Rao ve Mannan, 1995).

Bu araştırma aktif tungsten gaz (A-TIG) kaynağı ile 5 mm kalınlığında AISI 316L östenitik paslanmaz çelik plakaların birleştirilmesini ifade ediyor. Bu çalışmada mikroskopik çalışma, kaynak bölgesinde delta ferrit, sigma fazı ve çeşitli östenit formlarının birçok örneği yer almaktadır.

Kulkarni ve arkadaşları yapmış olduğu bu çalışmada, aktif TIG (A-TIG) kaynağı tarafından geliştirilen AISI 316L ile SS-Alaşım 800 arasındaki farklı metal kaynak bağlantılarının mikroyapısını ve bu bağlantıların mekanik özellikleri hakkında inceleme yaparak

tartışmaktadır. Füzyon alanı mikroyapısının evrimi ve katılaşma sıcaklık aralığı denge hesaplaması ve Scheil-Gulliver denklemiyle incelenmiştir. Elektron probu mikro analizi, füzyon alanının dendritik kollarında Ti ve Si'nin mikro ayrışmasını sağlamıştır. İkincil fazların varlığı (Ti (C, N) ve FeSi<sub>2</sub>) füzyon bölgesinde X-ışını kırınım tekniği ve elektrokimyasal olarak ekstrakte edilmiş çökeltilerin transmisyon elektron mikroskobu ile doğrulanmıştır. A-TIG kaynak bağlantısı, iyi bir çekme mukavemeti ve darbe tokluğu kombinasyonu göstermiştir. Dijital görüntü korelasyonu ile gerilme testi, füzyon bölgesinin daha düşük sertleştirme kapasitesi sebebi ile, alایشım 800 yan ısıdan etkilenen bölgeden füzyon bölgesine bir gerinim lokalizasyonunun iletimini ortaya çıkarmıştır (Kulkarni, Dwivedi ve Vasudeman, 2020).

Rajesh ve arkadaşları yaptıkları bu çalışmada kusursuz mekanik özelliklere sahip östenitik paslanmaz çeliklerin aşınmaya karşı olağanüstü dirençli olduğunu, ısı işleme sertleştirilemez olduklarını, çok sağlam ve kolayca şekillendirilip imal edilebildiklerine ulaşımlardır. AISI 304 ve AISI 316 kaliteleri, en yaygın kullanılan östenitik paslanmaz çelik kalitelerinden iki örnektir. Bu araştırma, AISI 304 ve AISI 316'nın eş ve benzer olmayan kombinasyonları üzerinde elde edilen plazma ark uçlarının kaynaklı eklemlerinin mikro yapılarını karakterize etmek için gerçekleştirilmiştir. Kaynaklar, Görüntü Analizörü ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) tekniklerinin bir kombinasyonu ile karakterize edilmiştir (Rajesh, Prasad, Shaik ve Buddi, 2020).

Kumar ve arkadaşları bu çalışmada petrol ve gaz endüstrisi uygulamaları için kullanılan AISI 316L üzerine Inconel 625 sert kaplamaların özelliklerini incelemektir. Seyreltme yüzdesini ve temas açısını minimize etmek için bu çalışmada robotik gaz metal ark kaynağı (GMAW) yöntemi kullanılarak dokuma tekniği benimsenmiştir. 120 Amps kaynak akımı, 250 mm / dk kaynak hızı ile sinüs dalgası dokuma tekniği ile çoklu örtüşen boncuklar üretilmiştir. Sert kaplamalar daha sonrasında mikroyapısal varyasyonu ve mekanik bütünlüğü ortaya çıkarmak için incelenmiştir. İlaveten, aşınma özelliklerini incelemek için pistonlu korozyon testi ve üç gövdeli aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Mikroyapısal sonuçlar, dendritik bir yapıya sahip interdendritik bölgelerde dağılmış Mo ve Nb açısından zengin çökeltilerin varlığını göstermiştir (Kumar ve Shanmugam, 2020).

Casalino ve arkadaşları yapılan bu çalışmada, 6 mm kalınlığındaki östenitik paslanmaz çelik (AISI 304) ve martensitik paslanmaz çelik (AISI 410) üzerinde hibrit lazer TIG alın kaynağını simüle etmek için sonlu eleman tekniği (FEM) kullanılmıştır. Bu çelikler,

havacılık, tıbbi cihaz, otomotiv ve petrokimya endüstrileri gibi birçok sektörden, mükemmel mekanik özelliklerinden ötürü büyük ilgi görmüştür. Sayısal simülasyon için, elektrik arkını simüle etmek amacı ile çift elipsoidal bir ısı kaynağı modeli geliştirilmiştir, lazer ışını simüle etmek için silindirik bir ısı kaynağı modeli kullanılmıştır. Sonuçlar, modelin sıcaklık bölgesini, füzyonun (FZ) boyutunu ve şeklini ve ısıdan etkilenen bölgeleri (HAZ) tahmin edebileceğini göstermektedir. Modelin doğruluğu, erimiş havuzun ebatı ve şekli ile sayısal ve deneysel analiz için ısıdan etkilenen bölgelerin karşılaştırılmasıyla doğrulanmıştır (Casalino, Michele ve Perulli, 2020).

Mohammed ve arkadaşları Kalınlığı 2 mm'den fazla olan 316L paslanmaz çeliğin dirençli punta kaynağı ile ilgili çalışmaların eksikliği kanıtlanmıştır. Bu makale, 3 mm kalınlığındaki direnç nokta kaynaklı 316L paslanmaz çeliğin mekanik ve mikroyapı özelliklerini incelemeyi amaçlamaktadır (Mohammed HG, Ginta, TL ve Mustapha, M., 2020)

Nabendu ve arkadaşları Kaynak parametrelerinin etkilerini incelemek ve analiz etmek için: AISI409 ferritik paslanmaz çeliğin AISI 316L Östenitik Paslanmaz Çelik malzemelere MIG kaynağında kaynak akımı, gaz akış hızı ve nozülünden plakaya mesafe, nihai gerilme mukavemeti ve Akma Dayanımı üzerinde deneyler, Taguchi yönteminin L9 ortogonal dizisine göre yapılmıştır. Gözlenen nihai gerilme ve akma dayanımı verileri yorumlanmış, tartışılmış ve Taguchi istenirlik analizleri kullanılarak analiz edilmiştir (Ghosh, N., Pal, P. K., ve Nandi, G. 2017).

Kuddus ve arkadaşları bu araştırmada, düşük nikelli Cr-Mn ASS ve AISI 304 ASS benzer olmayan kaynakların (TungsBten İnert Gaz) TIG kaynağı ile metalurjik, mekanik ve elektrokimyasal özellikleri incelenmiştir. Kaynak dolgu elektrotu 316L taşındı. Mikroyapısal araştırma, 316L elektrotta  $\delta$  ferrit oluşumu ve  $\gamma$  ostenit olduğunu gösterdi. Çekme mukavemeti ve sertlik gibi mekanik özellikler belirlendi. Çekme testi, kaynak bölgesi ve 304 baz metale kıyasla 610 MPa farklı eklem mukavemetini ve düşük nikel Cr-Mn ASS'nin yüksek sertlik değerini ortaya koymaktadır. Kaynağın fraktografisi, 316L elektrodun farklı kaynaklarında sünek kırılmayı ve ince tanecik özelliklerini açıkça gösterir. Ana metalin ve kaynak bölgesinin korozyon davranışı, 0,5 MH 2 SO altında potansiyodinamik polarizasyon testi kullanılarak gerçekleştirildi.4 çözüm. Düşük nikel Cr-Mn ASS'nin ana metalinde 304 ASS ve kaynak bölgesine göre daha yüksek korozyon akımı yoğunluğu gözlemlendi (Kuddus, A. I., Ambade, S. P., Bansod, A. V., ve Patil, A. P. 2018).

Demarque ve arkadaşları bu çalışmada, ısı girdisi varyasyonunun kaynak boncuk geometrisi üzerindeki etkisi, HAZ'daki östenitik tane boyutu, HAZ'daki mikro sertlik (ısı etki bölgesi) ve gaz metal ark kaynağı kullanılarak  $\delta$  ferrit hacimsel fraksiyonu (GMAW) ve numunelerin mikro yapıları optik mikroskop ile karakterize edildi, farklı bölgelerinde, farklı kaynak koşulları için bu bölgelerin karşılaştırmalı bir çalışmasını gerçekleştiriyor. Isıl katkılardaki varyasyonlardan, belirli bir işlem için ideal ısı girdisinin seçiminin, kaynak sırasında meydana gelen fenomenler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir (Demarque, R., Dos Santos, EP, Silva, RS ve De Castro, JA 2018).

AISI 316L paslanmaz çelik saclar, tepki yüzeyi yöntemi kullanılarak geliştirilen deney tasarımına (DoE) göre alın eklem konfigürasyonunda sürtünme ile karıştırılarak kaynaklanmıştır; Box Benkhen tasarımı. Birincil sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) işlem parametreleri; takım mili hızı, takım enine hızı, aşağı doğru kuvvet ve takım eğim açısı deneyin faktörleri olarak kabul edildi. Takım iş mili hızının, takım çapraz hızının, aşağı doğru kuvvetin ve takım eğim açısının bir fonksiyonu olarak eklemlerin tepki, nihai gerilme mukavemeti (UTS) için bir tepki yüzeyi (ikinci derece) regresyon modeli geliştirilmiştir (Kumar, S. S., Murugan, N., ve Ramachandran, K. K. 2019).

Bu çalışmada ark kaynağı araştırılmış olan östenitik paslanmaz çelik (AISI 316L); kimyasal özellikleri, fiziksel dayanımları, iyi yüzey kaliteleri ve kolay kaynak edilebilirlikleri gibi avantajları sayesinde gıda, kimya ve petro-kimya endüstrisinde çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Paslanmaz çeliklerin bir türü olan östenitik paslanmaz çeliklerden AISI 316L levhaların ark kaynağı ile TIG-MIG birleştirilmesi sonucunda içyapı, mekanik ve kaynak özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

### 3. GENEL BİLGİLER

#### 3.1. Çelik

Çelik; demir ve karbon alaşımından oluşmaktadır. Karbon elementi dışında farklı oranlarda alaşım elementleri çelik içerisinde bulunur. Genellikle karbon oranı %2'den az olup içerisinde diğer elementleri de içeren malzemeler çelik olarak adlandırılır. Çelik içerisinde bulunan karbon dışındaki her element, çeliğe farklı özellik kazandırır. Her elementin çeliğin özelliğine göre üretimi sırasında belirli bir karışım formülü ile üretilmektedir. Çeliğe farklı özelliklerin kazandırılması element ihtivasına ek olarak ısıtım işlem (tavlama, sertleştirme, ıslah) ile de sağlanabilmektedir. Çelik; demir cevherinden ya da hurdalardan geri dönüşüm vasıtası ile iki biçimde üretilir. Sıvı çelik üretimi sonrasında döküm ile ingot olarak veya sürekli döküm tekniği ile kütük olarak yada blum biçiminde şekillendirilir (Groover, 2014).

##### 3.1.1. Çeliklerin temel özellikleri

Çeliklere genelde ısıtım işlem uygulanabilmektedir. Kimyasal elementlerle alaşımlandırmaya ilave olarak ısıtım işlem uygulanarak istenen mekanik özellik, sertlik, tokluk, korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanım kazandırılabilir. - Çelikler, yapısında bulunan kimyasal elementleri ve mukavemetine uygun şekilde ısıtım işleme tabi tutulursa süneklik kazanır (dövme, pres, hadde), ayrıca soğuk olarak da şekillendirilebilir (hadde, pres, bükme). Sünekliği sayesinde talaş kaldırma özellikleri yüksektir, istenilen yüzey kalitesi elde edilebilir. - İçerdiği elementlere bağlı olarak kaynaklanabilirlik özelliğine sahiptir. Çelikler, yüksek ısılara dayanıklılığı ve istenilen yüzey kalitesine getirilebilme özelliği nedeniyle boyama (epoksi gibi) ve plastik (polietilen gibi) ile kaplanmaya uygundur (Groover, 2014).

Çeliklere alaşım elementlerinin etkisi karbonlu çeliklere bazı istenen özellikler kazandırmak için, malzeme içerisine belirli oranda alaşım elementi katarak üretilen çeliklere alaşımlı çelikler denir. Alaşım elementleri, çeliğin metalürjik yapısında etkin rol oynamaktadır. Alaşım elementleri arasındaki etkileşimlerde malzeme içerisinde avantaj ve dezavantajları olabilir. Bu sebeple malzeme üreticileri, üretiminde alaşım elementlerinin oranını analizini çok iyi yaparak, hem istenen kimyasal ve mukavemeti sağlamak hem de kaynaklanabilirliğine etkisi göz önünde bulundurarak gerçekleştirirler. Alaşımlı çelikler, alaşım elementleri toplamı %5' den daha az ise düşük alaşımlı çelik, alaşım elemanlarının

toplamı %5' den fazla ise yüksek alaşımlı çelik olarak adlandırılır. Düşük alaşımlı çeliklerin en önemli özelliği, sertleşme yeteneklerinin çok daha yüksek olmasıdır. Çekme ve akma mukavemeti, sertlik, elastiklik modülü gibi özellikleri ile sıcaklığa karşı dayanımı yükselirken, genellikle tokluk ve kopma uzaması gibi değerlerde düşebilmektedir. Düşük alaşımlı çeliklerde istenilen malzeme özelliklerinin yetemeyecek gibi olması durumunda, yüksek alaşımlı çelikler kullanılabilir. Bu gibi çelikler, normal sıcaklıklarda mekanik mukavemet değerinin artırılabilmesinin yanında, özellikle korozyona, yüksek sıcaklıktaki sertliğe dayanımı gibi özelliklerin elde edilmesini amaçlamaktadır (Yaşar, 2017). Çeliklerin başlıca alaşım elementleri ile belirli oranlarda kombine edilmiştir. Bu oranlar çeliğin türünü belirlemektedir. Çeliğin içerisinde yer alan elementlerden bahsederseniz;

### 3.2. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin ortaya çıkışı demir ile başlar ve demir alaşımlarının gelişmesine dayanır. Curie'nin demir imal yöntemlerini iletmesini ve haddelenmiş olan parçaları elde etmek amacı ile merdane sistemlerini ortaya çıkarmasıyla çeliğin kütle şeklinde üretimine başlanmıştır. Daha önce olumlu sonuçlar veren araştırma yapılmasına karşın 19.yy zamanlarında krom içerikli çeliklerin paslanmaz nitelikte olduğu gözlemlenmiştir. Metalürjik özellikleri araştırmak amacı ile 1920'li yıllarda x ışınları difraksiyon yöntemlerinin kullanılmaya başlanmasıyla çeliklerde krom ve karbon oranının mekanik hususiyetlere olan tüm etkileri incelenmiştir (Kükürtçü, 2014).

Hadfield 1982 yılında %17 krom ve %1 karbon içerikli çelikleri imal etmiştir. Ancak Hadfield bu çelikleri sülfürik asit ile incelediğinden dolayı hatalar yapmıştır. Çünkü ferritik paslanmaz çeliklerin sülfürik asite gösterdikleri dirençler yeterince güzel değil. Böylece Hadfield kromun aşınma direncini azalttığı düşüncesine vardı. 1900-1915 yılları arasında metalürjik keşifler açısından oldukça hareketli geçmiştir. Bu yıllarda endüstride belirlenen prensipler uygulamaya konuldu (Kükürtçü, 2014).

1911 yılında C. Dantsizen, General Elektrik lambalarında flaman görevinde kullanılması için %14-16 krom içerikli demir-krom alaşımı, aynı yıllar içinde İngiltere'de Harry Brearley demir-krom alaşımlarının fazla korozyon dayanımından fayda sağlayarak çatal,bıçak vb. yapmak için %18 krom içeren alaşımı ortaya çıkarmıştır. Aynı araştırmacı tarafından alaşımların metalografik dağlama ayıraçlarına dirençleri olduğundan bu malzemelere paslanmaz çelik adı verilmiştir (Kükürtçü, 2014).

### 3.2.1. Paslanmaz çeliklerin özellikleri

Doğada bakır, platin ve gümüş gibi saf halde bulunan metaller olduğu gibi diğer elementlerle bileşik halinde olan ve bu nedenle paslanmaya meyilli metaller de bulunmaktadır. Metallerin oksijenle olan temasları sonrası ortaya çıkan paslanma doğal bir durumdur (Sasikumar, Sunderesan, Medona ve Ramakrishnan, 2021). Doğada bulunan demir cevheri dengesizdir ve paslanma eğilimi gösterirler. Korunmasız halde bulunan demir cevherin suyun içinde bulunan oksijenle birleşmesi durumunda paslanma oluşur. Herhangi bir koruyucu kaplama olmayan karbon çeliklerinde atmosfer ile temas sonucunda dış yüzeyde pas denilen yapı oluşarak çeliğin iç kısmını korur (Song, Takahashi, Ihara, 2020). Dış yüzeydeki pasın uzaklaştırılması halinde yüzeyde pas oluşur. Paslanma süresini uzatmak veya süreci durdurmak amacıyla çeşitli kaplamalar yapılmaktadır (Emet, 2019). Paslanmaz çeliklerin özelliklerinden dolayı tercih nedeni olarak ilk başta; korozyona gösterdiği dirençleri, farklı sıcaklık değerlerine karşı dirençleri, mekanik dirençleri, üretiminin kolay olması, hijyenik durumu ve uzun ömrü olarak söylenebilir. Üstün özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

*Korozyona karşı dayanımı:* Paslanmaz çeliklerde aşındırıcı durumlarda direnci çok yüksektir. Düşük alaşımlı olan paslanmaz çelikler bilhassa atmosferik aşınımına, yüksek alaşımlı paslanmaz çeliklerde daha fazla korozyon direnimine sahiptirler (Wang ve Han, 2019).

*Farklı sıcaklık değerleri:* Paslanmaz çeliğin çeşitlerinin bir kısmı çok az sıcaklıklarda dahil gevrekleşme ile tokluklarını korumayı başarırken, bir kısmı ise çok yüksek sıcaklıklarda bile maddenin mekanik dayanımında ciddi düşüş gözlenmez (Apay, ve Çetin, 2018).

*Üretim kolaylığı:* Kaynak ile birleştirme, soğuk ve sıcak şekil verme, kesme ve talaşlı imal işlemleri kullanılması ile kolay bir şekilde biçimlendirilebilirler.

*Mekanik dayanım:* Paslanmaz çeliğin pekleşme işlemi soğuk biçimlendirme tekniği kullanılmaktadır. Dayanım gücünün artması sayesinde maddenin kalınlıkları da azalması ile fiyat ve birim ağırlıkta sağlanan azalmalar ile ekonomik maliyeti düşürülür.

*Hijyenik özellik:* Kolayca temizlenebilme özelliğine sahip olan paslanmaz çelikler; ilaç sektöründe, gıda sektöründe, hastane ve mutfakta kullanılan malzemelerde kullanımı oldukça yaygındır (Apay ve Çetin, 2018).

### 3.3. Elektrik Ark Kaynağı (SMAW)

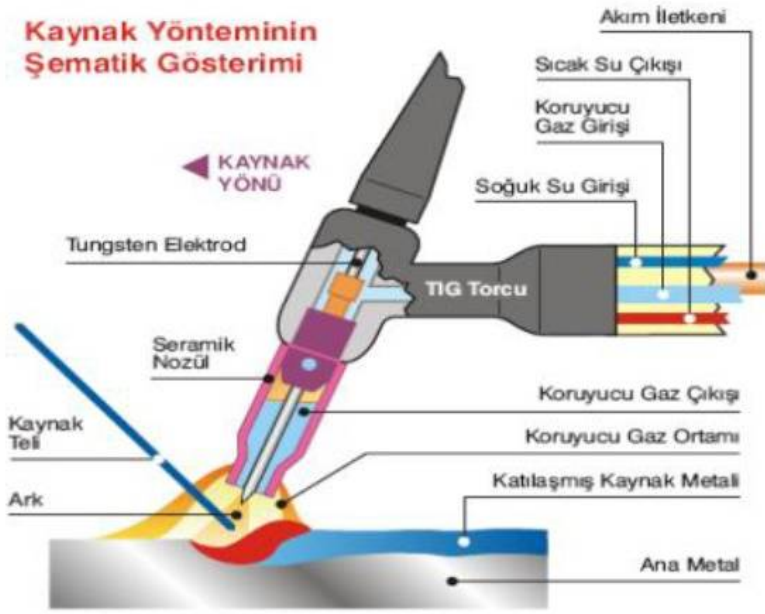
Elektrik Ark Kaynağı, kaynak işleminde ısı enerjisinin elektrot ve malzemenin arasında meydana gelen elektrik arkı ile sağlanmış bir ark kaynağıdır. Elektrik ark kaynağı ve örtülü elektrot arasında; kaynak arkı, ergiyen elektrot ve malzemenin arasında yanar ve ergiyen elektrot ile iş parçası kaynak metalini meydana getirir. Kaynak sırasında, elektrot örtüsü yanarak ergir, kısmen iyonize ve buharlaşma ile açığa çıkan gaz kaynak ark alanını korur. Kaynak metalinin soğuması sonucu ortaya çıkan cüruf kaynak dikişinin üzerini örterek kaynak metalini korur (Çavuşoğlu, 1997).

### 3.4. TIG Kaynak Yöntemi

TIG kaynağı; Tungsten Inert Gas (TIG) sözcüklerinin ilk harflerinden oluşan, elektrik ark kaynağı yöntemlerinden birisidir. Bu kaynak yönteminde tungsten elektrottan alınan ark ile ilave dolgu teli manuel olarak kaynaklanan bölgeye kaynakçı personel tarafından dolgu ilavesi sağlanarak kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca kaynak yapılan bölgeye hava koşullarının olumsuz etkilerinden korumak için genellikle argon ve farklı karışım gazlar kullanılır. ABD’de çok fazla miktarda helyum gazı üretildiğinden bu yöntem ilk zamanlarda ‘Heliark’ olarak adlandırılmıştır. Avrupada uygulanan çalışmalarda koruyucu gaz olarak sıklıkla argon kullanıldığı için bu yönteme daha çok “Argon ark” yöntemi olarak adlandırılmıştır (Kükürtçü, 2014).

Yöntem genel olarak TIG (GTAW/WIG) ismiyle bilinir. TIG kaynağı, elektrik ark kaynağı tekniğinin daha üst düzey bir kademesidir. Bu yöntemin tam isminde tungsten sözcüğü; ark bölgesine elektrik akımının iletilmesini sağlayan erimeyen elektrotu, inert sözcüğü; farklı elementlerin kimyasal olarak birleşmeyen gazı ve gas sözcüğü ise arkı örtüleyen, kaynak alanını saran rüzgarı ve havadaki diğer gazları uzak tutan malzemeyi ifade eder. TIG yöntemi ile genel olarak diğer kaynak yöntemleri ile oluşturulmuş kaynaklara nazaran üst düzey özellikte dikişler elde edilir. Şekil 2.1’ de şematik yöntemi gösterilmiştir (Bos, 2007).





Şekil 3. 1. TIG kaynak yöntemi şematik gösterimi (Tehçi, 2011)

TIG kaynak yönteminin kaynak ustası tarafından uygulanması çok basit olup, yöntem olarak gaz eritme kaynağına benzer ve oldukça yaygın bir uygulama sahasına sahiptir. Bu kullanılan teknikte erimeyen elektrot kullanıldığı için bazı zamanlarda ek olarak kaynak metaline ihtiyaç duymadan birleştirme işlemi yapılabilmektedir. Gerek duyulduğunda gaz kaynağında olduğu ek bir dolgu malzemesi kullanılmaktadır. Sanayide bu yöntem daha çok kök pasoların çekilmesinde ve onarım işlerinde kaynak ustasına oldukça kolaylık sağladığı için kullanım sahası da zamanla daha da yaygınlaşmaktadır (Yılmaz, 2020).

Bu yöntemde erimeyen elektrot kullanıldığında kaynak ağzı hazırlanmış ince parçalar, ek bir kaynak dolgu malzemesine ihtiyaç duyulmadan birleştirilebilirler. Kaynak bağlantısı için ek metale ihtiyaç duyulduğunda aynıoksi-asetilen tekniğinde olduğu gibi, tel çubuk şeklindeki dolgu metali kaynak ustası tarafından kaynaklanacak bölgeye iliştilmektedir (Odabaş, 2004).

### 3.4.1. TIG kaynak elektrot ve telleri

TIG kaynağı ile farklı kaynak teknikleri arasındaki en büyük farklılık, ek olarak elektrotun kullanılması ve elektrotun yalnızca ark oluşturma işlemi oluşturmamasıdır. Bu yüzden erime sıcaklığı 3350 °C 'ye sahip tungsten elektrot ile yapılmaktadır. Bu elektrotlar yüksek erime sıcaklığına sahiptir, ayrıca oldukça değerli bir elektronları yayıcı olup yayılmış elektronlar ark sütunu alanında elektrik akımı meydana getirmekte ve ark sütununda atomları

iyonizen ederek arkın kararlı oluşuna sebep olmaktadır. TIG kaynak elektronları AWS (Amerikan Kaynak Derneği) DIN (Alman Standartları Enstitüsü) göre sınıflara ayrılmış ve birbirlerinden rahatça birbirinde ayırt edilmesi amacı ile bir kısmı farklı renklere boyanarak belirlenmesinde bu renk kodlarının kullanılması sağlanmıştır (Eşme, 2006). Bu renk kodları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Tungsten elektrot renk kodları (Kükürtçü, 2014).

Elektrot Tipi	İşareti	Oksit İçeriği (%)	Katışkılar (%)	Renk Kodu	Bazı özellikleri
Katkısız	W	-	<0.20	Yeşil	Alternatif akımda ark kararlılığı daha iyi, elektrot ucu düzgün yarı küre şeklinde olması
Zirkonyum oksit	WZ 4	0.30-0.50 ZrO <sub>2</sub>	<0.20	Kahverengi	Kaynak banyosu elektrot tarafından daha az kirletilir
Zirkonyum oksit	WZ 8	0.70-0.90 ZrO <sub>2</sub>	<0.20	Beyaz	
Lantan oksit	WL 10	0.90-1.20 LaO <sub>2</sub>	<0.20	Siyah	Toryum oksitli elektrotlara oranla daha uzun dayanma süreleri
Toryum oksit	WT 10	0.90-1.20 ThO <sub>2</sub>	<0.20	Sarı	Toryum oksit oranı yükseldikçe elektron çıkışında açığa çıkan enerji azalmaktadır. Bu nedenle tutuşma özellikleri, dayanma süresi ve akım yüklenebilme kapasitesi artmaktadır.
Toryum oksit	WT 20	1.8-2.20 ThO <sub>2</sub>	<0.20	Kırmızı	
Toryum oksit	WT 30	2.80-3.20 ThO <sub>2</sub>	<0.20	Leylak	
Toryum oksit	WT 40	3.80-4.20 ThO <sub>2</sub>	<0.20	Portakal	

Kaynak yönteminde Toryum oksit içerikli genellikle paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan kırmızı renk kodlu elektrot kullanılmıştır. Doğru açı ve yönde ucunun bilenmesi çok önemlidir.

### 3.4.2. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar

Koruyucu gaz kullanılmasının asıl hedefi kaynağın çevresindeki atmosferin ergimiş kaynak banyosunun olumsuz etkilerini engellemektir. Asli görevinin haricinde koruyucu gaz kaynak işlemine ve sonucunda ortaya çıkan kaynak dikişine aşağıda belirtilen hususlar ile önemli etkileri vardır (Yıldırım, 2010).

- Arkın karakteristik özelliği
- Metal transfer biçimi
- Nüfuziyeti ve kaynak dikişi şekli
- Kaynaklanma hızı
- Yanma oluşunun meydana gelme eğilimi
- Temizleme gücü
- Kaynak metalinin gösterdiği mekanik özellikler olarak sıralanabilir

Saf argon gazı genelde nikel, bakır, alüminyum, magnezyum ve alaşımları vb. demirden olmayan metaller ve titanyum gibi aktif olmayan metallerin kaynak işleminde kullanılmaktadır. Bu metallerin birbirine kaynak edildiğinde, argon gazı kaynağa ark stabilitesi, penetrasyon ve damla profilini çok iyi şekilde verir. İyonizasyon enerjisinin düşük olduğunda kolay ark sağlanır.

Argon yüksek ark enerjisini küçük bir alan üzerinde parmak biçiminde bir penetrasyonu sağlayan ve yüksek akım yoğunluğuna sahip olan sıkışmış bir ark kolonu oluşturur. Sprey transferi düşük ısı iletkenliği sayesinde oluşur. Aynı zamanda malzeme distorsiyonlarının ve süreksizlerinin de kontrolünde kullanılmaktadır (Kaluç, Taban, 2019).

Karbondioksit reaktif olan bir gazdır ve genelde sadece karbonlu çelikleri birleştirme işlemi sırasında kullanılmaktadır. Elde edilmesi kolaydır ve başka gazlara göre daha ucuzdur. Genelde yapı çelik kaynağında kullanılır. Nüfuziyet bakımından oldukça verimlidir ve yüksek kaynak hızına ulaşabilir.

Kaynak metali birikimi düşüktür çünkü spre transferine karbondioksit engel olur. Çapak miktarı ve duman oranı argon gazı ile yapılan kaynaktan oldukça fazladır. Yani karbondioksit yüksek enerjisi ile yüksek ısıda büyük ergime hızı ve nüfuziyet sağlamaktadır.

Helyum asal gaz atmosferinin korumasında oldukça yüksek ısı iletkenliği sebebi ile ana malzemeye yüksek sıcaklık sağlar. Helyum gazının iyonizasyon enerjisi argonla karşılaştırıldığında çok büyüktür. Sonucunda helyumun yüksek ark sıcaklığına sahip olduğu varsayılmaktadır, ancak deneysel çalışmalarda helyumun kaynak arkında okta yüksek bir ısı yoktur, ısı oluşsa bile koruyucu gaz olarak kullanılması durumlarında çok fazla bir erime etkisi ortaya çıkarmamıştır (Gözütok, 2009).

Argona kıyasla Helyum havadan hafif bir gazdır. Yüksek ısı iletkenliği ve iyonizasyon enerjisi ile asıl malzeme yüzeyine daha fazla ısı transferinin aktarılmasına yardımcı olur, bu sayede arkın nüfuz etme durumunu da artırır. Pek çok işlemde yüksek kaynak hızlarının ulaşımına mümkün kılar.

Karbondioksit, argon koruyucu gaz karışımının ark stabilitesini artırmak, penetrasyonu artırmak, kaynak banyosunu akışkan olmasını artırmak amacı ile eklenir. Bilhassa karbon içerikli ve düşük alaşım içeren çelikler ile belli olan miktarlarda paslanmaz çelikler için kullanılmaktadır. Argon gazına karbondioksit eklenmesi, oksijenin eklenmesi ile aynı sonuçları verir, ancak karbondioksitin miktarı artırıldığında oluşabilecek penetrasyon şeklinde artış meydana gelecektir.

Karbondioksit yüksek ısı iletkenliği sayesinde asıl malzemeye argon gazının taşıdığı ısı miktarından fazlasını transfer eder. Karbondioksit argonun sağladığı penetrasyona nazaran daha yaygın bir penetrasyon bölgesi sağlar fakat ana malzemedede distorsiyon ve süreksizlik oluşturma olasılığını artırabilir (Kahraman, 2012).

### 3.4.3. TIG Kaynak kullanım alanları

Argon kaynağı genel olarak paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımlarının kaynak edilmesinde kullanılmaktadır. Kaynak gazının seçilmesinde, yalnızca argon veya helyum gazı kullanılabilirdiği gibi karışım gazın da kullanılması olasıdır. Argon gazına bir miktar azot karıştırılır ise bu hem nüfuziyet oranını arttırırken hem de kök korumasını sağlar (Gültekin, 1991).

Kök koruması, bilhassa paslanmaz çeliğin boru üretimi yapılıyor ise, kaynaklama işlemi esnasında borunun içine gazın verilmesi ile sağlanır. Şayet argon kaynağı işlemi sırasında kök gazı koruması uygulanmaz ise kaynağın düzenli biçimde olması oldukça zordur. Kaynaklar hem dayanıklı olamaz hem de korozyona karşı gösterdikleri direnç düşük olur. Argon kaynağı (TIG) diğer alışagelmış kaynak türlerine nazaran daha yavaş bir olan sistemdir. Hızlı olmamasına karşın yüksek sıcaklık değerine ulaşmamaktadır. Diğer kaynak yöntemlerine daha düşük sıcaklık değerlerine ulaşarak kaynak işlemi yapılması, hassas işçilikler çıkarılması, ince sacların kaynak edilmesinde argon kaynağını göz önüne çıkarmaktadır (Yılmaz, 2006).

Alternatif Akım doğru bir kutuplama ve ters kutuplamanın bir arada kullanıldığı bir çeşittir. Genellikle kullanılmakta olan ve şebeke gerilimi olarak isimlendirilen elektrik enerjisi alternatif akımdır ve bir saniye içinde elli defa doğru, elli defa da ters kutuplama olarak adlandırılan şekli alır. Argon kaynağı tekniğinde alternatif akımının bu kutuplama yöntemi, alüminyum kaynağını hatasız olarak yapmamıza olanak sağlar.

Alüminyum kaynağında bu durum ister alternatif akım ister doğru akım ama darbeleri (pulse) akım kullanılabilir. Bu durumun sebebi alüminyum kaynağı hakkında konuştuğumuz gibi alüminyumun yüzeyinde olan alümina tabakasıdır. Bu yüzey seramik malzeme kategorisinde olur ve erime sıcaklığı oldukça fazladır. Fakat, alüminyum 660°C de erimektedir. Bu durum ise kaynak dikişinin meydana gelmesinde zorlanılmasına sebebiyet verir. Bu sebeple alternatif akım veya darbeleri akım kullanılır. Darbeleri akım alüminyum üzerindeki tabakayı kırarak kaynaklanacak alüminyuma ulaşılmasına yardımcı olur.

TIG kaynak yönteminde kullanılmakta olan alternatif akımda kutuplama akımının özelliğinden ötürü değişkenlik gösterdiği için, elektrodun işin parçasına göre pozitif olduğu

yarı durumlarda yüzeyi örten oksit eritilir, negatif olduğu yarı durumlarda ise kaynak işleminin gerçekleştirilmesi sağlanır (Kurt, 2006).

