

**T.C.**  
**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**LAZER VE TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ PASLANMAZ ÇELİK**  
**MALZEMELERİN KOROZYON SONRASI ÖZELLİKLERİNE ISIL**  
**İŞLEMİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Seçil KARADAYILI**

**EYLÜL 2018**

Makine Anabilim Dalında Seçil KARADAYILI tarafından hazırlanan LAZER VE TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN KOROZYON SONRASI ÖZELLİKLERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

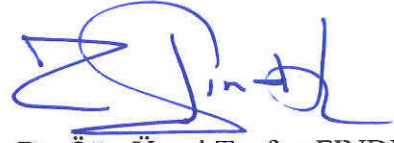
  
Prof. Dr. Ali ERIŞEN

Anabilim Dalı Başkanı ✓

Bu tezi okuduğumu ve tezin Yüksek Lisans Tezi olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

  
Prof. Dr. Recep ÇALIN

Danışman

  
Dr. Öğr. Üyesi Tayfun FINDIK

İkinci Danışman

#### Jüri Üyeleri

Üye: Doç. Dr. Gökhan KÜÇÜKTÜRK (Jüri Başkanı)

: 

Üye: Prof. Dr. Recep ÇALIN (Danışman)

: 

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Tayfun FINDIK (İkinci Danışman)

: 

Üye: Doç. Dr. Osman BİCAN

: 

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Zühtü Onur PEHLİVANLI

: 

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### LAZER VE TIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ PASLANMAZ ÇELİK MALZEMELERİN KOROZYON SONRASI ÖZELLİKLERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

KARADAYILI, Seçil

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı,

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Recep ÇALIN

Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tayfun FINDIK

EYLÜL 2018, 79 sayfa

Bu çalışmada, AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliklerin lazer ve tungsten asal gaz kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi sonrasında korozyon davranışları incelenmiştir. Korozyon testleri TS 3157 EN ISO 3651-2/Kasım 2000 standardına uygun olarak yapılmıştır. Ayrıca, kaynak uygulamaları için seçilen parametreler ön çalışmalar neticesinde belirlenmiştir. Bu işlemlerin yanı sıra farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan ısıtma işlem sonucu meydana gelen korozyon davranışları da incelenmiştir. Sonuçlar için mikroyapı görüntüleri, SEM görüntüleri-EDS analizleri, XRD ve mikro sertlik analizleri sonuçları incelenmiştir. Yapılan incelemelerde gerek kaynak ısısının gerek ise ısıtma işlem sıcaklık ve süresinin tane sınırı korozyonuna etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, deney sonuçları ve tartışma bölümünde ayrı ayrı tartışılmıştır.

Ergitme kaynaklı birleştirme yapıldığından kaynak bölgesi ve bu bölgenin hemen yanında bulunan ısı tesiri altındaki bölge yüksek sıcaklıklara maruz kalmıştır. Kaynak sonrası korozyona tabi tutulan parçalar ve daha sonrasında ısıtma işlemi tabi tutulmuş parçaların mikroyapıları incelendiğinde artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak ana metalde değişim olmamakla beraber, asıl değişim ITAB ve kaynak bölgesinde

olmuştur. Bu etkiler sonucu da ısıt ışılem görmemiş malzemelerle ısıt ışılem görmüş malzemeler kıyaslandığında mikro sertlik değerleri ısı etkisi ile değişmiştir. XRD sonuçları değerlendirildiğinde ise uygulanan ısıt ışılem neticesinde pik şiddetlerinin arttığı ve pik genişliklerinin daraldığı g r lm ştir.

**Anahtar kelimeler:**  stenitik Paslanmaz elik, TIG Kaynağı, Lazer Kaynağı, Korozyon



## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THERMAL PROCESSING OF STAINLESS STEEL MATERIALS COMBINED WITH LASER AND TIG RESISTANCE AFTER CORROSION CHARACTERISTICS**

KARADAYILI, Seçil

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Eng.

Supervisor: Prof. Dr. Recep ÇALIN

Co-Supervisor: Assistant Prof. Dr. Tayfun FINDIK

SEPTEMBER 2018, 79 pages

In this study, the corrosion behaviors of AISI 304 type austenitic stainless steels were investigated after joining with laser and tungsten inert gas welding methods. Corrosion tests were carried out in accordance with TS 3157 EN ISO 3651-2 / November 2000. In addition, the parameters selected for the welding applications are determined on the basis of preliminary studies. In addition to these processes, the corrosion behaviors from the heat treatment step applied at different temperatures and durations are also examined. For the results, microstructure images, SEM images-EDS analyzes, XRD and micro hardness test analysis results were examined. In the investigations made, the effects of welding heat and heat treatment temperature and duration on grain boundary corrosion were investigated. The results obtained are discussed separately in the experimental results and in the discussion section.

Due to fusion welding, the weld zone and the heat-affected zone immediately adjacent to this zone were exposed to high temperatures. When the microstructures of post-welded parts subjected to corrosion and subsequent heat treated parts are examined, the actual change has been in the ITAB and weld zone, with no change in the base metal depending on the increased temperature and duration. The result of these influences is that micro hardness values are changed by heat effect when the

heat treated materials are compared with untreated materials. When the XRD results were evaluated, it was observed that peak intensity increased and peak width decreased in the result of applied heat treatment.

**Key words:** Austenitic Stainless Steel, TIG Welding, Laser Welding, Corrosion



## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması ve gerçekleşmesi esnasında ihtiyaç duyduğum her anda hiçbir yardımını ve desteğini esirgemeyen, tez çalışmalarım kapsamında gerekli bütün ihtiyaçlarımızın karşılanması için tüm imkânları sunan, değerli tez danışmanı hocam, Sayın Prof. Dr. Recep ÇALIN'a, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda her zaman desteğini gördüğüm tez danışmanı hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tayfun FINDIK'a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hanifi ÇİNİCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatımda olduğu gibi eğitim hayatım boyunca ve tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen, her durumda maddi manevi yanımda olan annem Zahide KARADAYILI'ya, babam Yücel KARADAYILI'ya ve kardeşim Seçkin KARADAYILI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                |             |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ÖZET.....</b>                                                               | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                          | <b>iii</b>  |
| <b>TEŞEKKÜR .....</b>                                                          | <b>v</b>    |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                                       | <b>vi</b>   |
| <b>ŞEKİLLERİN DİZİNİ.....</b>                                                  | <b>viii</b> |
| <b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>                                                 | <b>xiii</b> |
| <b>SİMGELER DİZİNİ .....</b>                                                   | <b>xiv</b>  |
| <b>KISALTMALAR .....</b>                                                       | <b>xv</b>   |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                          | <b>1</b>    |
| <b>2. PASLANMAZ ÇELİKLER VE PASLANMAZ ÇELİKLERİN KOROZYONU.....</b>            | <b>3</b>    |
| 2.1. Paslanmaz Çelikler.....                                                   | 3           |
| 2.2. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması.....                               | 3           |
| 2.2.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....                                        | 4           |
| 2.2.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler .....                                    | 5           |
| 2.2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler .....                                      | 6           |
| 2.2.4. Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler.....                    | 10          |
| 2.2.5. Çökelme Sertleşmesi (Yaşlandırma) Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler..... | 11          |
| 2.3. Korozyon.....                                                             | 12          |
| 2.4. Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu.....                                       | 12          |
| 2.4.1. Paslanmaz Çeliklerde Pasifleşme.....                                    | 12          |
| 2.4.2. Paslanmaz Çeliklerde Meydana Gelen Korozyon Türleri .....               | 13          |
| 2.4.3. Paslanmaz Çeliklerin Çeşitli Ortamlardaki Korozyon Dayanımları.....     | 16          |
| <b>3. KAYNAK .....</b>                                                         | <b>18</b>   |
| 3.1. Lazer Işın Kaynağı (LBW).....                                             | 18          |
| 3.1.1 Kaynak Ekipmanları.....                                                  | 18          |
| 3.2. TIG Kaynağı.....                                                          | 21          |
| 3.2.1. Kaynak Ekipmanı.....                                                    | 22          |
| 3.2.2. İşlem Parametreleri .....                                               | 23          |
| <b>4. DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>                                               | <b>26</b>   |



|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| 4.1. Malzeme .....                            | 26        |
| 4.2. Metod .....                              | 27        |
| 4.2.1. Kaynaklı Birleştirme .....             | 28        |
| 4.2.2. Korozyon Deneyi .....                  | 30        |
| 4.2.3. Isıl İşlem.....                        | 31        |
| 4.2.4. Metalografi İncelemeleri .....         | 32        |
| 4.2.5. SEM-EDS İncelemeleri.....              | 33        |
| 4.2.6. XRD İncelemeleri .....                 | 34        |
| 4.2.7. Mikro Sertlik İncelemeleri .....       | 34        |
| <b>5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>    | <b>37</b> |
| 5.1. Mikroyapı Sonuçları ve Tartışma.....     | 37        |
| 5.2. SEM-EDS Sonuçları ve Tartışma .....      | 45        |
| 5.3. Mikro Sertlik Sonuçları ve Tartışma..... | 69        |
| 5.4. XRD Sonuçları ve Tartışma .....          | 72        |
| <b>6. SONUÇLAR .....</b>                      | <b>75</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                        | <b>77</b> |

## ŞEKİLLERİN DİZİNİ

| <b><u>Sekil</u></b>                                                                                                                    | <b><u>Sayfa</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 2.1. X1200 büyütmede Cr/8 Ni (0,10 C)'lu paslanmaz çeliğin tane sınırlarında oluşan karbür çökmesi [1] .....                           | 8                   |
| 2.2. Katılaşma faz sınırlarını da içeren WRC-1992 diyagramı [1] .....                                                                  | 9                   |
| 2.3. Kimya endüstrisinde paslanmaz çeliklerde görülen hasar türleri [14].....                                                          | 14                  |
| 3.1. Nd: YAG lazer sisteminin şematik gösterimi .....                                                                                  | 19                  |
| 3.2. CO <sub>2</sub> çapraz akışlı lazer sisteminin şematik gösterimi .....                                                            | 20                  |
| 3.3. Gaz tungsten ark kaynağı (GTAW) şematik gösterimi .....                                                                           | 22                  |
| 3.4. Kaynak boncuğu şekline akım ve kutup açığının etkisi.....                                                                         | 23                  |
| 4.1. Deneysel çalışmanın şematik gösterimi .....                                                                                       | 26                  |
| 4.2. Deneylerde kullanılan lazer kaynaklı malzemelerin kaynak işlemi.....                                                              | 29                  |
| 4.3. Deneylerde kullanılan TIG kaynaklı malzemelerin kaynak işlemi.....                                                                | 30                  |
| 4.4. AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik malzemelere 275 oC'de 24 saat uygulanan korozyon testi.....                               | 31                  |
| 4.5. Kutu tipi Heraeus KR250 marka tav fırınında ısıtım işlem uygulaması .....                                                         | 32                  |
| 4.6. LEICA DM4000M marka optik mikroskobu.....                                                                                         | 33                  |
| 4.7. Jeol JEM 6060 marka LV Tarama Elektron Mikroskobu .....                                                                           | 33                  |
| 4.8. GALILEO DUROMETRIA marka mikro sertlik ölçüm cihazı.....                                                                          | 34                  |
| 4.9. AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik malzemenin 308L ilave tel ile lazer kaynak işlemi .....                                   | 35                  |
| 4.10. 308L dolgu teli ile kaynaklanmış lazer kaynaklı malzemelerin mikrovickers sertlik taraması a) Ana metal, b) Kaynak bölgesi ..... | 35                  |
| 4.11. AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik malzemenin 308L ilave tel ile TIG kaynak işlemi .....                                    | 35                  |
| 4.12. 308L teli ile TIG kaynaklı malzemelerin mikrovickers sertlik taraması a) Ana metal, b) ITAB, c) Kaynak bölgesi .....             | 36                  |
| 5.1. AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü.....                                                                | 37                  |
| 5.2. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrası mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) Kaynak bölgesi .....         | 38                  |

|                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.3. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) Kaynak bölgesi ..                                                                              | 39 |
| 5.4. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) Kaynak bölgesi.....                                                                            | 39 |
| 5.5. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin mikroyapı görüntüler, a) Ana metal, b) Kaynak bölgesi...                                                                               | 40 |
| 5.6. TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrası mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) ITAB, c) Kaynak bölgesi .....                                                                                                          | 41 |
| 5.7. TIG kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) Kaynak bölgesi.....                                                                              | 42 |
| 5.8. TIG kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) ITAB, c) Kaynak bölgesi .....                                                                    | 43 |
| 5.9. TIG kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) ITAB, c) Kaynak bölgesi .....                                                                    | 44 |
| 5.10. AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik malzemenin korozyon sonrasına ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri.....                                                                                                             | 46 |
| 5.11. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrası ana metal bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı .....                                   | 47 |
| 5.12. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrası kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....                                  | 48 |
| 5.13. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin ana metal bölgesi ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı..... | 49 |
| 5.14. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS                                                                                       |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....                                                                                                                                                                 | 50 |
| <b>5.15.</b> Lazer kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin ana metal bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....   | 51 |
| <b>5.16.</b> Lazer kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı..... | 52 |
| <b>5.17.</b> Lazer kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin ana metal bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....   | 53 |
| <b>5.18.</b> Lazer kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı..... | 54 |
| <b>5.19.</b> TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrasına ait ana metal bölgesi EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....                                  | 55 |
| <b>5.20.</b> TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerin korozyon sonrası ITAB bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) ITAB bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....                                          | 56 |
| <b>5.21.</b> TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrası kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....                                        | 57 |
| <b>5.22.</b> TIG kaynağı ile birleştirmiş korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin ana metal bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....       | 58 |
| <b>5.23.</b> TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin ITAB bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS                                                                                               |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| analiz grafikleri, a) ITAB bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....                                                                                                                                                                 | 59 |
| <b>5.24.</b> TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı..... | 60 |
| <b>5.25.</b> TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin ana metal bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....   | 61 |
| <b>5.26.</b> TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin ITAB bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) ITAB bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....     | 62 |
| <b>5.27.</b> TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı..... | 63 |
| <b>5.28.</b> TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin ana metal bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....   | 64 |
| <b>5.29.</b> TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin ITAB bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) ITAB bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı.....     | 65 |
| <b>5.30.</b> TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı..... | 66 |
| <b>5.31.</b> AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik malzemenin korozyon sonrası mikro sertlik grafiği.....                                                                                                                                             | 69 |