#### **3.4.4. TIG kaynak yönteminin avantaj ve dezavantajları**

##### TIG kaynak avantajları

- Yüksek kaynak hızı olanağı
- Verilen ısının belli bir bölgede etki göstermesi
- Isı distorsiyon azlığı
- Mekanik özelliklerinin oldukça iyi korunabilmesi
- Düzenli kaynak dikişinin elde edilmesi
- Temizliğe gereksinim duymama
- Kolayca mekanize edilmesi

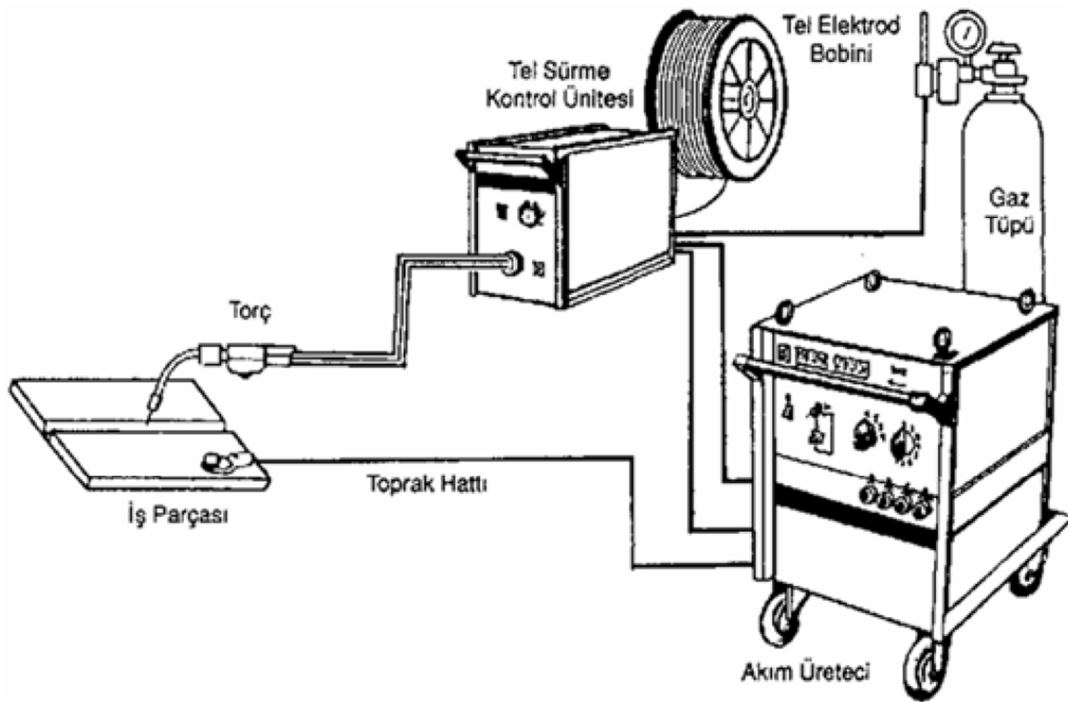
##### TIG kaynağının dezavantajları

- Tungsten elektrotun kaynak dikişine karışması
- Oksit kalıntılarının bırakılması
- Gözeneklerin oluşumu
- Yetersiz ergime

(Anık, Tülbentçi, 1982)

### 3.5. MIG Kaynak Yöntemi

Gazaltı kaynağında kaynak için gerekli olan ısının ihtiyacı, eriyen ve devamlı olarak beslenen bir tel elektrot ile, iş parçasının arasında ortaya çıkan ark yolu ile ve elektrottan iletilen kaynak akımının elektrotta meydana getirdiği dirençle ısıtması yöntemi ile üretilir. Kaynaklanacak bölge, havanın oluşturabileceği olumsuz durumlardan bir gaz ortamı sayesinde korunduğu için, bu işleme gaz altı ark kaynak yöntemi denir. Gaz korumasına göre yöntemin adlandırılması değişkenlik gösterir. Eğer soy gaz atmosferinin altında bir kaynak işlemi yapılıyor ise MAG olarak isimlendirilir. MIG Kaynağında ark, aynı anda ilave bir tel işlevi gören eriyen bir elektrot ile iş parçasının aralığında yanar. Koruyucu gaz veya argon, helyum gibi bir inert gaz veya bu gazların karışımı (MIG) ya da aktif bir gazdır (MAG). Koruyucu gaz, örnekler ise  $CO_2$  -kaynağında (MAGC-yöntemi), karbondioksitten veya Karışım Gaz Kaynağında (MAGM-teknigi) inert gaz ile aktif gazların karışmasından oluşan bir karışım gazdır [38]. Bkz. Şekil 2.2. MIG kaynak prensip şeması (Develi, 2003).



Şekil 3. 2. MIG kaynak yöntemi şematik gösterimi (Ural, Kaluç, 1996).

### 3.5.1. MIG kaynak telleri

Masif tel elektrotların imal edilmesi gazaltı metal ark MIG kaynağında kullanılmakta olan tel elektrotlar, kaide olarak kaynaklanan metal ile aynısı ya da benzeri kimyasal yapıda olup, soğuk çekme işlemi ile elde edilir. Bu işlemler için başlangıçta çıktısı, 5,5 ila 6,0 mm çaplarında sıcak haddelenmiş olan tellerdir. Çekme işleminin başlamasından önce, sıcak haddelemeden arda kalan yüzey oksitlerinin temizlenmesi amacı ile bir dağlama işlemi ya da mekaniksel temizleme işleri yapılır. İmalat işlemi esnasında bakırdan bir kaplama yapılması gerekmektedir. Bu aşamada büyük bir kesit azaltılmasını sağlamak imkansız olduğundan dolayı çekme işlemi için birden fazla işlem gerçekleştirilir. Bu esnada telin iç formunda deformasyon maruziyeti oluşmakta ve dayanıklılık artmaktadır; bu sebeple tele ara tavlama uygulanır. Bu ara tavlama, 600°C-650°C aralığında bir kristalleşme tavidan meydana gelir. İşlem esnasında tellerin yüzeyinde tekrardan oksit oluşmasını engellemek için tavlama işlemi fırında vakum bölgesinde yada koruyucu bir gaz altında yapılır. Bu şekilde yumuşayan teller son ölçülerine getirilmek için bir "bitirme çekmesi" işlemine tabi tutulurlar. Son çekme işleminden önce tellerin bakır ile kaplanması sağlanır. Burada işlem, elektrolitik teknikle veya galvanik bakır kaplama yöntemi ile yapılır. Her iki durumda da tel, bakır içeren bir banyoya, örneğin bir bakır vitriol veya sülfürik asit çözeltisine batırılır. Bu banyo içerisinde asit, yüzeydeki demir atomlarını çözer ve onun konumuna çözüldükten bakır iyonları geçer (Aydın, 2002).

### 3.5.2. MIG kaynağında kullanılan gazlar

MIG kaynağı sayesinde meydana gelen bileşenlerin özellikleri, oksit yada nitrür oluşmasından eksi yönde yöne doğru etkilendiği için, kaynak banyosunun havayla temaslı olmasına gerek duyulmaz. Alüminyum yada krom vb. metaller kaynak yapılacağı sırada ortaya çıkan bir diğer güçlük, yüksek bir erime sıcaklığına sahip oksitlerin oluşmasıdır. Demir dışında ki metallerin ve yüksek alaşımlı çeliklerin MIG kaynağı yöntemi için genellikle argon arada ise helyum gazı kullanılır. Koruyucu gaz olabildiğince kuru halli olmalıdır. TS EN 439, kaynaklanan metale hidrojenin girmemesi için gaz saflığı kuralları ve gazın kuruluşunu, çığlenme sıcaklığının sayesinde verir.

Koruyucu gaz yoğunluğu, koruyucu gaz örtme kabiliyetini direkt olarak etkiler. Havadan daha ağır olan bir gaz (argon) kendisine göre ağır olmayan bir gaza (helyuma) nazaran daha



da etkili bir koruma meydana getirir ve hava akımına karşı hassasiyeti bir miktar azaltır. Kullanılan koruyucu gaz, ergimiş kaynak banyosunun viskozitesine etki gösterir. Pozisyon kaynağında ya da kök dikiş bölgelerinde ergimişin yüzey geriliminin, yerçekimi kuvvetini alt edecek derecede fazla olması gereklidir; bu durumda, yüksek bir erimiş banyo viskozitesi istenir. Ters durumda, hafif bir dışbükey dikiş meydana getiren ince damlacıklı bir malzeme geçişinin istenmesinde, viskozite düşük olması gerekir. Bunun yanında ince saçların ek bir tel olmaksızın kaynağı için ayrı bir önem yer eden kıvrık alın kaynağında, ergimiş kenarların birlikte bir dikiş oluşturması amacı ile az miktarda bir viskozite ihtiyacı olur. Ve sonunda, gaz küreciklerinin banyo katılaşmasından önce banyo yüzeyine hızlı bir şekilde ulaşmasının sağlanması için düşük akışkan sürtünmesini uzatıp banyodan oldukça iyi ve yeterli bir degazaj sağlanır. MIG kaynağı TIG kaynağına nazaran oldukça yüksek bir iletme dayanımı meydana getirir. Fakat diğer bir taraftan, yalnızca uygun olan bir koruyucu gaz seçilmesi ile azaltılabilecek biçimde, gözenek oluşumuna karşı oldukça hassastır. Al 99,5'in kaynağında argon içine %25 Helyum ilave edilmesi ile gözenek yüzeyi %80 oranında düşürülür. Daha fazla He içeriği ise, gözenekli durumu daha fazla artırır. Aynı zamanda hem yanmayı hem de kaynak hızını da artırır. Nikel ve bakır alaşımlarının kaynaklarında ise %25 ila %75 oranlarında He içerikli Ar / He karışımları da kullanılır. Ön tavlama işi yapılmayan bakır malzemenin kaynağında saf helyum gazı kullanılmalıdır. Helyum kullanılmadan önce, gaz maliyetinin argona nazaran birkaç kat daha fazla olduğunun göz önünde bulundurulması önerilir (Kahraman, 2012).

### **3.5.3. MIG kaynak yöntemi kullanım alanları**

MIG kaynak yöntemi endüstriyel uygulamalarda ve geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu kaynak yönteminin yaygın olarak kullanılmasındaki en büyük sebep yüksek ergime hızı ve çok hızlı kaynak yapılabilmesidir. Bunun yanı sıra derin nüfuziyet, her pozisyonda kaynak yapılabilmesi, aralıksız kaynak yapılabilmesi ve bunların sonucunda ekonomik bir kaynak yöntemine dönüşmesi en büyük tercih sebebidir (Tülbentçi, 1990).

### 3.5.4. MIG kaynak yönteminin avantajı ve dezavantajları

MIG kaynak yönteminin avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek ergime hızı
  - Derin nüfuz etme özelliği
  - Her pozisyonda kaynak yapabilme olanağı
  - Uygulamasının kolay olması
  - Ekonomik bir yöntem olması
- Dezavantajları ise;
- Yüksek basınçlı kaplarda kullanılamaması
  - Gaz sarfiyatı
  - Portatif olmaması (Kahraman, 2012).

### 3.6. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Tüm kaynaklı paslanmaz çeliklerin imalatlarının yüzde doksanında fazlası östenitik paslanmaz çeliklerin yaygın kullanılmasında ki sebep iyi kaynaklanabilirliği olmasıdır. Östenitik paslanmaz çelikte kaynaklar, sıklıkla asıl metal ile kıyaslanabilen kimyasal bileşiklere ve mekanik özelliklere sahiptir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin önemli özelliği olan düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynaklanabilirlik bakımından genel olarak faydalı olup kaynak aşamasında düşük sıcaklık ile çalışılması önerilmektedir. Çünkü açığa çıkan ısı, kaynak alanından, düşük karbonlu çeliklerde de olduğu gibi hızlı bir biçimde uzaklaşmaktadır. Malzemenin gösterdiği direnç düşük olduğundan direnç kaynaklarında düşük akım değeri ile kaynak yapılabilmektedir (Abuç, 2006).

Östenitik paslanmaz çelikler farklı kaynak metotları kullanılarak kolay bir şekilde kaynak edilebilirler. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklanarak birleştirilmesinde fiziksel özellikleri dikkate alınması gereklidir. Ayrıca metalürjik özelliklerinin de göz önünde bulundurulması gerekir. Bunlar da ise taneler arasında korozyona duyarlılık, gerilme korozyonuna duyarlılık ve de sigma fazının oluşumudur (Emet, 2019).

### 3.6.1. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti

Östenitik paslanmaz çelikler farklı kaynak teknikleri ile kolay bir şekilde kaynaklanabilir.

Bu gibi paslanmaz çeliklerin kabiliyeti bakımından önemli özellikler şunlardır;

-Oda sıcaklığında ısı iletme katsayıları, az alaşımlı ve karbonlu çeliklerin 1/3 ü kadardır,

-Karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin ısı genleşme katsayıları 1,5 katıdır,

-Bu tür çeliklerin elektrik iletme dirençleri diğer alaşımlı iletkenlere karşı 4-7 katındadır.

Bahsi geçen bu özellikler sebebi ile östenitik paslanmaz çeliğin kaynağında çeliğin çekme olayı sade karbonlu çeliklerin kaynağına nazaran daha fazladır. Kaynak bölgesinin soğuması sırasında büzüşme oluşmakta bu nedenle kaynaklı bölgede oluşan şiddetli gerilmeler çatlama tehlikesine sebep olmaktadır. Bu nedenle paslanmaz çeliklerin çift taraflı iç köşe dikişlerinde sıcak çatlama riskinin meydana gelmesi olasıdır (Yorulmazel, 2007).

### 3.6.2. Östenitik paslanmaz çelikler için kullanılan kaynak yöntemleri

Östenitik paslanmaz çelikler günümüzde endüstrinin vazgeçilmez malzemeleri arasında yerini almıştır ve kullanım alanları git gide artmaktadır. Her biçim ve türde bulunabilen ve şekillendirmesi kolay olan bu östenitik paslanmaz çeliklerin gelişmiş kaynak metotları ile kaynaklanabilirliği ve uygulama alanları çok daha fazla bir alana sahip olmaktadır.

Östenitik paslanmaz çelikler uygulamada ki bütün kaynak teknikleri ile doğrusal bir biçimde birleştirilebildiği söylenilebilir. Kaynak tekniğinin kullanılabilir olmasında ki nedenler aşağıdaki gibidir;

- Cihazların bulunması, kurulması ve kullanılabilir olması
- Malzemelerin et kalınlığı
- Kaynak yapılacak ortamın uygunluğu
- Kaynak uygulama postürü
- Paslanmaz çelik malzemenin cinsi

Paslanmaz çelik yapı parçalarının birbirleri ile veya daha değişik çelikler ile kaynaklanmasında kullanılan kaynak metodu ertitme kaynak ve basınçlı kaynak metodu olarak iki yöntem ayrılmaktadır;

Ergitme kaynak yöntemi;

- Gaz ergitme kaynağı
- Örtülü elektrot ark kaynağı
- Ergitme elektrot ile gaz altı kaynağı (MIG)
- Ergitilemeyen elektrot ile ark kaynağı (TIG)
- Plazma arkı ile kaynak
- Tozaltı kaynağı
- Elektron ışın kaynağı
- Lazer ışın kaynağı

Basınçlı kaynak yöntemi;

- Elektrik direnç kaynak yöntemleri
- Sürtünme kaynağı
- Difüzyon kaynağı

Bu çalışmada hem ergiyen hem de ergimeyen elektrot kaynak yöntemi yani TIG ve MIG kaynak yöntemlerinin her ikisi de kullanılmıştır (Baran, 2019).

### 3.7. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Karşılaşılan Problemler

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında birtakım problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemler aşağıdaki gibi;

- 1) Isının tesiri etkisinde kalan alanda krom karbür meydana gelmesi sonucunda ortaya çıkan hassas yapı,
- 2) Kaynak dikişinde gözlenen "Sıcak Çatlak" oluşması,
- 3) Çok yüksek çalışma sıcaklıklarında ortaya çıkan " Sigma Fazı " oluşumu riskleridir (Aydın, 2002).

#### 3.7.1. Krom karbür çökmesi ve taneler arası korozyon

Isının etki alanında kalan alanın 427–871°C sıcaklığa kadar ısı alan bölgede yer edinen tane sınırlar bölgelerinde çökelmiş ve taneler arasında korozyon etkisini hızlandırılan krom karbürler bu alanda "Hassas Yapı" oluşmasına sebebiyet verirler. (Şekil 2.3). Bu oluşma esnasında bir miktar krom çözeltilen tane sınırları yönünde yer değiştirirler ve sonuç olarak

bu bölgesel alanlarda krom miktarında bir düşüş olacağından dolayı korozyon direnci düşüş gösterir (Sasikumar ve diğerleri, 2021).



Şekil 2. 3. Paslanmaz çeliğin tane sınırlarında meydana gelen karbür çökmesi (Oğuz, 2018)



Şekil 2. 4. Krom karbür çökmesi sonucu hassas bölgede meydana gelen korozyon (ASM International, 1998)

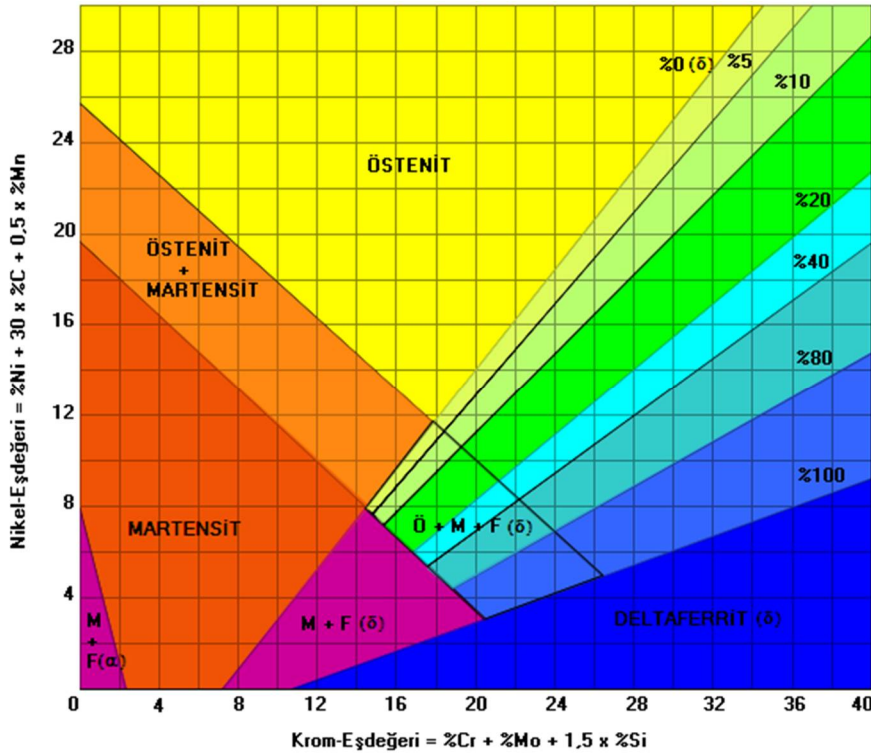
Bu problem, krom ile birleşime girerek krom karbür oluşumuna sebebiyet veren karbonun yapıda az düzeylerde tutulduğu düşük karbonlu (L tipi) as metallerin ve dolgu metallerinin kullanılması ile engellenebilir. Buna ek olarak kaynak işleminin ön tav işlemi görmeden yapılması, ısı girişinin düşük seviyelerde tutulmasına dikkat edilmesi ve bakır bir altlık kullanımı sağlanarak hızlı soğumanın sağlanması hassas sıcaklık aralıklarında kalma sürecinin daha kısa tutulması bakımından oldukça fayda sağlamaktadır.

Başka bir teknik, stabilize edilen paslanmaz çelik asıl malzemelerin ve dolgu metallerinin kullanılması tekniğidir. Bunun sayesinde stabilizatör görevinden olan alaşım elementleri karbon ile etkileşim halinde olacak, krom miktarında azalma olmadan yapıda kalmasına yardımcı olacağından dolayı korozyon direncinde bir azalma ile denk gelmeyecektir. 321 kalite paslanmaz çelikler stabilizatör olarak titanyum (Ti) bulundururken 347 türü paslanmaz çelikler niyobyum (Nb+Ta) ile stabilize edilmişlerdir. Bu iki element de kromdan çok daha güçlü karbür oluşturma yeteneği vardır [40]. Bunun haricinde kalan bazı ısıl işlem metodlarının maliyetli olmaları, pratik olmaması ve parçalarda çarpışmalara sebep olmaları sebebi ile çok tercih sebebi olmazlar.

### 3.7.2. Sıcak çatlak oluşumu

Sıcak çatlak oluşumunun başlıca sebebi; kükürt (S) ve fosfor (P) vb. elementlerin oluşturmuş olduğu ve tane sınırlarında toparlanma yönelimi oldukça düşük erime sıcaklığına sahip olan metalik bileşimlerdir. Bu tür bileşimler, şayet kaynak dikişinde yada ısının etkisi altında kalan alanda bulunuyor ise, tane sınırları yönüne doğru yayılır ve kaynak dikişi soğur iken ve çekme gerilmesi oluşmasından dolayı çatlatlamaya sebebiyet verirler. Sıcak çatlak meydana gelmesi, dolgu metali ve ana metalin kimyasal analizlerinin östenitik matriksde az miktarda ferrit bulduran bir mikro yapı sağlayacak biçimde ayarlanması ile engellenebilir. Ferrit, kükürt ve fosforun bileşimlerini kontrol altına alabilen ve ferritik-östenitik yapısal biçime sahip olan tane sınırları meydana getirerek sıcak çatlak meydana gelmesini önler. Bu problem "S" ve "P" oranlarının oldukça düşük düzeylerde tutulması ile önlenir, fakat durum böyle olduğunda, çeliğin üretim maliyeti belli bir düzeyde artış gösterecektir (Gerken, Kotecki, 1990). Sıcak çatlak tehlikesine karşı dayanım elde etmek amacı ile yapıdaki ferrit miktarının en az %4 olması tavsiye edilmektedir. Bunların haricinde; dolgu malzemesi ve ana metalin kimyasal biçimi biliniyor ise, daha farklı diyagramlar kullanılarak da bir düşüncede bulunmak olasıdır. Bu diyagramlarda şekil 2.5.'de görüldüğü gibi en çok bilinen ve oldukça eskilere dayananı olanı 1948 yılında SCHAEFFLER sayesinde gelişimi sağlanan

"Schaeffler Diyagramı "dır. Schaeffler Diyagramı'nda Cr eşdeğeri yatayda, Ni eşdeğeri ise dikeyde yer almaktadır.



Şekil 2. 5. Schaeffler diyagramı (Kükürtçü, 2014)

### 3.7.3. Sigma faz oluşumu

Ferritik paslanmaz çeliklerde gözlemlenmesinin yanında, %9 oranından daha düşük nikel içerikli östenitik paslanmaz çelikte kaynaklanan alanda sigma fazı oluşumu, bu gibi çeliklerin de kaynak edilebilirliğini eksi yönde etkiler. 550-900°C arası sıcaklıkta meydana gelen sert, gevrekleşen metallar arası bileşik olan bu sigma fazının oluşması için östenitik yapı içerisinde belli bir miktar ferrit bulunması gerekmektedir. Soğuk biçim değişikliği ve niyobyum, molibden, silisyum gibi elementlerin yer alması sigma fazı oluşumuna destek olur. Sigma fazının mevcut olması çeliğin uzamasını, büzülmesini ve çentik-darbe mukavemetini azaltmaktadır. Karbür çökmesini ortadan kaldırmak amacı ile yapılan ısıtma işlemi sigma fazını ortadan kaldırılmasını sağlar. Östenitik krom-nikelli paslanmaz çelik homojen duruma getirme işlemini uygulanmış ve içerisindeki ferrit miktarı %6,5 oranının altına indirgenmiş ise, kaynaklanacak bölgede meydana gelecek sigma fazı çentik-darbe mukavemetinin azalmasına sebebiyet vermez. Burada ferrit düzeyi düşük olduğu için sigma fazı, östenitik yapı içinde ağ şeklinde olmayıp, birbirinde ayrılmış odacıklar biçiminde

bulunur. Bu yöntemle meydana getirilebilen sigma fazı, yapıya bir esneklik sağlamaktadır. Tavlanmış şekilde %7-8'den az ferrit bulunduran kaynak alanı, sigma dönüşmesi ile az miktar gevreklik kazanır, bu durum yapılan uygulamalarda çok değerli bir özelliktir. Şayet yapıda bir sigma fazı oluşmuşsa, bu faz 950-1050°C sıcaklık aralığında belli bir zaman tavlama ve suda soğutma yöntemi ile önlenbilir (Kaluç, Taban, 2019).





## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada paslanmaz çelik AISI 316L levhaların birbirine farklı kaynak türleri, farklı dolgu malzemeleri, farklı koruyucu gaz ve farklı amper değerleri ile kaynaklanıp, AISI 316L paslanmaz çelik malzeme üzerinde kaynak türlerinin, amper değerlerinin, koruyucu gazların ve dolgu telinin etkilerinin laboratuvar ortamında muayene edildikten sonra çekme deneyi, sertlik deneyi, mikro yapı analizi ve Scaning Electron Microscope Analysis (SEM Analizi) yapılarak sonuçlardan çıkacak olan veriler ile sonuçların analizinin yapılması, bu bağlamda hangi opsiyonunun nerede kullanıldığına bağlı olarak avantajlarının ve dezavantajlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu kapsamda kullanılacak AISI 316L malzemenin seçiminde kaynaklarının hangi şartlarda daha faydalı/sağlıklı olabileceği hususunda sonuçlarla birlikte incelenmiştir.

### 4.1. Materyal

#### 4.1.1. Ana metal

Çalışmada kullanılan malzeme AISI 316L kalite malzemedir, malzeme kalınlığı 6 mm'dir. AISI 316L paslanmaz çelik malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4. 1. AISI 316L kalite çeliğinin kimyasal bileşimi (Kim, Baek, Jenon, Lee ve Shim, 2020).

C	Mn	Cr	Si	P	S	Ni	Mo	Cu	N	Co
0,023	1,27	16-17	0,44	0,034	0,021	9-10,5	2,13	0,45	0,043	0,16

#### 4.1.2. Koruyucu gazlar

Ark esaslı kaynak yöntemlerinde kaynak bölgesini havanın olumsuz etkilerinden korumak, mükemmel bir kaynak dikişi elde etmek için büyük önem taşımaktadır. Kaynak işlemi esnasında ortaya çıkan kimyasal reaksiyonların kaynak alanına olumsuz etki vermemesi amacı ile elektrot ile ark kaynağında elektrot örtü maddesi, toz altı kaynağında koruyucu toz, gaz altı kaynak yöntemlerinde ise koruyucu gazlar kullanılmaktadır. Bu gazlar, metelsel banyoyu koruyan bir atmosfer oluşturmalarının yanında arkın kararlılığı, kaynağın dolgu şeklini, dikişin mekanik özelliklerini, yapılan işlemin verimliliğini etkilemektedir.

Temel olarak koruyucu gazlar, nötr ve aktif gazlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Nötr gazlar helyum ve argon, aktif gazlar ise karbondioksit, oksijen ve hidrojen dir. Bu gazlardan oksijen ve hidrojen kaynak metaline olumsuz etkilerinden dolayı direkt olarak kullanılamamaktadır. Yalnızca diğer gazlarla az miktarlarda karıştırılarak kullanılırlar. Gaz altı kaynak uygulamalarında koruyucu gaz olarak argon tek başına kullanılacağı gibi helyum, karbondioksit, oksijen, hidrojen ve azot ile karışım oluşturularak da kullanılabilir. Kaynak tekniklerinde karbondioksit ve oksijen gazları aktif gazlardır. Karbondioksit tek başına koruyucu gaz olarak kullanılabilir iken karışım gazlarının en fazla kullanılan aktif gazıdır. Oksijen ise sınırlı miktarlarda karışım gazlarında kullanılabilir. Bu gazlar aşağıda verilmiştir;

### Argon

Argon asal bir gaz olup kokusu ve rengi yoktur. Yoğunluğu ise yaklaşık olarak havanın yoğunluğunun 1,4 katıdır. Bu da kaynak bölgesinin iyi korunmasını ve yüksek gaz akış hızlarına gerek duyulmamasına olanak sağlar. Argon gazının düşük iyonizasyon potansiyeline (15.7 eV) sahip olması, stabil ve düşük gerilimli ark ortaya çıkarır. Bu durum kaynaklanacak malzemeye sağlanan sıcaklık değerinde azalmaya sebebiyet vermektedir. Argonun düşük ark gerilimi özelliği bilhassa ince malzemelerin elle kaynağında avantaj sağlamaktadır. Argonun bu özelliği, ana metalde kaynak işlemi esnasında oluşacak distorsiyon eğilimini azalttığından dolayı düşey ve tavan kaynak uygulamalarında da olumlu sonuçlar verir (Bos, 2007).

### Helyum

Helyum da argon gibi asal olan gazdır, ayrıca kokusu ve rengi yoktur. Yaklaşık olarak havanın 0,14 katıdır. Havadan hafif bir gaz olması gaz sarfiyatını çok arttırmaktadır. Yatay konumda aynı şartlar altında argon gazının yaptığı korumayı sağlamak amacı ile üç misli helyuma ihtiyaç duyulur. Helyum, neon gazı dışında diğer bütün gazlardan daha iyi bir elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu sebeple yüksek akımların kullanıldığı kaynak uygulamaları için uygun görülen bir gazdır. Helyumun termal iletkenliği, 6000 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda diğer gazların termal iletkenliğinden daha yüksektir. Helyumun yüksek termal iletkenliği ile argondan daha yüksek ark gerilimi sağlanır. Bu ise yüksek termal iletkenliğe veya yüksek ergime sıcaklığına sahip kalın malzemelerin kaynağında iyi bir avantaj sağlar ve daha yeni kaynak metalleri elde edilir.

Argon gazına helyumun ilavesi ile daha sıcak ve akıcı bir kaynak banyosu olduğundan dolayı alüminyumun kaynağında ortaya çıkan porozite oluşumu azalır (Bos, 2007).

### Karbondioksit

Karbondioksit renksizdir. Kokusu yoktur ve havadan 1,5 kat daha fazla ağırlığı olan bir gazdır. Daha çok basınçlı tüplerde kullanılmaktadır. Karbondioksit tüpleri 15 °C de takriben 65 atmosferde doldurulurlar. Bu durumda tüpün bulundurduğu gaz sıvı durumundadır. Kullanma esnasında sıvı haldeki karbondioksit gaz durumuna geçiş yapar.

Argon ve helyum birçok metalin kaynak edilmesinde koruyucu gaz olarak kullanılmasına karşın karbondioksit, az alaşımlı ve yalın karbonlu çeliklerin gaz altı kaynağında çok geniş alanda uygulama gücü bulmuştur. Karbondioksitin çeliklerin kaynağında sunmuş olduğu olanaklar; derin nüfuziyet, yüksek kaynak hızı ve az mikarda maliyet şeklinde sıralanabilir. Karbondioksit gazının en büyük dezavantajı ise oldukça kaba bir ark ve sıçramalı metal transferi oluşturmasıdır. Sıçrama kayıpları çok kısa ve düzgün ark boyu ile azaltılabilmektedir. Eğer iyi bir ark koruması sağlanır ise, sıçrama miktarı belirli tolerans sınırı içinde korunur ise ve uygun dezoksidan elementler içeren elektrotlar kullanılırsa kaliteli kaynak metalleri elde edilir (Bos, 2007).

### Karışım Gazlar

Gaz altı kaynak yöntemlerinde koruyucu gazlardan istenilenler; iyi metal transferi, derin nüfuz etme, erime genişliği, kaynak geometrisi, kaynak edilebilme hızı ve maliyeti daha azdır. Aynı olarak çatlak ve gözenekler meydana getirmemesidir. Asal ve aktif gazlardan birinin tek başına bu özellikleri vermesi oldukça zordur. Gaz altı tekniklerinde ilk zamanlar helyum ve argon, daha sonralarda ise karbondioksit kullanılmaya başlanmıştır. Karbondioksit gazının kullanımı sırasında ortaya çıkan sorunlar ilave tel birleşimi değiştirilerek giderilmeye çalışılmış fakat istenen sonuçlar maalesef elde edilememiştir. Son zamanlarda birkaç gazın belli oranlarda karıştırılması ile elde edilen karışım gazlar geniş bir uygulama alanına sahip olmuştur.

Argona %1-5 O<sub>2</sub> veya %3-25 CO<sub>2</sub> ilavesi ark stabilizesinde ve yanma oluşu oluşumunun önlenmesinde gelişmeler sağlamaktadır. Ayrıca paslanmaz çeliklerin darbeli MAG kaynağı için argon-karbondioksit karışımına helyum eki ark geriliminin artmasını sağlamaktadır. Örneğin %98 Ar + %2 CO<sub>2</sub> karışım gazı yerine %35 He + %2 CO<sub>2</sub> + %63 Ar karışım gazı

kullanıldığı zaman ark geriliminde yaklaşık olarak %10 luk bir yükseliş sağlanmakta, böylece sıcaklığın artmasının yanı sıra kaynak verimliliği ve kaynak kalitesi de artmaktadır.

Yalnız CO<sub>2</sub> ile yapılan dikişe nazaran argon-karbondioksit-oksijen karışımı ile yapılan kaynak dikişinin estetiğinde ve mekanik özelliklerinde bir iyileşme sağlanabilmektedir. %1-8 O<sub>2</sub> ilavesi, kaynak banyosunun akıcılığını, nüfuziyeti ve ark stabilitesini artırır; %25'e kadar CO<sub>2</sub> ilavesi, sıçrama kaybını da artırır, nüfuziyeti derinleştirir ve ark stabilitesinde azalma sağlar. Düşük CO<sub>2</sub> ilavesi (%1-7) ile kadeh veya parmak biçiminde penetrasyon profili elde edilmesi sağlanır. Bu karışımlar, ince malzemelerin bilhassa saçların kaynağı için uygun olan düşük ısı oluşturur. Kalın parçaların çok pasolu kaynağında sorunlar meydana getirir. Parmak biçimindeki kaynak metali profili porozite ve ergime sorunlarının oluşma olasılığını artırır. %8-15 CO<sub>2</sub> ilavesi 12 mm'ye kadar kalınlığa sahip malzemelerin kaynağı için uygundur.

Yüksek CO<sub>2</sub> ilavesi (%16-25) yuvarlak, derin penetrasyonlu kaynak metalleri üretir, kalın parçaların kaynağı için uygunluk sağlar. Karışıma CO<sub>2</sub>'nin ilave edilmesi sıcaklık değerini artırır ve böylece ergime alanı daha büyük olur, kaynak banyosunun akıcılığı da artar ve kaynak metalinin profili çanak biçimini alır. Kaynak banyosunun akıcılığının artması gaz kaçışına olanak tanır, bu şekilde porozite oluşum olasılığını azaltır. Kalın parçalar için %80 Ar + %20 CO<sub>2</sub> karışımı tavsiye edilirken %86 Ar + %12 CO<sub>2</sub> + %2 O<sub>2</sub> karışımı malzeme kalınlıklarının geniş aralığında iyi nüfuziyet ve kuvvetli bir ark özellikleri vermektedir. Koruyucu gazda fazla miktarda CO<sub>2</sub> mevcudiyeti, az CO<sub>2</sub> mevcudiyetinden daha fazla sıçramalı kaynak oluşturmaktadır ve ark stabilizesini azaltır.