|                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.32. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat, 850 °C’de 1 saat ve 850 °C’de 5 saat ısıtım işlem görmüş malzemenin mikro sertlik grafiği ..... | 70 |
| 5.33. TIG kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat, 850 °C’de 1 saat ve 850 °C’de 5 saat ısıtım işlem görmüş malzemenin mikro sertlik grafiği .....   | 71 |
| 5.34. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzeme ve lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerin korozyon ve ısıtım işlem sonrası XRD sonuçları.....                      | 73 |
| 5.35. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzeme ve TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerin korozyon ve ısıtım işlem sonrası XRD sonuçları.....                        | 74 |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Cizelge</u>                                                                                                                                     | <u>Sayfa</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 4.1. Deneylerde ve testlerde kullanılan AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin ölçüm sonucu belirlenen kimyasal bileşimleri (% ağırlık) ..... | 26           |
| 4.2. Deneylerde kullanılan AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri .....                                                     | 27           |
| 4.3. Deneylerde kullanılan AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri .....                                                    | 27           |
| 4.4. TIG kaynağında kullanılan ilave telin (308L) kimyasal analizi .....                                                                           | 27           |
| 4.5. Deneylerde kullanılan TIG ilave telinin mekanik özellikleri .....                                                                             | 27           |
| 4.6. Lazer kaynağı parametreleri .....                                                                                                             | 28           |
| 4.7. TIG kaynağı parametreleri .....                                                                                                               | 29           |
| 4.8. Lazer ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmiş ve korozyona tabi tutulmuş malzemelere uygulanan ısı işlem parametreleri.....               | 31           |
| 5.1. Lazer kaynaklı malzemelerin ana metal ve kaynak metali bölgelerindeki tane içi ile tane sınırındaki element EDS analiz değerleri .....        | 67           |
| 5.2. TIG kaynaklı malzemelerin ana metal, ITAB ve kaynak metali bölgelerindeki tane içi ile tane sınırındaki element EDS analiz değerleri .....    | 68           |

## SİMGELER DİZİNİ

|           |                                              |
|-----------|----------------------------------------------|
| $2\theta$ | : Pik açıları                                |
| AC        | : Alternatif akım                            |
| $Cr_{eş}$ | : Cr eş değeri                               |
| DC        | : Doğru akım                                 |
| DCEN      | : Doğru akım elektro negatif                 |
| DCEP      | : Doğru akım elektro pozitif                 |
| GPa       | : Gigapascal                                 |
| HV        | : Vickers sertliği                           |
| $I_p$     | : Pulse akımı                                |
| MPa       | : Megapascal                                 |
| Nd: YAG   | : Neodimyum katkılı itriyum alüminyum granat |
| $Ni_{eş}$ | : Ni eş değeri                               |
| $\rho_r$  | : Elektrik direnci                           |
| $t_p$     | : Pulse zamanı                               |
| $\beta$   | : Pik genişliği                              |



## KISALTMALAR

|           |                                                                                     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| TIG       | : Tungsten Inert Gas (Tungsten Asal Gaz)                                            |
| TS EN ISO | : Turkish Standard - European Norm - International Organization for Standardization |
| ASME      | : American Society of Mechanical Engineers (Amerika Makine Mühendisleri Birliği)    |
| AISI      | : American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)             |
| GTAW      | : Gas Tungsten Ark Welding (Gaz tungsten ark kaynağı)                               |
| LPDL      | : Low power diode laser (Düşük güçlü diyot lazer)                                   |
| HPDL      | : High power diode laser (Yüksek güçlü diyot lazer)                                 |
| SEM-      | : Scanning Electron Microscope (Taramalı elektron mikroskobu)                       |
| EDS       | : Energy Dispersive Spectrometer (Elektronik denetleme sistemi)                     |
| XRD       | : X-ray Powder Diffraction (X-Işını kırınım yöntemi)                                |

## 1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler; içerisinde minimum %10,5 oranında krom (Cr) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan ince ve yoğun krom oksit tabakası korozyona karşı yüksek direnç sağlar ve oksidasyonun daha derine doğru ilerlemesini engel olur [1].

Tüm paslanmaz çeliklerin mükemmel bir korozyon direnci vardır. Bunun nedeni yoğun bir krom oksit tabakasına sahip olmasıdır. Korozyona direnç gösteren bu ince pasif tabakanın amacı; çelik yüzeyindeki pasif tabaka kırıldığı zaman çelik bölgesel olarak korozif saldırıya uğrar ve bu yüzden aktifleşen bölgede metalin korozyonu devam eder. Bu yüzden oyuklanma ve çatlak korozyonu, gerilmeli ve tane sınırı korozyonu gibi bölgesel korozyon türleri genel korozyondan daha kritiktir. Bunun gibi çelik için tehlikeli korozyon türlerini engellemek için çeliğe bazı alaşım elementleri ilave edilir. Krom, molibden, nikel gibi ilave alaşım elementleri, çeliğin bölgesel saldırılara karşı koyabilme özelliğini artırır.

Paslanmaz çelikler iç yapılarına göre martenzitik, ferritik, östenitik, dubleks (çift fazlı) ve çökeltme sertleştirmeli olarak beş ana grupta toplanır. Bu çeşitliliğe bağlı olarak da imalat, savunma, eczacılık, kimya, sağlık, yiyecek, tekstil gibi çok geniş alanlarda kullanılmaktadır.

Paslanmaz çeliklerin içinde en çok tercih edilen türden biri olan östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimini %16-25 Cr ve %7-20 Ni içeren üçlü demir-krom-nikel alaşımı oluşturur. Bu alaşımların yapıları bütün ısı işlemlerde östenitik (yüzey merkez kübik) yapıda kaldığı için östenitik paslanmaz çelik olarak adlandırılırlar. Bazı alaşımlarda bir miktar nikel manganla yer değiştirir ve yapıları halen östenitik olarak kalır [1].

Östenitik paslanmaz çeliğin kaynaklanabilirliğinin iyi, korozyon direncinin yüksek, manyetik özellik göstermemesi ve kolay işlenebilir olması olumlu özelliklerindendir. Mekanik özelliğinin çok farklı olmaması ya da maliyetinin yüksek olması bu tercih konusunu değiştirmemektedir. Çünkü korozif ortama olan dayanıklılığı ve tersine manyetik özelliğinin olmamasından dolayı östenitik paslanmaz çelikler diğer

eliklere göre önceliklidir. Her geçen gün gelişen ülkemiz ve dünya sanayisinde paslanmaz çeliğe olan ihtiyaın artması kullanım alanlarını genişletmiştir. Enerji santralleri, eczacılık, gıda, tekstil, kimya sektörlerinde kullanılan depolama tanklarından basınçlı kaplara, boru imalatına ve hatta günlük hayatımızı geçirdiğimiz birçok alanda kendine geniş bir yer edinmiştir.

Paslanmaz elikler adları gibi davranış gösteren, paslanmayan malzemeler değillerdir. Kullanıldıkları yerlere göre korozyon açısından çok dikkat edilerek seçilmeli ya da kontrol edilmelidir [2]. Özellikle, stenitik paslanmaz çelikler tavlama veya kaynak işlemleri sırasında, yeteri kadar bir süre 500-800 C aralığında kalırlarsa, tanelerarası korozyona hassas hale gelirler. Bu tip korozyon yapının dış görünüşte bir değişiklik olmaksızın devam eder ve fark edilmeden malzemeyi zayıflatır, bu yüzden çok tehlikelidir [3]. Tanelerarası korozyona duyarlılığın ölçümü, için birçok çalışmalar yapılmış ve testler geliştirilmiştir. Bunların en eskisi ASTM tarafından uygulama ve değerlendirme aşamaları standartlaştırılmış olan asit test metotlarıdır [4]. Uygulamadaki sadelik ve test sonuçlarının sunduğu yorum kolaylığı nedeniyle de hala yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Sonraları tahribatsız ve hızlı bir test yöntemi olan elektrokimyasal potansiyostatik reaktivasyon (EPR) testi geliştirilmiş ve tek evrimli (SL-EPR) ve çift evrimli (DL-EPR) olarak iki farklı metot dizayn edilmiştir. Bu yeni yöntemlerin paslanmaz çeliklerin tanelerarası korozyona duyarlılığının belirlenmesi açısından yeterli olup olmadığını anlamak için yapılan çalışmalar sonucu, ASTM zellikle AISI 304 elikleri için tek çevrimli yöntemi standartlaştırmıştır [5]. Ancak yapılan çalışmaların yetersiz olduğundan 304 için çift çevrimli yöntem ve diğer elik türleri için her iki yöntem henüz standartlaştırılamamıştır.

Bu çalışmada, kaynaklı birleştirmelerde özellikle ITAB bölgesinde yüksek sıcaklığa maruz kalan östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon davranışları incelenmiştir. Bunun için 2 mm kesit kalınlığında malzemeler seçilmiş, lazer ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmiştir. Birleştirilen malzemeler incelenmiş ve daha sonra TS 3157 EN ISO 3651-2/Kasım 2000 standardına uygun olarak korozyon testlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca yüksek sıcaklıkta ısıl işlem uygulanarak korozyon davranışları incelenerek ayrı ayrı tartışılmıştır.

## 2. PASLANMAZ ÇELİKLER VE PASLANMAZ ÇELİKLERİN KOROZYONU

### 2.1. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler; içerisinde en az %10,5 oranında krom içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan ince ve yoğun krom oksit tabakası korozyona karşı yüksek direnç sağlar ve oksidasyonun daha derine doğru ilerlemesini engel olur. Çok ince olan bu oksit tabakası sayesinde paslanmaz çelikler kimyasal reaksiyonlara karşı pasifleşerek indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı direnç kazanırlar. Söz konusu oksit tabakası, oksijen bulunduran ortamlarda oluşur ve dış etkiler (aşınma, kesme veya talaşlı imalat vb.) bozulsada dahi kendini onararak eski özelliğine tekrar kavuşur [1, 6].

Normal alaşımsız ve az alaşımlı çelikler korozyon etkilere karşı dirençli olmadıklarından, bu tür uygulamalar için genellikle paslanmaz çeliklerin kullanılması tercih edilir. Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanı sıra, değişik mekanik özelliklere sahip, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir olmaları, şekil verme kolaylığı, estetik görünüş gibi özelliklere sahiptirler. Kullanımları her geçen gün artan paslanmaz çeliklerin tüketimi, atık toplumlarda refah seviyesinin göstergesi sayılmaktadır. Dünya genelinde yılda yaklaşık 20 milyon ton civarında paslanmaz çelik tüketilmektedir. Bunların geneli yassı ürünler oluşturur. Daha az miktarlarda ise; çubuk, tel, boru ve döküm parça olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler diğer çeliklere kıyasla fiyat bakımından daha pahalıdır, ama bakımlarının kolay olması, uzun ömürlülüğü, tamamıyla geri kazanabilmeleri ve çevre dostu bir malzeme olmaları çok büyük avantajlar sağlar.[6].

### 2.2. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

Paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilir. Krom miktarı yükseltilerek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri ilave edilerek korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama ile ilave olumlu etkiler sağlanabilir. Bu sayede makine

tasarımcıları ve imalatçıları değişik kullanımlar için en uygun paslanmaz çeliği seçme şansına sahip olurlar. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya östenitik olmasını belirler. (Şekil 2.1.) Paslanmaz çelikler 5 ana grupta toplanırlar:

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

Bu gruplandırma malzemelerin içyapısına göre yapılmıştır. Bu paslanmaz çelikler içinde en yaygın olarak kullanılanları östenitik ve ferritik çelikler olup, tüm paslanmaz çelikler içerisinde %95'e ulaşır [6].

### **2.2.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler**

Ferritik paslanmaz çelikler düşük karbonlu ve %12-18 Cr içeren paslanmaz çeliklerdir. Düşük miktarda alüminyum, niyobyum, titanyum ve molibden gibi ferrit dengeleyici elementler içerir. Bunlar her sıcaklıkta ferritik yapıdadırlar ve bu nedenle östenit oluşturmazlar ve ısıtma işlemiyle sertleştirilemezler.

Bu çeliklerin en karakteristik özelliği, kaynakta ve ısı tesiri altında kalan bölgede oluşan ve kaynak dikişinin tokluğunda düşüşe sebep olan tane büyümesidir. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında tercih edilen dolgu metalindeki krom içeriğinin ana metaldeki ile aynı ya da yakın olmasında fayda vardır. Tane büyümesini en aza indirmek için kaynak dikişindeki ısı girdisi düşük olmalı ve ön ısıtma sıcaklığı 300-450 °C arasında tutulmalı, hatta sadece yararlı ise uygulanmalıdır [1,6].

Ferritik paslanmaz çeliklerin zellikleri:

- Orta ila iyi seviyede olan korozyon dayanımı, krom miktarının artması ile iyileşir.
- Isıl işleme mukavemet arttırılmaz ve sadece tavlanmış durumda kullanılır.
- Kaynak edilebilme yetenekleri düşüktür.
- Manyetik zelliktedir.