Argon gazına çok az miktarda hidrojen ilavesi ark gerilimini dolayısı ile sıcaklık değerini yükseltmektedir. %5 hidrojenli argon + hidrojen karışımı nikel ve alaşımlarında, %25 hidrojenli argon + hidrojen karışımı ise özellikle ısı iletimi yüksek olan kalın bakır parçaların kaynağında kullanılmaktadır (Bos, 2007).

#### **4.1.3. Dolgu Malzemesi**

Dolgu malzemesi olarak östenitik paslanmaz çelik olan ana metal AISI 316L ile uyumlu olması ve kaynak nüfuziyetinin sağlanması adına AISI 316L 2,4 mm çapında TIG teli ve yine AISI 316L 1,0 mm çapında MIG teli tercih edilmiştir.

## 4.2. Yöntem

Bu çalışmada yöntem 8 adımdan oluşmaktadır. Bu yöntemlerde işlenen adımlar aşağıdaki gibidir.

### 4.2.1. Levha kesimi

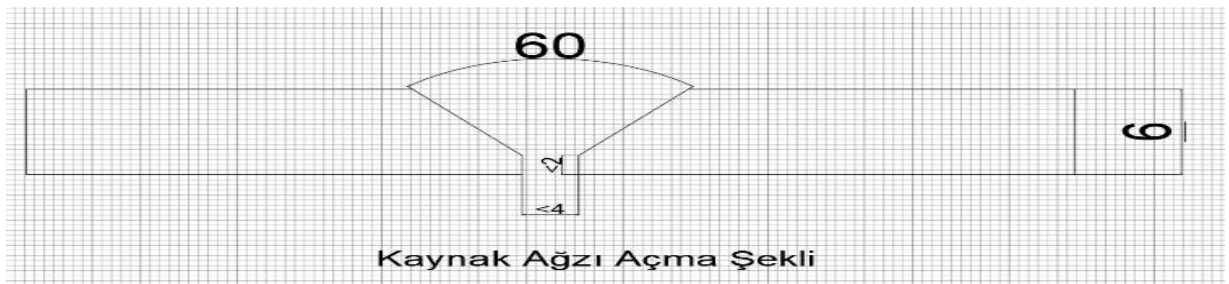
Bu çalışmaya başlanırken ilk adım olarak plakaların deneysel çalışmalara uygun kesim, Şekil 4.1'deki gibi yapılmıştır. Kesim işlemi yapılırken hadde yönüne dikkat edilmiştir.



Şekil 4. 1. 200x200mm ebadında kesilen levhalar

### 4.2.2. Kaynak ağzı

2. adımda, levhalara ilgili standartlara uygun 'v' kaynak ağzı seçimi yapılmış, daha sonra bu kaynak ağzı açma işlemi Şekil 4.2.'deki gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 2. Kaynak ağzında kullanılan standart (TS EN ISO 9692) (CAN, 2018).

### 4.2.3. Levha puntalama

3. adımda, levhaların birbirlerine çatma (puntalama) işlemi, kaynak esnasında oluşabilecek çarpılma, çekme ve kayma gibi sorunların önüne geçmek için Şekil 4.3a'daki gibi sabitlenmiş ve puntalanmıştır. Alttan koruyucu gaz verme veya koruyucu seramik uygulaması, Şekil 4.3b'deki gibi yerine getirilmiştir.



Şekil 4. 3. a. Levhaların puntalanması



b. levha çatma

### 4.2.4. Levha tanımlama

4. adımda, farklı opsiyonların hangisinin uygulanması yapılacak ise, uygulamayı yapacağımız plaka üzerine tanımlama, Şekil 4.4'deki gibi yapılmıştır.



Şekil 4. 4. Kaynağı tamamlanmış tanımlamalı levha

#### 4.2.5. Koruyucu gaz

5. adımda, koruyucu gaz seçimi (212 karışım, %100 Ar ve %97,5 Ar %2,5 CO<sub>2</sub>) gerçekleştirilmiş olup, kaynak türüne uygun olacak debide gaz, Şekil 4.5'de ki gibi verilmiştir.



Şekil 4. 5. Koruyucu (%100 argon) gaz tüpü.

#### 4.2.6. Kaynak makinesi

6. adımda, Zenweld Ultimate 320 THP marka kalibrasyonlu TIG kaynak makinesi ve Magmaweld RS500MW MIG kalibrasyonlu kaynak makinesi modeli ile uygun kaynak amperi, Şekil 4.6'da ki gibi seçimi yapılarak kaynak işlemine hazırlıklar tamamlanmıştır.



a. Zenweld Ultimate 320 THP



b. Magmaweld RS500MW

Şekil 4. 6. Kaynak makineleri

#### 4.2.7. Kaynak kalitesi ve paso kaynakları

Kaynak kalitesini etkileyen faktörler aşağıdaki gibidir;

- Pasolar arası geçiş sıcaklığı
- Kaynak sıralaması ve kaynak boşluğu
- Malzemenin kaynaklanabilirliği
- Malzeme özelliklerine uygun ilave dolgu tel veya elektrot seçimi
- Uygun ortam koşulları
- Kaynak yöntemine uygun kaynak operatörü seçimi

Kaynakları sınıflandırdığımızda Kaynak kaliteleri 3 grup şeklinde sınıflandırılmıştır.

##### 1. Kalite kaynakta;

- ISO 3834 Kaynaklı İmalat Kalite Yönetim Sistemi, kaynaklı imatları yapan firmaların kaynak kalitelerinin belirli bir seviyeye ulaştıran ve bu kaliteyi belgeleyen uluslararası geçerliliğe sahip bir standart ve uygulama yöntemidir. Günümüzde imalatı içinde kaynak bulunan her müşteri, bu standardın gerekliliklerini yerine getiren imalatçılar ile çalışmayı tercih etmektedir.
- Kaynak sürekli olarak gözetim altında tutularak pasolar arasındaki sıcaklıklara kontrol edilmelidir.
- Kaynak boşluğu ve kaynak ağzı açısı TS-EN 9692-1’de belirtildiği gibi yapılmalıdır.
- Malzemenin kaynak edilmeye müsait, kaynaklanabilir olması gerekmektedir.
- Malzeme kaynaklanabilirliğine olumsuz yönde etki etmeyecek ilave dolgu tel veya elektrot seçimi gerekmektedir.
- Uygun ortam koşulları sağlanmalı, dış atmosferden kaynaklanabilecek rüzgar, toz ve yağmur etkilerine karşı kaynak korunmalıdır.
- Kaynak işlemini yapacak olan kaynak operatörünün yapılacak olan kaynak yönteminde yetkin ISO 9606 standartlarında sertifikalandırılmış kaynakçı olması gerekmektedir.

2. Kalite Kaynakta yukarıdaki bu maddelerin 1 veya 2 maddesinin uygulanmaması durumunda geçerlidir.

3. Kalite Kaynak ise yukarıdaki maddelerin hiçbiri veya birkaç tanesinin sağlanabilmesi durumunda geçerlidir.

1. Kalite kaynak yukarıdaki maddelerin tamamının sağlandığı kaynaklama işlemidir. Kaynak işlemini yaparken bu çalışmamızda yukarıda belirtilen maddelerin tamamını kullandık. Dolayısı ile yaptığımız kaynak 1. Kalite kaynak grubuna girmektedir.



Aşağıda kaynak işleminin yapıldığı firmaya ait kaynaklı imalatta yeterlilik belgesi (EN ISO 3834-2) ve kalite yönetim sistemi (ISO 9001:2015) belgeleri verilmiştir.



a) Kaynaklı imalat yeterlilik belgesi

b) Kalite yönetim belgesi

Şekil 4. 7. Kalite sertifikaları

Bu çalışma için baştan sona tüm kaynak işlemleri ISO 9606-1 standardına göre sertifikalandırılmış çelik kaynakçası personel tarafından yapılmıştır. Personel yeterlilik sertifikası aşağıdaki şekilde gibidir.

**WELDER'S QUALIFICATION TEST CERTIFICATE**

**Certificate no.:** WPQ-TUVNORD-2021/1063

**Designation:** ISO 9606-1 136-P-BW-FM3-P-t20-PF-bs

**Name of welder:** DAHİL ERDEM **WPS reference:** WPS13

**Method of identification:** 17257117146 **Date and Place of Birth:** 20.03.1977

**Employer:** 4K METAL MAKINA İMALAT SAN TİC LTD ŞTİ **Welding Date:** 04.02.2021


**Code / testing standard:** PED 2014/58/EU, DIN EN ISO 9606-1

**Job knowledge:** Acceptable  Not tested

	Test piece	Range of qualification
Welding process(es)	136	136
Transfer mode	--	--
Product type (plate P, tube T)	p	P, T ≥ Ø 500mm in fixed ( PA, PB, PC, PD ; ≥ Ø 75 mm in Rotating)
Type of weld	BW	BW, FW
Parent material group(s)	Group 1.1 EN 10028-2 ISO/TR 15608	--
Filler material group(s)	FM3 / P	FM1, FM2, FM3 / R, P, V, W, Y, Z
Filler material (type, designation)	EN 17634-A TMOL P C 1 HS	S, M
Shielding gas(es)	M21 (EN ISO 14175)	--
Auxiliaries	N/A	N/A
Type of current and polarity	DC +	--
Material thickness (t) [mm]	20	--
Deposited thickness (s) [mm]	20	≥ 3
Outside tube diameter (D) [mm]	--	≥ 500 mm fixed
Welding position(s)	PF	PA, PB, PF
Weld details	Bs	Ss mo, bs
Single layer (s) / multi layer (ml)	N/A	N/A

Supplementary filler weld test completed in conjunction with a butt weld qualification: Acceptable  not acceptable

Type of test	Performed and accepted	Not tested
Visual testing	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Radiographic testing	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fracture test	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bend test	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Notch tensile test	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Macroscopic examination	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

The Authorized Expert of TÜV Teknik Kontrol ve Belgelendirme A.Ş.  
Place: İSTANBUL  
Date of issue: 26.02.2021  
Name: Osman Onur KAYA  
Signature: 



Revalidation According: 9.3 a	Valid Until: 04.02.2024	Revalidation According: 9.3 b	Valid Until:	Revalidation According: 9.3 c	Valid Until:

Confirmation of the validity by employer/welding coordinator/examiner or examining body for the following 6 months (refer to 9.2)

Date	Signature	Position or title

This certificate is issued under the scope of ISO/IEC 17024 accreditation by TÜRKAK. The accreditation status would be verified via <https://tccur.turkak.org.tr/kasay/seyar/> under accreditation number of AB-0042-P.

TÜV Teknik Kontrol ve Belgelendirme A.Ş.  
Ayazmadere Cad., Pazarcık Sok. No:2-4, Birelli Plaza, Kat:4, Çayyolu, Beşiktaş, TR-34349 İstanbul  
Telephone +90 212 293 26 42 • Fax +90 212 293 38 44 • e-mail: [tuv-nord@tuv-turkac.com](mailto:tuv-nord@tuv-turkac.com)

17-798-806

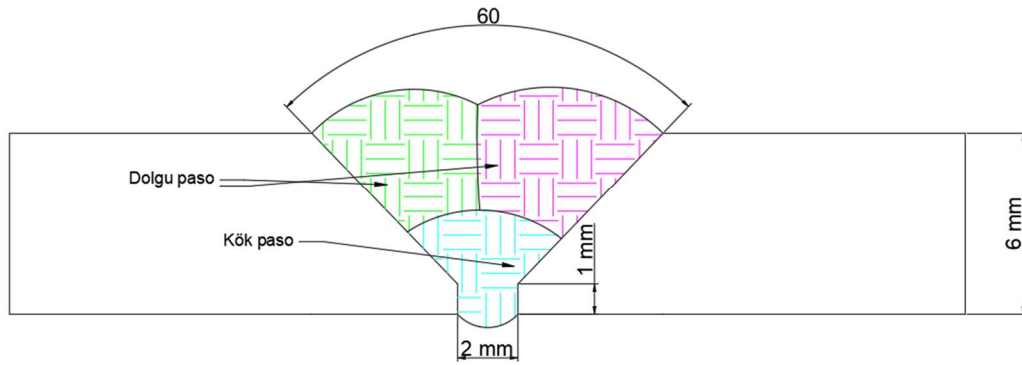
Şekil 4. 8. Kaynakçı personel sertifikası

Kaynak işlemi dış ortamın etkilerinden arındırılmış, kapalı ortamda rüzgar, toz ve yağmurdan korunarak yapılmıştır

Kaynak sıralaması sırasıyla yapılmış olup, kaynak boşluğu TS-EN 9692-1 standartlarına uygun olacak şekilde ayarlanmıştır.

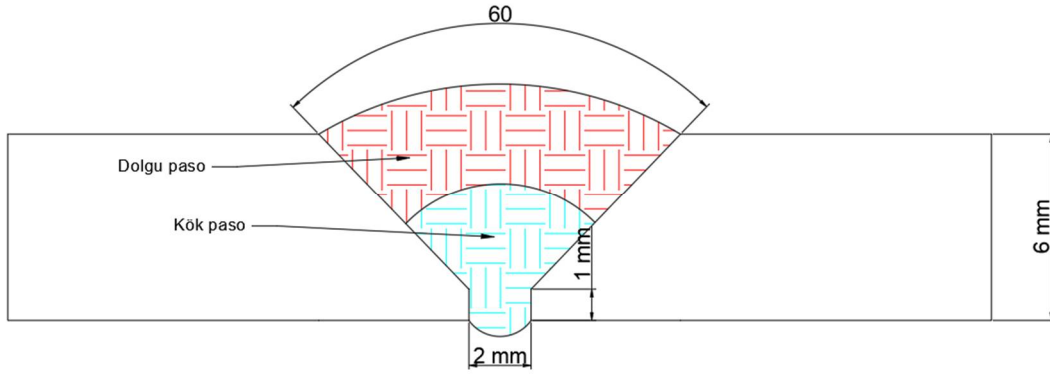
Kaynak işlemine ilk paso kök kaynağı olarak yapılmıştır.

TIG kaynak yönteminde kaynaklama 3 pasoda gerçekleştirilmiş olup, ilk paso işlemi (kök paso) levhalar arası boşluk ve ölçü kontrolleri tamamlandıktan sonra yapılmıştır. Daha sonra dolgu paso işlemine geçmeden önce levhanın 50<sup>0</sup>C sıcaklığa kadar düşmesinin ardından geçilmiş ve sırasıyla bu adım 3. Paso (son paso) işlemine kadar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 9. TIG kaynak yöntemi pasolar şekli

MIG kaynak yönteminde kaynaklama 2 pasoda gerçekleştirilmiş olup, ilk paso işlemi (kök paso) levhalar arası boşluk ve ölçü kontrolleri tamamlandıktan sonra yapılmıştır. Daha sonra dolgu paso işlemine geçmeden önce levhanın 50<sup>0</sup>C sıcaklığa kadar düşmesinin ardından 2. Paso (son paso) işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 10. MIG kaynak yöntemi pasolar şekli



Şekil 4. 11. İlk paso kaynak işlemi

Kaynaklı numuneler üretilirken 3 farklı parametre kullanılmıştır. Bunlar DA=Düşük amper, OA= Orta amper, YA= Yüksek amper şeklindedir. Isı girdisini amper değeri, voltaj değeri ve kaynak hızının etkilediğini düşünüldüğünde aşağıdaki çizelgede yer alan değerlere göre elde edilmiştir. Çizelge 4.2'den anlaşıldığı üzere en yüksek ısı girdisi MIG kaynak yönteminde yüksek amper değeri ile kaynaklanan 9. Numuneye aittir.

Çizelge 4. 2. Kaynak parametreleri

Numune	Yöntem	Tel Çap mm	Tel Sınıfı	Marka	Akım (Amper)	Gerilim (Voltaj)	Tel Hızı mm/s	Kaynak hızı mm/s	Isı girdisi Joul/mm
1	1-DA	2.4	TIG 316L	Geka	85 145 165	8-10V	~8,5	~2,5	~270
2	1-OA	2.4	TIG 316L	Geka	90 155 175	8,8-12,8V	~8,5	~2,5	~345
3	1-YA	2.4	TIG 316L	Geka	95 165 185	9,9-14V	~8,5	~2,5	~415
4	2-DA	2.4	TIG 316L	Geka	90 140 160	8-10,5V	~8,5	~2,5	~250
5	2-OA	2.4	TIG 316L	Geka	100 150 170	8,6-12V	~8,5	~2,5	~332
6	2-YA	2.4	TIG 316L	Geka	110 160 180	9,7-14V	~8,5	~2,5	~415
7	3-DA	1.0	MIG 316 LSİ	As kaynak	140 160	20-23,5	~17,5	~4,5	~580
8	3-OA	1.0	MIG 316 LSİ	As kaynak	150 170	21-26	~17,5	~4,5	~668
9	3-YA	1.0	MIG 316 LSİ	As kaynak	160 180	22-27	~17,5	~4,5	~740

#### 4.2.8. Levha Sıcaklığı

8. Adım olarak kaynak yapılan levhanın sıcaklığı Şekil 4.12’de görülen lazer termometre yardımı ile 50°C’ ye kadar düşmesi sonrasında diğer paso kaynak uygulaması tamamlanmıştır.



Şekil 4. 12. Lazer termometre ile sıcaklık ölçme

8 adımda oluşan bu kaynaklama işlemi, farklı yöntemler ile tüm plakalara uygulanmıştır.

#### 4.3. Kaynaklı İmalatta Tahribatlı ve Tahribatsız Testler

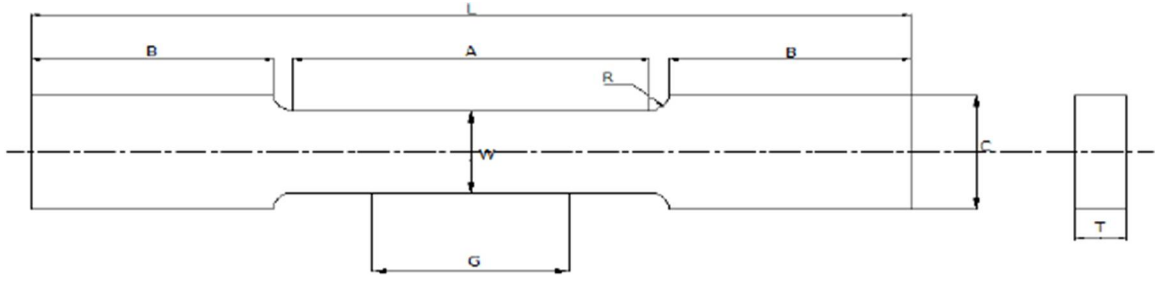
Malzemelerin sertlik ve mukavemet özelliklerini belirlemek amacı ile mekanik testler uygulanabilmektedir. Tahribatlı testler sayesinde malzeme çelik kalitesi ve kaynaklanmış malzemelerin uygulanan testler ile kaynak mukavemetinin belirlenmesi için birden çok tahribatlı/tahribatsız test uygulanabilir.

### 4.3.1. Çekme deneyi

Çekme deneyi, malzemelerin mukavemeti için bilgi edinmek ve malzemelerin özelliklerini sınıflandırmak amacı ile yapılır. Çekme testi sayesinde malzemenin; çekme ve akma dayanımı, kopma uzaması ve elastikiyeti hakkında bize değerler verir (Biçen, 2019). Çekme deneyine hazırlık yapılan ilk kesim işlemi tamamlanmış olan levhalar aşağıdaki Şekil 4.13'de ki gibidir.



Şekil 4. 13. Çekme numunesi hazırlık aşaması



Şekil 4. 14. ASTM E8/8M' e göre şerit tip numune ölçüleri [4]

Şekil 4.14'de görüldüğü biçimde levhalar hazırlanmış gibi ASTM E8/8M' e göre hazırlanmıştır.

Çizelge 4. 3.ASTM E8/8M'e göre şerit tip numune ölçüleri (Bos, 2007).

İlk ölçü uzunluğu, G	Daraltılmış Kesit Genişliği, W	Kavis yarıçapı, R en az	Toplam Uzunluk, L en az	Daraltılmış Kesit Uzunluğu, A en az	Kavrama Boyu, B en az	Kavrama Genişliği, C yaklaşık
50,0 ±0,10 mm	40 +3/-6 mm	13 mm	200 mm	60 mm	50 mm	50 mm

Kaynak işlemi bittikten sonra kaynaklı numunelerden standartlara uygun Çizelge 4.3'de ki gibi olacak biçimde çekme testi numunesi alınmış ve alınan numuneler Şekil 4.15 'de gösterilen Zwick/Roel Z600 test makinasında yerine getirilmiştir.



Şekil 4. 15. Zwick/Roel Z600 test makinası (Casalino, Michele ve Perulli, 2020).

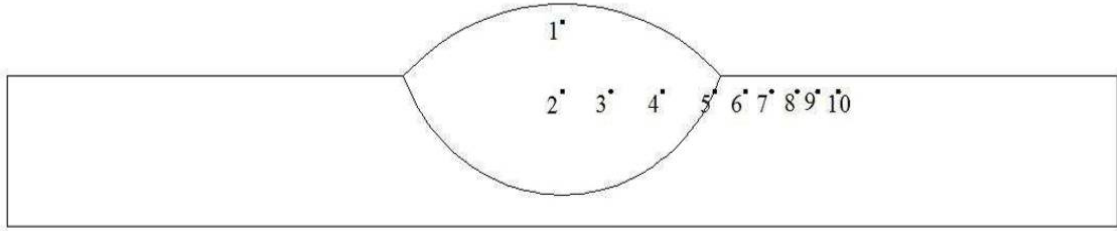


### 4.3.2. Sertlik testi

Elmasta, kare tabanlı, karşılıklı yüzeyleri arasındaki açı belirtilmiş, dik piramit şeklinde bir basma ucunun tepe noktası deney parçasının yüzey kısmına bastırılır ve deney kuvvetinin kaldırılmasının ardından ortaya çıkan izin köşegen uzunluğu ölçülür.

#### Kaynaklı Dikişi ve Bitişik Bölgelerdeki Yüzey Sertlik Değerleri

Future-Tech FM700 marka cihaz ile mikrosertlik ölçümleri kaynak metalinin ortasından başlanarak ana metal tarafına doğru 300 gr yükün altında Şekil 4.16.'da gösterilen şablona göre 10 değişik noktadan uygulanmıştır.



Şekil 4. 16. Sertlik ölçümlerinde kullanılan şablon [4]

Numune kaynak dikişine enine doğru alınmalıdır. Numune soğuk kesme metodu ile kesilmeli ve minimum 400 grid zımpara ile parlatılmalıdır. Parlatma sonrasında kaynak dikişini ve ısıdan etkilenen bölgeyi net olarak belirleyebilmek için %2 nital çözeltisi veya dağlayıcı ile numune yüzeyinin dağlanması sağlanmalıdır. Kaynaklı malzemede numune genişliği en yüksek kaynak genişliğinin en az 3 katı olmalıdır.

Hazırlıklar, ısınma veya soğuk şekillendirme sebebi ile malzeme yüzeyinde oluşabilecek sertlikteki değişiklikler minimum olacak şekilde olmalıdır. İz derinliğinin az ya da fazla olacağı durumlar göz önünde bulundurulduğunda, daha sağlıklı bir test sonucu için bu detay oldukça önemlidir.

Boru üzerinden alınan sertlik test numuneleri kaynak dikişini ve ITAB bölgesini de kapsayacak biçimde kaynağa dik olarak alınmalıdır. Hem iç hemde dıştan yapılan kaynaklarda her iki kaynak bölgesinden ayrı olarak ölçümler alınmalıdır.

Bunun yanı sıra, metalografik çalışmalar için ek numuneler alınması ile Struers Citopress-30 model makinada bakalitesi alınmıştır. Bu aşamanın ardından numunelerin yüzeyleri Struers Tegramin-25 model zımparalama makinası sayesinde sırası ile P180, 320, 600, 1200

ve 2500 kademelerinde zımparalama işleminden geçirilmiş ve zımparalama sonrasında 3 ve 1  $\mu\text{m}$ 'luk elmas süspansiyon ile birlikte parlatma işlemi yapılmıştır. Aqua Regia (30ml), nitrik asit ( $\text{HNO}_3$ ) (20 ml) ve hidroklorik asit (HCL) (15 ml)) ile dağlama işlemi yapılan numunelerden ilk olarak, Şekil 4.17 'de görülen Nikon SMZ800N model optik mikroskop ile makroyapı görüntüleri daha sonra Nikon EPIPHOT 200 marka optik mikroskop ile mikroyapı görüntüsü alınmıştır.

### 4.3.3. Makroyapı

Kaynaklı birleştirme sonucunda oluşan kaynağın makroyapısal muayenesi, düzgün bir kaynak yapısı ve derin nüfuziyet sağlanması amaçlanmaktadır. Makrografik muayene incelemesinde oluşan çatlaklar kabul görülmez. Şekil 4.17'de ki Nikon SMZ800N marka optik mikroskop ile makroyapı görüntüleri elde edilmiştir.



Şekil 4. 17. Nikon SMZ 800N model optik mikroskop (Anonim, 2020)

#### 4.3.4. Mikroyapı

Bilindiği üzere numunelerin yüzey kısımlarında kesilen aletin kesme izleri oluşur. Numuneyi orijinal yapı simgelediğinden, totalde deformasyona uğramış tabakanın yok edilmesi zımparalama ve parlatmanın asıl amacıdır. Bunun yanı sıra, metalografik çalışmalar için ek numunelerin alınması ile Struers Citopress-30 model makinada bakalitesi alınmıştır. Bu aşama sonrasında yüzeyleri Struers Tegramin-25 model zımparalama makinası ile sırası ile P180, 320, 600, 1200 ve 2500 kademelerinde zımparalardan geçirilmiştir ve zımparalama işlemi sonunda 3 ve 1  $\mu\text{m}$ 'luk elmas süspansiyon ile birlikte parlatılmıştır. Aqua Regia (30ml), nitrik asit ( $\text{HNO}_3$ ) (20 ml) ve hidroklorik asit (HCL) (15 ml)) ile dağlanan numunelerden Şekil 4.18'de ki Nikon EIPHOT 200 model optik mikroskop yardımıyla mikroyapı görüntüsü alınmıştır.



Şekil 4. 18. Nikon EIPHOT 200 optik mikroskop (Anonim, 2019)

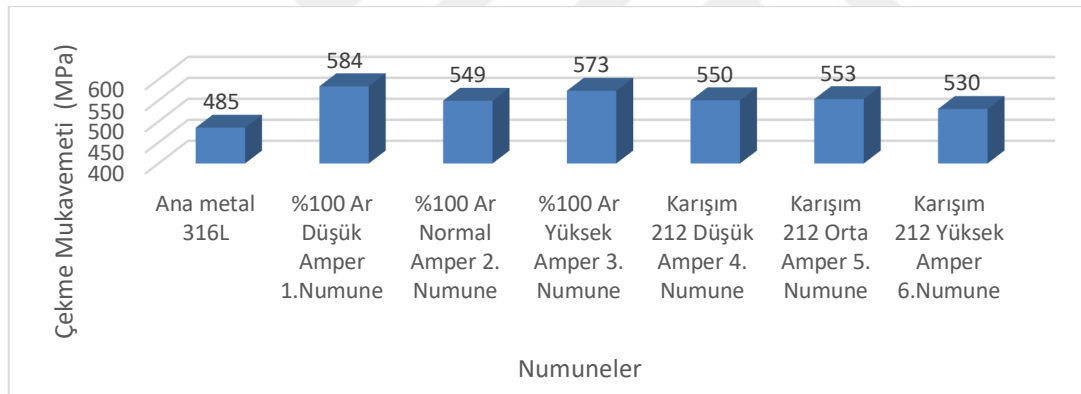
#### 4.3.5. SEM ve EDS

Optik mikroskopta mikroyapı incelemesinin ardından ana metal, ITAB ve kaynak bölgesine ait mikroyapıları ve fazları çok daha net bir şekilde inceleme yapmak amacıyla SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

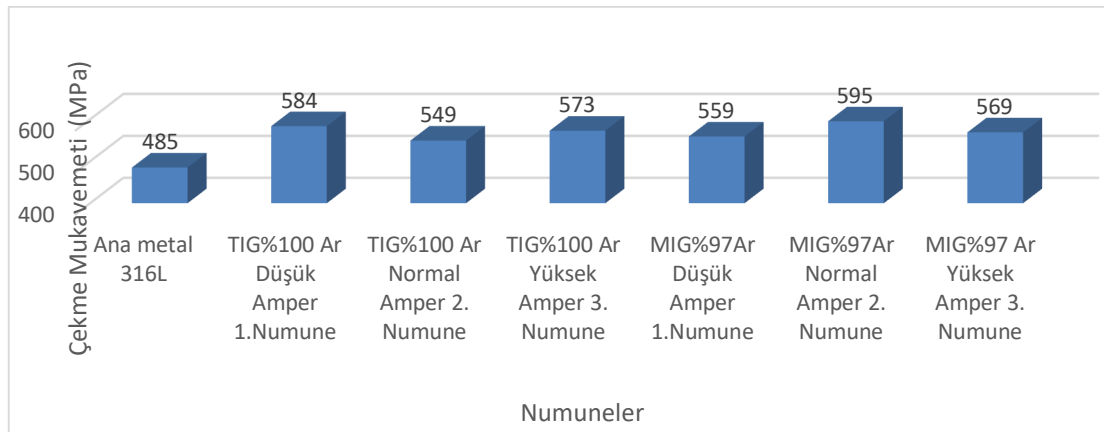
## 5. BULGULAR

### 5.1. Çekme Testi Bulguları

AISI 316L östenitik paslanmaz çelik ana malzeme çekme mukavemet değeri 485 MPa'dır. Kaynaklı numunelerin çekme testleri gerçekleştirildiğinde, tüm kaynaklı plakaların ana metale göre daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.1). Paslanmaz malzemelerin kullanım amacı, daha çok korozyon problemlerine yönelik olduğu için, ana metale en yakın değerin elde edildiği Argon 2. numunenin ve Karışım-212'ye ait 6. numunenin çekme dayanımlarının ana metale daha yakın olduğu görülmektedir. %100 Argon (Ar) koruyucu gaz kullanılan numunelerin neredeyse tamamının çekme mukavemetinin, eşit amper değeri ve koruyucu gaz olarak Karışım 212 gazı ile kaynağı yapılmış numunelere nazaran çok daha fazla olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5. 1. TIG çekme testi sonuçları



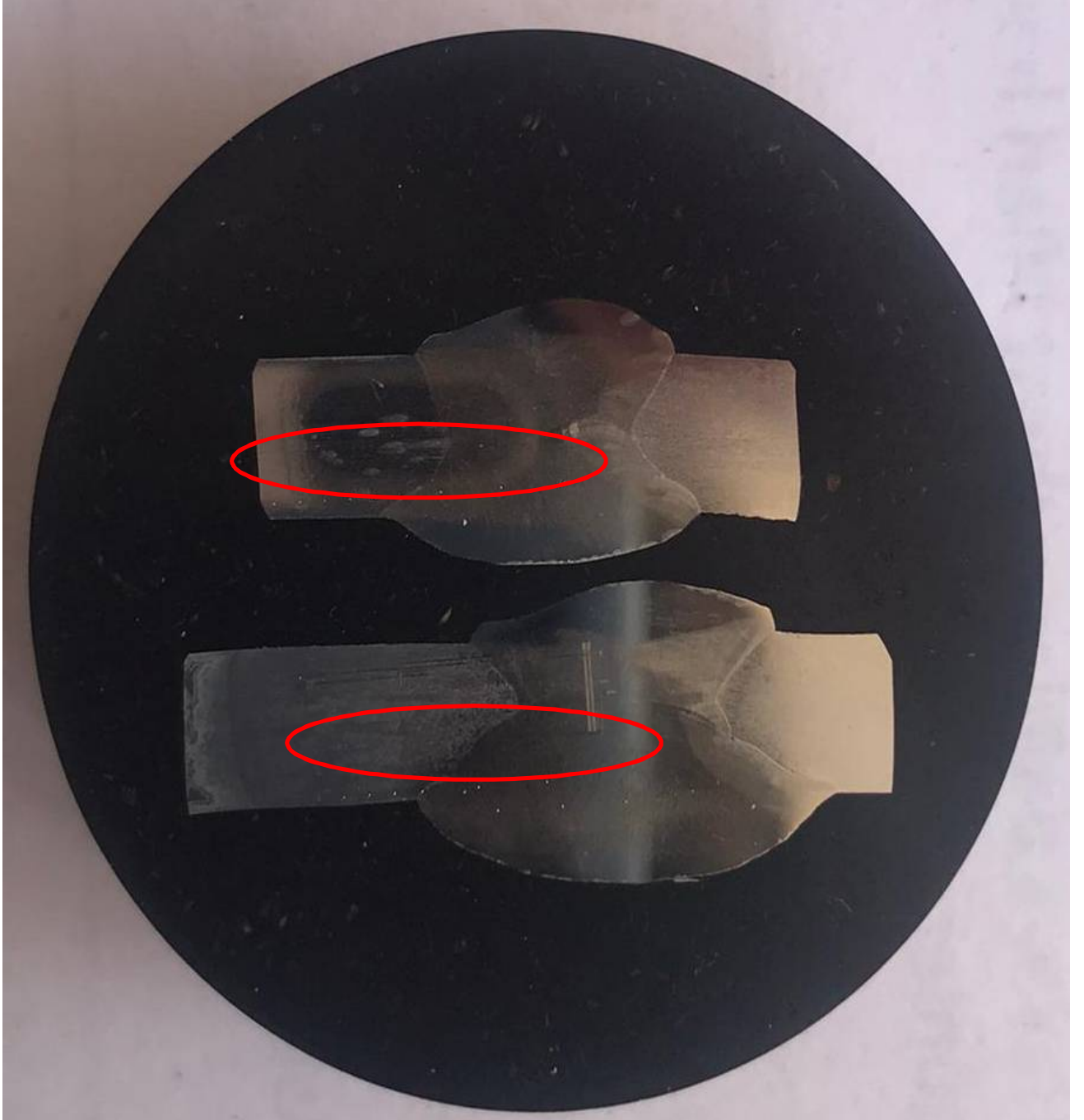
Şekil 5. 2. MIG-TIG çekme testi sonuçları

Şekil 5.2'ye bakıldığında MIG ve TIG kaynak yöntemlerinde en yüksek çekme dayanımını MIG kaynak yöntemi ile kaynaklanan ve orta amper değerine sahip 7 numaralı numuneye aittir. Çekme deneyi uygulanan tüm numunelerde kopma durumu ITAB bölgesinde görülmüştür. Bu bize yapılan kaynağın sağlıklı olduğu hakkında bilgi vermektedir. Kaynak sırasında malzemeye verilen ısı en fazla ITAB bölgesinde etki göstermekte ve bu alandaki sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak tane irileşmesi de artış göstermektedir. Bilindiği üzere de iri taneli yapıların dayanıklılığı ince taneli yapıların dayanımına nazaran daha düşük olmaktadır.

Kaynaklı bağlantılarda kaynak dikişi mukavemetinin, daima asıl metale göre daha sağlam olması beklenir. Aksi durumda kaynak metalinden kopma oluşması durumunda kaynak metalinde yüksek bir hata olduğu veya ek metalin, kaynak parametrelerinin uygun seçilmediği sonucunu ortaya çıkarır. Bu çalışmada kullanılan ana malzeme olan AISI 316L'nin çekme gerilmesi 485 MPa'dır. Buradan çıkarılan sonuçlara göre kaynak işlemi sonrası kaynak bölgesinde asıl metale göre daha yüksek mukavemet değeri elde edilmiş olup, buradan da kaynağın sağlıklı olduğu gözlemlenmiştir.

## 5.2. Sertlik Testi Bulguları

Sertlik ölçümleri aşağıdaki şekilde görülen 10 farklı noktadan alınmış ve sertlik ölçüm değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5. 3. Sertlik değeri alınan noktalar

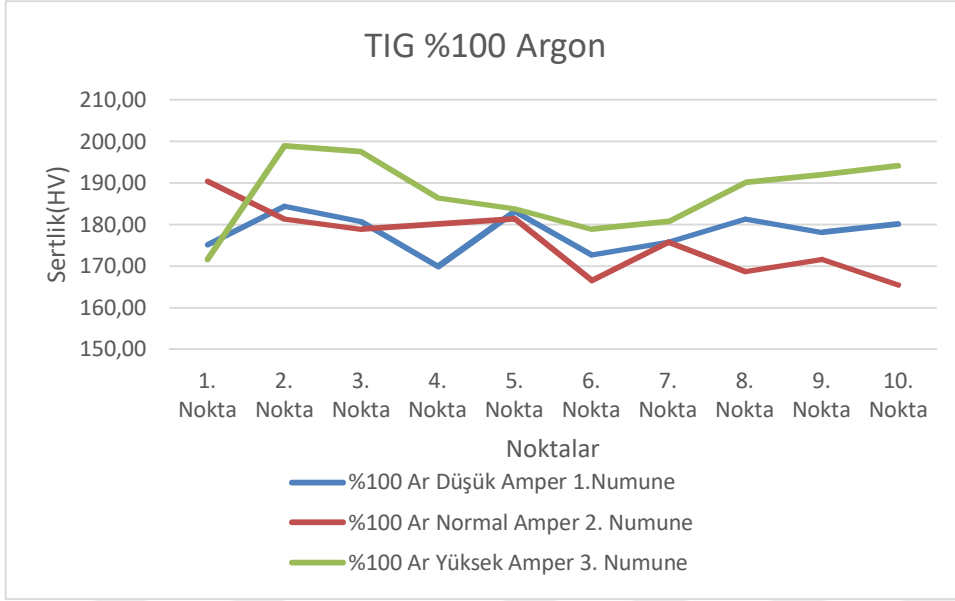
TIG ve MIG kaynak yöntemleri ile kaynaklanan tüm numunelerde sertlik ölçüm noktaları 10 nokta şeklinde belirlenmiştir. Bütün numunelerin ana metalden başlayarak sırasıyla ITAB ve kaynak kısmına kadar sertlik ölçüm değerleri Şekil 5.3’de ki gibi alınmıştır. Sertlik ölçümü alınırken numunelerin bakalite gömülerek ölçümü yapılmış, böylece sonuçların rijitliği sağlanmıştır.

TIG ve MIG kaynak tekniği ile kaynaklanan numunelere ait değerler ile sertlik analiz sonuçları Çizelge 5.1.’de verilmiştir.

Çizelge 5. 1.TIG ve MIG kaynak yöntemi mikro sertlik deney sonuçları

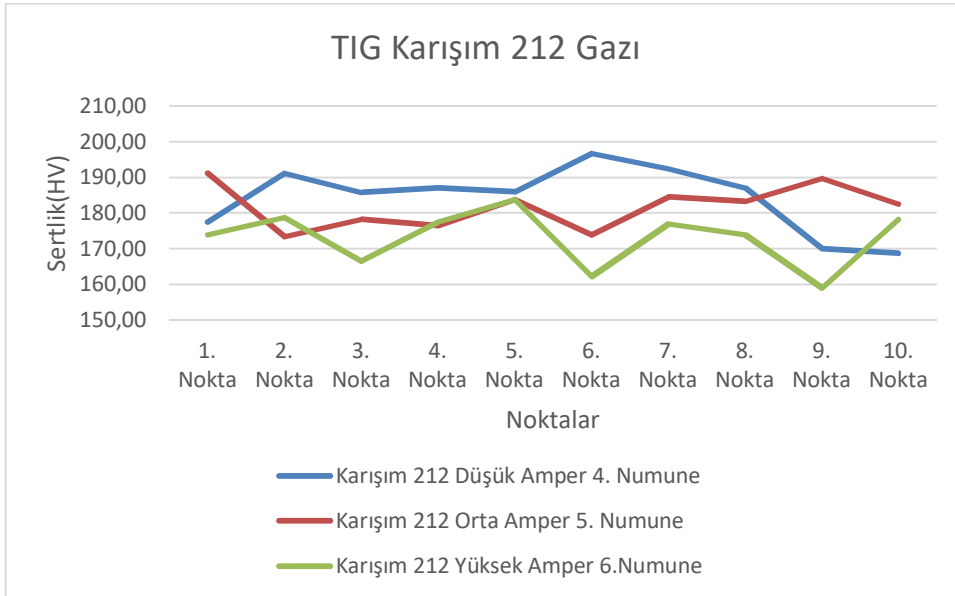
Kaynak İlave Metali ve Koruyucu gaz	Numune	Paso Sırası	Amper Değeri	Sertlik Analiz Sonuçları HV (300gr)									
				Ölçüm alınan yerler (Şekil 11)									
				1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
TIG 6mm 316L (%100 Ar)	1	1	85										
		2	145	175,2	184,5	180,7	169,9	183,3	172,8	175,8	181,4	178,2	180,1
		3	165										
	2	1	90										
		2	155	190,5	181,4	178,9	180,1	181,4	166,6	175,8	168,8	171,7	165,5
		3	175										
	3	1	95										
		2	165	171,7	198,9	197,5	186,5	183,9	178,9	180,7	190,1	192,0	194,2
		3	185										
TIG 6mm 316L (Karışım-212)	4	1	90										
		2	140	177,6	191,2	185,8	187,1	186,0	196,7	192,5	187,1	170,0	168,8
		3	160										
	5	1	100										
		2	150	191,2	173,4	178,2	176,4	183,9	174,0	184,5	183,3	189,8	182,6
		3	170										
	6	1	110										
		2	160	174,0	178,8	166,6	177,6	183,9	162,2	177,0	174,0	159,0	178,2
		3	180										
MIG 6mm 316L (%97 Ar)	7	1	140										
		2	160	185,8	173,4	179,5	173,4	192,5	183,9	170,4	175,2	174,6	179,5
	8	1	150										
		2	170	183,3	163,3	168,3	173,4	178,2	175,8	171,7	176,4	176,4	188,5
	9	1	160										
		2	180	199,5	168,3	171,7	172,8	180,7	165,5	180,7	182,6	184,5	171,7

AISI 316L östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynak tekniğinde koruyucu gaz olarak %100 Argon gazının kullanımı ile kaynatılmış olması sonrasında 1, 2 ve 3 numaralı numunelere ait olan, 10 farklı noktadan alınan sertlik ön dağılım grafiği Şekil 5.4 ’de verilmiştir.



Şekil 5. 4. TIG saf argon gazı sertlik deneyi grafiği

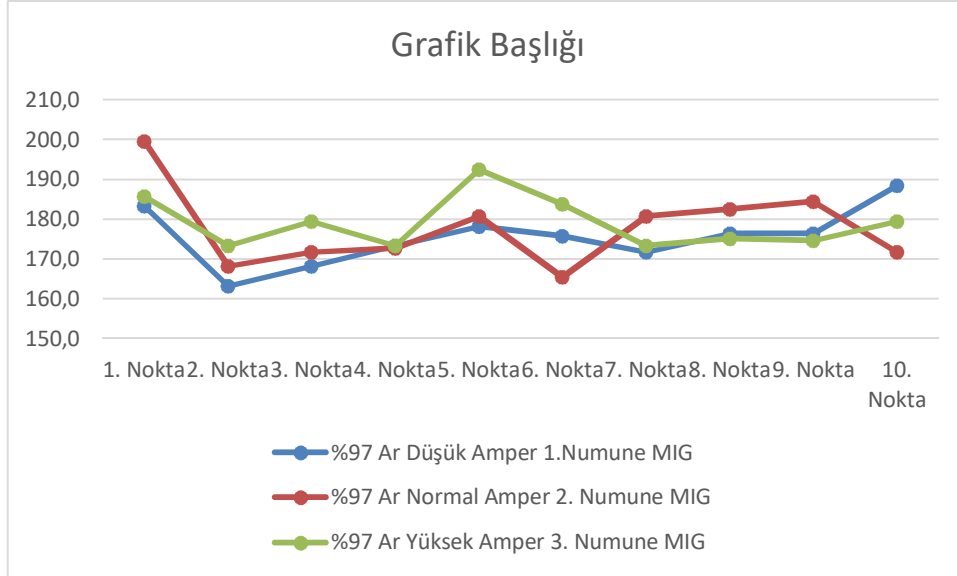
AISI 316L östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynak yönteminde koruyucu gaz olarak Karışım 212 gazı kullanılması ile kaynatılmasının ardından 4, 5 ve 6 numaralı numunelere ait olan, 10 farklı noktadan alınan sertlik ölçüm değerlerinin dağılım grafiği Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 5. TIG karışım 212 gazı sertlik deneyi grafiği



AISI 316L östenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynak tekniğinde koruyucu gaz olarak Karışım 212 gazı kullanılması ile kaynatılmasından sonra 7, 8 ve 9 numaralı numunelere ait 10 noktadan alınan sertlik ölçümlerinin dağılım grafiği Şekil 5.6 'da verilmiştir.



Şekil 5. 6. MIG karışım 212 gazı sertlik deneyi grafiği

Bu grafiklerden elde edilen sonuca göre MIG kaynak yöntemi ile yüksek amper kullanılarak kaynaklanan 9 numaralı numunemizde en yüksek sertlik değeri elde edilmiştir.

### 5.3. Kaynaklı Numunelere ait Mikroyapı ve Makroyapı Bulguları

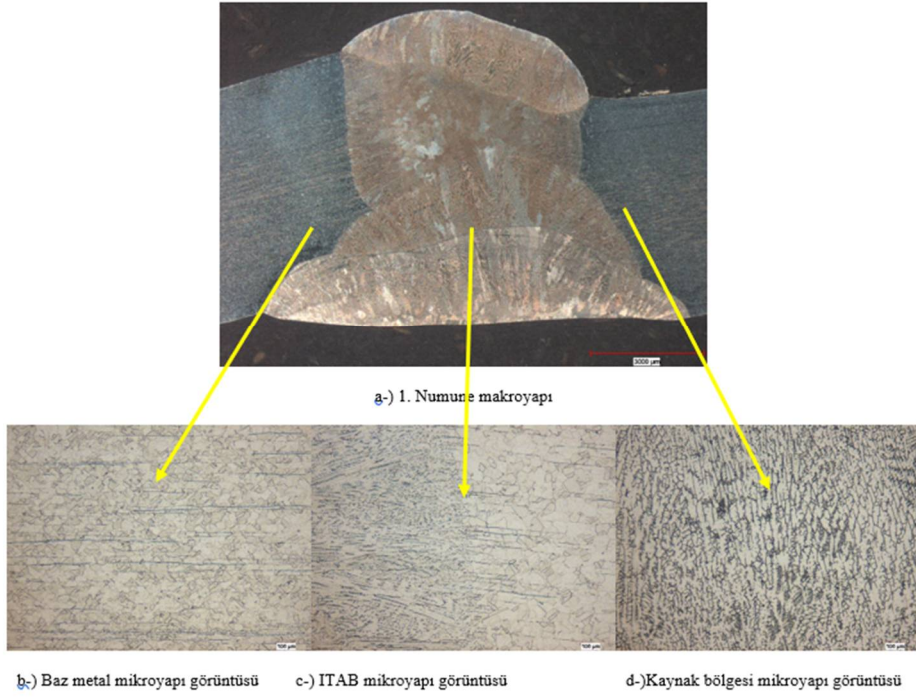
TIG kaynak tekniği ile birleşimi gerçekleştirilen numunelerin makroyapı ve baz metal, ITAB, kaynak alanı mikroyapı fotoğrafları Şekil 5.6-5.14'de gösterilmiştir. Bütün kaynaklı numuneler kaynak işleminin ardından kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır, soğuma morfolojisine uygun şekilde ana metalden kaynak tarafına doğru tane yapılarının farklılık gösterdiği görülmektedir (Çavuşoğlu, 1997).

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin sıvı halden itibaren katılaşma başlayınca, östenit ve  $\delta$ -ferrit taneler oluşmaya başlar. Bu ferrit, östenitin dönengesi sonucunda ortaya çıkan ferritten farklıdır. Katılaşma sonucunda çeliklerin yapısı östenit taneleri arasına yerleşmiş  $\delta$ -ferrit tanelerden oluşur. Bu faz, krom ve ferriti dengesini sağlayan elementler yönünden zengin, nikel ve östeniti dengesini sağlayan elementler yönünden fakirdir. Bu fazın devamlı olarak tane sınırlarında bulunması korozyon direncini azaltmaktadır (Tülbentçi, 1998).

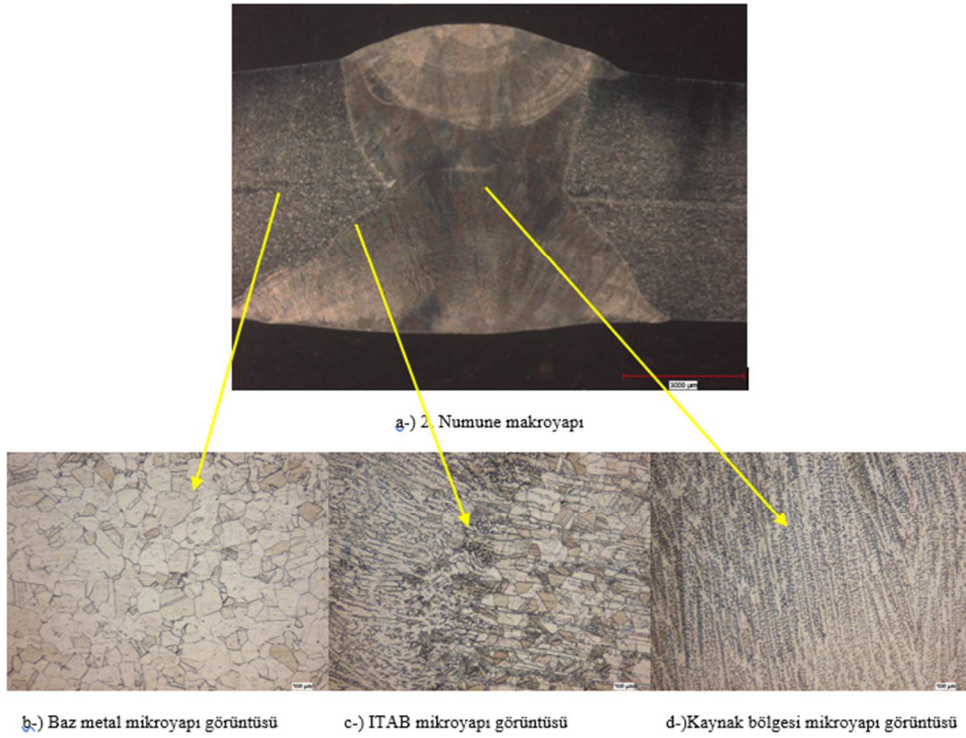
Şekiller incelendiğinde görüleceği üzere kaynak metalinde mevcut olan  $\delta$ -ferrit fazının ince ve dendritik bir şekile sahip olduğu gözlemlenmektedir. Kullanılan kaynak parametrelerdeki farklılıkların kaynak metali içindeki  $\delta$ -ferritin miktarı ve bu fazların yönlendirilmesi gibi çeşitli farklılıkların oluşmalarına neden olduğu düşünülmektedir. Yüksek kaynak amper değeri kullanılarak kaynaklanan plakalarda  $\delta$ -ferritin tanelerinin daha fazlalıkla olduğu ve geçiş bölgesi diye belirtilen alanın diğer plakalara oranla daha geniş olduğu gözlemlenmektedir. Makro ve mikroyapı görüntüleri incelendiğinde ana metalin tane yapılarının bütün numunelerde benzer olduğu gözlemlenmiştir (Aksöz, Ada ve Özer, 2017).

Her bir parametrede kaynaklanan plakalarda kaynak metalinden alınacak mikro spektral analizler,  $\delta$ -ferritin yoğunluğunun belirlenmesinde kolaylaştıracaktır. Ayrıca, kaynak metalinde yapılacak ferroskop ölçümleri  $\delta$ -ferritin yoğunluğunun daha doğru olarak belirlenmesinde büyük kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada optik mikroskop görüntülerinden anlaşılacağı üzere kaynak parametreleri oluşan  $\delta$ -ferritin yapısına, büyüklüğüne ve yoğunluğuna etki ettiği düşünülmektedir. Yüksek kaynak amperi değerinden ve düşük kaynak hızının  $\delta$ -ferritin oranını bir miktar arttırdığı düşünülmektedir.

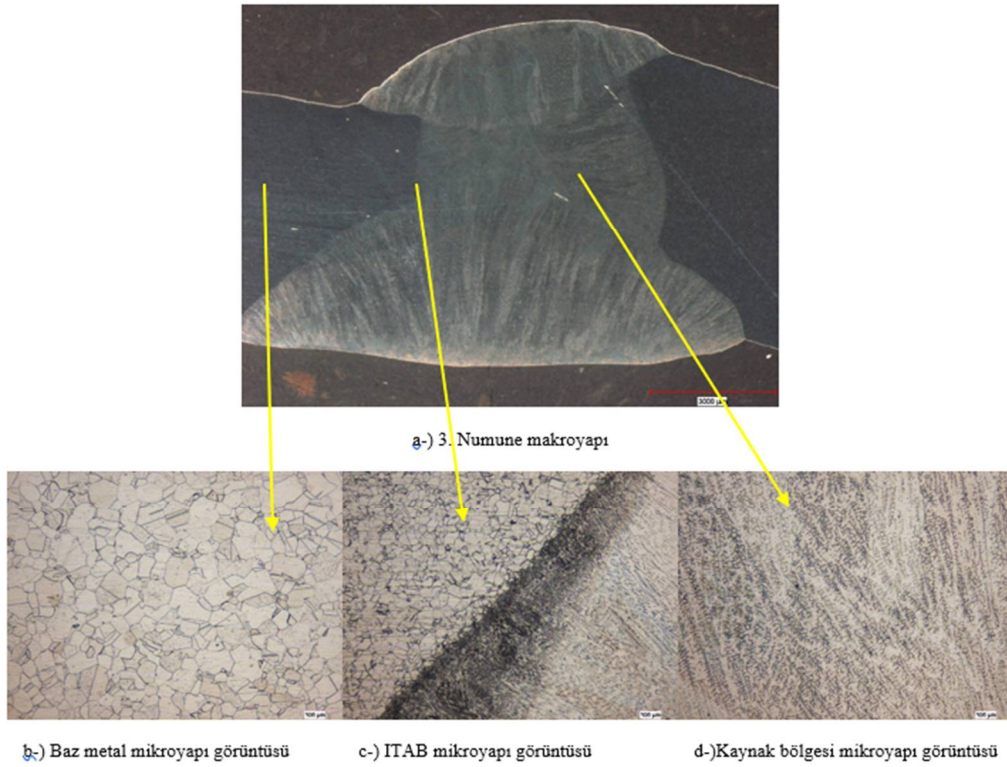
Ayrıca akım şiddetinin artmasına bağlı olarak tanelerin boyutunda değişiklik olduğu gözlemlenmiştir. Akım şiddeti değerinin artmasıyla malzemeye giren sıcaklık değeri artmıştır, sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak metalin daha fazla zamanda soğumasına sebep olduğundan daha iri taneli yapılar oluşmuştur (Shome, 2007).



Şekil 5. 7. 1. numune makro ve mikroyapı görüntüleri (%100 Argon Düşük Amper)

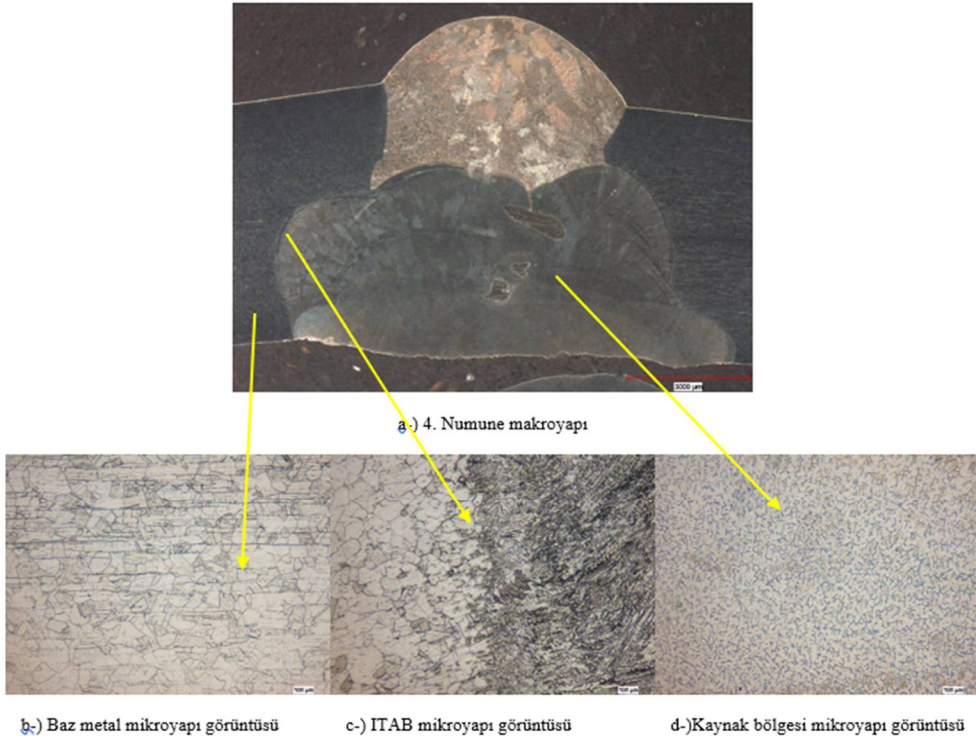


Şekil 5. 8. Numune 2 makro ve mikroyapı görüntüleri (%100 Argon Orta Amper)

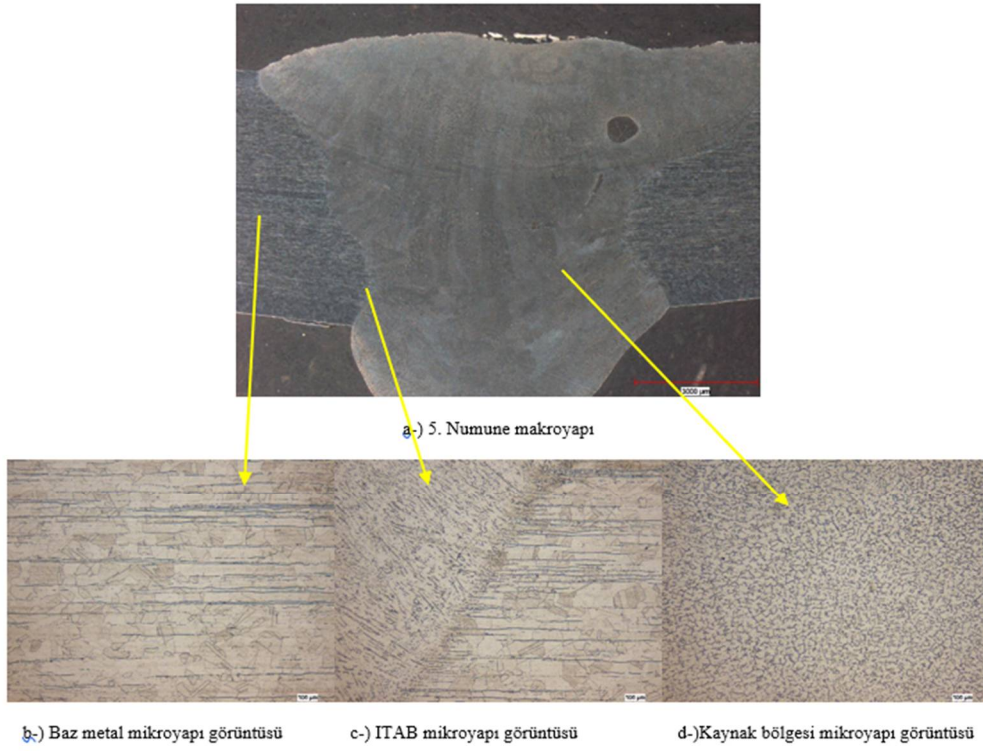


Şekil 5. 9. Numune 3 makro ve mikroyapı görüntüleri (%100 Argon Yüksek Amper)

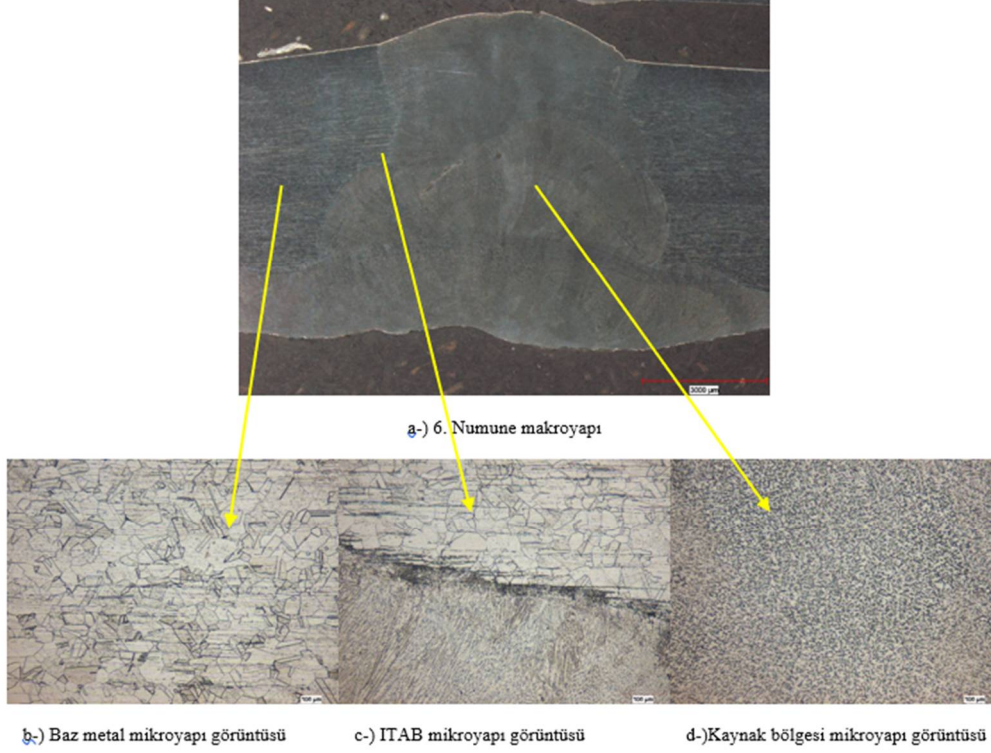
TIG kaynak yöntemi ile %100 Ar koruyucu gazının kullanıldığı kaynak birleşimlerinde Baz (Ana) metal, ITAB ve kaynak metali bölgelerinin makro ve mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Makroyapı görüntülerinden kaynak nüfuziyetinin kaynak genişliğinden ve ITAB bölgesindeki tane yapılarına bakıldığında yeterli olduğu ve uygulanan kaynak amperi arttıkça (Şekil 5.7-a, Şekil 5.9-a) son dolgu pasolarında kaynak genişliğinin giderek arttığı gözlemlenmiştir. Mikroyapılarında ise kaynak amperinin artırılmasına bağlı olarak ITAB-kaynak bölgesi arasındaki tane sınırındaki geçişin; düşük amperle kaynaklanan Şekil 5.7-c’de görüldüğü üzere dendritik tane yapısının oluştuğu ve baz metale benzer yapıda tanelerin rastlandığı, Şekil 5.8-c normal amper değerinde ise dendritik artarak belirginleştiği ve baz metalin ise tane sınırlarının belirginleştiğinin görüldüğü, Şekil 5.9-c yüksek amper değerinde ise geçiş bölgesinin daha da belirginleştiği ve baz metal tane sınırlarında ise çökelmelerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.7, Şekil5.8 ve Şekil 5.9 birlikte değerlendirildiğinde amper değerinin mikroyapı ve makroyapı sonuçlarına etki ettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 10. Numune 4 makro ve mikroyapı görüntüleri (Karışım Düşük Amper)

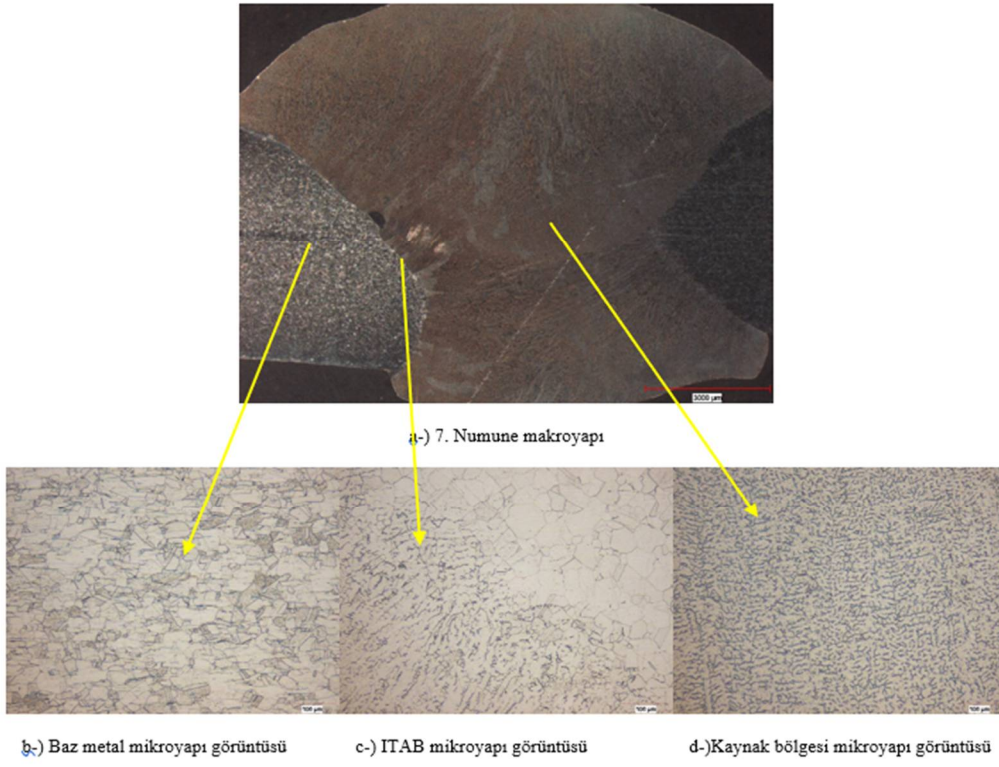


Şekil 5. 11. Numune 5 makro ve mikroyapı görüntüleri (Karışım 212 Orta Amper)

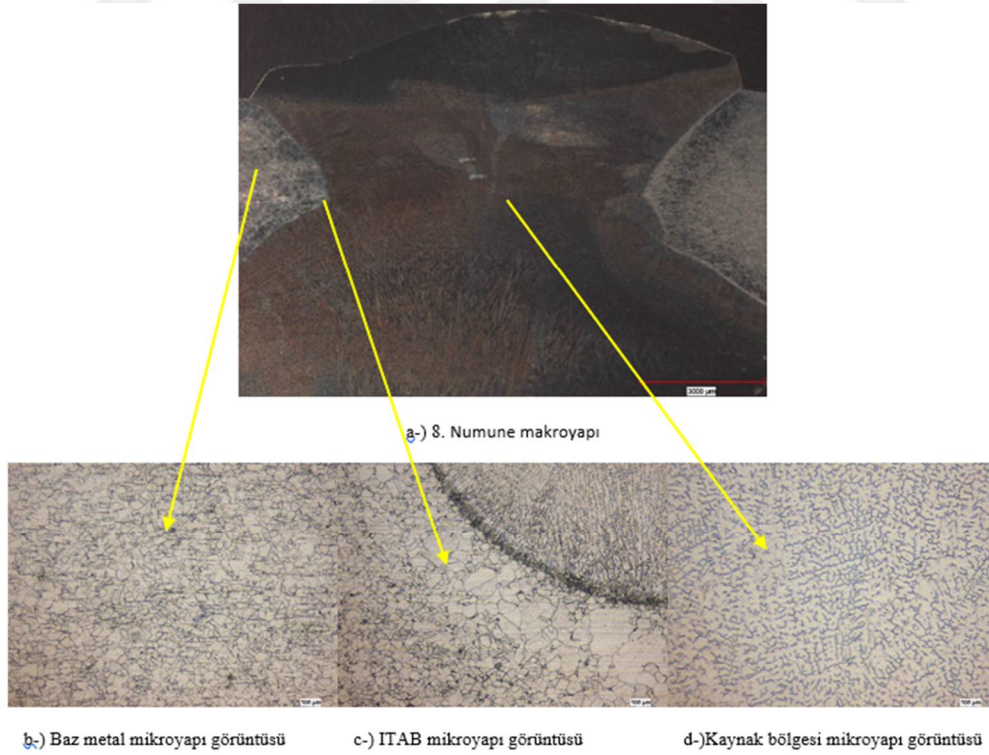


Şekil 5. 12. Numune 6 makro ve mikroyapı görüntüleri (Karışım 212 Yüksek amper)