Kullanım alanları:

- Mutfak gereçleri,
- Dekoratif uygulamalar,
- Otomobil şasi parçaları,
- Egzoz elemanları,
- Sıcak su tankları [6].

### 2.2.2. Martenzitik Paslanmaz elikler

Martenzitik yapılı paslanmaz çelikler bileşiminde %11,5-18 Cr ve %1,5 C bulunduran, sertleştirme koşullarında hacim merkez kübik kristal yapısına sahip ve ısıl işlem ile sertleştirilebilen çeliklerdir. Düşük oranda Mn ve Ni içerirler. Östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050 °C arasındadır. Bu sıcaklıklarda tutulan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Bu şekilde elde edilen yüksek sertlik ve mekanik dayanım, karbon yüzdesi ile artar [6, 7].

Martenzitik paslanmaz çelikler demir - krom elikleridir. Diğer alaşım elementlerinin ilavesi düşük miktardadır. Kuvvetli östenit yapıcı olan karbon belli bir miktara ulaşınca kromun ferrit yapıcı etkisi ortadan kalkar ve yüksek sıcaklıkta oluşan östenitin soğuma hızına bağlı olan dönüşüm ürününe göre genellikle havada su alan martenzitik paslanmaz elik elde edilir [8].

Martenzitik paslanmaz çeliklerin zellikleri:

- Orta derecede korozyon dayanımına sahiptirler.
- Isıl işlem uygulanabilir, böylece yüksek mukavemet ve sertlik elde edilebilir.
- Kaynak edilebilme yetenekleri düşüktür.

Kullanım alanları:

- Bıçaklar,
- Ameliyat aletleri,
- Miller,
- Pimler [6].

### **2.2.3. Östenitik Paslanmaz elikler**

Östenitik paslanmaz elikler %16-26 Cr, %10-24 Ni+Mn, %0,40'a kadar karbon ve düşük miktarda molibden, titanyum, niyobyum ve tantalyum gibi alaşım elementlerini içerir. Paslanmaz eliğın bileşiminde yeterince nikel bulunursa, içyapısı oda sıcaklığında da östenitik olur. Sneklikleri, toklukları ve biçimlendirilme yetenekleri düşük sıcaklıklarda dahi mükemmeldir. Manyetik olmayan bu çeliklerin mekanik dayanımları ancak soğuk şekillendirme ile yükseltilebilir. Toplam paslanmaz elik üretimi içinde östenitik paslanmaz çeliklerin payı %70'tir ve aralarında en çok kullanılan 304 kalite tipidir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin zellikleri:

- Mkemmek korozyon dayanımına sahiptirler.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri mükemmeldir.
- Sünek olduklarından kolay şekil alabilirler.
- Hijyeniktirler, temizliğı ve bakımı kolaydır.

- Yüksek ve düşük sıcaklıklarda iyi mekanik özellik gösterirler.
- Manyetik değildirler.

Kullanım alanları:

- Makine ve imalat sanayinde çeşitli uygulamalar,
- Asansörler,
- Bina ve dış cephe kaplamaları,
- Mimari uygulamalar,
- Gıda işleme donanımları,
- Mutfak gereçleri,
- Kimya tesisleri ve donanımları,
- Bilgisayar klavye yayları,
- Mutfak evyeleri [6].

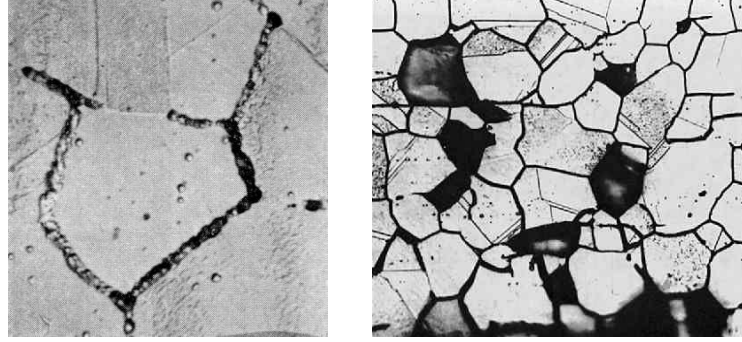
Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında üç kaynak sorunu vardır. Bunlar;

- Isı tesiri altında kalan bölgede “Krom Karbür” oluşmasıyla meydana gelen hassas yapı,
- Kaynak dikişinde görülen “Sıcak Çatlak” oluşumu ve
- Yüksek çalışma sıcaklıklarında oluşan “Sigma Fazı” oluşumu riskidir [1, 6].

#### Krom Karbür oluşumu

Isı tesiri altında kalan alanın 427-871 °C sıcaklığa kadar ısınan bölümünde bulunan, tane sınırlarında çökelen ve taneler arası korozyonu hızlandıran krom karbürler burada hassas yapı oluşturur (Şekil 2.1.). Bu oluşum sırasında bir miktar krom çözültiden tane sınırlarına doğru yer değiştirir ve bunun sonucunda bu bölgesel alanlarda krom miktarı azalacağı için korozyon dayanımı düşer [1].





**Şekil 2. 1.** X1200 büyütmede Cr/8 Ni (0,10 C)'lu paslanmaz çeliğin tane sınırlarında oluşan karbür çökmesi [1]

Bu problem, kromla birleşerek krom karbür oluşmasına sebep olan karbonun yapıda düşük seviyelerde tutulduğu düşük karbonlu (L tipi) ana metallerin ve ilave metallerinin kullanılmasıyla giderilebilir. Yanı sıra kaynak işleminin ön tavlama uygulanmadan yapılması, ısı girdisinin düşük seviyede tutulması ve bakır altlık kullanılarak hızlı soğuma sağlanması hassas sıcaklık aralığında kalma süresinin kısa tutulması açısından oldukça faydalıdır. [1].

#### Sıcak çatlak oluşumu

Sıcak çatlakların temel nedeni; kükürt ve fosfor gibi elementlerin meydana getirdiği ve tane sınırlarında toplanma eğilimi fazla olan düşük erime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir. Bu bileşimler, eğer kaynak dikişinde veya ısı tesiri altında kalan bölgede bulunuyorsa, tane sınırlarına doğru ilerlerler ve kaynak dikişi soğurken ve çekme gerilmeleri oluştuğunda çatlama neden olurlar.

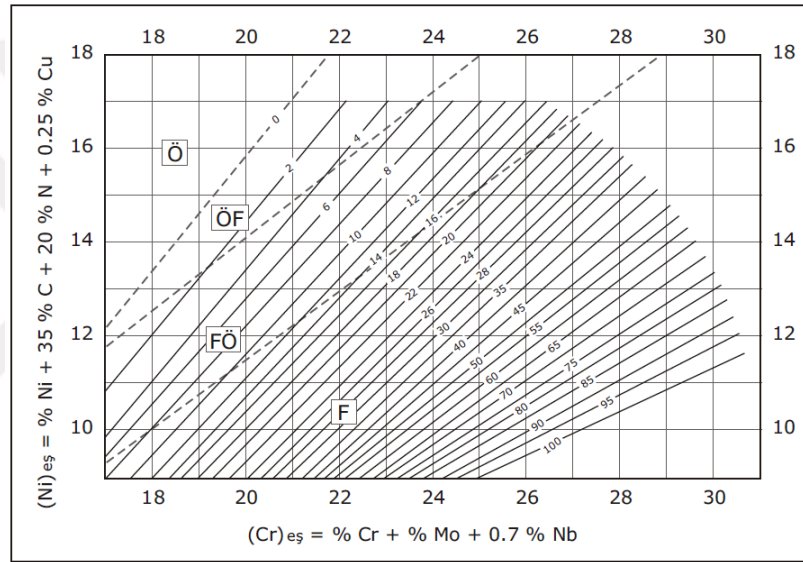
Sıcak çatlak oluşumu, ilave metalin ve ana metalin kimyasal bileşiminin östenitik matrikste düşük miktarda ferrit içeren bir mikroyapı elde edilecek şekilde ayarlanmasıyla ortadan kaldırılabilir.

Eğer dolgu malzemesinin ve ana metalin kimyasal bileşimi biliniyorsa, çeşitli diyagramlar kullanılarak bir tahminde bulunmak mümkündür. Bu diyagramlardan en bilineni ve en eski olanı 1948 yılında SCHAEFFLER tarafından geliştirilen “Schaeffler Diyagramı”dır. Bu diyagramda yatay eksen Cr eşdeğerini, dikey eksen ise Ni eşdeğerini ifade etmektedir.

$$(Cr) = \%Cr + \%Mo + 1,5 \%Si + 0,5 \%Ni \quad (2.1)$$

$$(Ni) = \%Ni + 30 \%C + 0,5 \%Mn \quad (2.2)$$

Schaeffler Diyagramının uzun yıllar kullanılmasına rağmen, azotun etkisinin hesaba katılmaması ve diyagramdan elde edilen verilerin, ölçüm sonrası belirlenen ferrit yüzdeleri ile farklılıklar göstermesi ile günümüzde kullanımını kaybetmiştir. 1973 WRC-DeLong Diyagramı'nı Schaeffler Diyagramı'ndan ayrı kılan en önemli özellik nikel eşdeğeri hesaplanırken yanında azot miktarının da göz önüne alınması ve sonucun ferrit yüzdesine ek olarak "FN-Ferrit Numarası" ile belirtilmesidir.



**Şekil 2.2.** Katılaşma faz sınırlarını da içeren WRC-1992 diyagramı [1]

Günümüzde en sık kullanılan ve en sağlıklı sonucu veren diyagram Şekil 2.2.'de belirtilen WRC-1992 diyagramıdır ve WRC-DeLong Diyagramı'nın yerini almıştır. Bu diyagramda, krom ve nikel eşdeğerleri aşağıdaki verilen formüllerle hesaplanmaktadır.

$$(Cr) = \%Cr + \%Mo + 0,7 \%Nb \quad (2.3)$$

$$(Ni) = \%Ni + 35 \%C + 20 \%Ni + 0,25 \%Cu \quad (2.4)$$

Görüldüğü gibi nikel ve krom eşdeğerleri Schaeffler ve WRC-DeLong diyagramlarındakinden farklı olarak hesaplanmaktadır. Ferrit numarası diyagramın

nikel eşdeğerini gösteren ekseninden sağa doğru yatay, krom eşdeğerini gösteren ekseninden yukarıya doğru dikey çizgiler çizilerek bulunur. Ferrit numarasını yatay ve dikey doğruların kesiştiği noktadan geçen çapraz çizgiler göstermektedir [1].

#### Sigma fazı oluşumu

“Sigma Fazı”, çok sert (700-800 Vickers), manyetik olmayan ve gevrek yapıya sahip metaller arası bir bileşiktir. Röntgen ışını ile yapılan analizde bileşiminin yaklaşık %52 Cr ve %48 Fe’den oluştuğu ancak bunun yanında molibden gibi alaşım elementlerini de içerdiği görülmüştür. Sigma fazı, kromlu veya krom-nikel esaslı paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerin kaynak bölgesinde oluşur [1].

#### **2.2.4. Östenitik-Ferritik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler**

Östenitik-Ferritik (Dubleks) paslanmaz çelikler, yüksek oranda Cr (%18-28) ve orta miktar Ni (%4,5-8) içeren çeliklerdir. Nikel miktarı maksimum %8 olup, bütün içyapının östenitik olması için yetersizdir. Dubleks olarak adlandırılmasının nedeni ferrit ve östenit fazlarından oluşan içyapının olmasıdır. Dubleks çeliklerin çoğunluğu %2,5-4 Mo içerir. Bunlar hem iyi dayanım hem de iyi süneklik özelliklerini birlikte sağlarlar. Ayrıca korozyon ortamlarında bile çok yoğun yorulma dayanımı vardır. Tavsiyelere dikkat edilirse kaynak yapılması kolaydır. Genellikle kimyasal aparat imalatında, arıtma tesislerinde ve deniz veya off-shore teknolojisinde kullanılır [6].

Mevcut ticari kaliteler %22-26 Cr, %4-7 Ni, azami %4,5 Mo, yaklaşık %0,7 Cu ve W ile %0,08-0,35 N içerirler. Başlıca dört ana kalitesi vardır.

- Fe-23Cr-4Ni-O, 1N,
- Fe22Cr-5,5Ni-3Mo-O, 15N,
- Fe-25Cr-5Ni-2,5Mo-0,17N-Cu ve
- Fe-25Cr-7Ni-3,5Mo-0,25N-W-Cu.

Bunlardan dördüncüsü süper-dubleks diye adlandırılır. Bu türdeki çelikler üzerinde araştırma ve deneyler devam etmekte, mekanik özellikler ile korozyon dayanımında

sürekli iyileşmeler sağlanmaktadır. Östenitik-ferritik çelikler ferrit yapıcı elementlerin oranına bağlı olarak %10'a kadar kadar delta ferrit içerirler. İlk önce katılaştan bu faz, içyapının ince taneli olmasını sağlar. Sıcak çatlak duyarlılığını arttıran kükürt, fosfor, silisyum gibi elementler de büyük ölçüde ferrit kafesi içinde çözünerek östenit ağından uzaklaşır ve böylece bu çeliklerde sıcak çatlaması riski azalır [1].

Östenitik-Ferritik (Dubleks) paslanmaz çeliklerin özellikleri:

- Gerilmeli korozyona karşı yüksek mukavemete sahiptir.
- Klor iyonunun bulunmadığı ortamlarda daha yüksek korozyon dayanım gösterirler.
- Östenitik ve ferritik çeliklerden daha yüksek mekanik dayanım sağlarlar.
- İyi kaynaklanabilirlik ve şekil alma yetenekleri vardır.

Bazı kullanım alanları:

- Deniz ve tuzlu su ortamlarında,
- Isı değiştiricilerinde,
- Petrokimya tesislerinde [6].

#### **2.2.5. Çökelme Sertleşmesi (Yaşlandırma) Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler**

Çökelme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanabilir paslanmaz çeliklerin ana içyapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Çökelme olayını gerçekleştirebilmek için bazen önce soğuk şekil vermek gerekebilir. Çökelti oluşumu için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılır. Bu sayede mukavemetleri 1700 MPa'ya kadar çıkan paslanmaz çelikler elde edilebilir.

Çökelme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanabilir paslanmaz çeliklerin özellikleri:

- Orta ila iyi derecede korozyon dayanımı vardır.
- Çok yüksek mekanik dayanım gösterirler.

- Kaynak edilebilme kabiliyetleri yüksektir.

Bazı kullanım alanları:

- Pompa,
- Vana şaftları. [6]

### **2.3. Korozyon**

Korozyon, kimyasal ve/veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu malzeme yüzeyinden başlayan ve malzemenin derinliklerine doğru etki ederek devam eden bir bozunma sürecidir. Bu süreç malzeme özelliklerinin değişimine yol açar ve büyük zararlara neden olur. Korozyon, önemli israf kalemlerinden birini oluşturmaktadır [9].

Bütün metaller doğada mineral olarak bulundukları hale dönüşme eğilimindedirler. Doğadaki mineraller, söz konusu metalin en kararlı halinde bulunurlar. Bu metaller özel metalürjik yöntemlerle enerji harcanarak metal haline dönüştürülürler. Ancak metallerin birçoğu element halinde termodinamik olarak kararlı değildir. Metaller uygun bir ortamda üzerinde taşıdıkları kimyasal enerjiyi geri vererek tekrar minimum enerji taşıyan kararlı hallerine dönüşmek isterler. Bu nedenle korozyon olayı enerji açığa çıkararak kendiliğinden devam eder. Bazı soy metaller haricindeki teknolojik öneme sahip bütün metaller ve alaşımları korozyona maruz kalabilir [10].

### **2.4. Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu**

#### **2.4.1. Paslanmaz Çeliklerde Pasifleşme**

Pasifleşme, bir reaksiyon sonucu çözünmeye uğrayan metal veya alaşım için anodik reaksiyonun önlenmesidir. Bu olayın sonucunda metal veya alaşımın korozyon dayanımı büyük oranda artmaktadır.

Paslanmaz çeliklerde pasifleşme, yapıda bulunan krom atomlarının ortamdaki mevcut oksijenle reaksiyona girmesi sonucu yüzeyde pasif bir krom oksit tabakası

oluşması şeklinde meydana gelir. Paslanmaz çelikler normalde pasiftirler. Ancak oksitleyici özelliği düşük olan korozyon ortamlarda aktifleşirler bu nedenle pasifliğin korunması, oksijen veren ortamların sürekliliğine bağlıdır [11].

Krom, paslanmaz çeliklere paslanmazlık özelliği kazandıran pasif tabakanın oluşmasını sağlayan ana elementtir. Paslanmaz çeliklere ilave edilen diğer elementler pasif tabakanın oluşmasında veya korunmasında kromun etkisine katkıda bulunabilir. Fakat bu elementlerin hiçbiri çeliğe paslanmazlık özelliğini tek başına kazandıramaz [12].

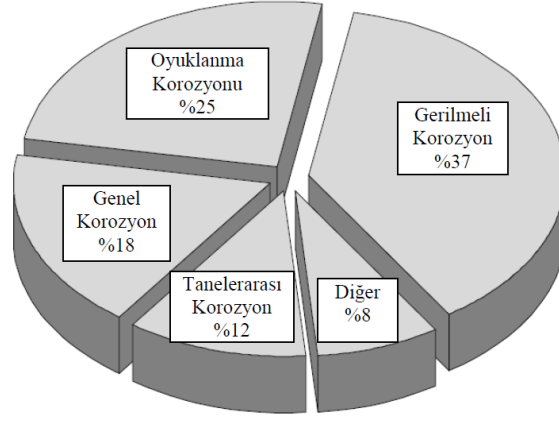
#### **2.4.2. Paslanmaz Çeliklerde Meydana Gelen Korozyon Türleri**

Paslanmaz çeliklerde karşılaşılan başlıca korozyon türleri aşağıda belirtilmiştir [12].

- Genel korozyon
- Tanerarası korozyon
- Galvanik korozyon
- Oyuklanma (pitting) korozyonu
- Aralık korozyonu
- Gerilmeli korozyon
- Erozif korozyon

Paslanmaz çelikler adları gibi davranış gösteren malzemeler değildir. Korozyona uğramamaları için kullanıldıkları yerlere göre çok dikkatli seçilmesi ya da kontrol edilmesi gereken malzemelerdir [13].

Şekil 2.3.'te kimya endüstrisinde kullanılan paslanmaz çelik malzemelerde görülen hasarların dağılımı verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere paslanmaz çeliklerde meydana gelen hasarların büyük bir kısmı korozyon nedenli olmaktadır [14].



**Şekil 2.3.** Kimya endüstrisinde paslanmaz çeliklerde görülen hasar türleri [14]

#### Genel korozyon

Paslanmaz çeliklerde genel korozyon yüzeydeki pasif filmi kaldıran ve yeniden oluşmasını engelleyen kuvvetli asitler ya da alkali ortamlarda meydana gelir. Böyle bir durum yanlış malzeme seçiminin sonucudur. Konsantrasyonu orta şiddette olan sıcak sülfürik asitli bir ortama, düşük kromlu ferritik paslanmaz çeliğin maruz kalması bu korozyonun oluşmasına neden olur [15].

#### Tanelerarası korozyon

Tanelerarası korozyon östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Asidik, klorlu ve azotlu bileşik içeren ortamlarda görülebilen bir çeşit korozyondur.

#### Galvanik korozyon

Galvanik korozyon; farklı iki metalin birbiri ile temas etmesi sonucu meydana gelen bir korozyondur. Bu korozyonda temas eden metallerden biri galvanik seride daha aktif iken diğeri daha pasiftir. Temas eden bu iki metal arasında potansiyel fark oluşur ve korozyon hızı bu potansiyel farka bağlı olarak değişir. Böyle bir durum paslanmaz çeliklerin temas bölgelerinde pasifliğin bozulmasına sebep olur [11].

### Oyuklanma korozyonu

Oyuklanma korozyonunda, metal yüzeyinde bölgesel oyuklar veya delikler oluşur. Paslanmaz çeliklerde oyuklanma korozyonu pasif tabakanın kararlılığı öncelikle krom ve molibden elementleri tarafından kontrol edilir [15].

### Aralık korozyonu

Aralık korozyonu aynı ya da farklı çeşitlerde metallerin bağlanmasında meydana gelen bir korozyon türüdür. Bağlantı bölgelerinde veya aralıklarda hava ile temasın kesilmesi ya da yeterli temas sağlanamaması halinde oksijen azlığından yüzeyde oluşan pasif tabaka onarılamamakta ve malzeme korozyona maruz kalmaktadır. Korozyon hızı oyuklanma korozyonunda olduğu gibi değişkenlik göstermektedir [11].

Paslanmaz çeliklerin aralık korozyonuna dayanımları, oyuklanma korozyonuna göstermiş oldukları dayanım ile benzerlik göstermektedir. Cr, Mo ve Ni içeriğinin yüksek olması aralık korozyonuna karşı dayanımı arttırmaktadır [12].

### Gerilmeli korozyon

Gerilmeli korozyonda, çekme gerilmesi ve korozyonun birlikte neden olduğu çatlama olayı meydana gelir. Çeşitli uygulamalarda kullanılan paslanmaz çelikler, bu işlemler sırasında iç ve dış gerilmelere maruz kalırlar. Bu gerilmelerle birlikte korozyon, Şekil 2.8.'de görüldüğü gibi paslanmaz çeliklerde çatlak başlangıcına ve ilerlemesine sebebiyet vermektedir. Gerilmeli korozyon tek başına malzemeye çok fazla etkisi olmayan hafif koroziv ortamlar ve çekme dayanımının çok altındaki gerilme değerlerinde dahi oluşabilmektedir [16].

Kaynaklı konstrüksiyonlarda presleme, bükme ve kaynak işlemi ile oluşan çekme ve basma gerilmeleri bulunur. Ayrıca yüksek iç basınç ve çalışma esnasındaki yüksek sıcaklık bu gerilmeleri artırır. Klorürlü, bazlı ve halojen sülfürlü ortamlarda gerilmeli korozyonu hızlandırır [17].



### Erozif korozyon

Metal ve alaşımlarının korozyonu, koruyucu oksit tabakasından bir parça ayrıldığı zaman hızlanabilir. Saldırının bu şekilde olması özellikle oksit tabakası kalınlığının korozyon dayanımını belirlemede önemli bir etkisi olduğu zaman önemlidir. Paslanmaz çelikteki bu tür durumlarda; pasif tabakanın erozyonu, korozyonun bir miktar hızlanmasına yol açabilir [15].

Bir metal ile ortam arasındaki bağıl hareketin, metalin (pasif tabakanın) aşınma ya da parçalanma hızını artırmasıyla erozif korozyon meydana gelir. Genel olarak daha yüksek kromlu ve daha sert paslanmaz çelikler erozif korozyona karşı en iyi dayanımı gösterir [12].

### **2.4.3. Paslanmaz Çeliklerin Çeşitli Ortamlardaki Korozyon Dayanımları**

#### Atmosferik ortamlarda korozyon dayanımı

Hava kirliliğinin olmadığı durumlarda hemen hemen bütün paslanmaz çelik türleri, %100 nem altında bile yüksek korozyon dayanımına sahiptir. Hava kirliliğinin olmadığı atmosferik ortamlarda paslanmaz çelik; temin edilebilirlik ve görünüm beklentilerine bağlı olarak seçilebilir. Havanın nemli olmadığı bölgelerde düşük maliyetli paslanmaz çelikler kullanılabilir. Sanayi ortamında kullanılacak paslanmaz çelikler, hava kirliliğine ve görünüm beklentilerine bağlı olarak seçilir. Sanayi ortamında en çok sorun çıkaran durum, klorür veya bileşiklerinden dolayı olan kirliliktir. Paslanmaz çelikler, su ile yıkamanın mümkün olmadığı kapalı ortamlarda hızlı bir şekilde korozyona maruz kalırlar [6].

#### Sulu ortamlarda korozyon dayanımı

Deniz suyu veya tuzlu sulu ortamlarda kullanılacak paslanmaz çeliklerin seçimi, atmosferde kullanılacak paslanmaz çeliklerin seçiminde daha karmaşıktır. Paslanmaz çelikler, içerisinde az miktarda klorür içeren temiz sulara karşı genellikle iyi korozyon dayanımı gösterirler [6].

Deniz suyunda yaklaşık olarak ağırlıkça %3,5 NaCl ile beraber önemli miktarda magnezyum, kalsiyum, potasyum, sülfat ve bikarbonat iyonları da bulunmaktadır.

Deniz suyunun oksijen içeriği açık atmosferin içerdği serbest oksijen miktarına yakın olup pH değeri 8,0-8,3 arasındadır. Deniz suyunun sahip olduğu yüksek iyon konsantrasyonunun bir sonucu olarak, metallerle olan temasında korozif bir etki göstermesi kaçınılmazdır. Özellikle klorür gibi saldırgan iyonlar, metalik yüzeyden başlayıp metalin iç kesitine doğru hızlı bir şekilde ilerleyip çoğunlukla oyuklanma olarak gözlemlenen korozyona neden olmaktadır. Özellikle yüksek kromlu çeliklerde, yüzeyde oluşan pasif krom oksit tabakasının bariyer rolü oynayarak oksijen difüzyonunu engellemesi beklenir. Ancak saldırgan ortam koşullarında çoğu kez hasarın oluşması kaçınılmazdır [18].

#### *Kimyasal ortamlarda korozyon dayanımı*

Kimyasal ortamlarda paslanmaz çelikler; genel korozyon, tanelerarası korozyon, gerilmeli korozyon, oyuklanma korozyonu, aralık korozyonu ve/veya galvanik korozyona maruz kalırlar. Ortamın ufak değişiklikleri, malzemenin korozif ortamdaki davranışını değiştirebilir. Bu nedenle konstrüksiyonun tasarımı ve malzeme seçimi özenle yapılmalıdır [6].

Çeliğin içinde alaşım elementi olarak %10,5'i (EN 10088-1, 2005) aşan miktarda Cr bulunması, çeliği atmosferin ve nitrik asit ( $\text{HNO}_3$ ) gibi oksitleyici asitlerin korozif etkilerinden korur. Sadece Cr içeren çelikler hidroklorik asit ( $\text{HCl}$ ) ve sülfürik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) gibi asitlere karşı dayanıklı değildir. Bu asitler yüzeyi koruyan krom oksit tabakasını yok eder, dolayısı ile çelik korozyona karşı savunmasız kalır. Günümüzde redükleyici asitlere karşı da iyi dayanım gösteren paslanmaz çelikler üretilmektedir. Bu tür çelikler yapılarındaki krom harici yüksek miktarlarda nikel ve molibden içerirler. Ayrıca bu alaşım elementleri çeliklerin mikro yapılarını etkin bir şekilde değiştirir ve paslanmaz çeliklerin sınıflandırılmasına destek olur [19].