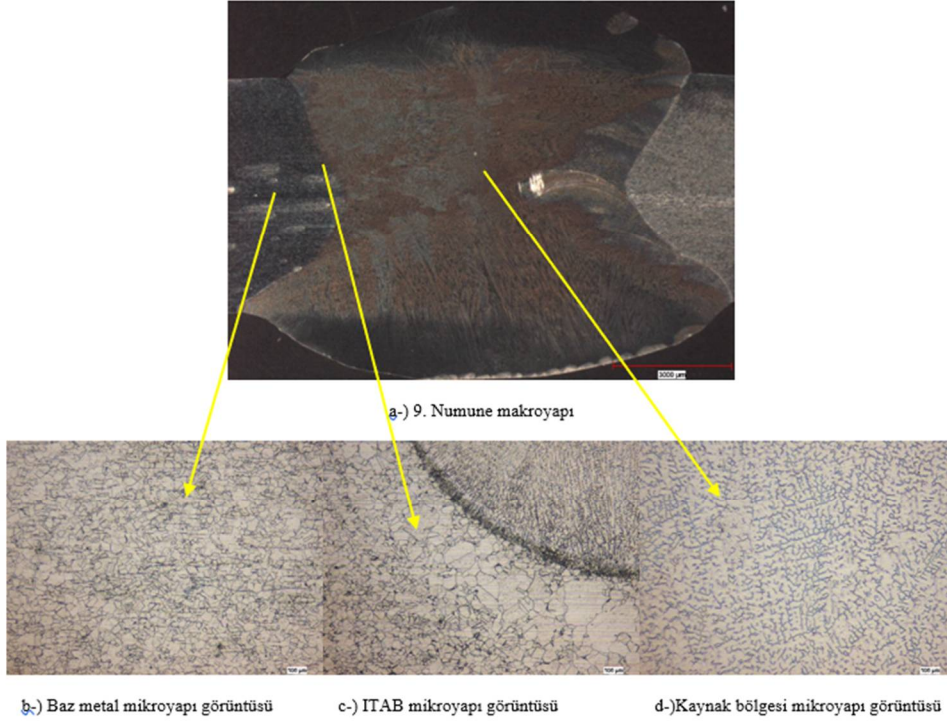
TIG kaynak yöntemi ile Karışım 212 (%84 Ar, %12 CO<sub>2</sub> ve %4 O<sub>2</sub>) koruyucu gazının kullanıldığı kaynak birleşimlerinde Baz (Ana) metal, ITAB ve kaynak metali bölgelerinin makro ve mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Makroyapı görüntülerinden kaynak nüfuziyetinin kaynak genişliğinden ve ITAB bölgesindeki tane yapılarına bakıldığında yeterli olduğu ve uygulanan kaynak amperi arttıkça (Şekil 5.10-a, Şekil 5.12-a) son dolgu pasolarında kaynak genişliğinin giderek arttığı gözlemlenmiştir, ayrıca karışım gazındaki CO<sub>2</sub> gazının ısı iletkenliği iyi olması sebebiyle ısı girdisini artırdığı buna bağlı olarak son paso kaynak genişliğinin Şekil 5.7-a, Şekil 5.8-a, ve Şekil 5.9-a'da ki %100 Ar koruyucu gazına göre daha da arttığı gözlemlenmiştir. Mikroyapılarında ise kaynak amperinin artırılmasına bağlı olarak ITAB-kaynak bölgesi arasındaki tane sınırındaki geçişin %100 Ar(Şekil 5.7-c, 5.8-c ve Şekil 5.9-c) koruyucu gaz kullanılmasına göre karışım 212 gazı kullanılan Şekil 5.10-c, 5.11-c ve Şekil 5.12-c ile benzerlik gösterdiği ancak geçiş bölgesindeki çökelmenin daha da fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca artan amper değeri ile birlikte Şekil 5.10-c ITAB bölgesindeki tane yapısına göre Şekil 5.12-c'de tane yapısında irileşme meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 5. 13. Numune 7 makro ve mikroyapı görüntüleri (%97 Ar MIG Düşük Amper)



Şekil 5. 14. Numune 8 makro ve mikroyapı görüntüleri (%97 Ar MIG Orta Amper)



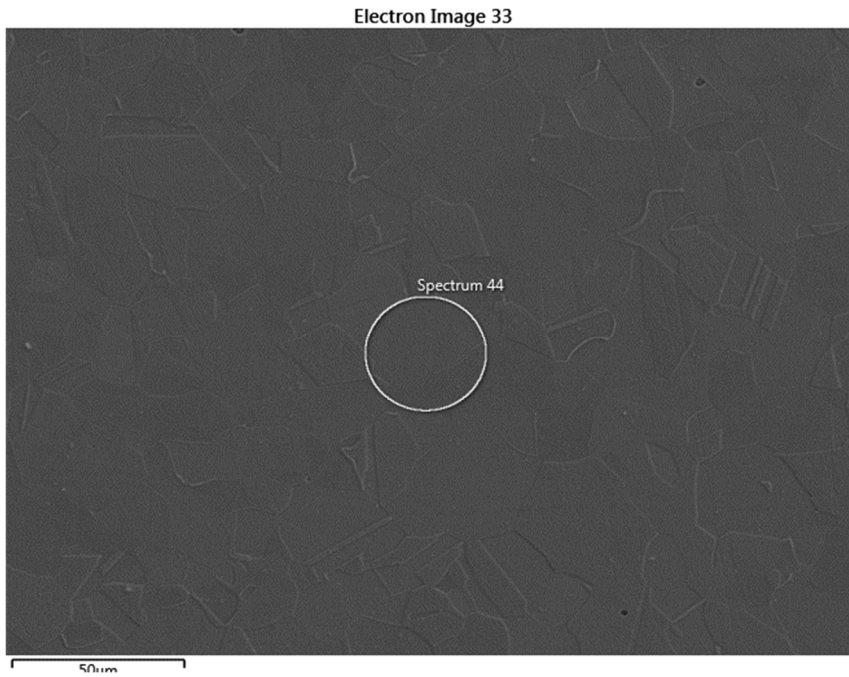
Şekil 5. 15. Numune 9 makro ve mikroyapı görüntüleri (%97 Ar MIG Yüksek Amper)

MIG kaynak yöntemi ile %97 Ar (%97,5 Ar + %2,5 CO<sub>2</sub>) koruyucu gazının kullanıldığı kaynak birleşimlerinde Baz (Ana) metal, ITAB ve kaynak metali bölgelerinin makro ve mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Elde edilen görüntüler TIG kaynak yöntemi ve %100 Ar koruyucu gazının kullanılması (Şekil5.7, Şekil5.8 ve Şekil 5.9) ile MIG kaynak yöntemi ile kaynaklanan (Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15) karşılaştırıldığında benzer şekilde uygulanan kaynak amperi arttığında ITAB bölgesindeki geçişin Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'a göre daha da belirginleştiği çökelmelerin arttığı ve dendritik yapının da belirginleştiği görülmüştür. Ayrıca ITAB bölgesindeki tanelerin boyutları TIG kaynak yöntemine göre MIG kaynak yönteminde en iri seviyeye ulaştığı görülmüştür. Bununla birlikte TIG kaynak yöntemi ile kaynaklanan numunelerde görülen dendritik yapı MIG kaynak yönteminde daha az görülmüş ve kaynak metalinde daha homojen yapılar meydana gelmiştir. Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 birlikte değerlendirildiğinde amper değerinin mikroyapı ve makroyapı sonuçlarına etki ettiği gözlemlenmiştir.



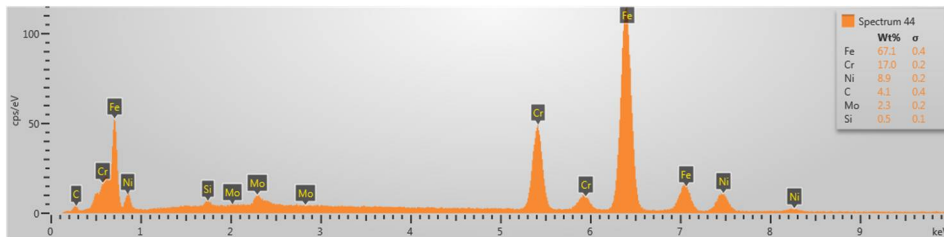
#### 5.4. SEM EDS İncelemeleri

Kaynakta oluşan ısıl etkinin ve ilave metalin kaynaklı malzemedeki kimyasal kompozisyonunda oluşturduğu etkiyi görmek amacı ile ana malzeme, ITAB ve kaynak metalinden EDS analizleri alınmıştır. Analizler ve görüntüler Şekil 5.16 da SEM görüntüsü Şekil 5.17’de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 16. Numune 1 kaynaklanan metalin SEM görüntüsü

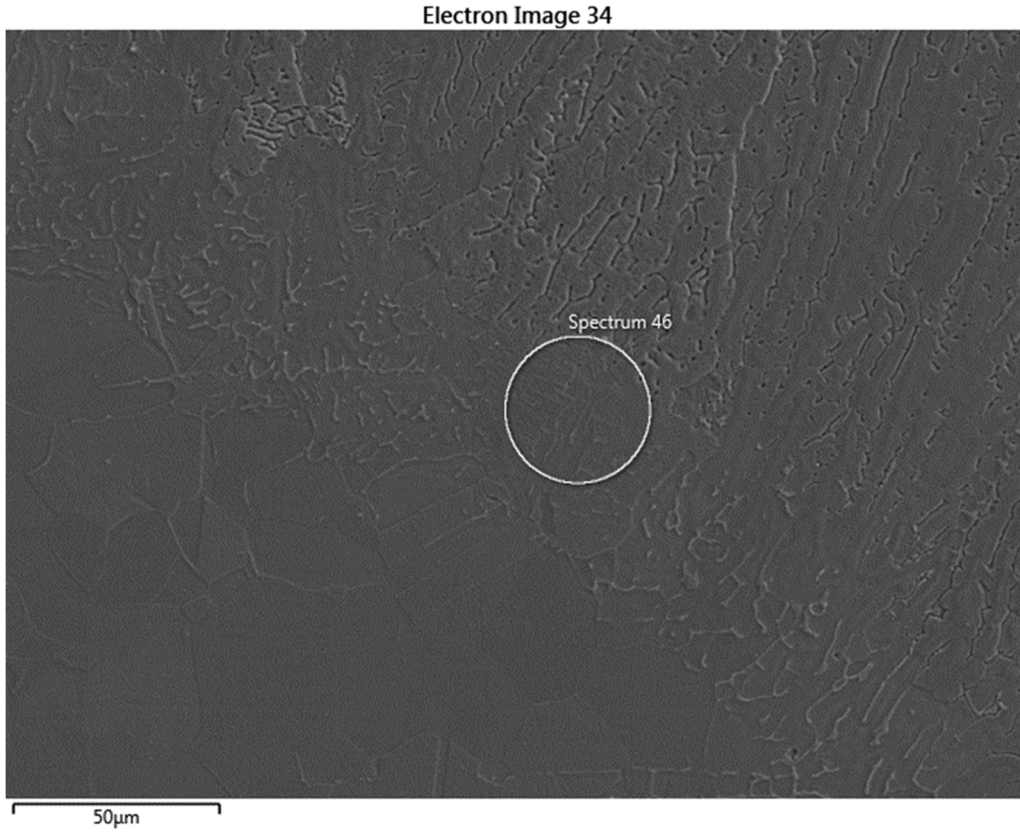
Numune 1’e ait Şekil 5.16’da ki kaynaklanan metalin SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan bu numunede kaynaklanan malzeme bölgesinde tane boyutlarının büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 5. 17. Numune 1 kaynaklanan metalin EDS analizi

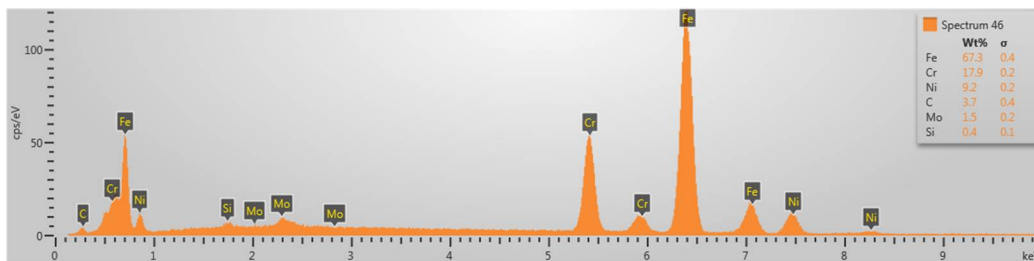
Numune 1’e ait Şekil 5.17’de ki kaynaklanan metalin EDS analizine bakıldığında Ni oranı sınır değerinin altında olduğu görülmüştür. C oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Analizler ve görüntüler Şekil 5.18 de SEM görüntüsü Şekil 5.19’da ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 18. Numune 1 ITAB SEM görüntüsü

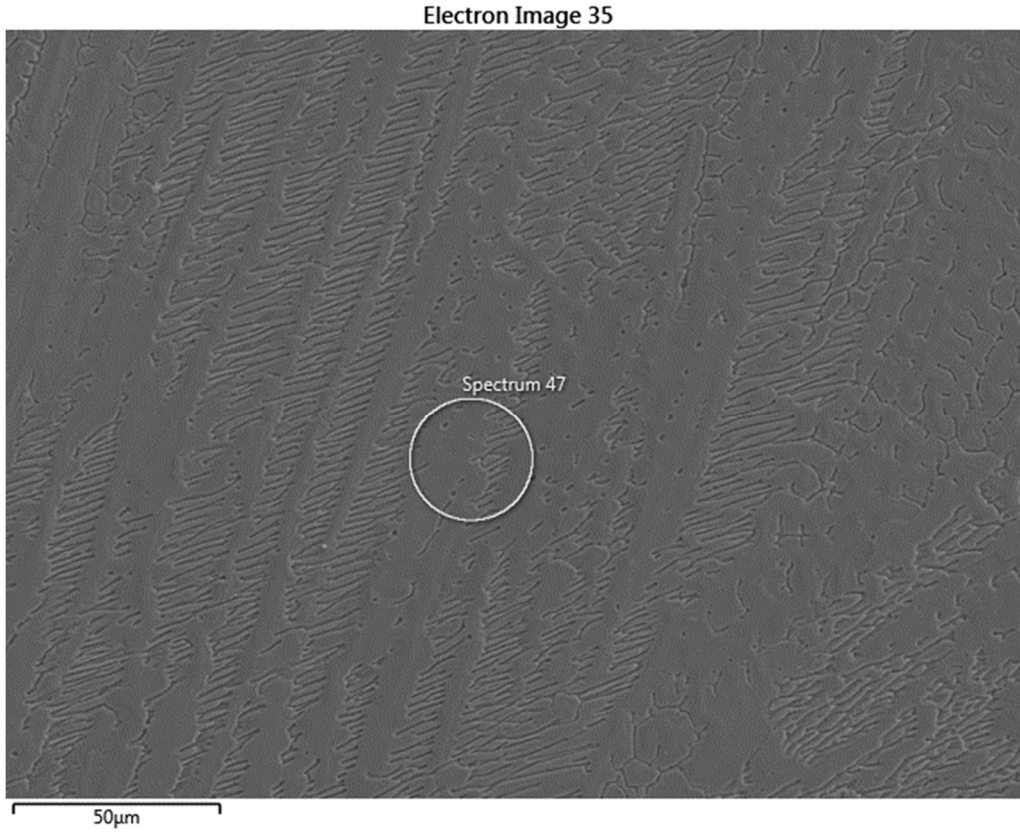
Numune 1’e ait Şekil 5.18’de ki ITAB SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan bu numunede (Şekil 5.18) ITAB’da tane sınırının belirgin olduğu ve dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 19. Numune 1 ITAB EDS analizi

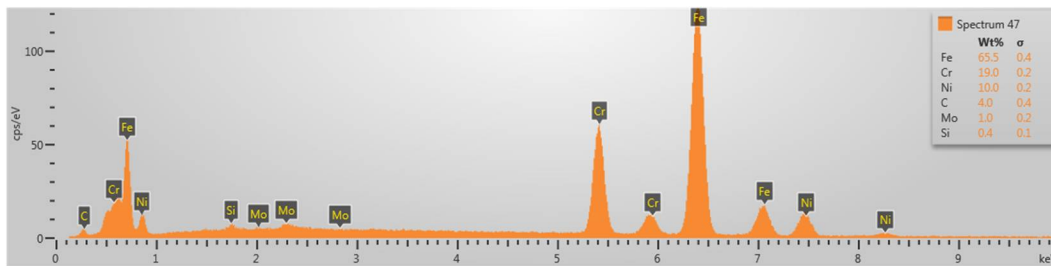
Numune 1’e ait Şekil 5.19’da ki ITAB EDS analizine bakıldığında ITAB’da C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.20 de SEM görüntüsü Şekil 5.21’de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 20. Numune 1 kaynak bölgesi SEM görüntüsü

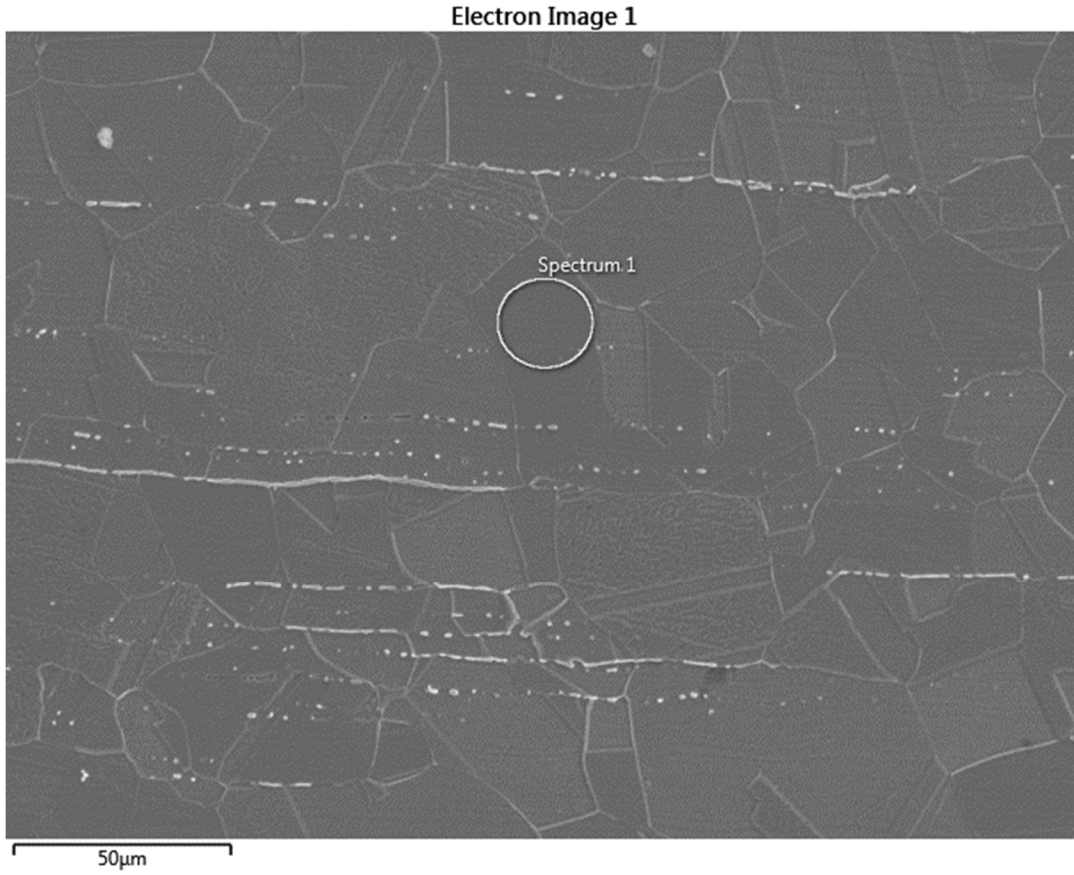
Numune 1’e ait Şekil 5.20’de ki kaynak bölgesi SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan bu numunede (Şekil 5.20) dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 21. Numune 1 kaynak bölgesi EDS analizi

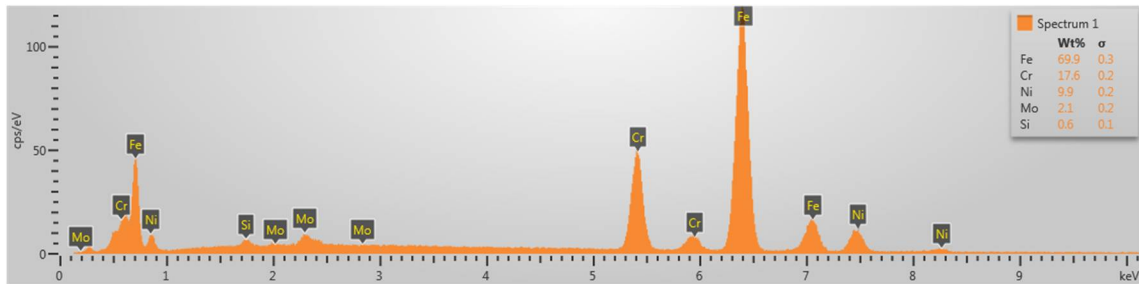
Numune 1’e ait Şekil 5.21’de ki kaynaklanan metalin kaynak bölgesindeki EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca yine Şekil 5.21 Cr oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ni oranının kaynak bölgesine doğru arttığı görülmektedir.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.22 de SEM görüntüsü Şekil 5.23’de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 22. Numune 2 kaynaklanan metalin SEM görüntüsü

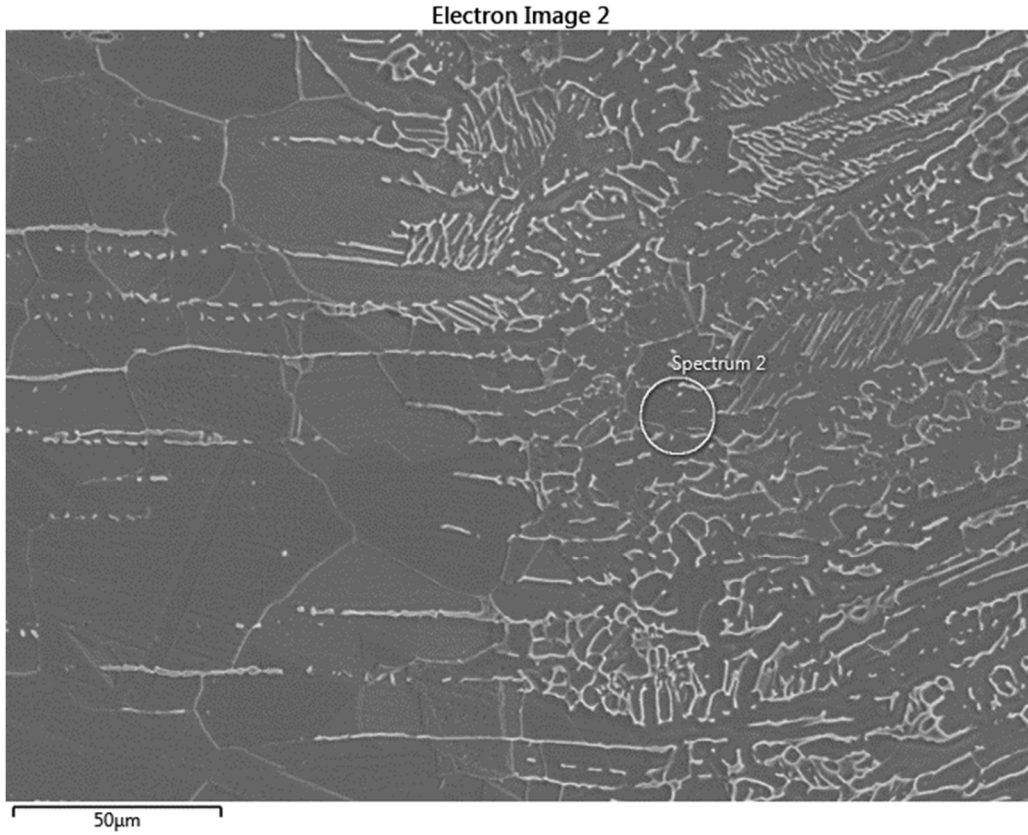
Numune 2’ye ait Şekil 5.22’de ki kaynaklanan metalin SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Orta amper değeri ile kaynaklanan bu numunede tane boyutları baz metale yakın seviyede olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 23. Numune 2 kaynaklanan metal EDS analizi

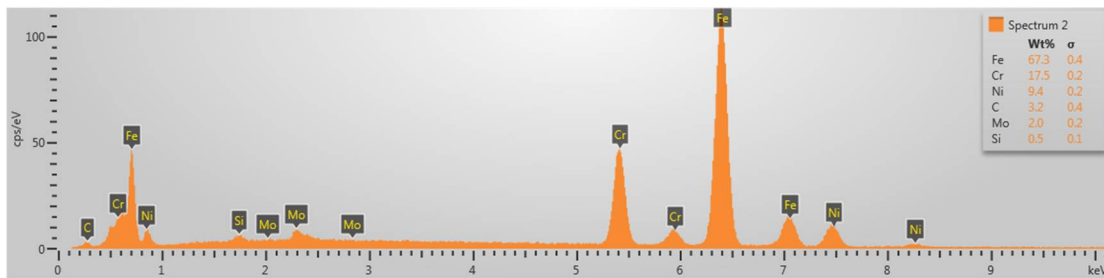
Numune 2’ye ait Şekil 5.23’de ki kaynaklanan metalin EDS analizine bakıldığında Si oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.24’de SEM görüntüsü Şekil 5.25’de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 24. Numune 2 ITAB SEM görüntüsü

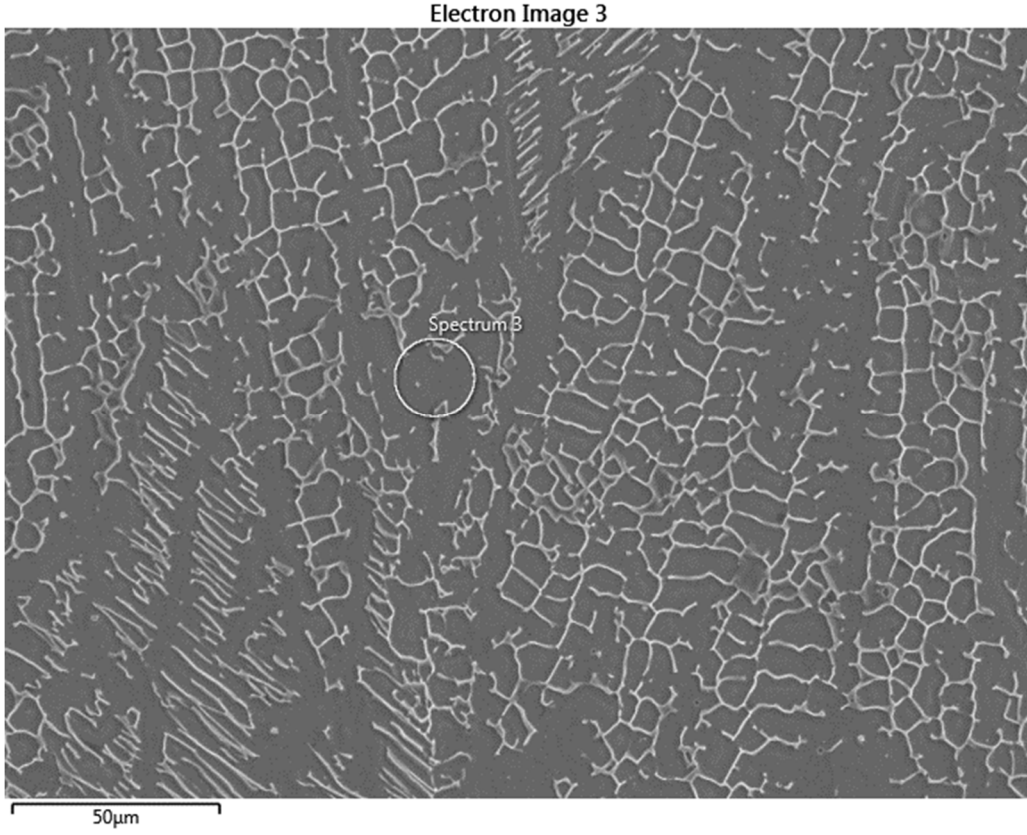
Numune 2’ye ait Şekil 5.24’de ki ITAB SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Orta amper değeri ile kaynaklanan bu numunede ITAB’da tane sınırının belirgin olduğu ve dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 25. Numune 2 ITAB EDS analizi

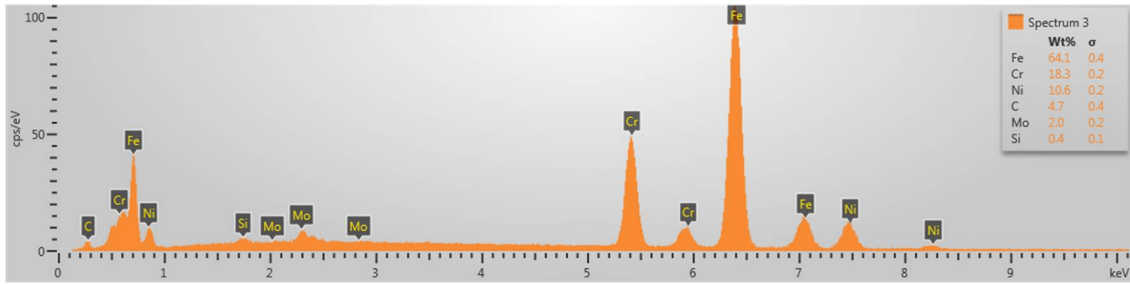
Numune 2’ye ait Şekil 5.25’de ki kaynaklanan metal EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.26'da SEM görüntüsü Şekil 5.27'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 26. Numune 2 kaynak bölgesi SEM görüntüsü

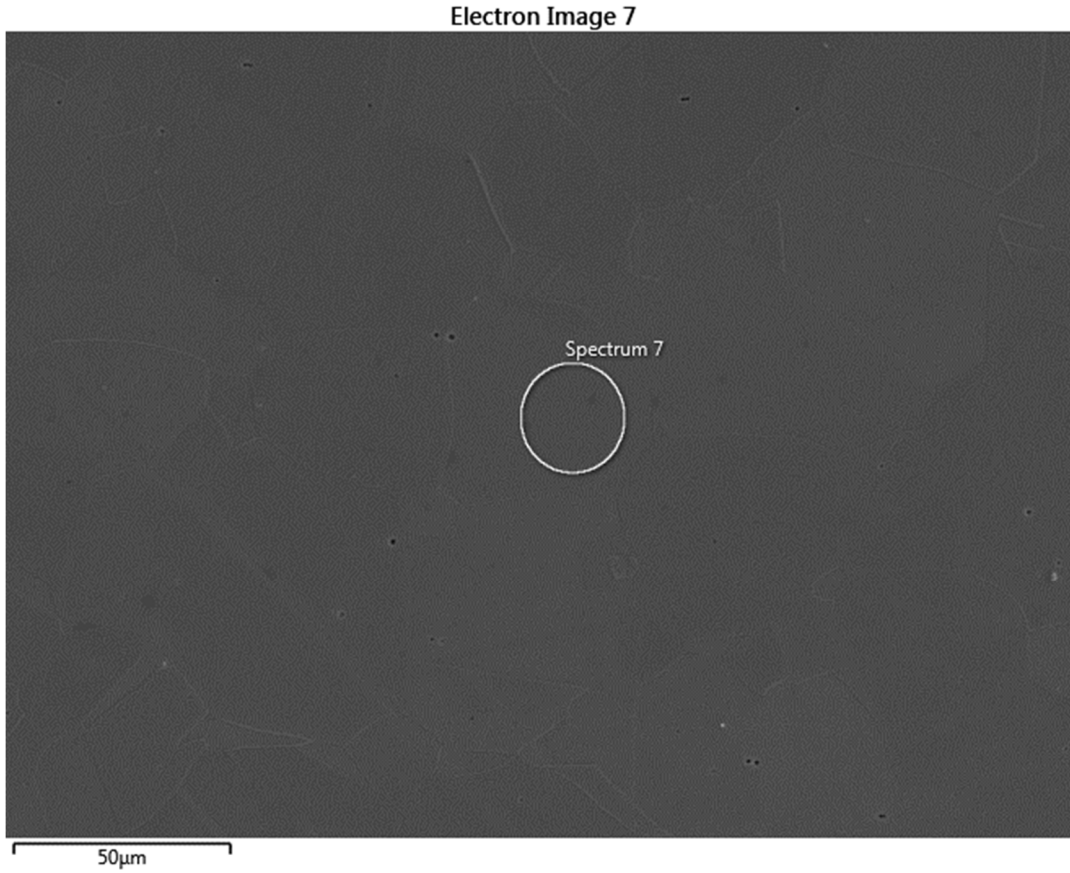
Numune 2'ye ait Şekil 5.26'da ki kaynak bölgesinin SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Orta amper değeri ile kaynaklanan bu numunede dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 27. Numune 2 kaynak bölgesi EDS analizi

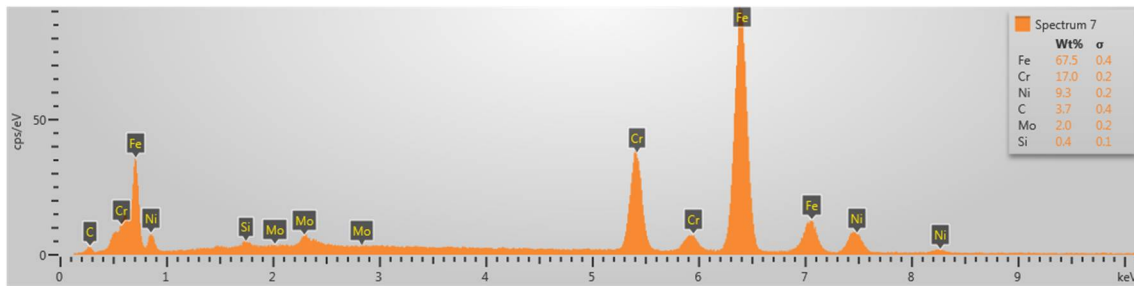
Numune 2'ye ait Şekil 5.27'de ki kaynak bölgesi EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ni oranının kaynak bölgesine doğru arttığı ve sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.28’de SEM görüntüsü Şekil 5.29’de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 28. Numune 3 kaynaklanan metal SEM görüntüsü

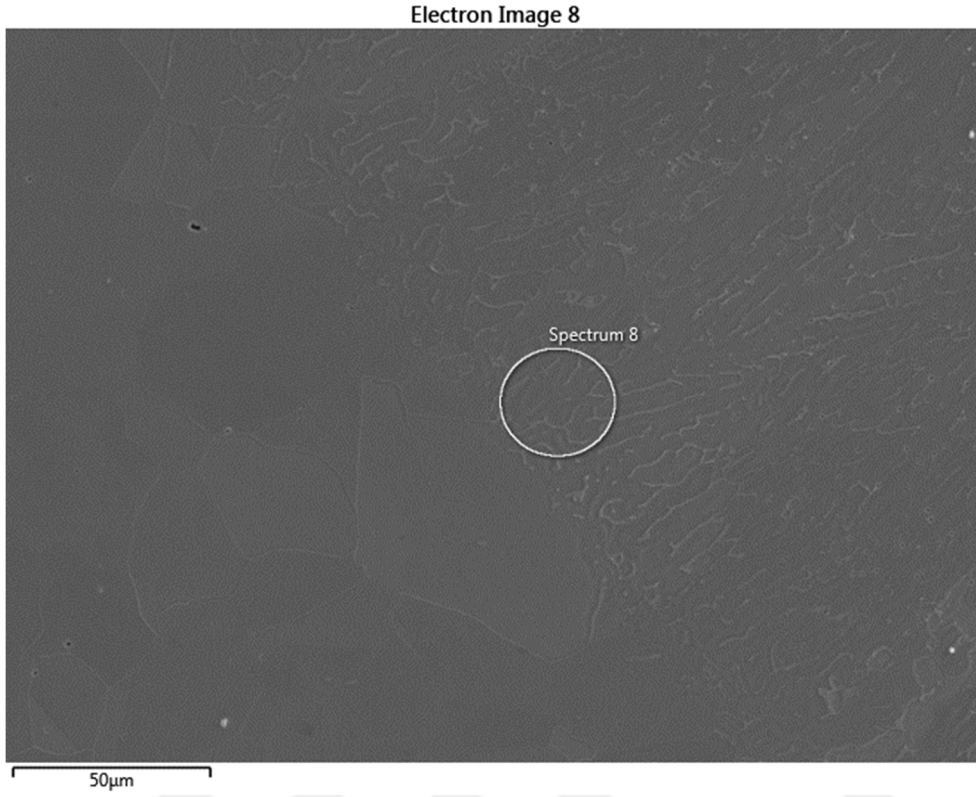
Numune 3’e ait Şekil 5.28’de ki kaynaklanan metal SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan bu numunedeki ana metal bölgesinde tane boyutları baz metalle benzeşen boyutta olduğu görülmüştür.