### 3. KAYNAK

#### 3.1. Lazer Işın Kaynağı (LBW)

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER) kelimelerinin baş harflerinden oluşturulan Lazer ışını ile kaynak (Laser Beam Welding) olabilecek yüksek güçlü, uyumlu tek renkli ışık demetinden oluşur. Lazer, üretilen çok yüksek bir enerji yoğunluğunun küçük bir noktaya odaklanması ile oluşur. Bir lazer ışını özel katı ya da gaz halinde malzeme elektromanyetik radyasyon emisyonu uyarılmasıyla üretilir. Bu malzemelerin atomları, uyarıcı enerjiyi absorbe ederek, bir popülasyonun tersine çevrilmesini sağlayarak, daha yüksek bir enerji seviyesinde atomların daha düşük bir seviyeden daha büyük olduğu bir duruma getirilir. Bu atomlar, fotonların kendiliğinden yayılmasıyla bozulur, bu da diğer uyarılmış atomlardan gelen emisyonu uyararak daha fazla foton üretebilir ve lazer ışığının çoğalmasını sağlar. Lazer ışık kaynakları, daha fazla ışık amplifikasyonu için fotonları yansıtan yansıtıcı yansıtma aynalarına sahiptir [20].

##### 3.1.1 Kaynak Ekipmanları

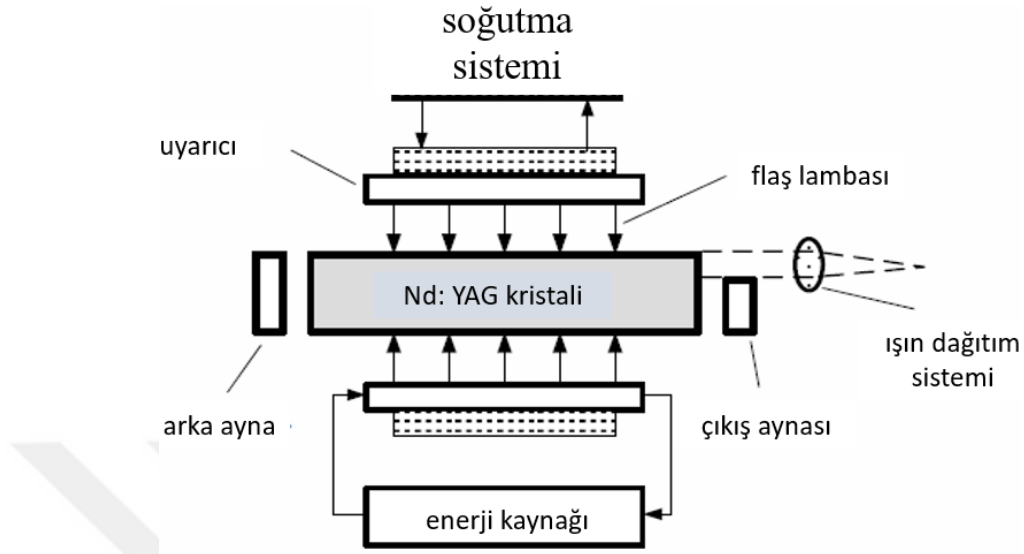
Kaynaklı birleştirmede kullanılan çeşitli lazer tipleri vardır. Kaynaklı birleştirmelerde Katı Hal Lazeri ve Gaz Lazeri kullanılır.

##### Katı Halli Lazerler

Kaynakta kullanılan katı-hal lazerler, %0.05 krom içeren bir yakut kristali kompozisyonu veya neodimyum katkılı katı itriyum alüminyum granat çubuğundan yapılmış Nd: YAG tipinden oluşan yakut tipindedir. Neodimdeki elektronların uyarılması, yüksek güçlü xenon flaş lambalarla (1-4 kV) yapılır (Şekil 3.1.).

Yüksek nabız gücüne sahip ticari katı hal lazerleri birkaç farklı noktada eşzamanlı kaynak yapabilirler. Kaynak noktası çapı, işleme optikleri tarafından 0,1 ila 2 mm sabit çalışma mesafesinde ayarlanabilir ve kaynak derinliği 2 mm'ye kadar lazer parametreleriyle kontrol edilebilir. Lazer ışını fiber optikler yoluyla da iletebilir, bu

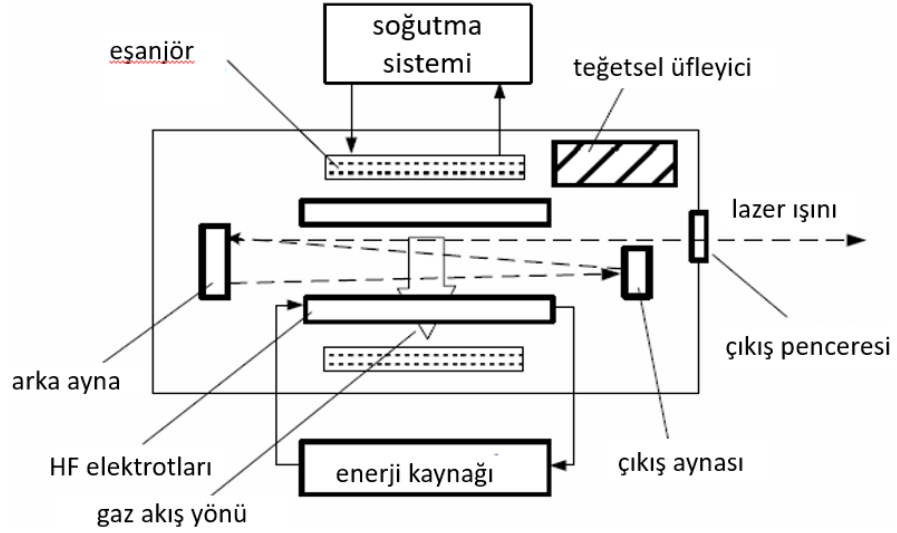
da lazer sistemlerinin esnekliğinin artırılması ve doğru ayna hizalama ihtiyacının azaltılması gibi çeşitli avantajlar sağlar.



**Şekil 3.1.** Nd: YAG lazer sisteminin şematik gösterimi

### Gaz Lazerler

Gaz lazerleri katı lazerlerden farklı özelliklere sahiptir. Eksenel akışlı CO<sub>2</sub> lazerler, gaz karışımının aktığı bir lazer tüpünden, ön ve arka aynalardan ve lazer gazının uyarılması için radyo frekans elektrotlarından oluşur. Arka ayna, kısmen yansıtan bir pencerenin bulunduğu ön aynanın karşısında tamamen yansımaktadır. Lazer ışını önemli bir kayıp olmadan iletmek için germanyum veya galyum arsenide pencereleri kullanılır. En yaygın lazer gazı karışımları, karbondioksit (%5), azot (%15) ve helyum (%80) veya oksijen (%3,5), karbondioksit (%4), azot (%31,5) ve helyumdan (%61) oluşur. Gaz karışımı suyla soğutulmalıdır, çünkü gaz karışımı sıcaklığındaki bir artış karbondioksitin ayrışmasına ve lazerin verimliliğinin azalmasına neden olabilir. Bu lazerler yavaş eksenel akışlı lazerler olarak adlandırılır ve küçük güçler (500 W) ile sınırlıdır.



**Şekil 3.2.** CO<sub>2</sub> çapraz akışlı lazer sisteminin şematik gösterimi

Hızlı eksenel akışlı lazerlerde, lazer tüpündeki gaz, üfleyiciler veya türbinler tarafından yüksek hızda tekrar sirküle edilir ve ısı, bir ısı değiştirici tarafından çıkarılır. Bu lazerler, çıkış gücünü artırmak için seri olarak birkaç optik ünitelerden oluşur; daha küçük bir sistem elde etmek için optik rezonatör birkaç kez katlanır. Lazer ışını, optik üniteler arasında ara aynalarla iletilir. Bu tür lazer ile 5 kW'a kadar çıkış gücü elde edilebilir. Enine akışlı lazerlerde, gaz, bir ısı değiştirici tarafından soğutulmak suretiyle, bir teğetsel üfleyici tarafından boşaltma hattı boyunca enine olarak boşaltılır (Şekil 3.2.). Bu düzenleme, eksenel akışlı lazerlerden daha kısa rezonans boşluklarına ve daha yüksek çıkışlara izin veren kompakt lazerler ile sonuçlanır. Bu lazerlerle 8 kW'a kadar güç çıkışı elde edilebilir. Bu lazerlerin çoğu, 0 ile 100 kHz arasında değişken darbe frekansı ile sürekli dalga veya darbeli dalga ile kullanılabilir.

#### Kaynak Gazları

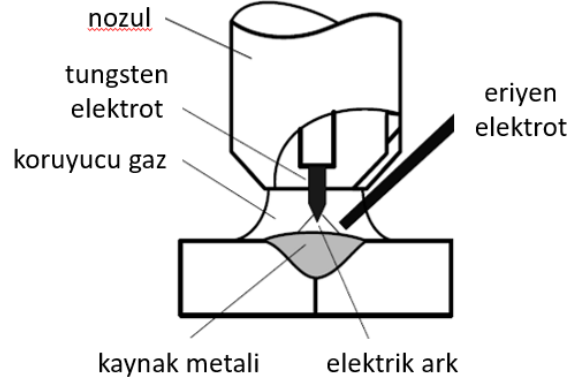
Lazer kaynağında genellikle iki gaz gereklidir, yanal olarak enjekte edilen plazmayı uzaklaştırmak için yardımcı gaz ve atmosferik kirlenmeyi önlemek için koaksiyal koruyucu gaz kullanılır. Tüm malzeme kalınlığının eridiği anahtar deliği kaynaklarında bir kök gazı da gereklidir. Helyum, argon ve helyum karışımları kaynak gazları olarak kullanılır. Argon, kaynak metali korur ve CO<sub>2</sub> lazer kaynağında plazma oluşumunu kontrol etmek için helyum gereklidir. Kaynak için Nd: YAG'lar kullanılırsa, plazma oluşumu büyük bir endişe konusu değildir ve

argon, önerilen kaynak gazıdır. Üretkenliği arttırmak için malzeme ve işleme bağlı olarak düşük miktarlarda oksijen, hidrojen veya CO<sub>2</sub> ilaveleri kullanılabilir [23]. Helyum, argon veya bu gazların karışımları titanyum veya zirkonyum gibi reaktif metaller dâhil olmak üzere çoğu materyal için kullanılır. Reaktif malzemeler için, koruma alanının artırılması gerekir, çünkü hava kirliliğine düşük sıcaklıklarda da (400 °C) hassastırlar. Azot, paslanmaz çeliklerin kaynatılmasında da kullanılabilir [20].

### 3.2. TIG Kaynağı

Gaz tungsten ark kaynağı (GTAW) işlemi elektrik arkına dayanmaktadır. Gaz tungsten ark kaynağı, tungsten asal gaz (TIG) olarak da bilinir. Kaynak arkı saf tungsten bir elektrot ile iş parçası arasına oluşmaktadır. Elektrik enerjisi ile oluşan kaynak arkı iş parçasına giren ısı ile kaynak havuzu oluşumunu teşvik eder. Kaynak havuzunu atmosferik gazlardan korumak için asal gaz (Ar, He) ile koruması altında kaynak gerçekleştirilir.

Ancak koruyucu karışımda az miktarda asal olmayan gazlar, örneğin hidrojen veya azot bulunur. Şekil 3.3.'te geleneksel işlemin temel unsurlarını gösterilmektedir. İnce kesitli plakalarda (2 mm'ye kadar) herhangi bir işlem gerek olmazken, daha kalın plakalarda V ve X kaynak ağız hazırlığı yapmak gerekir. Bu durumda dolgu metalinin ilavesi gereklidir. Bu işlem paslanmaz çelik, alüminyum, magnezyum veya titanyum alaşımlarının yanı sıra karbon ve düşük alaşımlı çelik malzemeler için geçerlidir [24, 25]. Gaz tungsten ark kaynağındaki ısı girişi, dolgu metali oranına bağlı değildir. Sonuç olarak, ısı girdisini hassas bir şekilde kontrol etmeye, düşük bozulma ve sıçramasız kaliteli kaynak elde edilir. Diğer elektrot ile yapılan ark kaynağı işlemlerine göre daha az ekonomiktir. Kaynak havuzu düşük koruyu gaz debileri nedeni ile açık havada ve hava akımının olduğu ortamlarda koruması zor olacağı için yöntem bu ortamlar için uygun değildir. Ayrıca, dolgu metali veya ana metaller üzerindeki kirleticilere karşı düşük tolerans gösterir.



**Şekil 3.3.** Gaz tungsten ark kaynağı (GTAW) şematik gösterimi

TIG kaynağı robotik sistemler için uygundur. Ancak özel teknikler ile kaynak havuzuna dolgu metali eklemek gerekir.

### 3.2.1. Kaynak Ekipmanı

Bu bölümde, TIG kaynağı ve otomatik robotik TIG kaynağı için kullanılan ekipmanlar açıklanacaktır.

#### **Kaynak Elektrotları**

Ergimeyen elektrotlar saf tungsten veya tungsten alaşımlarından oluşur. Saf tungsten elektrotlar DC ile kullanılabilir, fakat kirlenmeye daha duyarlıdır, daha düşük hizmet ömrü döngüsüne sahiptir ve alaşımlı elektrotlardan daha yüksek uç bozulması olabilir. Bu elektrotlar, AC ile kaynatılan Al ve Mg alaşımlarının kaynağında kullanılabilir.

Toryum- tungsten (%2 ThO<sub>2</sub>) elektrotlar, kolay ark başlangıcına ve kararlı elektrik arkına mükemmel direnç göstermesi nedeniyle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Toryum oksit radyoaktif olduğundan iş güvenliği açısından endişe vericidir. Bu endişe lantanyum, itriyum ve seryum gibi nadir toprak elementlerinin düşük oranlarını (yaklaşık %2) ve hatta birkaç elementin karışımlarını içeren diğer elektrotların gelişimine yol açmıştır [26, 27]. Bu elektrotlar, sertleşmiş elektrotlardan daha iyi çalışma özelliklerine sahiptir, karbonlu çelikler, paslanmaz çeliklerin, nikel ve titanyum alaşımlarının kaynağında kullanılabilir. Zirkonyum-

tungsten elektrotlar, AC için mükemmeldir ve ayrıca iyi bir ark başlangıcı, uç şeklindeki bozulmaya karşı yüksek dirençsizdir.