Şekil 5. 29. Numune 3 kaynaklanan metal EDS analizi

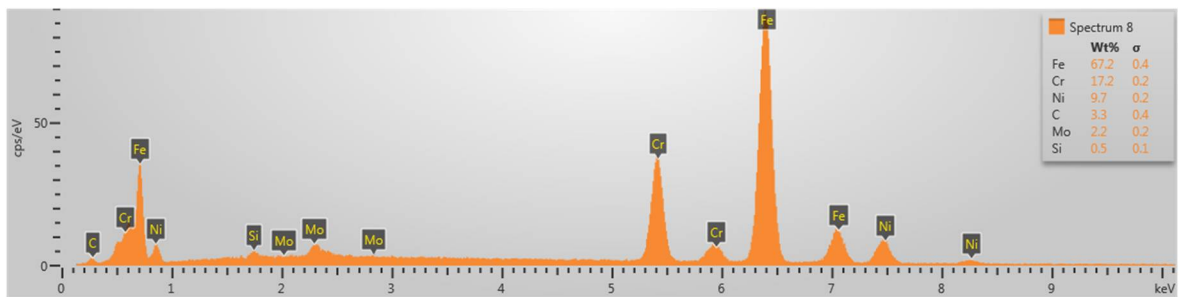
Numune 3’e ait Şekil 5.29’de kaynaklanan metal EDS analizine bakıldığında Cr ve Ni oranlarının sınır değerler içerisinde olduğu ancak, C oranının sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.30'da SEM görüntüsü Şekil 5.31'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 30. Numune 3 ITAB SEM görüntüsü

Numune 3'e ait Şekil 5.30'a ait ITAB SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Yüksek amper değeri ile kaynaklanan bu numunede ITAB'da tane sınırının belirgin olduğu ve dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 31. Numune 3 ITAB EDS analizi

Numune 3'e ait Şekil 5.31'e ait Kaynaklanan metal EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

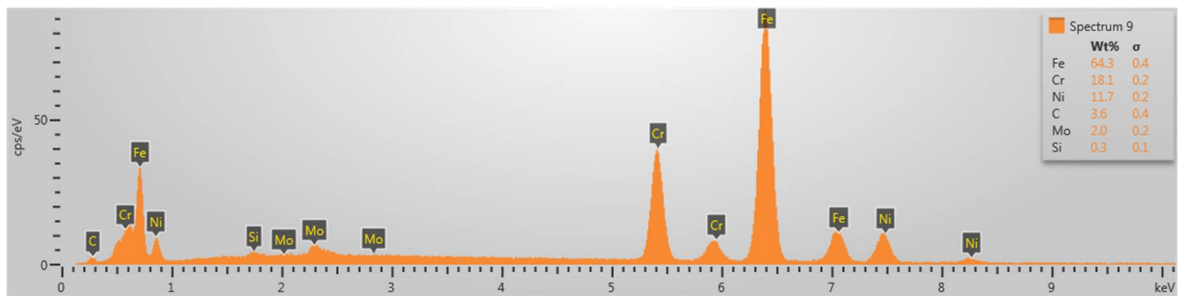


Görüntüler ve analizler Şekil 5.32’de SEM görüntüsü Şekil 5.33’de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 32. Numune 3 kaynak bölgesi SEM görüntüsü

Numune 3’e ait Şekil 5.32’de kaynak bölgesi SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Yüksek amper değeri ile kaynaklanan bu numunede dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir



Şekil 5. 33. Numune 3 kaynak bölgesi EDS analizi

Numune 3’e ait Şekil 5.33’de SEM görüntüleri incelendiğinde, SEM görüntülerinin mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan

Numune 1 ana metale yakın bölgede tane boyutlarının (Şekil 5.16)'da görüldüğü üzere daha büyük olduğu, ITAB'da (Şekil 5.18) ise tane sınırında geçişin görüldüğü geçişin mikroyapıda ki görüntüye benzer olduğu gözlemlenmiş ve dendritik tane yapısının kaynak metaline doğru ilerlediği gözlemlenmiştir. Orta amper değeri ile kaynaklanan numunede ise tane boyutlarının arttığı ve tane sınırlarında çökelmeler meydana geldi ve dendritik yapının ITAB bölgesine yayıldığı gözlemlenmiştir. 3 numaralı yüksek amper değeri ile kaynaklanan numunede tanelerin aşırı büyüme eğiliminde olduğu, tane sınırlarından inklüzyon meydana geldiği görülmüştür.

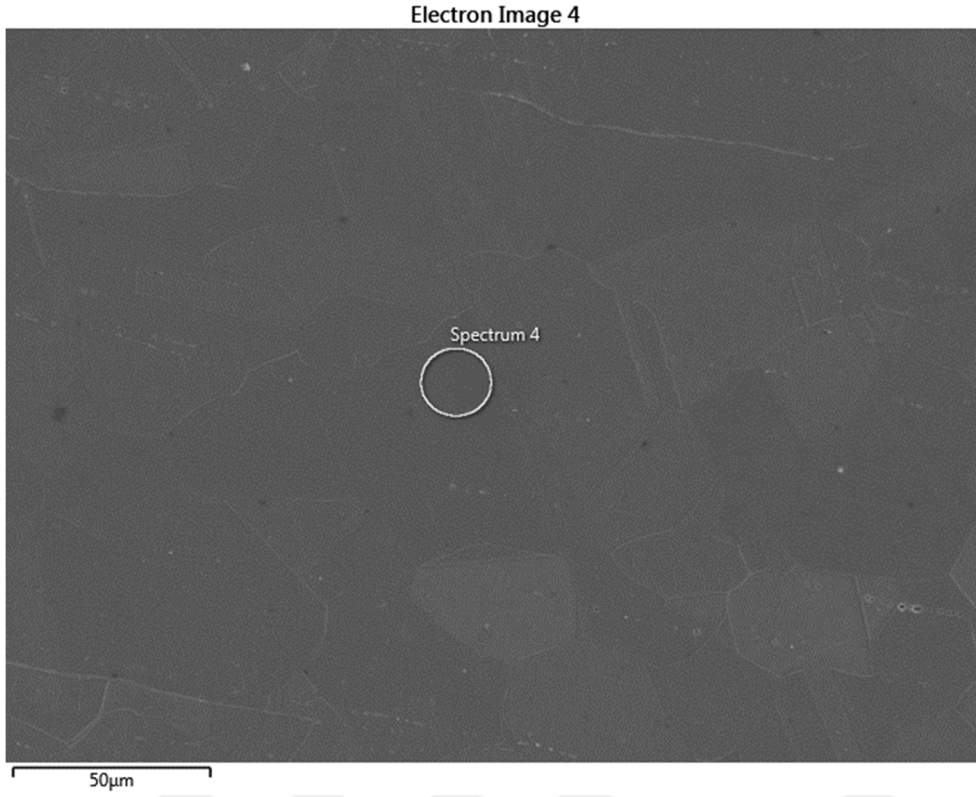
Ek olarak, bu üç kaynaklı bağlantının da kaynak dikişinde (ergime bölgesinde) döküm yapısını andıran ince taneli dendritik bir yapı oluşmuştur. Kaynaklı östenitik paslanmaz çelik bağlantıların ergime alanında ince taneli dendritik içyapı meydana getirmesi oldukça yaygındır Lippold, Kotecki (2005). Sonunda Mukherjee ve Pal (2017), 4 mm kalınlıkta sıcak haddelenmiş düşük nikel içerikli östenitik paslanmaz çeliklerde üç değişik östenitik paslanmaz çelik dolgu teli (304L, 308L ve 316L) kullanılması ile yapılan gaz metal ark kaynaklı bağlantıların ergime bölgelerinde de ince taneli dendritik bir içyapı oluştuğunu saptamışlardır. Mukherjee ve Pal (2017) Ayrıca, 316L östenitik ilave tel ile gaz tungsten ark kaynaklı 4 mm kalınlığındaki 316L östenitik paslanmaz çelik levhaların ergime bölgesinde dendritik yapı varlığı görülmüştür (Durgutlu, 2004).

Çizelge 5. 2. TIG %100 Argon EDS Çizelge

Bölge	Numune No	Fe	Cr	Ni	C	Mo	Si
Ana Malzeme	1	67,1	17	8,9	4,1	2,3	0,5
	2	69,9	17,6	9,9	-	2,1	0,6
	3	67,5	17	9,3	3,7	2	0,4
ITAB	1	67,3	17,9	9,2	3,7	1,5	0,4
	2	67,3	17,5	9,4	3,2	2	0,5
	3	67,2	17,2	9,7	3,3	2,2	0,5
KAYNAK BÖLGESİ	1	65,5	19	10	4	1	0,4
	2	64,1	18,3	10,6	4,7	2	0,4
	3	64,3	18,1	11,7	3,6	2	0,3

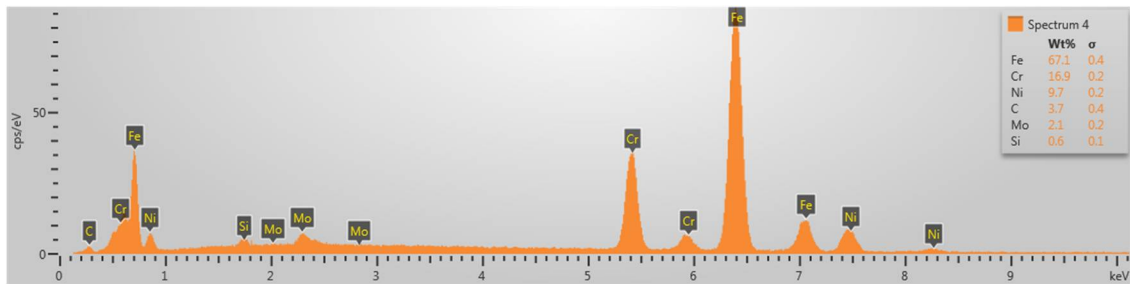
Ana metal sonuçları spektral analiz sonuçları ile paralellik göstermiştir. Numune 1, numune 2 ve numune 3'ün ITAB bölgesinde ana malzeme bölgesine göre Çizelge 5.2'de Cr, Ni oranı daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Kaynak bölgesinde ana malzeme bölgesine göre Cr, Ni oranı daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.34'de SEM görüntüsü Şekil 5.35'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 34. Numune 4 kaynaklanan metal SEM görüntüsü

Numune 4'e ait Şekil 5.34'de ki kaynaklanan metal SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan bu numunede ana metal bölgesinde tane boyutlarının büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 5. 35. Numune 4 kaynaklanan metal EDS analizi

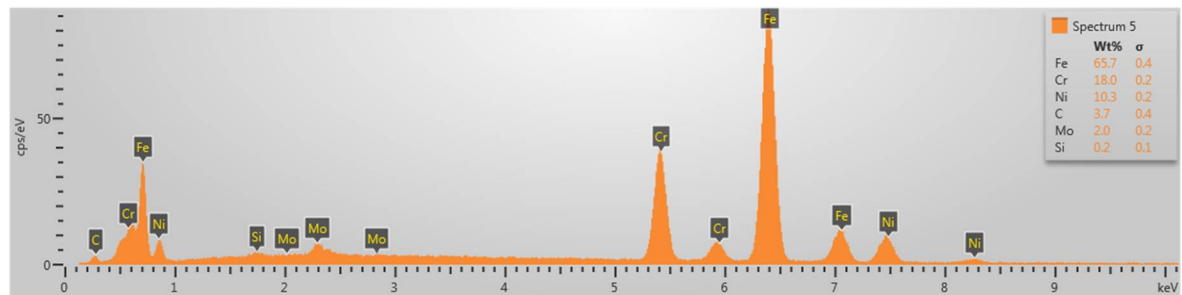
Numune 4'e ait Şekil 5.35'de ki kaynaklanan metal EDS analizine bakıldığında Cr oranı sınır değeri içerisinde yer aldığı, ancak C oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.36'da SEM görüntüsü Şekil 5.37'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 36. Numune 4 ITAB SEM görüntüsü

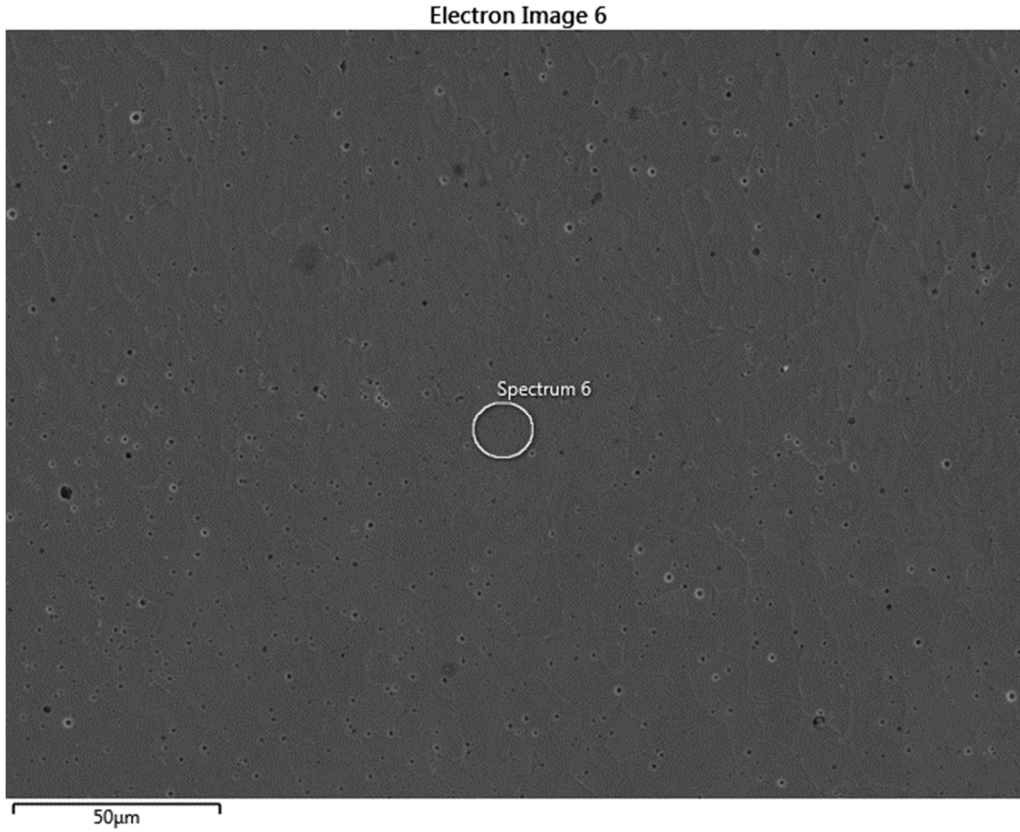
Numune 4'e ait Şekil 5.36'da ki ITAB SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan bu numunede ITAB'da tane sınırının belirgin olduğu ve dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 37. Numune 4 ITAB EDS analizi

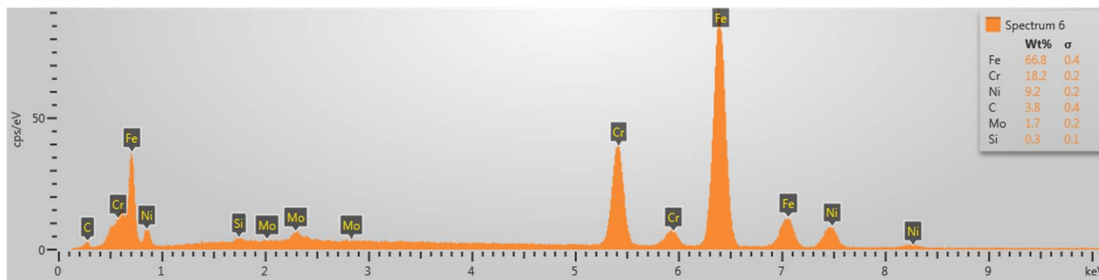
Numune 4'e ait Şekil 5.37'de ki ITAB EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.38’de SEM görüntüsü Şekil 5.39’da ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 38. Numune 4 kaynak bölgesi SEM görüntüsü

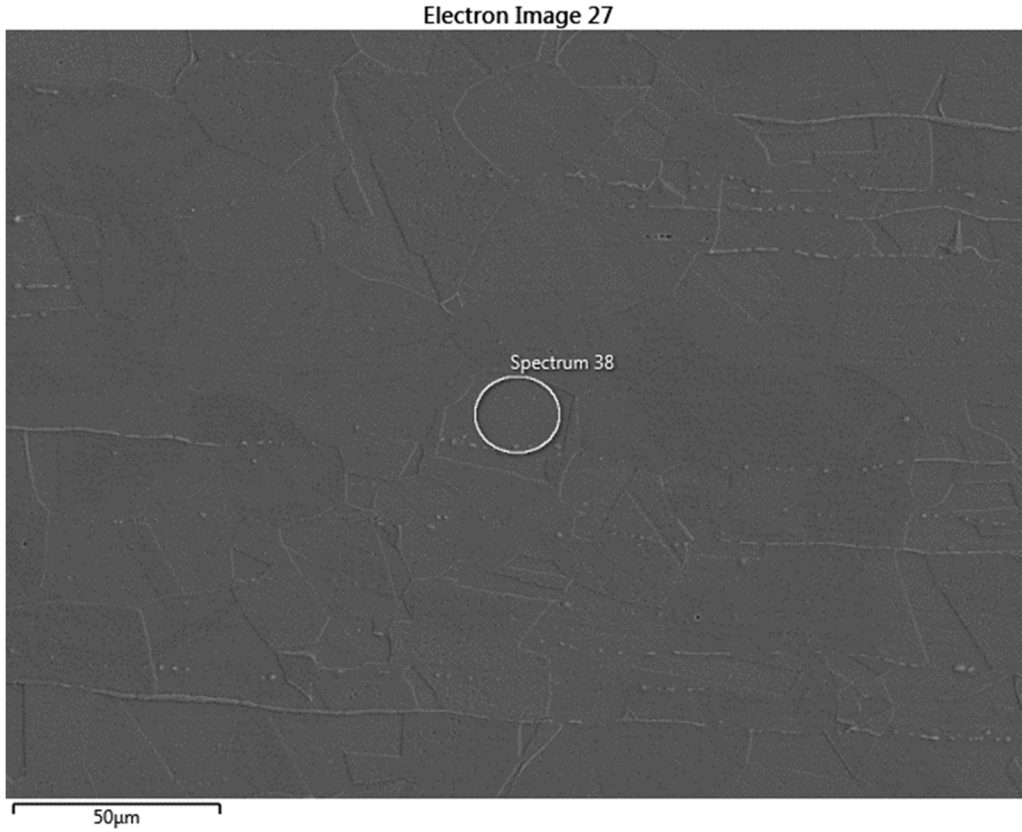
Numune 4’e ait Şekil 5.38’de ki kaynak bölgesi SEM görüntüsü, Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan bu numunede dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 39. Numune 4 kaynak bölgesi EDS analizi

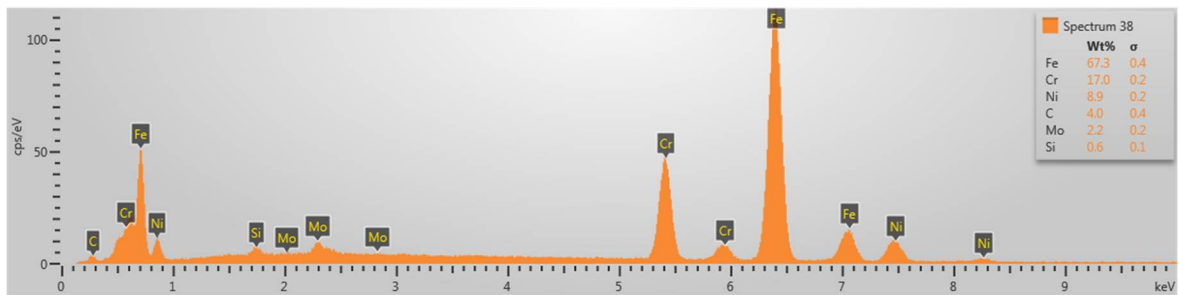
Numune 4’e ait Şekil 5.39’da ki kaynak bölgesi EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ni oranının kaynak bölgesine doğru arttığı ve sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.40'da SEM görüntüsü Şekil 5.41'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 40. Numune 5 kaynaklanan metal SEM görüntüsü

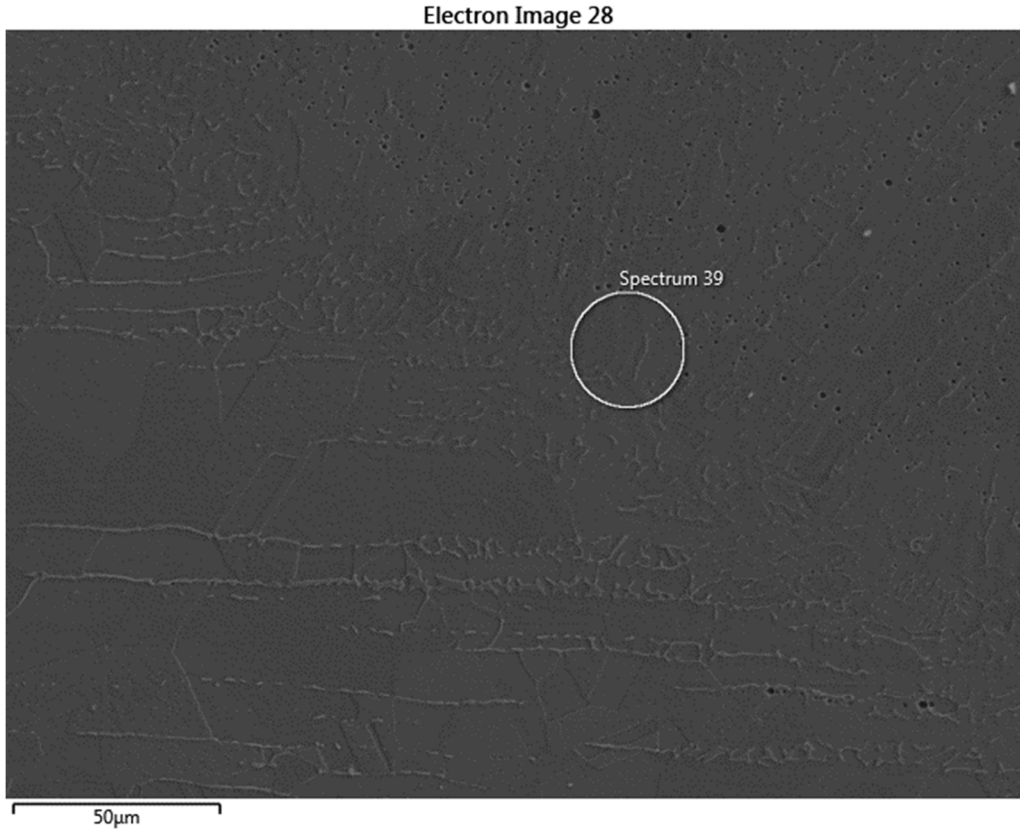
Numune 5'e ait Şekil 5.40'da ki kaynaklanan metal SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Orta amper değeri ile kaynaklanan bu numunede ana metal bölgesinde tane boyutlarının büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 5. 41. Numune 5 kaynaklanan metal EDS analizi

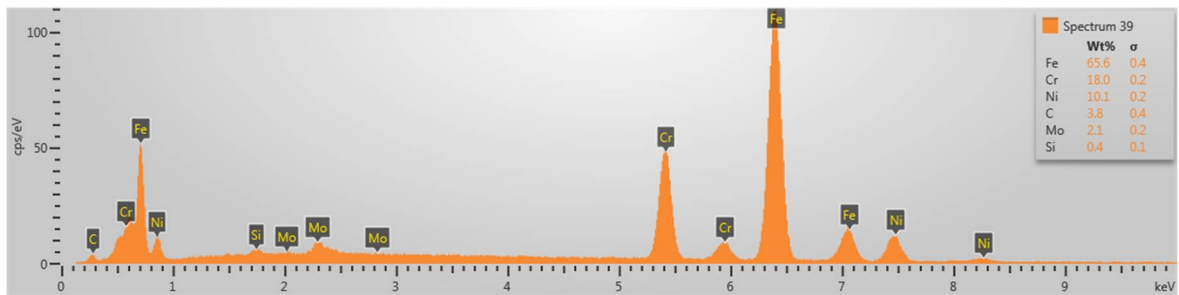
Numune 5'e ait Şekil 5.41'de kaynaklanan metal EDS analizine bakıldığında Cr oranı sınır değeri içerisinde yer aldığı, ancak C oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.42’de SEM görüntüsü Şekil 5.43’de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 42. Numune 5 ITAB SEM görüntüsü

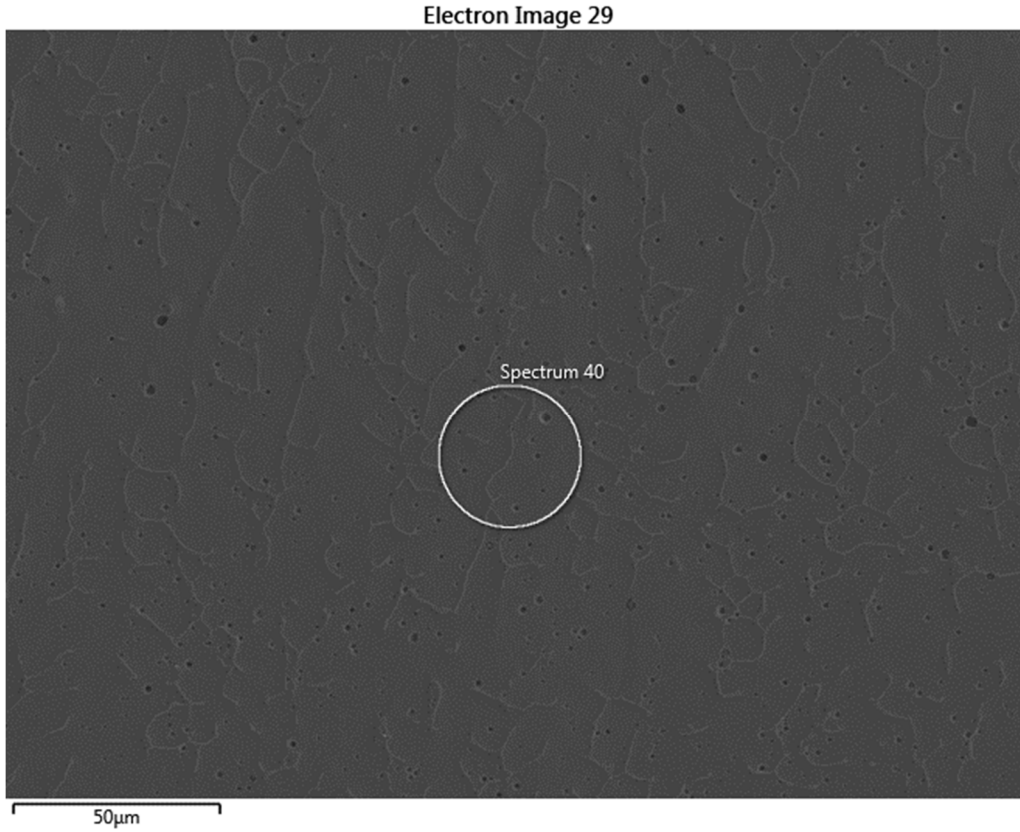
Numune 5’e ait Şekil 5.42’de ki ITAB SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Orta amper değeri ile kaynaklanan bu numunede ITAB’da tane sınırının belirgin olduğu ve dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 43. Numune 5 ITAB EDS analizi

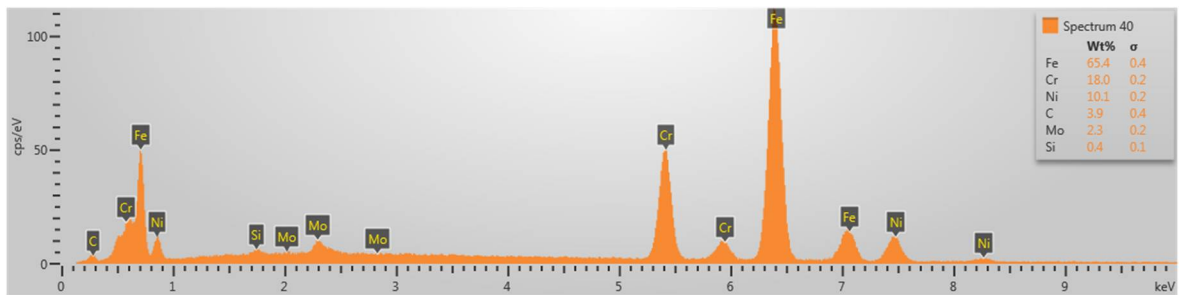
Numune 5’e ait Şekil 5.43’de ki ITAB EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.44'de SEM görüntüsü Şekil 5.45'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 44. Numune 5 kaynak bölgesi SEM görüntüsü

Numune 5'e ait Şekil 5.44'de kaynak bölgesi SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Orta amper değeri ile kaynaklanan bu numunede dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

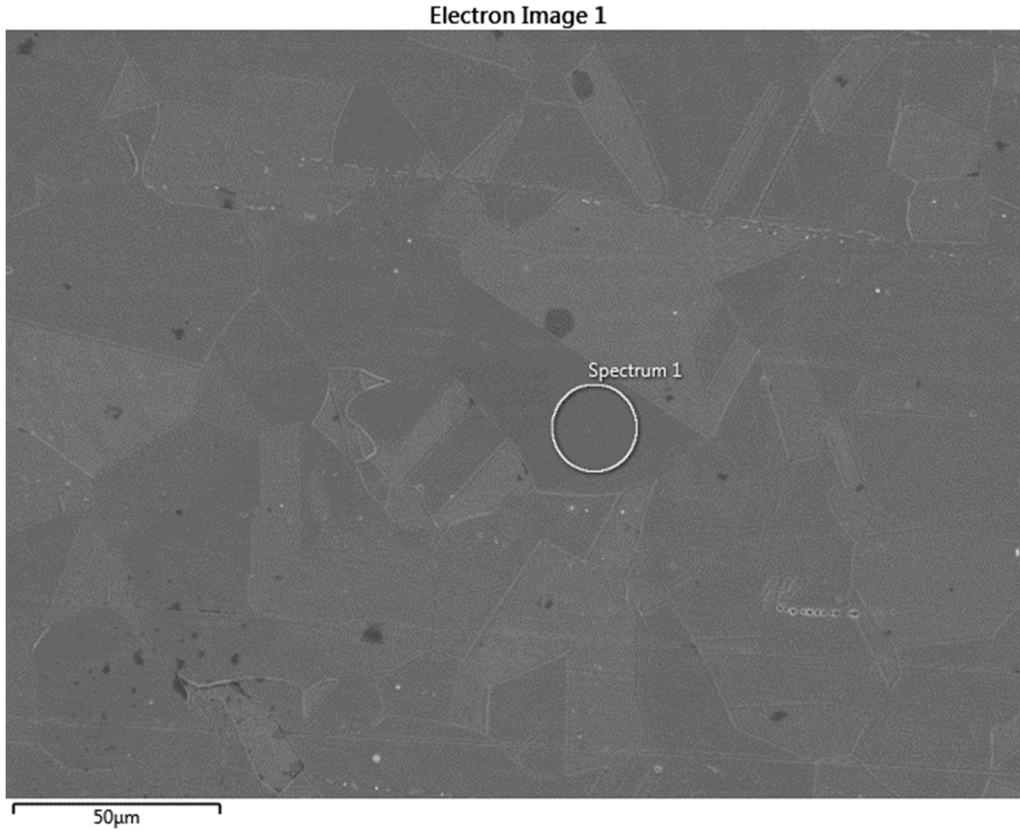


Şekil 5. 45. Numune 5 kaynak bölgesi EDS analizi

Numune 5'e ait Şekil 5.45'de kaynak bölgesi EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ni oranının kaynak bölgesine doğru arttığı görülmektedir.

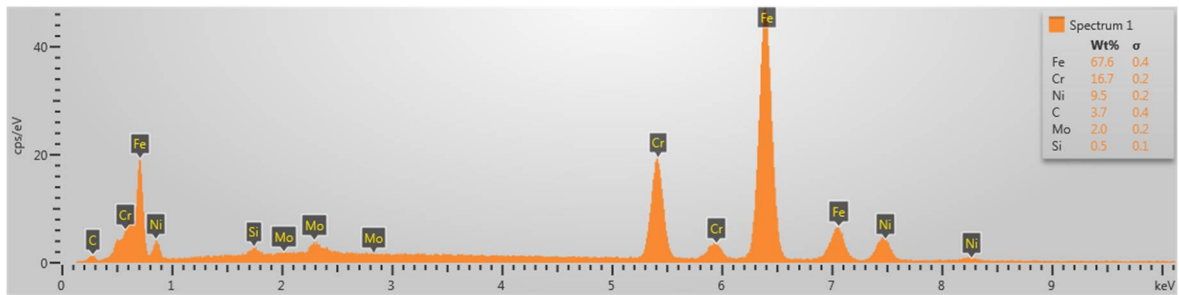


Görüntüler ve analizler Şekil 5.46'da SEM görüntüsü Şekil 5.47'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 46. Numune 6 kaynaklanan metal SEM görüntüsü

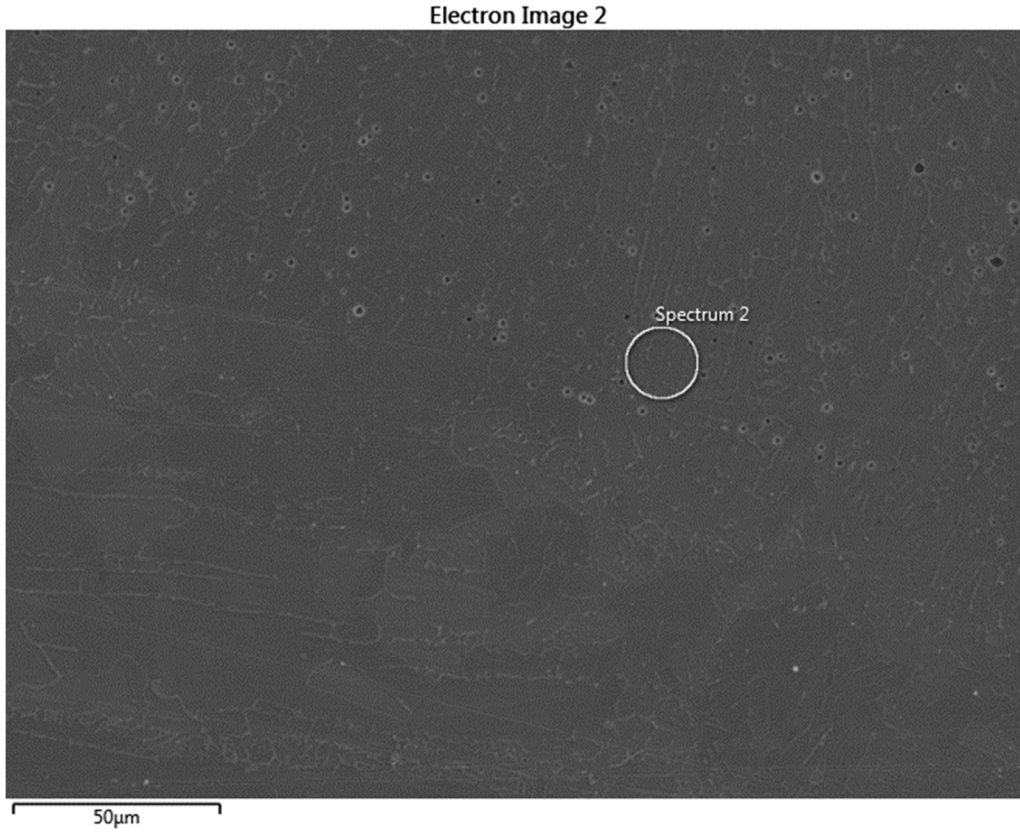
Numune 6'ya ait Şekil 5.46'da kaynaklanan metalin SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan bu numunede ana metal bölgesinde tane boyutları baz metalle benzeşen boyutta olduğu görülmüştür.



Şekil 5. 47. Numune 6 kaynaklanan metal EDS analizi

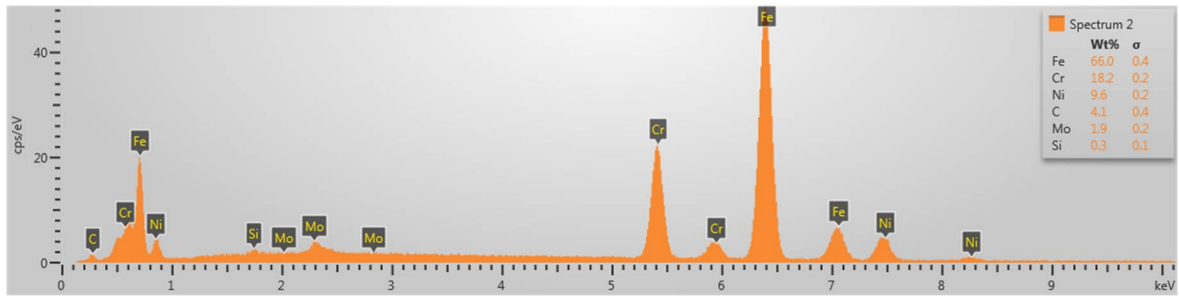
Numune 6'ya ait Şekil 5.47'de kaynaklanan metalin EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.48'de SEM görüntüsü Şekil 5.49'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 48. Numune 6 ITAB SEM görüntüsü

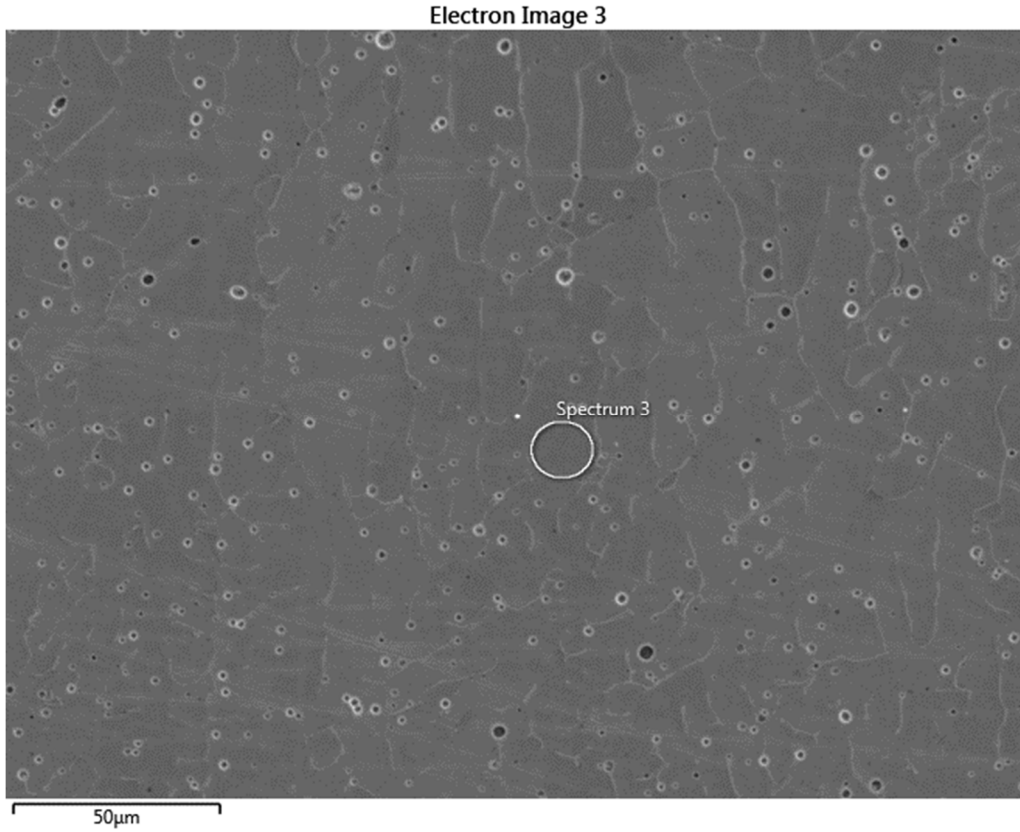
Numune 6'ya ait Şekil 5.48'de ki ITAB SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Yüksek amper değeri ile kaynaklanan bu numunede dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 49. Numune 6 ITAB EDS analizi

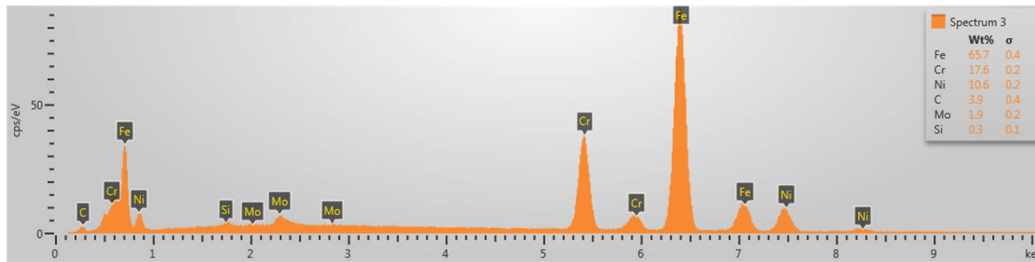
Numune 6'ya ait Şekil 5.49'da ki ITAB EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.50’de SEM görüntüsü Şekil 5.51’de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 50. Numune 6 kaynak bölgesi SEM görüntüsü

Numune 6’ya ait Şekil 5.50’de ki kaynak bölgesi SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Yüksek amper değeri ile kaynaklanan bu numunede dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 51. Numune 6 kaynak bölgesi EDS analizi

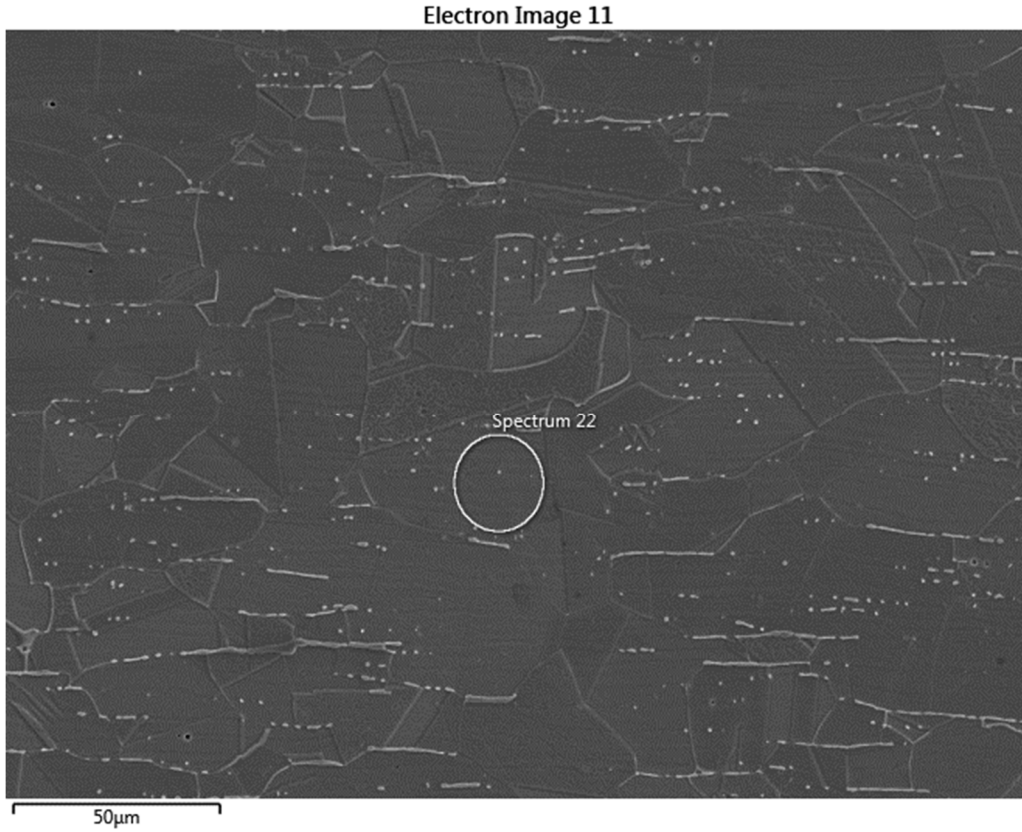
Numune 6’ya ait Şekil 5.51’de ki SEM görüntüleri ana metal, ITAB bölgesi ve kaynak bölgesi mikroyapı görüntülerine benzer nitelikte olup, artan amper değerine göre gözenek yapının arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun Karışım 212 koruyucu gaz kullanımından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 5. 3. TIG karışım koruyucu gazı EDS Çizelgesi

Bölge	Num. No	Fe	Cr	Ni	C	Mo	Si
Ana Malzeme	4	67,1	16,9	9,7	3,7	2,1	0,6
	5	67,3	17	8,9	4	2,2	0,6
	6	67,6	16,7	9,5	3,7	2	0,5
ITAB	4	65,7	18	10,3	3,7	2	0,2
	5	65,6	18	10,1	3,8	2,1	0,4
	6	66	18,2	9,6	4,1	1,9	0,3
KAYNAK BÖLGESİ	4	66,8	18,2	9,2	3,8	1,7	0,3
	5	65,4	18	10,1	3,9	2,3	0,4
	6	65,7	17,6	10,6	3,9	1,9	0,3

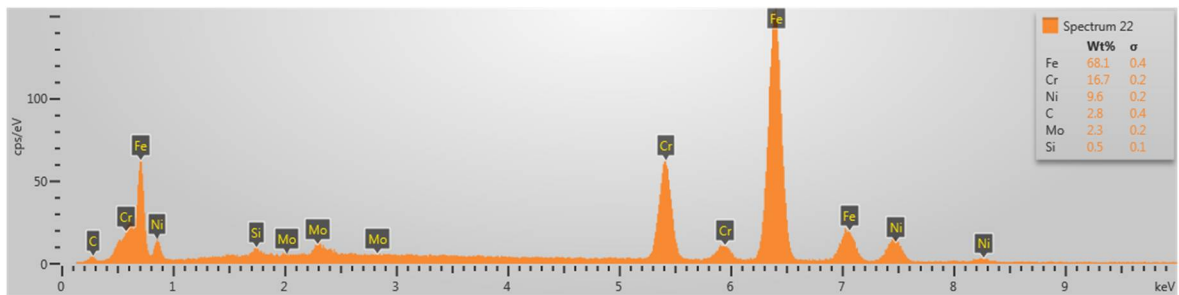
Çizelge 5.3 TIG kaynak yöntemi ile kaynaklanan karışım koruyucu gazı kullanılan numuneler incelendiğinde ana metal sonuçları spektral analiz sonuçları ile paralellik göstermiştir. Ayrıca 4,5 ve 6 numaralı numunelerin ITAB bölgesinde ana malzeme bölgesine göre Cr, Ni oranı daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Kaynak bölgesinde ana malzeme bölgesine göre Cr, Ni oranı daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.52’de SEM görüntüsü Şekil 5.53’de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 52. Numune 7 kaynaklanan metalin SEM görüntüsü

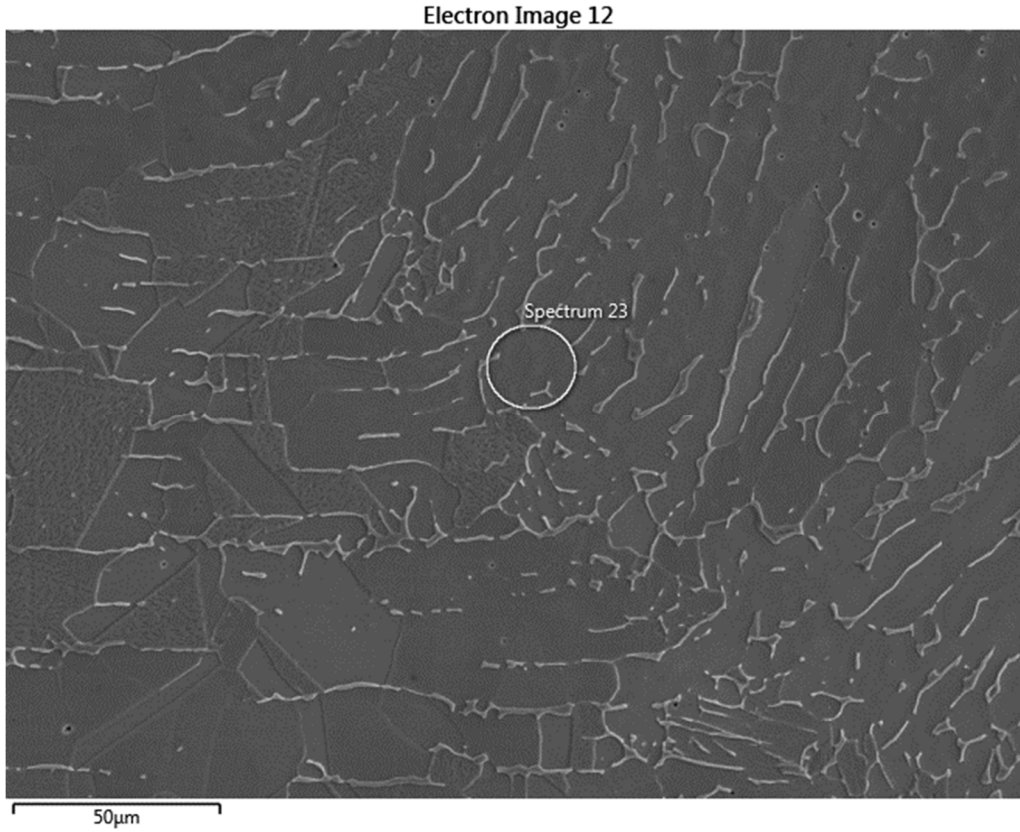
Numune 7’ye ait Şekil 5.52’de ki kaynaklanan metalin SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan bu numunede ana metal bölgesinde tane boyutları baz metalle benzeşen boyutta olduğu görülmüştür.



Şekil 5. 53. Numune 7 kaynaklanan metalin EDS analizi

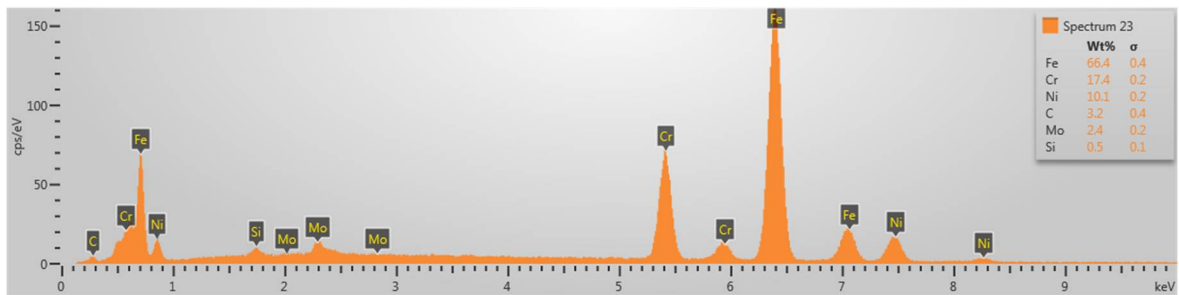
Numune 7’ye ait Şekil 5.53’de ki kaynaklanan metalin EDS analizine bakıldığında Cr ve Ni oranlarının sınır değerler içerisinde olduğu ancak, C oranının sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.54'de SEM görüntüsü Şekil 5.55'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 54. Numune 7 ITAB SEM görüntüsü

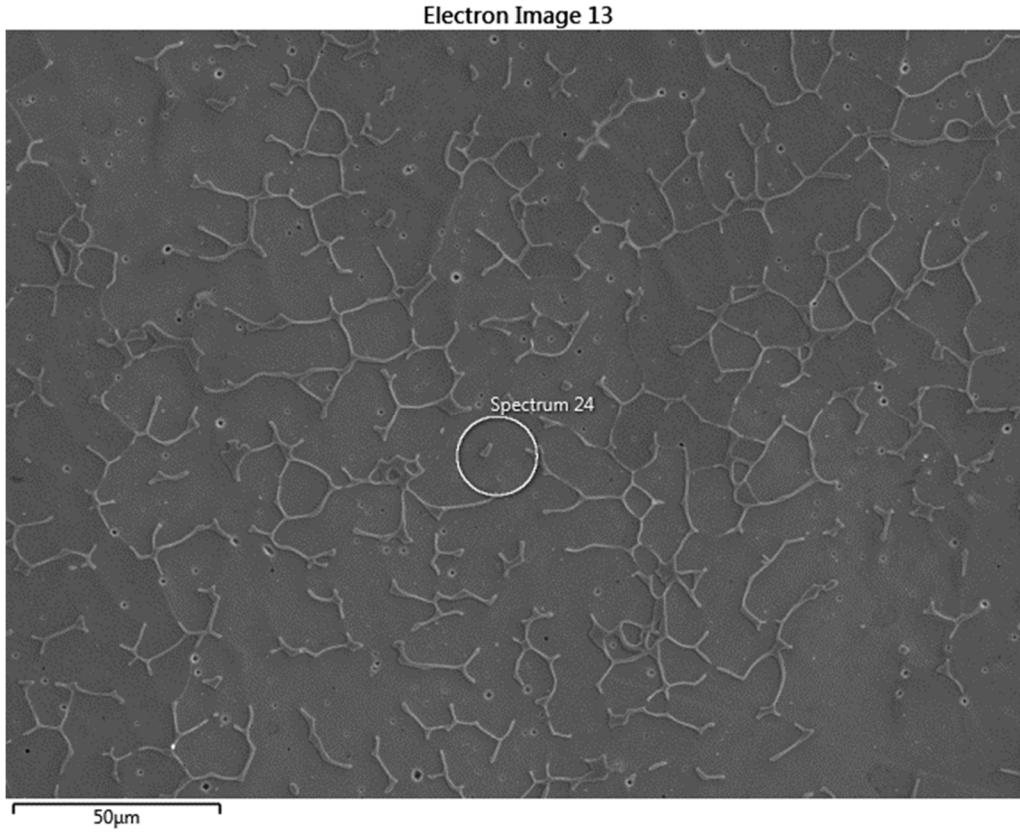
Numune 7'ye ait Şekil 5.54'de ki ITAB SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan bu numunede ITAB'da tane sınırının belirgin olduğu ve dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 55. Numune 7 ITAB EDS analizi

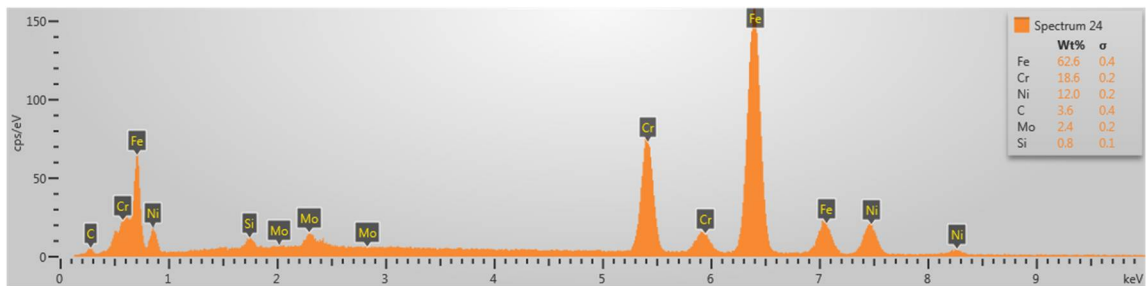
Numune 7'ye ait Şekil 5.55'de ki ITAB EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranı ana metalden kaynak bölgesine doğru arttığı görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.56'da SEM görüntüsü Şekil 5.57'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 56. Numune 7 kaynak bölgesi SEM görüntüsü

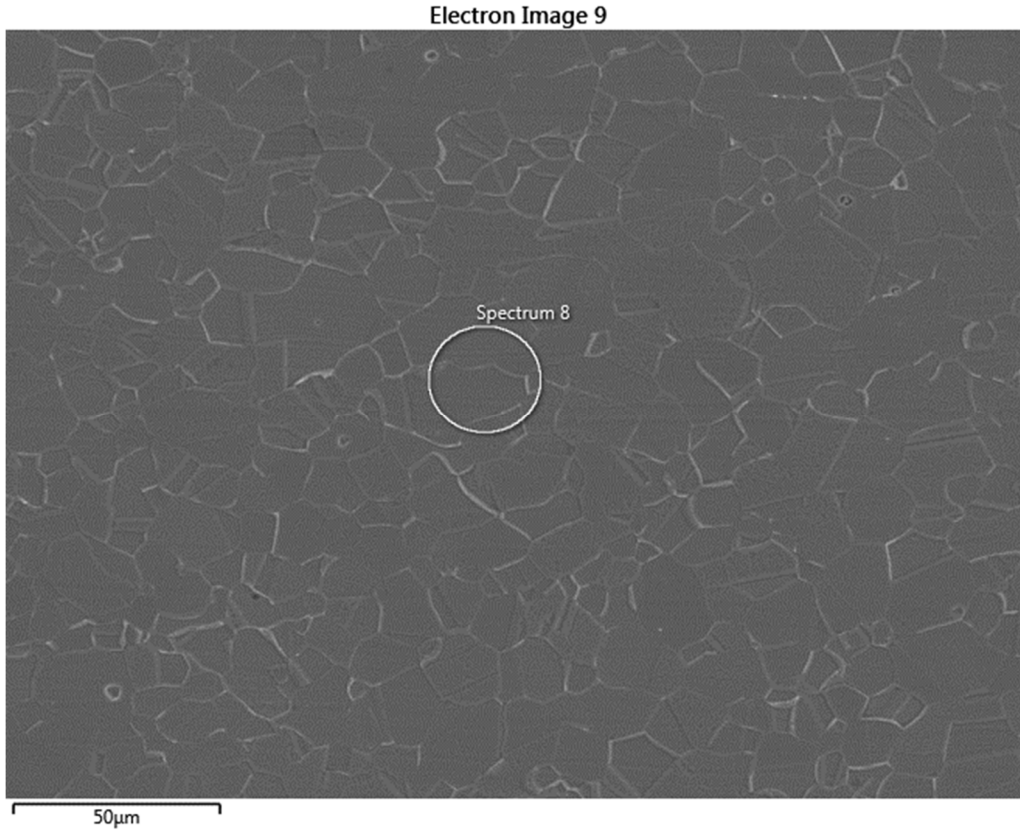
Numune 7'ye ait Şekil 5.56'da ki kaynak bölgesi SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan bu numunede dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 57. Numune 7 kaynak bölgesi EDS analizi

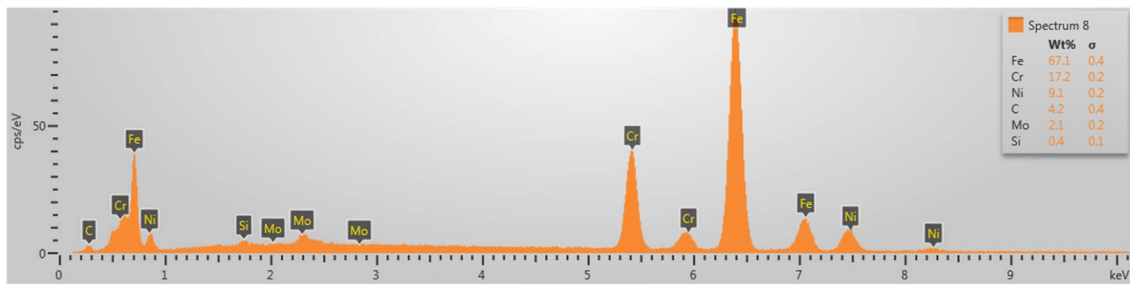
Numune 7'ye ait Şekil 5.57'de ki kaynak bölgesi EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranı sınır değerinin üstünde olduğu ve kaynak bölgesinde en yüksek orana ulaştığı görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.58’de SEM görüntüsü Şekil 5.59’da ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 58. Numune 8 kaynaklanan metalin SEM görüntüsü

Numune 8’e ait Şekil 5.58’de ki kaynaklanan metal SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Orta amper değeri ile kaynaklanan bu numunede ana metal bölgesinde tane boyutları baz metalle benzeşen boyutta olduğu görülmüştür.

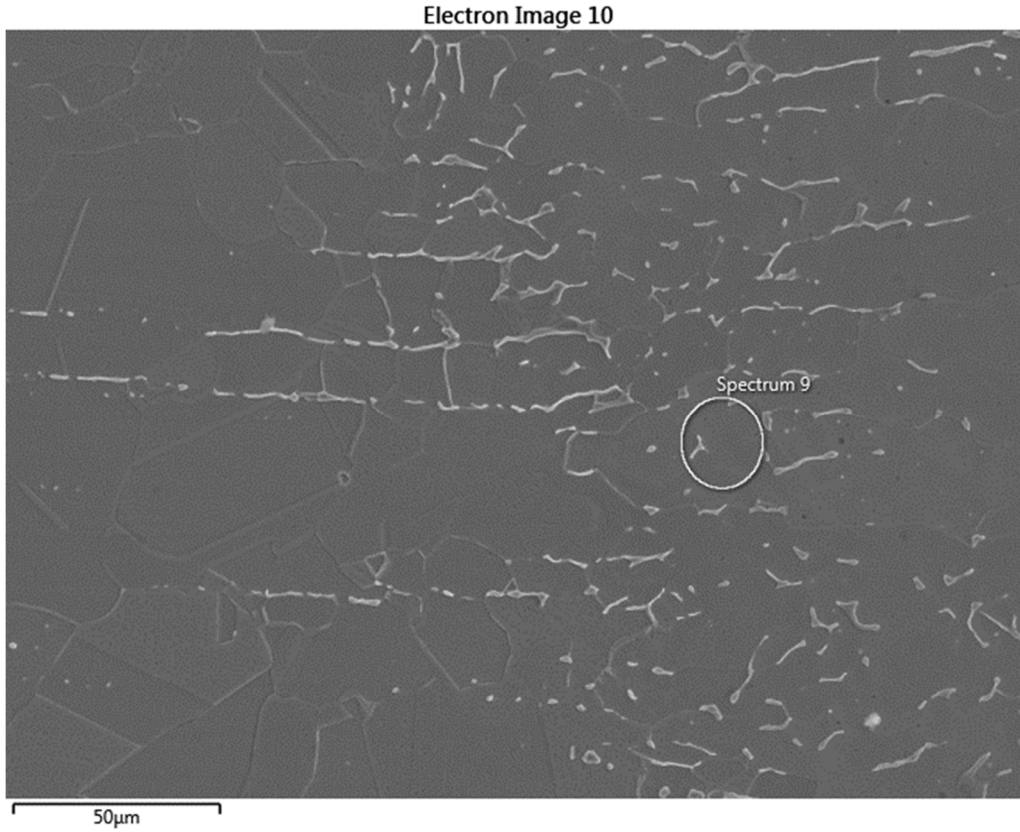


Şekil 5. 59. Numune 8 kaynaklanan metal EDS analizi

Numune 8’e ait Şekil 5.59’da ki kaynaklanan metalin EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

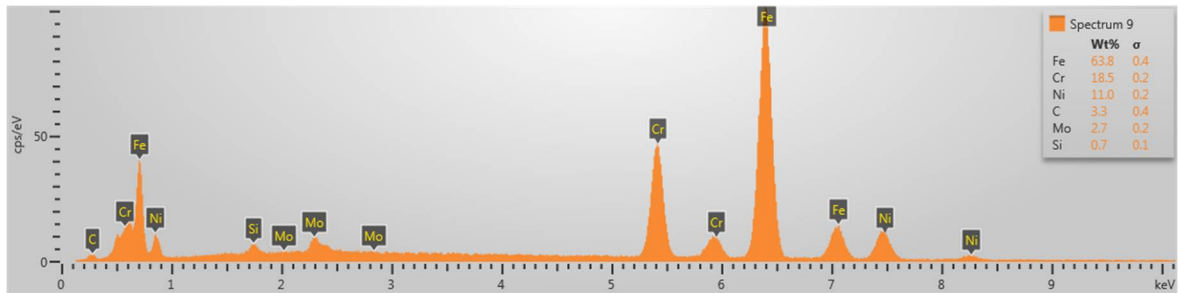


Görüntüler ve analizler Şekil 5.60'de SEM görüntüsü Şekil 5.61'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 60. Numune 8 ITAB SEM görüntüsü

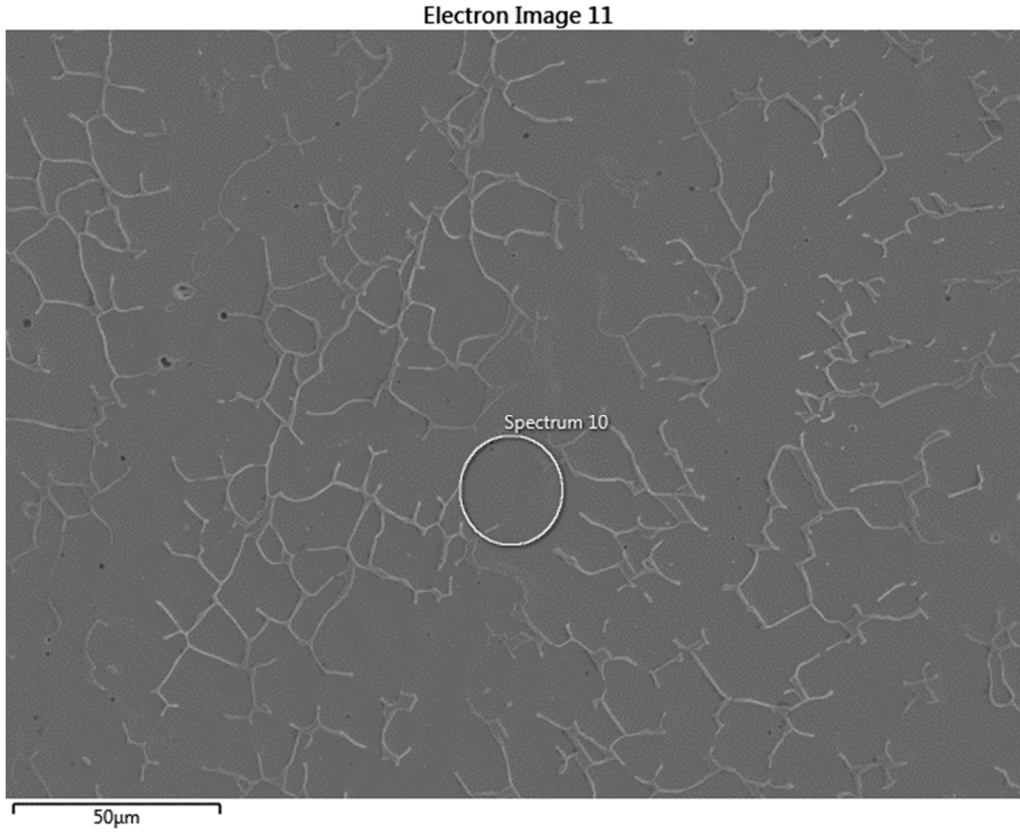
Numune 8'e ait Şekil 5.60'da ki ITAB SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Orta amper değeri ile kaynaklanan bu numunede ITAB'da tane sınırının belirgin olduğu ve dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 61. Numune 8 ITAB EDS analizi