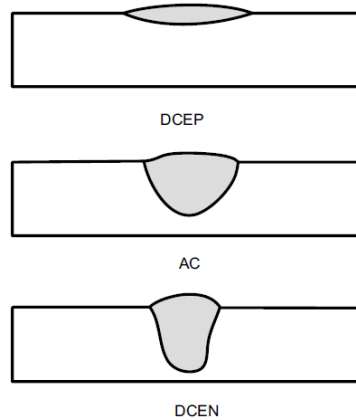
Bu elektrotlar en fazla 4 mm çapında olmakla birlikte 0,5 ve 12 mm çap aralığında, 50 ile 175 mm boylarında olabilir. Kullanılacak elektrot çapının seçimi, genellikle levha kalınlığına bağlıdır.

### 3.2.2. İşlem Parametreleri

Akım, kaynak hızı, ark boyu, koruyucu gaz TIG kaynağı için işlem parametreleridir.

#### Kaynak Akımı

Kaynak akımı, kaynak hızı ve kaynak kalitesi üzerinde doğrudan etkisi vardır. Çoğu GTAW kaynağı, elektrot negatif (DCEN) (düz kutupluluk) üzerinde doğru akım kullanır çünkü elektrot pozitif (DCEP) (ters polarite) göre daha yüksek kaynak penetrasyon derinliği ve daha yüksek hareket hızı üretir. Ayrıca, ters polarite elektrot ucunun hızlı ısınmasını ve parçalanmasını neden olur, çünkü anot gaz tungsten elektrik arkında katoda göre daha fazla ısıtılır.



**Şekil 3.4.** Kaynak boncuğu şekline akım ve kutup açığının etkisi

Ters polarite, iş parçasındaki negatif kutbun katodik temizleme etkisinden dolayı alüminyum alaşımlarının kaynağında, yani refrakter alüminyum oksit tabakasının dağıtılmasına katkı sağlar. Ancak alternatif akım, alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kaynağına daha iyi adapte edilir, çünkü elektrot ısıtmasının ve iş



parçası temizleme etkilerinin dengelenmesine izin verir. AC ile elde edilen kaynak penetrasyon derinliği, DCEN ve DCEP ile elde edilen derinlik arasındadır (Şekil 3.4.).

#### Kaynak Hızı

Aynı akım ve voltaj için kaynak hızının artmasında, ısı girişini azaltmaktır. Kaynak hızı elektromanyetik kuvveti ve ark basıncını etkilemez çünkü bunlar akıma bağlıdır.

#### Ark Boyu

Ark boyu, elektrot ucu ve iş parçası arasındaki mesafedir. GTAW'daki ark uzunluğu genellikle 2 ila 5 mm'dir. Ark uzunluğu artarsa, ark stabilitesini koruyacak voltaj artmalıdır, ancak ark parçasının radyasyon kayıplarından ötürü iş parçasına ısı girişi azalır. Sonuç olarak, erimiş malzemenin kaynak penetrasyonu ve enine kesit alanı, ark uzunluğunun artmasıyla azalır.

#### Koruyucu Gazlar

Kaynak metali atmosferik kirliliği önlemek için GTAW'da koruyucu gazlar kullanılır. Bu kirlenme, eritilmiş metalde gözeneklilik, kaynak çatlaması ve hatta kimyasal bileşiminde değişiklik meydana getirebilir. Koruyucu gazın koruma özelliğinin yanı sıra, elektrik arkının stabilitesi üzerinde de büyük etkisi vardır. Düşük iyonizasyon potansiyeline sahip gazlar, elektrik arkının ateşlenmesini kolaylaştırır ve düşük ısı iletkenliğe sahip olanlar, ark stabilitesini artırma eğilimindedir.

Argon en çok kullanılan GTAW koruyucu gazdır. Düşük iyonizasyon potansiyeline sahiptir ve havadan daha ağırdır, erimiş kaynak havuzunun mükemmel bir korumasını sağlar. Ayrıca, işlemde kullanılan diğer asal koruyucu gaz helyumdan daha ucuzdur. Argon, karbon ve paslanmaz çeliklerin ve düşük kalınlıkta alüminyum alaşımlarının bileşenlerinin kaynağında kullanılır.

#### Dolgu Maddeleri

Dolgu metalleri genellikle ana malzemeninkine benzer kimyasal bileşime sahip ve 2 mm'nin üzerindeki plaka kalınlığındaki malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır.

Dolgu metal çapı 1,6 ila 3,2 mm arasındadır ve otomatik sistemlerde normal olarak bir rulodan veya bir bobinden soğuk olarak eklenir.



#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu tez çalışmasında, kaynaklı birleştirmelerde özellikle ısı tesiri altındaki bölgede yüksek sıcaklığa maruz kalan östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon davranışları incelenmiştir. Bunun için 2 mm kesit kalınlığında malzemeler seçilmiş, lazer ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmiştir. Birleştirilen malzemeler TS 3157 EN ISO 3651-2/Kasım 2000 standardına uygun olarak korozyon testlerine tabi tutulmuştur [28]. Korozyon testine tabi tutulan malzemelere mikroyapı, SEM-EDS, mikro sertlik ve XRD analiz incelemeleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmanın işlem akışı Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Toplamda 27 adet malzeme kullanarak lazer ve TIG kaynağı sonrası korozyon ve korozyon + ısıl işlem uygulanmıştır.



Şekil 4.1. Deneysel çalışmanın şematik gösterimi

##### 4.1. Malzeme

Deneylerde, 2 mm kalınlığında 304 östenitik paslanmaz çelik levha kullanılmıştır. Deneylerde ve testlerde kullanılan 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi Çizelge 4.1.'de, mekanik özellikleri Çizelge 4.2.'de ve fiziksel özellikleri de Çizelge 4.3.'te verilmektedir.

Çizelge 4.1. Deneylerde ve testlerde kullanılan AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin ölçüm sonucu belirlenen kimyasal bileşimleri (% ağırlık)

| C      | Si    | Mn    | P      | S     | Cr    | Mo    | Ni     | Cu    | Al     |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 0,072  | 0,642 | 1,395 | <0,005 | <0,15 | 18,79 | 0,122 | 8,247  | 0,114 | <0,005 |
| As     | B     | Bi    | Ce     | Co    | Mg    | N     | Nb     | Pb    | Sb     |
| 0,0023 | 0,001 | 0,051 | 0,0077 | 0,053 | 0,005 | 0,172 | 0,0039 | 0,02  | <0,01  |
| Sn     | Ta    | La    | Ti     | V     | W     | Zn    | Zr     | Se    | Fe     |
| <0,005 | 0,44  | 0,007 | 0,0016 | 0,046 | 0,01  | 0,011 | 0,0056 | 0,017 | 70,59  |

**Çizelge 4.2.** Deneylerde kullanılan AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri

| AISI 304'ün Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikleri |                          |
|----------------------------------------------------|--------------------------|
| Kalite                                             | 304 (1.4301) X5CrNi18-10 |
| Kopma mukavemeti                                   | 515-720 (Mpa)            |
| Akma mukavemeti (%0,2)                             | 210 (Mpa-min)            |
| Sertlik, Brinell                                   | 201 (HB)                 |

**Çizelge 4.3.** Deneylerde kullanılan AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri

| AISI 304'ün Oda Sıcaklığındaki Fiziksel Özellikleri |                           |
|-----------------------------------------------------|---------------------------|
| Öz kütlesi (özgül ağırlığı)                         | 8000 (kg/m <sup>3</sup> ) |
| Ergime sıcaklığı                                    | 1450°C                    |
| Elastisite modülü                                   | 193 (GPa)                 |
| Elektriksel direnci miktarı                         | 0.072x10 <sup>-6</sup> Ωm |
| Isı iletkenliği                                     | 17.2W/m.K                 |

**Çizelge 4.4.** TIG kaynağında kullanılan ilave telin (308L) kimyasal analizi

|       |      |     |    |    |      |        |    |
|-------|------|-----|----|----|------|--------|----|
| C     | Si   | Mn  | Cr | Ni | Mo   | P+S    | Fe |
| <0,03 | 0,45 | 1,7 | 20 | 10 | 0,15 | <0,035 | 68 |

**Çizelge 4.5.** Deneylerde kullanılan TIG ilave telinin mekanik özellikleri

| İlave Telin Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikleri |                       |
|----------------------------------------------------|-----------------------|
| Akma Dayanımı                                      | 380 N/mm <sup>2</sup> |
| Çekme Dayanımı                                     | 570 N/mm <sup>2</sup> |
| Uzama (L=5d)                                       | 40%                   |
| Çektik Darbe Dayanımı                              | 100 J (+20°C)         |

## 4.2. Metod

Lazer ışın kaynağı son yıllarda endüstriyel üretim için oldukça önemli bir oranda gelişme göstermiştir. Düşük enerji girişi, minimum çarpılma, yüksek birleşme mukavemeti için en iyi birleşme yöntemi lazer ışın kaynağıdır. Toplanan ısı girişi derin nüfuziyet sağlar. Lazer kaynağında, lazer ışını havada kolaylıkla ilerleyebildiğinden vakum ortamına ihtiyaç duyulmaz. Fakat ergimiş metal argon

veya helyum koruyucu gazı ile korunmalıdır. TIG kaynağında ise verilen ısı belli bir bölgeye yayılır. Kaynak esnasında da sonrasında da temizliğe ihtiyaç duyulmaz. İşlem yapılan malzemenin mekanik özelliklerinde büyük bir değişim oluşturmaz. Kök paso ve tamir işlerinde en çok tercih edilen yöntemlerden biridir.

#### 4.2.1. Kaynaklı Birleştirme

Bu çalışmada kullanılan lazer kaynaklı malzemelerin kaynak işlemi Çizelge 4.6.'da teknik özellikleri verilen kaynak makinesi ile QUANT LAZER firmasında yapılmıştır. TIG kaynaklı malzemeler ise Çizelge 4.7.'de teknik özellikleri verilen kaynak makinesi ile Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Kaynak Atölyesinde kaynaklanmıştır.

Kaynaklarda kullanılan 308L ilave telin seçilmesinin nedeni ana metal ile kimyasal bileşim olarak uygun olması ve mekanik özellik olarak mukavemetli olmasıdır. Kaynaklanan malzemeler iki pasoda bitirildikten sonra havada soğumaya bırakılmıştır. Soğuma işleminden sonra sırasıyla standartta belirtilen ölçülere getirilen kaynaklı parçalara korozyon testi uygulanmıştır. Yapılacak her işlem için üçer adet malzeme kaynaklanmıştır. Lazer kaynağı için Çizelge 4.6.'da, TIG kaynağı için Çizelge 4.7.'de verilen parametrelerde birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan kaynak işlemleri Şekil 4.2.'de ve Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.

Lazer ve TIG kaynağı uygulamaları için seçilen parametreler ön çalışmalar neticesinde belirlenmiştir.

**Çizelge 4.6.** Lazer kaynağı parametreleri

|                                   |                                       |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Kullanılan lazer kaynağı makinesi | SIGMA-LASER marka CO2 lazer open tool |
| Kullanılan akım                   | DC                                    |
| Kullanılan gaz                    | Argon                                 |
| Lazer kaynağında güç              | 400 W                                 |
| Atış hızı                         | 4,0 m/sn                              |
| Lazer çapı                        | 0,6 mm                                |
| Kaynak hızı                       | 3,5 mm/sn                             |
| Kaynak akımı                      | 80 A                                  |
| Darbe frekansı                    | 14 Hz                                 |
| Elektrot kutbu                    | Negatif (-)                           |
| Dolgu teli çapı                   | 308L kalite                           |



**Şekil 4.2.** Deneylerde kullanılan lazer kaynaklı malzemelerin kaynak işlemi

**Çizelge 4.7.** TIG kaynağı parametreleri

|                                 |                         |
|---------------------------------|-------------------------|
| Kullanılan TIG kaynağı makinesi | Franius Magic Wave 3000 |
| Kullanılan akım                 | DC                      |
| Kullanılan gaz                  | Argon                   |
| Gaz akış debisi                 | 17 L/dk                 |
| Elektrot çapı / Tipi            | Tungsten / 2 mm         |
| Nozul çapı                      | 8 mm                    |
| Kaynak hızı                     | 3,5 mm/sn               |
| Kaynak akımı                    | 80 A                    |
| Dolgu teli çapı / Çapı          | 308L kalite / 2 mm      |
| Elektrot kutbu                  | Negatif (-)             |



**Şekil 4.3.** Deneylerde kullanılan TIG kaynaklı malzemelerin kaynak işlemi

#### **4.2.2. Korozyon Deneyi**

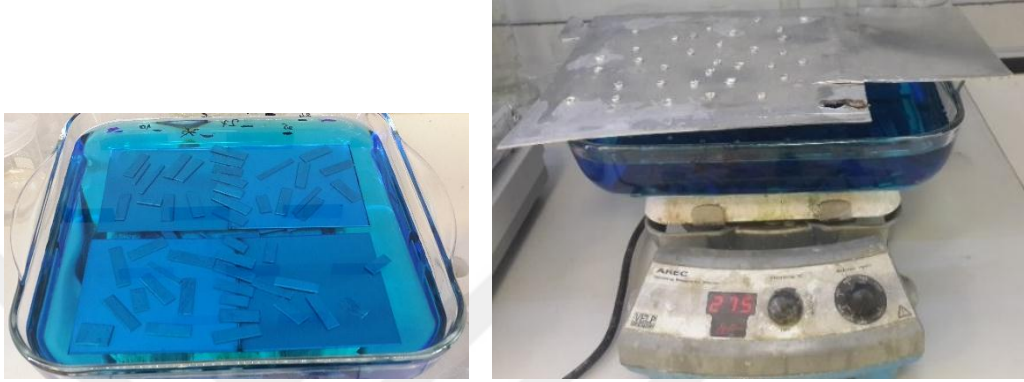
Kaynak yapılmış malzemelere uygulanan korozyon deneyi; TS 3157 EN ISO 3651-2/Kasım 2000 standardında [28] (Paslanmaz Çeliklerin Taneler Arası Korozyona Dayanımının Belirlenmesi–Bölüm 2: Ferritik, Östenitik ve Ferritik–Östenitik (Dupleks)–Çelikler–Sülfirik Asit İçeren Ortamlarda Korozyon Deneyi), Metot A'ya (Metot A: %16'lık Sülfirik Asit/Bakır Sülfat Deneyi) göre hazırlanan çözelti kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çözelti içerisinde belirtilen şartlarda bekletilen kaynaklanmış östenitik paslanmaz çelikler, deney sonrası temizlenerek eğme testine tabi tutulmuştur. Deneyden sonra, taneler arası korozyonun neden olduğu herhangi bir çatlak olup olmadığını incelemek için deney parçalarının dış bükey yüzey incelemesi yapılmıştır.

Deney parçalarının toplam yüzey alanının her  $\text{cm}^2$ 'si için en az 8 mL çözelti bulunması şartı ile her deneyde beherde iki deney parçası konularak deneyler başlatılmıştır. Deney parçaları, beherin dibindeki elektrolitik bakır talaşı içerisine gömülmüştür. Bakır miktarı, çözeltinin her litresi için en az 50 gr olacak şekilde ayarlanmıştır. Kaynaklı malzemelerin özellikle kaynak ve ısı tesiri altında kalan bölgelerinde yoğun bakır talaşı ile temas sağlanmıştır ancak ne östenitik paslanmaz çelikler ne de bakır talaşlar birbirine temas ettirilmiştir. Deney parçaları önce soğuk deney çözeltisine daldırılmış, sonra çözelti kaynama noktasına kadar ısıtılmıştır.

Çözeltinin kaynamaya başlamasından sonra deney süresi başlatılmıştır. 275 °C seçilen sıcaklıkta malzemeler 24 saat kaynayan çözelti içerisinde tutulmuştur (Şekil 4.4.).

Her deneyden sonra standartta da belirtildiği üzere, bakır talaşları ve deney malzemeleri su ile yıkanarak temizlenmiştir.



**Şekil 4.4.** AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik malzemelere 275 °C’de 24 saat uygulanan korozyon testi

#### 4.2.3. Isıl İşlem

Lazer ve TIG kaynaklı AISI 304 kalite östenitik paslanmaz malzemelerde yüksek sıcaklığın etkisini görebilmek için Çizelge 4.8.’de verilen parametrelerde, Gazi Üniversitesi Metalurji Malzeme Mühendisliği bölümünde kutu tipi Heraeus KR250 marka tav fırınında (Şekil 4.5.) ısıtım işlemi uygulanmıştır. Isıtım işlemi sonrası bütün malzemeler suda soğutma işlemine tabi tutulmuştur.

**Çizelge 4.8.** Lazer ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmiş ve korozyona tabi tutulmuş malzemelere uygulanan ısıtım işlem parametreleri

| Malzeme kodu | Sıcaklık<br>(°C) | Kutu tipi tav fırınında<br>bekleme süresi<br>(saat) |
|--------------|------------------|-----------------------------------------------------|
| A (Lazer)    | 850              | 5                                                   |
| B (TIG)      | 850              | 5                                                   |
| C (Lazer)    | 850              | 1                                                   |
| D (TIG)      | 850              | 1                                                   |
| E (Lazer)    | 650              | 1                                                   |
| F (TIG)      | 650              | 1                                                   |





**Şekil 4.5.** Kutu tipi Heraeus KR250 marka tav fırınında ısıl işlem uygulaması

#### **4.2.4. Metalografi İncelemeleri**

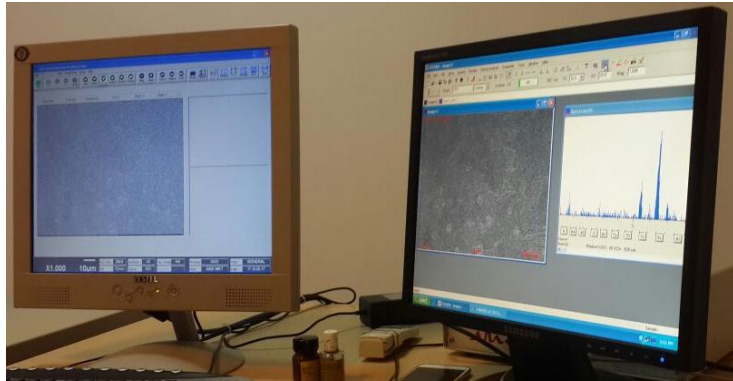
Malzemelerin mikro incelemeleri için standart metalografik işlemlerden sonra östenitik paslanmaz çelik malzemeler için uygun olan AQUA REGIA çözeltisi (45 mL HCl (Hidroklorik Asit)-15 mL HNO<sub>3</sub> (Nitrik Asit)) ile dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Dağlanan malzemeler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan LEICA DM4000M marka optik mikroskobunda (Şekil 4.6.) mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4.6.** LEICA DM4000M marka optik mikroskobu

#### **4.2.5. SEM-EDS İncelemeleri**

Malzemelerin SEM-EDS incelemeleri için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan LV Tarama Elektron Mikroskobu (EDS ünitesi mevcut) Jeol JEM 6060 marka (Şekil 4.7.) SEM’de incelemeler gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4.7.** Jeol JEM 6060 marka LV Tarama Elektron Mikroskobu

#### 4.2.6. XRD İncelemeleri

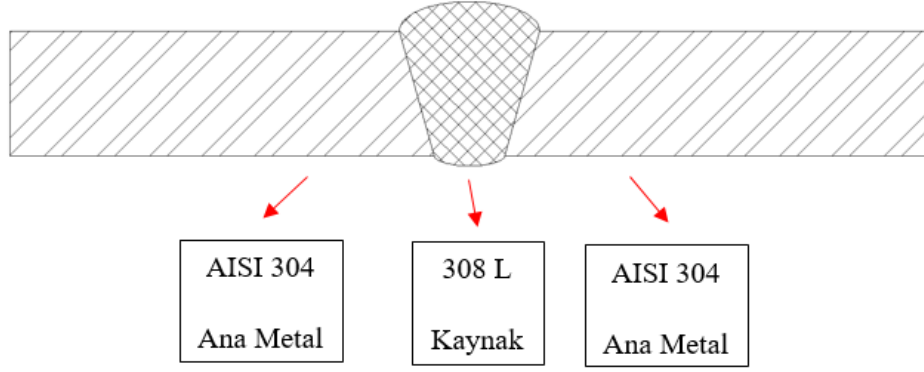
Deney malzemelerinde tane sınır karbür oluşumunu tespit edilmek için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan BURACER marka XRD cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

#### 4.2.7. Mikro Sertlik İncelemeleri

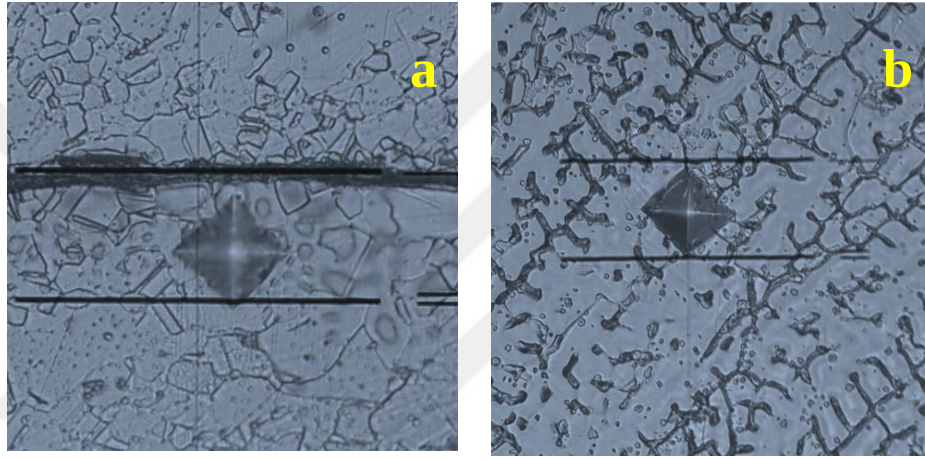
Kaynaklı parçalarda meydana gelen sertlik değişimlerini incelemek için Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan GALILEO DUROMETRIA marka mikro sertlik ölçüm cihazı (Şekil 4.8.) ile gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümlerinde 0,9807 Newton yük altında 40X büyütme ile Vickers HV<sub>0,1</sub> yöntemi kullanılmıştır. Ana metal, ITAB ve kaynak metali bölgelerinden üçer adet mikro sertlik değerlerinin ortalama değerleri alınmıştır.



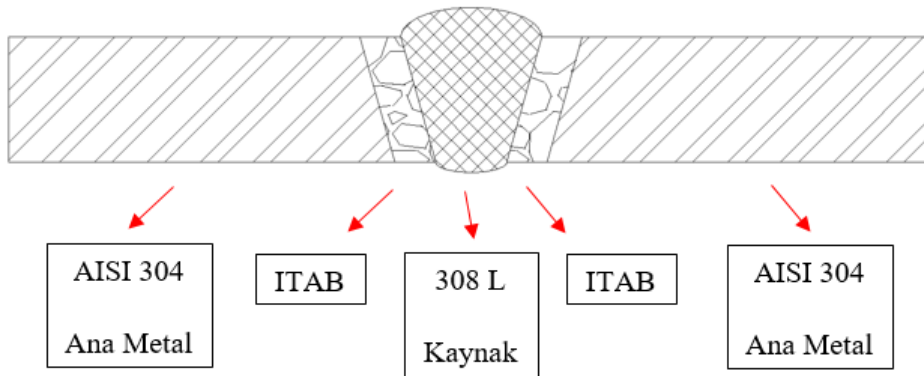
Şekil 4.8. GALILEO DUROMETRIA marka mikro sertlik ölçüm cihazı



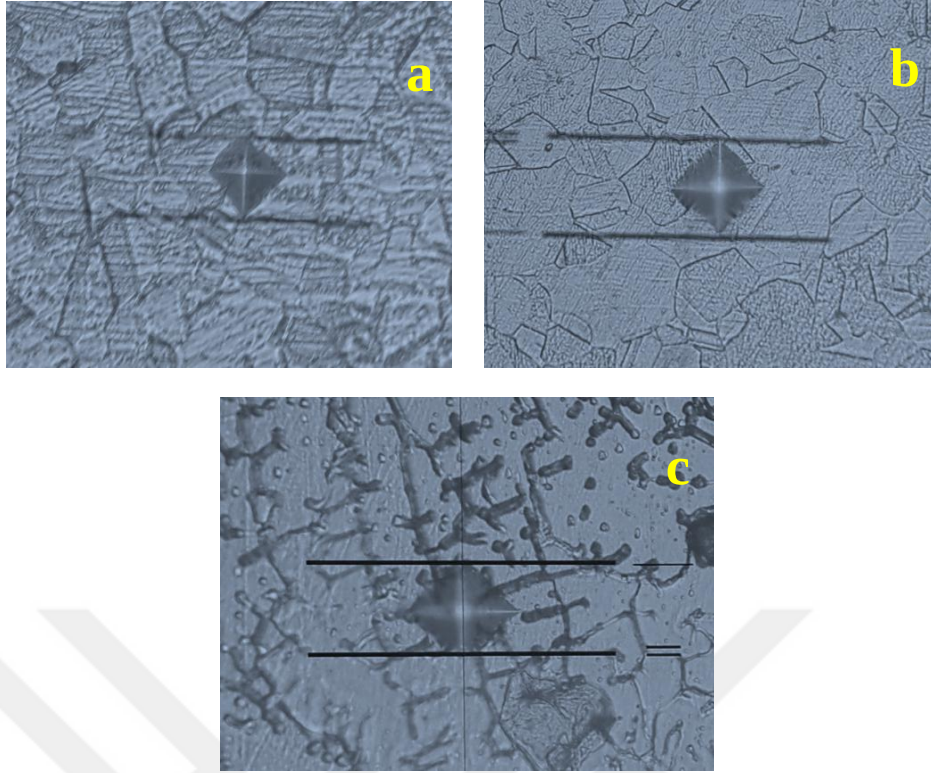
**Şekil 4.9.** AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik malzemenin 308L ilave tel ile lazer kaynak işlemi



**Şekil 4.10.** 308L dolgu teli ile kaynaklanmış lazer kaynaklı malzemelerin mikrovickers sertlik taraması a) Ana metal, b) Kaynak bölgesi



**Şekil 4.11.** AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik malzemenin 308L ilave tel ile TIG kaynak işlemi



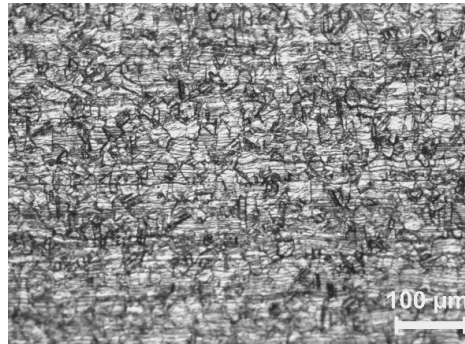
**Şekil 4.12.** 308L teli ile TIG kaynaklı malzemelerin mikrovickers sertlik taraması a) Ana metal, b) ITAB, c) Kaynak bölgesi

## 5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Paslanmaz çelik malzemelerin mükemmel korozyon direncine karşılık yüksek sıcaklıklarda bu özelliğini yitirdikleri bilinmektedir. Ergitme kaynaklı birleştirme yöntemlerinde kaynak metali etrafında ısıdan etkilenen bölge yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Dolayısıyla bu bölgenin korozyona uğrama riski bulunmaktadır. Bu risk, yüksek sıcaklığa maruz kalma ve bu sıcaklıkta bekleme süresi ile de doğrudan ilişkilidir. Endüstriyel birleştirilmelerde yoğun olarak kullanılan TIG kaynağı ve son yıllarda kullanılmaya başlanan lazer kaynağı malzemelere farklı ısı girdileri sağlamaktadır. Bu yöntemler arasındaki ısı girdilerinin korozyon davranışlarına etkilerini incelemek maksadı ile yapılan deneysel çalışmalar bu bölümde sunulacak ve tartışılacaktır. Öncelikle mikroyapı sonuçları verilecek, daha sonra sırası ile SEM-EDS, mikro sertlik ve XRD sonuçları tartışılacaktır.