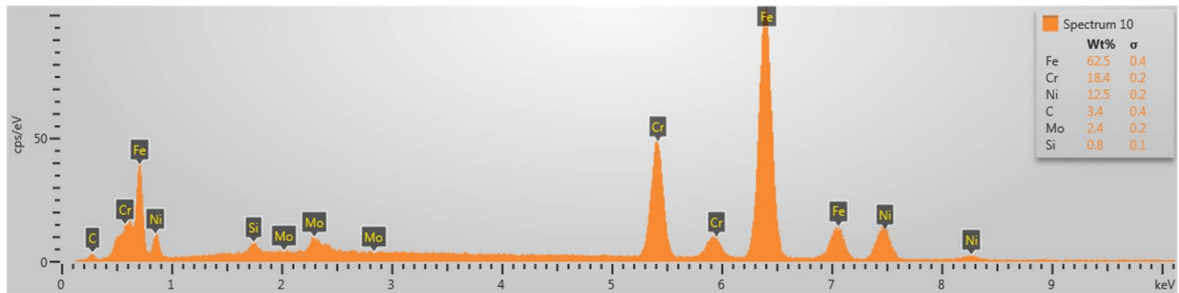
Numune 8'e ait Şekil 5.61'de ki ITAB EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranı ana metalden kaynak bölgesine doğru arttığı görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.62’de SEM görüntüsü Şekil 5.63’de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 62. Numune 8 kaynak bölgesi SEM görüntüsü

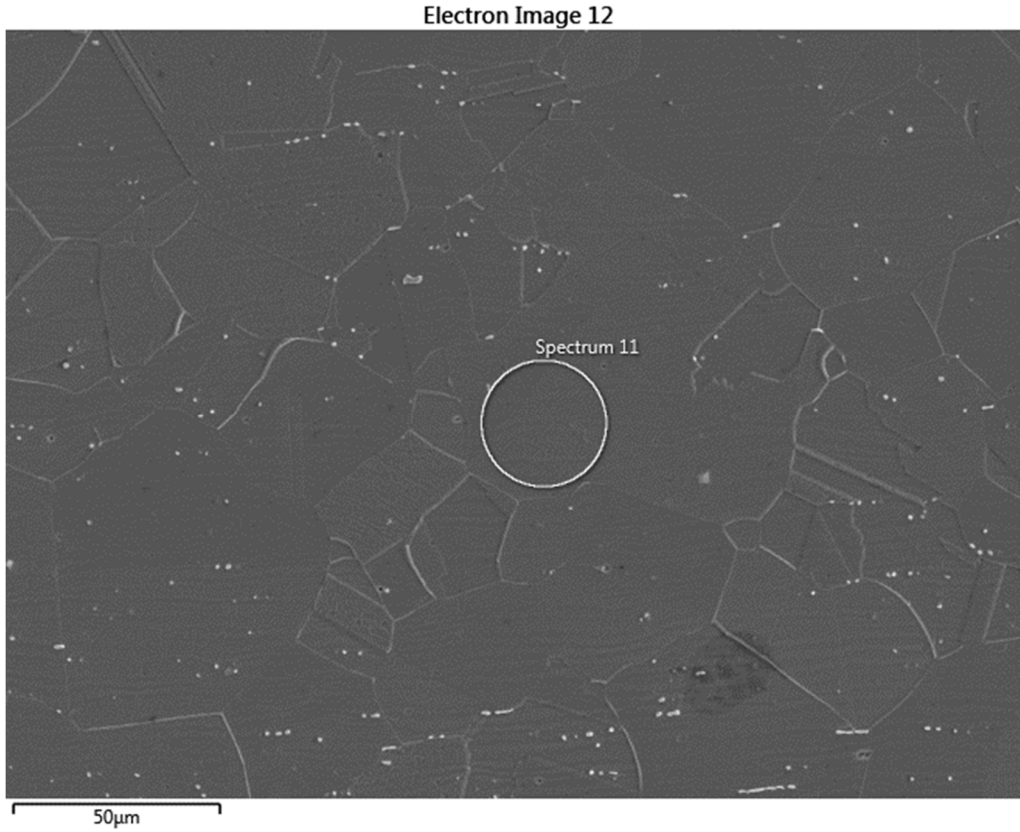
Numune 8’e ait Şekil 5.62’de ki kaynak bölgesi SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Orta amper değeri ile kaynaklanan bu numunede dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 63. Numune 8 kaynak bölgesi EDS analizi

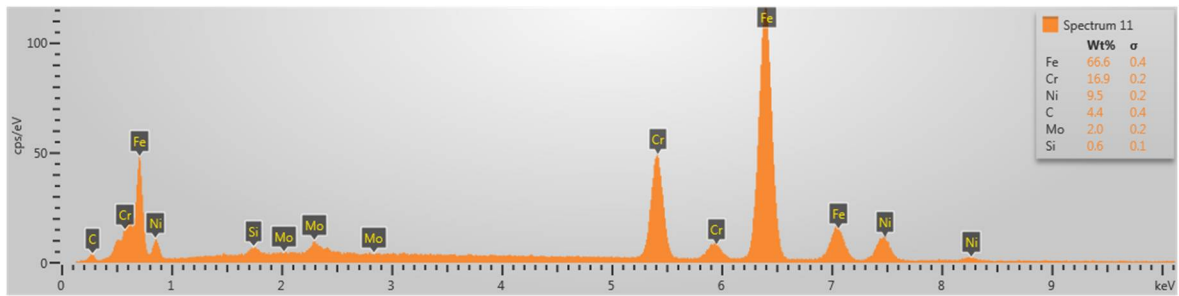
Numune 8’e ait Şekil 5.63’de ki ITAB EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranının da üst sınır değerinin üstünde olduğu ve kaynak bölgesinde diğer bölgelere göre en yüksek orana ulaştığı görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.64'de SEM görüntüsü Şekil 5.65'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 64. Numune 9 kaynaklanan metalin SEM görüntüsü

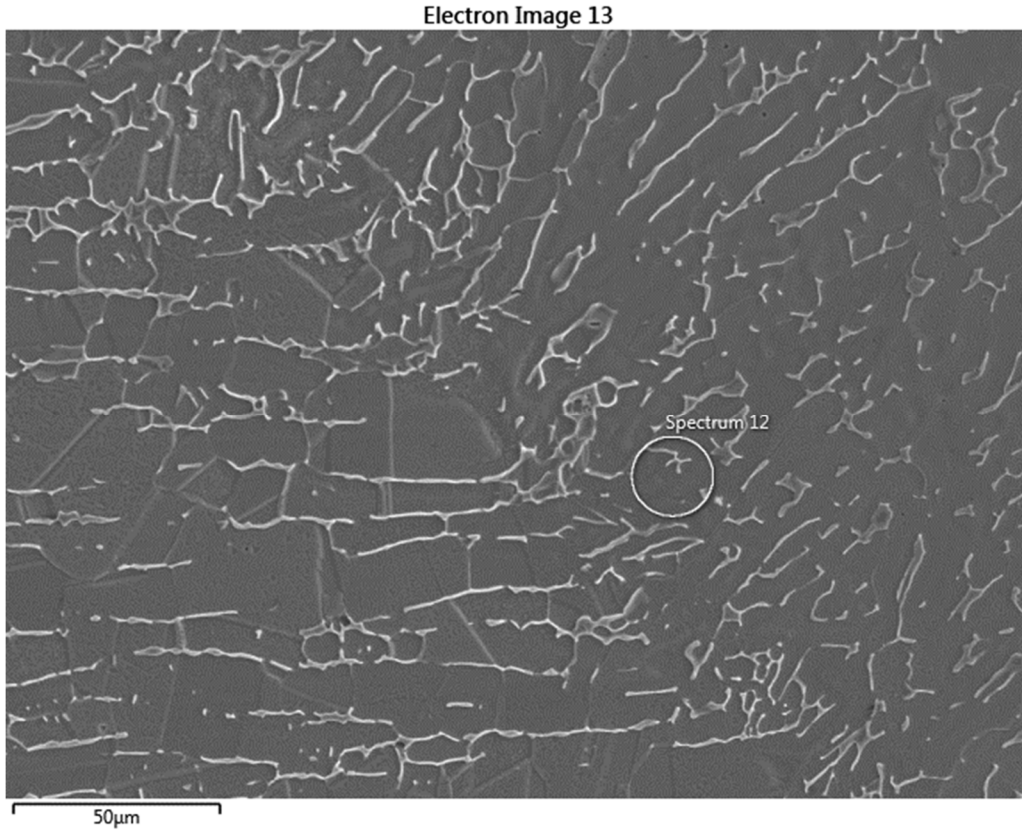
Numune 9'a ait Şekil 5.64'de ki kaynaklanan metalin SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Yüksek amper değeri ile kaynaklanan bu numunede dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 65. Numune 9 kaynaklanan metal EDS analizi

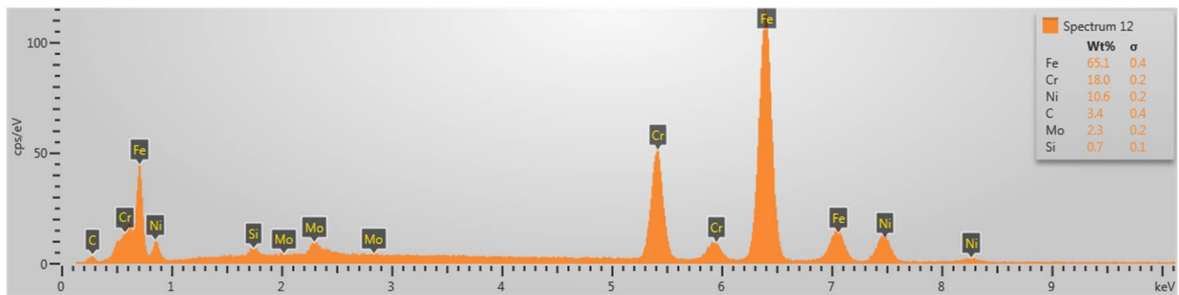
Numune 9'a ait Şekil 5.65'de ki kaynaklanan metalin EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.66'da SEM görüntüsü Şekil 5.67'de ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 66. Numune 9 ITAB SEM görüntüsü

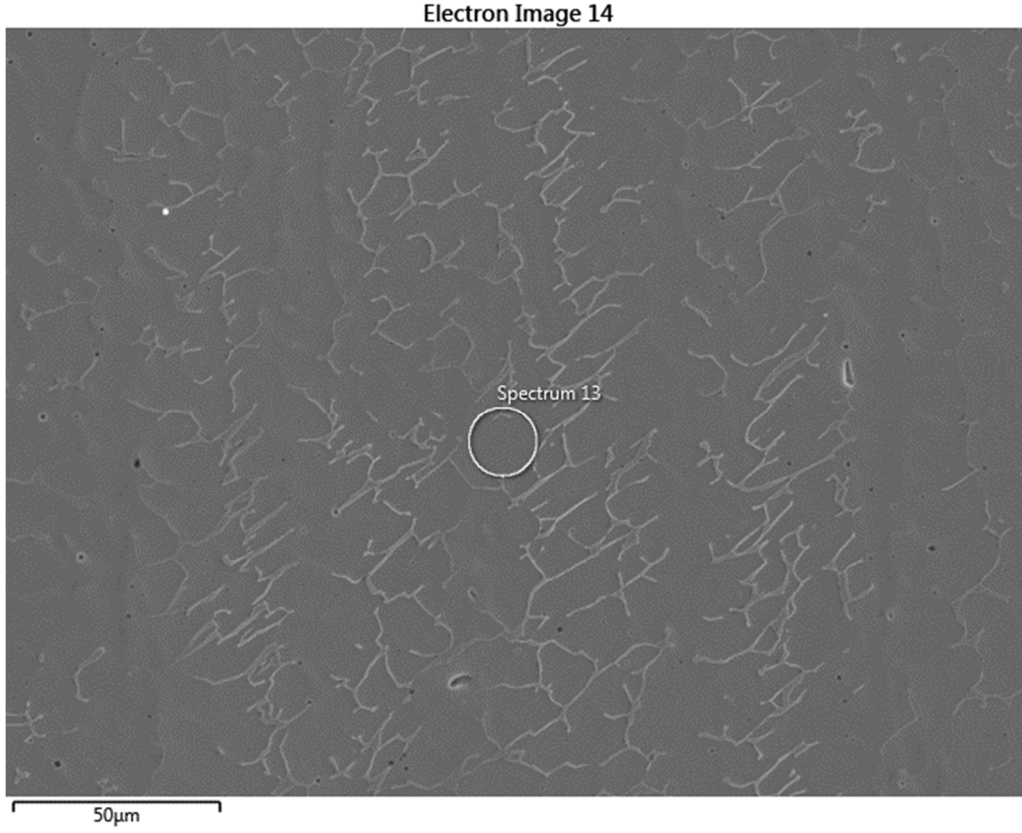
Numune 9'a ait Şekil 5.66'da ki ITAB SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Düşük amper değeri ile kaynaklanan bu numunede ITAB'da tane sınırının belirgin olduğu ve dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 67. Numune 9 ITAB EDS analizi

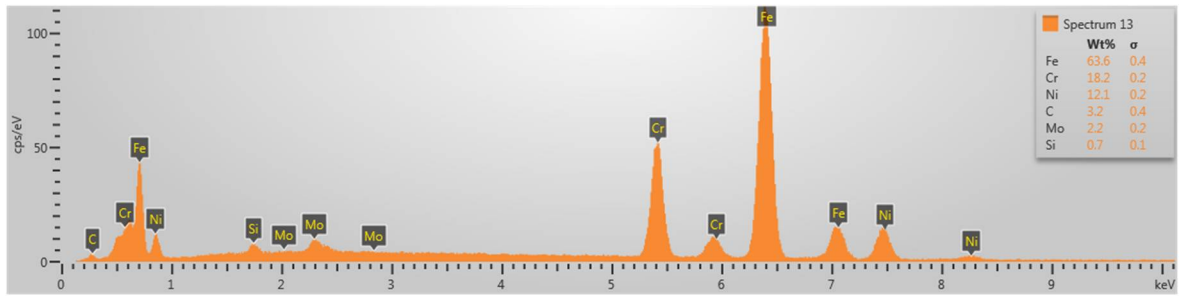
Numune 9'a ait Şekil 5.67'de ki ITAB EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranı üst sınır değerinin üstünde olduğu ve ana metalden kaynak bölgesine doğru arttığı görülmüştür.

Görüntüler ve analizler Şekil 5.68’de SEM görüntüsü Şekil 5.69’da ise EDS analizi şeklinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5. 68. Numune 9 kaynak bölgesi SEM görüntüsü

Numune 9’a ait Şekil 5.68’de ki kaynak bölgesi SEM görüntüsü Mikroyapı görüntüleri ile paralellik göstermiştir. Yüksek amper değeri ile kaynaklanan bu numunede dentritik tane yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 69. Numune 9 kaynak bölgesi EDS analizi

Numune 9’a ait Şekil 5.69’da ki kaynak bölgesi EDS analizine bakıldığında C oranı sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür. Ayrıca Cr oranı sınır değerinin üstünde olduğu ve kaynak bölgesinde en yüksek orana ulaştığı görülmüştür.

MIG kaynak yöntemi ile kaynaklanan 7, 8 ve 9 Numaralı numunelere ait SEM görüntüleri incelendiğinde, Karışım 212 koruyucu gazında gözlenen gözenekli yapı (Şekil 5.42) azaldığı Şekil 5.66'da gözlemlenmiştir. Ancak gaz karışımında bulunan CO<sub>2</sub> miktarının kaynak sıcaklık değerini artırarak, tane sınırlarında çökeltinin artmasına sebep olduğu görülmüştür.

Çizelge 5. 4. MIG EDS Çizelgesi

Bölge	Num. No	Fe	Cr	Ni	C	Mo	Si
Ana Malzeme	7	68,1	16,7	9,6	2,8	2,3	0,5
	8	67,1	17,2	9,1	4,2	2,1	0,4
	9	66,6	16,9	9,5	4,4	2	0,6
ITAB	7	66,4	17,4	10,1	3,2	2,4	0,5
	8	63,8	18,5	11	3,3	2,7	0,7
	9	65,1	18	10,6	3,4	2,3	0,7
KAYNAK BÖLGESİ	7	62,6	18,6	12	3,6	2,4	0,8
	8	62,5	18,4	12,5	3,4	2,4	0,8
	9	63,6	18,2	12,1	3,2	2,2	0,7

Çizelge 5.4'de MIG kaynak yöntemi ile kaynaklanan numunelerde numune 7, numune 8 ve numune 9 numunelerin ITAB bölgesinde ana malzeme bölgesine göre Cr, Ni oranı daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Kaynak bölgesinde ana malzeme bölgesine göre Cr, Ni oranı daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki SEM-EDS analiz sonuçları ayrıntılı bir şekilde aşağıdaki Çizelge 5.5.'de verilmiştir.

Çizelge 5. 5. Tüm numuneler EDS analiz sonuçları

Bölge	Num. No	Fe	Cr	Ni	C	Mo	Si
Ana Malzeme	1	67,1	17	8,9	4,1	2,3	0,5
	2	69,9	17,6	9,9	-	2,1	0,6
	3	67,5	17	9,3	3,7	2	0,4
	4	67,1	16,9	9,7	3,7	2,1	0,6
	5	67,3	17	8,9	4	2,2	0,6
	6	67,6	16,7	9,5	3,7	2	0,5
	7	68,1	16,7	9,6	2,8	2,3	0,5
	8	67,1	17,2	9,1	4,2	2,1	0,4
	9	66,6	16,9	9,5	4,4	2	0,6
ITAB	1	67,3	17,9	9,2	3,7	1,5	0,4
	2	67,3	17,5	9,4	3,2	2	0,5
	3	67,2	17,2	9,7	3,3	2,2	0,5
	4	65,7	18	10,3	3,7	2	0,2
	5	65,6	18	10,1	3,8	2,1	0,4
	6	66	18,2	9,6	4,1	1,9	0,3
	7	66,4	17,4	10,1	3,2	2,4	0,5
	8	63,8	18,5	11	3,3	2,7	0,7
	9	65,1	18	10,6	3,4	2,3	0,7
KAYNAK BÖLGESİ	1	65,5	19	10	4	1	0,4
	2	64,1	18,3	10,6	4,7	2	0,4
	3	64,3	18,1	11,7	3,6	2	0,3
	4	66,8	18,2	9,2	3,8	1,7	0,3
	5	65,4	18	10,1	3,9	2,3	0,4
	6	65,7	17,6	10,6	3,9	1,9	0,3
	7	62,6	18,6	12	3,6	2,4	0,8
	8	62,5	18,4	12,5	3,4	2,4	0,8
	9	63,6	18,2	12,1	3,2	2,2	0,7

AISI 316L plakalara ait EDS sonuçları Çizelge 5.5'de verilmiştir. ITAB bölgesinde ana malzeme bölgesine göre Cr, Ni oranı daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Kaynak bölgesinde ana malzeme bölgesine göre Cr, Ni oranı daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Ayrıca MIG kaynak yöntemi ile kaynağı yapılan 7, 8 ve 9 numunelere ait sonuçlarda diğer numunelere göre daha yüksek Si oranı olduğu gözlemlenmiştir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin farklı koruyucu gaz (%100 Argon, Karışım 212 ve %97,5 Ar + %2,5 CO<sub>2</sub>), farklı amper değerleri ile TIG ve MIG kaynak yöntemleri ile kaynaklanmıştır. Kaynak işlemi sonrasında kaynaklanan plakaların mekanik ve içyapı özellikleri incelenmiş sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Çekme testi yapılması sonrasında çekilen bütün çekme numunelerin çekme mukavemet sonuçlarının ana malzemenin vermiş olduğu mukavemet değerinden, kaynak bölgesinde mukavemet değerinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.
2. TIG kaynak yöntemi ile kaynaklanan ve %100 Argon koruyucu gaz kullanılan tüm numunelerin neredeyse tamamının çekme mukavemeti değerlerinin, eşit amper değerleri ve koruyucu gaz olarak Karışım 212 gazı ile kaynağı yapılmış numunelere nazaran daha fazla değerde olduğu görülmüştür.
3. TIG kaynak yönteminde Karışım 212 gazı ile kaynaklanan plakaların, %100 argon gazı ile kaynaklanan plakalara göre nüfuziyetinin daha az olduğu görülmüştür.
4. TIG kaynak yöntemi ile kaynaklanan ve %100 Argon koruyucu gazın kullanıldığı numunelerin çekme mukavemet değeri kendi arasında karşılaştırıldığında 85/145/165 Amper ile kaynak yapılan numunenin diğer bütün numuneler içinde sahip olunan en yüksek mukavemet değeri olduğu görülmüştür.
5. Her iki kaynak yönteminde de düşük ısı girdisi ile kaynaklanan plakaların ITAB'da ki östenit tane boyutu baz metalle benzeştiği ve ITAB bölgesinde ki soğuk haddeleme yönüne doğru uzanan partiküller (karbür partikülleri) bulunmaktadır. Bunun düşük ısı girdisi nedeniyle ITAB'da tamamen yeniden kristalleşmenin yerine bir bölümünün yeniden kristalleşmesinin gerçekleştiğini ve baz metal içyapısında tane büyüklüğü açısından çok önemli bir değişim gerçekleşmediği gözlemlenmektedir.
6. Düşük ısı girdisi ile kaynaklanan plakanın aksine, yüksek ısı girdisi ile kaynaklanan plakanın ITAB'da yeniden kristalleşme tamamen olarak gerçekleşmiş ve iç yapısına bakıldığında, yeniden kristalleşen östenit tane büyüklüğü artmıştır, bunun sonucu daha iri tane yapısı gözlenmiştir.
7. Numunelerin mikrosertlik incelemesinde kaynak yapılan bölgeyle ana metal arasında sertlik genelde aynı seviyede görülmektedir, bununla birlikte bazı noktasal olarak artış ve azalmalar gözlemlenmiştir. Kaynaklama işleminin birden fazla pasoda



yapılması ile bu pasolar arasındaki geçiş ve ITAB bölgesindeki ısıl tesirden dolayı olduğu ön görülebilir (Anık ve Vural, 1998).

8. Sertlik değerlerinin en yüksek olduğu %100 Argon koruyucu gaz ve 95/165/185 Amper ile kaynağı yapılmış olan 3 numaralı numunenin 2. mikrosertlik ölçüm noktasında çıktığı görülmektedir (Eryürek ve Sevük, 2007).
9. Çekme değerinin en yüksek olduğu %97,5 Ar +%2,5 CO<sub>2</sub> koruyucu gazı ve MIG kaynak yönteminde normal amper değeri uygulanan 7. Numuneye ait olduğu görülmüştür.

### **Öneriler**

- Bu çalışmada MIG ve TIG yöntemiyle kaynaklanan 6 mm kalınlığındaki AISI 316L östenitik paslanmaz çelik levhalar, MIG kaynak yöntemi ile özlü tel kullanımı ile kaynaklanabilirliği ve mekanik özellikleri incelenebilir.

## KAYNAKÇA

- Abu, S. (2006). Östenitik paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemi ile kaynağında koruyucu gazın mekanik özelliklere etkisi (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- Aichele G., (2001). “Kaynak ve Kesme Teknolojisinde Parametre ve Değeri Tabloları”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Aksöz, S., Ada, H., & zer, A. (2017). Toz Altı Kaynak Yöntemiyle retilen Apı 51 X70 Kalite elik Boruların Mikroyapı ve Mekanik zellikleri. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5(1), s.55-64.
- Anık, S., & Tülbentçi, K. (1982). Kaynak Tekniğı. İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, 30-65.
- Anık, S., & VURAL, M. (1998). ‘Gazaltı Ark Kaynağı’. GEV Yayını, Yayın, (3), s.25-53.
- Apay, S., & ÇETİN, E., AISI 430 Paslanmaz eliğinin Lazer Nokta Kaynağıyla Kaynatılmasının Mikroyapı zelliklerine Etkisi, Istec 2018 Keynotes, s.65.
- Asm International. Handbook Committee. (1998). ASM handbook (Vol. 7). ASM International.
- Aydın T., 2002. “Paslanmaz eliklerin MIG Kaynağında Kullanılan Gazlar ve Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Banık, S. D., Kumar, S., Singh, P. K., Bhattacharya, S., & Mahapatra, M. M. Distortion And Residual Stresses In Thick Plate Weld Joint Of Austenitic Stainless Steel: Experiments And Analysis. Journal Of Materials Processing Technology, s.289.
- Baran, B. (2019). AISI 304 Paslanmaz eliğın TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde kaynak parametre etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi (Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Biçen, M., (2019). Farklı ark kaynak yöntemleriyle birleştirilen yüksek mukavemetli API 5L X80 eliğinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi, (Master's thesis, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Bos E., 2007. “Ark Esaslı Kaynak Yöntemleriyle Kaynak İşleminde Isı Tüketimi ile Malzeme Kalınlık İlişkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Can, M. (2018). Farklı Kalınlıklı Yapı Çeliklerinde Ağız Geometrisinin Kaynak Özelliklerine Etkisi (Master's Thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Casalino, G., Michele, D., & Perulli, P. (2020). FEM Model For TIG Hybrid Laser Butt Welding Of 6 Mm Thick Austenitic To Martensitic Stainless Steels. *Procedia CIRP*, 88, 116-121.
- Chandrasekar, G., Kailasanathan, C., Verma, D. K., & Nandagopal, K. (2017). ‘Optimization Of Welding Parameters, Influence Of Activating Flux And Investigation On The Mechanical And Metallurgical Properties Of Activated TIG Weldments Of AISI 316L Stainless Steel. *Transactions Of The Indian Institute Of Metals*’, 70(3), 671-684.
- Çavuşoğlu, İ 1997. “Çeliklerin Kaynağında Isıl İşlemlerin Isı Etkisi Altında Kalan Bölgedeki Oluşumlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çimen, M. Y. (2015). AISI 1050, AISI 304 VE AISI 430 tip çeliklerin yakma alın kaynak yöntemiyle kaynatılması ve mekanik özelliklerin incelenmesi. Yüksek Lisan Tezi (Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Demarque, R., Dos Santos, EP, Silva, RS ve De Castro, JA (2018). Ostenitik AISI 316L çeliklerin ısı girdisinin GMAW işlemiyle değiştirilmesi yoluyla termal döngünün kaynaklı bağlantıların özellikleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi. *Malzeme Bilimi ve Teknolojisi*, 30, 51-59.
- Emet, A. O. (2019). Lazer ve tıg kaynağı ile birleştirilmiş AISI 304 paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerinin ve gerilmeli korozyon davranışının incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi (Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)*.
- Eryürek B., 2003. “Gazaltı Kaynağı”, Askaynak Yayınları.
- Eşme, U., “Effect of Pool Geometry on the Quality of TIG Welded Joints”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- Gerken, J. M., & KOTECKÍ, D. (1990). *Stainless Steels: Properties, How To Weld Them, Where To Use Them*. Lincoln Electric.

- Gültekin N., 1991. “Kaynak Tekniği”, Engin Ofset, s.85-200, İstanbul.
- Gözütok, E. (2009). ‘Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında Argon-Hidrojen gaz karışımının birleştirmelerin mekanik ve mikro yapı özelliklerine etkisi’ (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi).
- Ghosh, N., Pal, P. K., & Nandi, G. (2017). GMAW dissimilar welding of AISI 409 ferritic stainless steel to AISI 316L austenitic stainless steel by using AISI 308 filler wire. *Engineering science and technology, an international journal*, 20(4), 1334-1341.
- Hicken GK., 1993. “Gas-Tungsten Arc Welding”, ASM Handbook, Vol. G., s.190-193.
- Kahraman, F. 2012 “Masif ve Özlü Telle Yapılmış Gazaltı Kaynak Dikişlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kahraman, N., Durgutlu, A., & Gülenç, B. (2004). 316L paslanmaz çeliğin TIG kaynağında koruyucu argon gazına hidrojen ilavesinin kaynak bölgesi tane morfolojisine etkilerinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 7(3), 223-228.
- Kahraman, N., Gülenç, B., & Hüseyin, A., (2002). ‘Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çelik İle Düşük Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi’. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, s.17.
- Kaluç E, Taban E. “TIG (Gtaw) Kaynak Yönteminde Son Gelişmeler ve Endüstriyel Uygulamaları” Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü 2019 Ankara.
- Kanbolu S., 1996. “Östenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kant, R., Mittal, R., Kumar, C., Rana, B. S., Kumar, M., & Kumar, R. (2018). Fabrication and Characterization of Weldments AISI 304 and AISI 316 Used in Industrial Applications. *Materials Today: Proceedings*, s.5,
- Kuddus, A. I., Ambade, S. P., Bansod, A. V., & Patil, A. P. (2018). Microstructural, mechanical and corrosion behaviour of dissimilar welding of Cr-Mn ASS and AISI 304 ASS by using 316L electrode. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 8307-8313.
- Kulkarni, A., Dwivedi, D. K., & Vasudevan, M. (2020). Microstructure and mechanical properties of A-TIG welded AISI 316L SS-Alloy 800 dissimilar metal joint. *Materials Science and Engineering: A*, 139685
- Kumar, N. P., & Shanmugam, N. S. (2020). Some studies on nickel based Inconel 625 hard overlays on AISI 316L plate by gas metal arc welding based hardfacing process. *Wear*, 456, 203394.

- Kumar, S. S., Murugan, N., & Ramachandran, K. K. (2019). Identifying the optimal FSW process parameters for maximizing the tensile strength of friction stir welded AISI 316L butt joints. *Measurement*, 137, 257-271.
- Kurt, H. İ. (2006), TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi.
- Kurt U., 1988. “Paslanmaz Çelik Kaynak Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kükürtçü, G., 2014. “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lippold, J. C., & Kotecki, D. J. (2005). *Welding metallurgy and weldability of stainless steels* (p. 376).
- Mohammed, H. G., Ginta, T. L., & Mustapha, M. (2020). The investigation of microstructure and mechanical properties of resistance spot welded AISI 316L austenitic stainless steel. *Materials Today: Proceedings*.
- Nikon Epiphot Optik Mikroskop  
URL: <http://www.micron-optics.com/Epiphot300.htm> / 27.12.2020 tarihinde saat 21.47’de erişim sağlanmıştır.
- Nikon SMZ 800 Optik Mikroskop  
URL: <https://www.mccrone.com/product/nikon-smz800/> 27.12.2020 tarihinde saat 21.47’de erişim sağlanmıştır.
- Odabaş, C., ‘Paslanmaz Çelikler’, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri”, Askaynak-İstanbul, 2004.
- Oğuz, H. (2018). Paslanmaz çelik-galvanizli çelik çiftinin elektrik nokta direnç kaynağında kaynak parametrelerinin kaynaklı birleştirmenin dayanım ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisan Tezi (Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), s. 21.
- Rajesh, K. D., Prasad, A. R., Shaik, A. M., & Buddi, T. (2020). SEM With EDAX Analysis On Plasma Arc Welded Butt Joints Of AISI 304 And AISI 316 Steels. *Materials Today: Proceedings*
- Shome, M. (2007). ‘Effect Of Heat-İnput On Austenite Grain Size İn The Heat-Affected Zone Of HSLA-100 Steel. *Materials Science And Engineering’ A*, 445, 454-460.

- Song, X., Takahashi, Y., He, W., & Ihara, T. (2020). Study on the protective effect of built-up layer in dry cutting of stainless steel SUS304. *Precision Engineering*, 65, 138-148.
- Tehçi, T. (2011). AISI 316 serisi östenitik paslanmaz çeliklerde kaynak parametrelerinin nufüziyete ve mekanik özelliklere etkisi.
- Tolga, Y. (2020). Farklı ilave metaller kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen 316 L paslanmaz çelik ve L 605 kobalt esaslı süperalaşım levhaların metalurjik özelliklerinin değerlendirilmesi
- Tülbentçi Kutsal, 1990, MIG – MAG Eriyen Elektrot ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Yayınları, İSTANBUL, 10-25.
- Ural M., Kaluç E., (1996). “Paslanmaz Çeliklerin TIG Yöntemi ile Kaynağı”, *Metal Makine*, s.12-20.
- Valsan, M., Sundararaman, D., Rao, K. B. S., & Mannan, S. L. (1995). A comparative evaluation of low-cycle faTIGue behavior of type 316LN base metal,
- Varkey, M. J., Sumesh, A., & Kumar, K. R. (2020). A Computational approach in optimizing process parameters influencing the heat input and Depth of Penetration of Tungsten Inert Gas welding of Austenitic Stainless Steel (AISI 316L) using Response Surface Methodology. *Materials Today: Proceedings*, 24, 1199-1209.
- Yaşar, H. (2017). AISI 304 paslanmaz çeliğin direnç nokta kaynağı yöntemi ile izsiz kaynak parametrelerinin araştırılması. Y. Lisan Tezi (Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yıldırım, G., (2010). AISI 321 paslanmaz çeliğin TIG ark kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde kaynak ilave metalinin ve koruyucu gazın etkisi, (Karabük Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü /Yüksek Lisans Tezi).
- Yılmaz, R., Gökmen, M., “Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynak Yöntemleri İle Birlesmesinde Kullanılan Koruyucu Gazın Tokluğa Etkisi”, 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 980–986, 2006.
- Yorulmazel, S. C. (2007). Paslanmaz çelik konstrüksiyonlarda oluşan distorsiyonların etüdü. Yüksek Lisans Tezi (Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), s. 13.

Zwıck/Roel Z600 ekme Test Cihazı.

URL: <https://www.zwickroell.com/en/products> 27.12.2020 tarihinde saat 21:45'de erişim sağlanmıştır.



## DİZİN

### A

AISI 304 · 2, 3, 4, 90, 91, 92, 93, 94, 95  
 AISI 316L · 1, 2, iv, v, 10, 2, 3, 4, 5, 26, 30, 45, 46, 48,  
 49, 50, 88, 89, 92, 93, 94, 95

### B

birleştirme işlemi · 10, 12

### Ç

Çekme testi · 4, 40, 89

### D

dayanım · 6, 8, 24, 94  
 düşük ısı · 12, 19, 29, 89

### E

EDS · 9, 10, 12, 13, 14, 44, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64,  
 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78,  
 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88

### I

ısı girdisi · 5, 37, 89  
 ITAB · iv, v, 12, 13, 14, 42, 44, 46, 48, 50, 53, 55, 57,  
 58, 59, 62, 65, 67, 69, 72, 75, 76, 77, 79, 82, 83, 85,  
 87, 88, 89, 90

### İ

ilave tel · 28, 67

### K

kaynak bölgesi · iv, 12, 13, 4, 53, 55, 60, 63, 66, 70, 73,  
 76, 80, 83, 86, 93  
 Kaynak kalitesi · 8, 33  
 kimyasal bileşimi · 10, 26

### M

Makroyapı · 8, 9, 43, 50, 53, 55  
 Mikroyapı · 8, 9, 44, 50, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65,  
 66, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81,  
 82, 83, 84, 85, 86, 91, 94

### Ö

östenitik paslanmaz çelik · iv, 2, 3, 5, 30, 45, 67

### P

paslanmaz çelik · 1, 3, 5, 7, 14, 23, 25, 26, 67, 90, 95

### S

SEM · 9, 10, 12, 13, 14, 3, 26, 44, 58, 59, 60, 61, 62,  
 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78,  
 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 94  
 Sertlik · 8, 9, 11, 42, 47, 48, 90  
 soy gaz · 16

### T

tane boyutları · 61, 64, 74, 78, 81

### Y

yeniden kristalleşme · 89





**TEKNOVERSİTE**



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