### 5.1. Mikroyapı Sonuçları ve Tartışma

AISI 304 tipi malzemenin mikroyapı görüntüsü Şekil 5.1.'de verilmektedir. Mikroyapı görüntüsü incelendiğinde tipik östenitik paslanmaz çelik malzemelere ait eşeksenli östenitik tane yapıları görülmektedir.

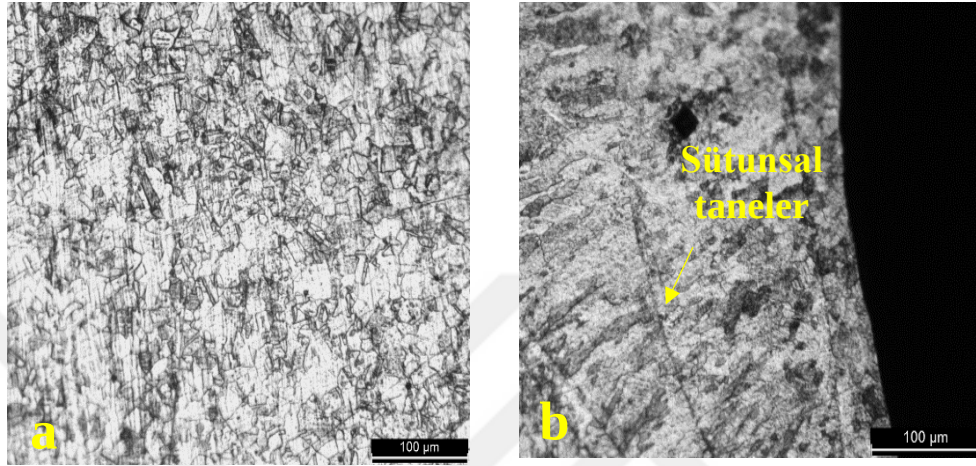


**Şekil 5.1.** AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüsü

TS 3157 EN ISO 3651-2/Kasım 2000 standardına uygun olarak 275 °C’de 24 saat korozyona uğratılmış lazer kaynak yöntemi ile birleştirilmiş, korozyona uğratılmış ve ısıtıl işlem uygulanmış malzemelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 5.2.-5.5.’te verilmektedir [28].

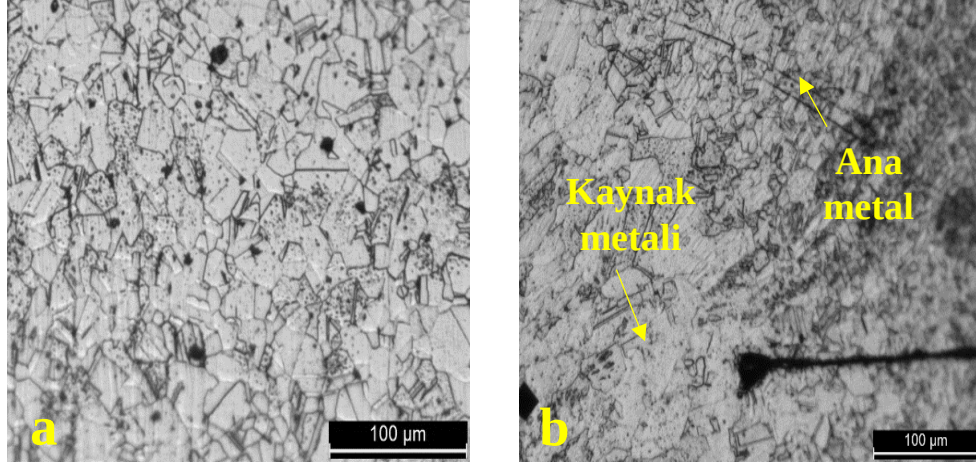


Şekil 5.2.-b’de verilen lazer kaynağı ile birleştirilerek korozyona uğratılmış malzemenin mikroyapı görüntülerinde ITAB bölgesinin neredeyse hiç oluşmadığı, kaynak bölgesinde ise tanelerin ince sütunsal bir görüntü sergilediği görülmektedir. Lazer kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerde ITAB bölgesinin çok dar alana sahip olduğu daha önce yapılan çalışmalarda da rapor edilmektedir [29].



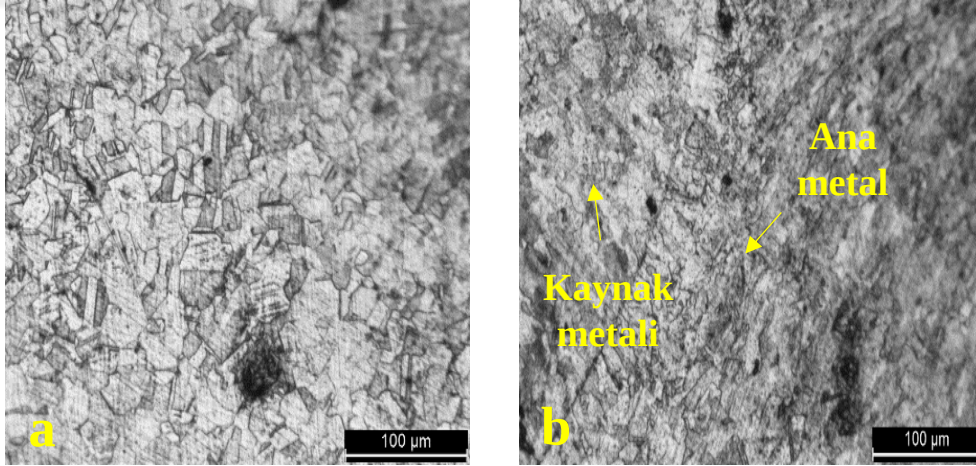
**Şekil 5.2.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrası mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) Kaynak bölgesi

Şekil 5.3.’te lazer kaynağı ile birleştirilmiş ve korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtılma işlemi uygulanmış malzemeye ait mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde korozyon sonrası ısıtılma işlemi görmemiş malzemenin tane yapılarına göre belirgin bir değişikliğin oluşmadığı ancak kaynak metali ana metal geçiş sınırının (Şekil 5.3.-b) tane uyumlarının ısıtılma işlemi öncesine göre daha fazla benzeştiği görülmektedir.



**Şekil 5.3.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtılma işlemi görmüş malzemenin mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) Kaynak bölgesi

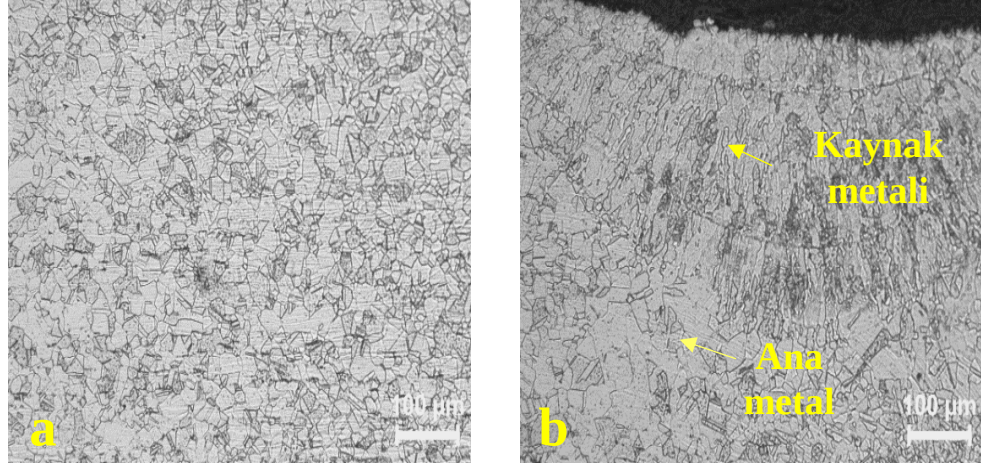
Şekil 5.4.’te lazer kaynağı ile birleştirilmiş ve korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıtılma işlemi uygulanmış malzemeye ait mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde ana metal ve kaynak metali tanelerinde belirgin değişiklik olmamakla birlikte hâlihazırda çok dar olan ITAB tanelerinin ana metal tanelerine benzeştiği görülmektedir.



**Şekil 5.4.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıtılma işlemi görmüş malzemenin mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) Kaynak bölgesi

Şekil 5.5.’te lazer kaynağı ile birleştirilmiş ve korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıtılma işlemi uygulanmış malzemeye ait mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde ITAB’nin tamamen ortadan kalktığı, kaynak metali ana metal geçişinin oldukça düzenli tanelerden oluştuğu görülmektedir.





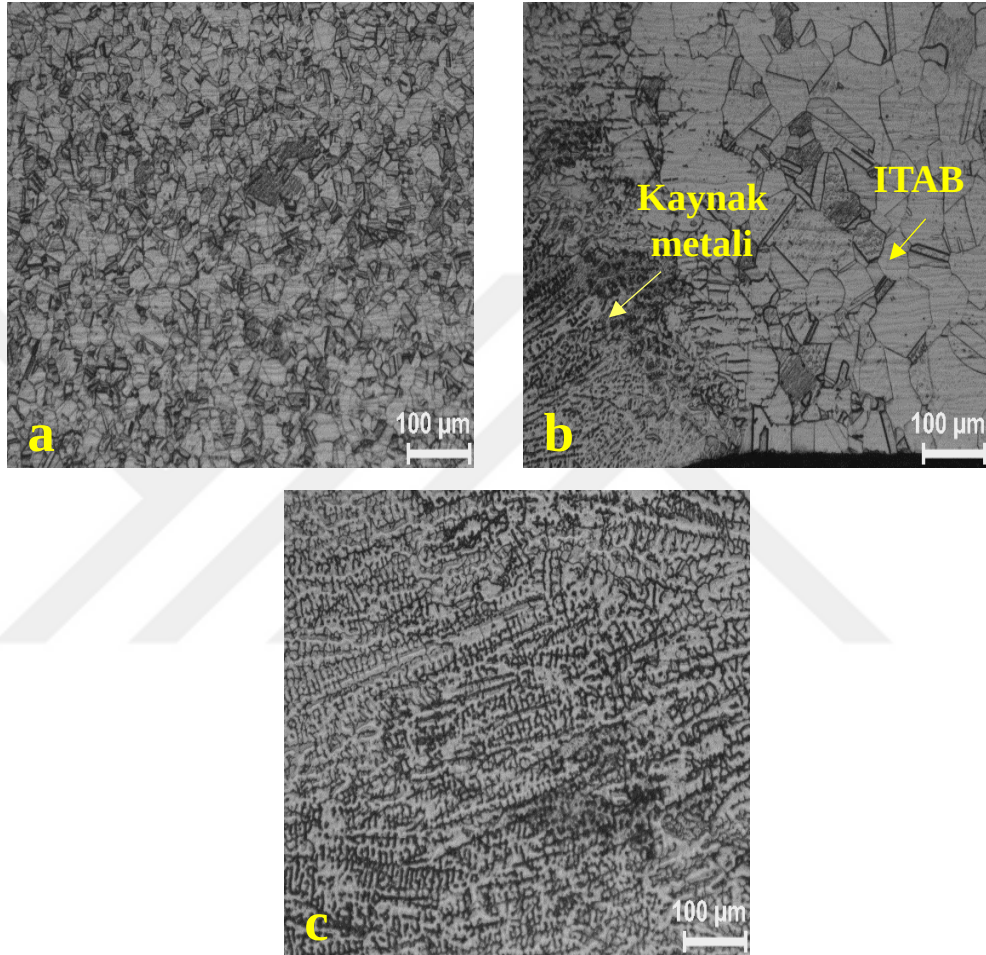
**Şekil 5.5.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıtılmış malzemenin mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) Kaynak bölgesi

Lazer kaynağı ile birleştirilen malzemelere ait mikroyapı görüntüleri (Şekil 5.2.) incelendiğinde ITAB’nin neredeyse hiç oluşmadığı, kaynak metalinde ise ince, ısı kaçış yönüne doğru şekillenmiş sütunsal tanelerin olduğu görülmektedir. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerde ITAB’nin oluşmamasının nedeni, lazer ışınının çok dar bir alanda ve hızlı ergime sağlayarak birleştirme oluşturmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 5.3.-5.5.’te verilen lazer kaynağı ile birleştirilmiş ve korozyon sonrasında Çizelge 4.8.’deki sıcaklık ve süre parametrelerine göre ısıtılmış malzemelerin mikroyapı görüntülerinde Şekil 5.2.’deki ısıtılmış uygulanmamış malzemeye göre çok büyük bir farklılığın oluşmadığı ancak ısıtılmış işlem öncesi ergime sınırı daha belirgin iken ısıtılmış sonrası ergime sınırı ana metale doğru gittikçe azaldığı görülmüştür.

Lazer kaynak yöntemi ile birleştirilen malzemelerde korozyon sonrası ısıtılmış uygulanmamış ve uygulanmış malzemelerin ana metal görüntüleri değerlendirildiğinde, tüm şekillerin AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik malzemenin mikroyapısına benzediği görülmüştür.

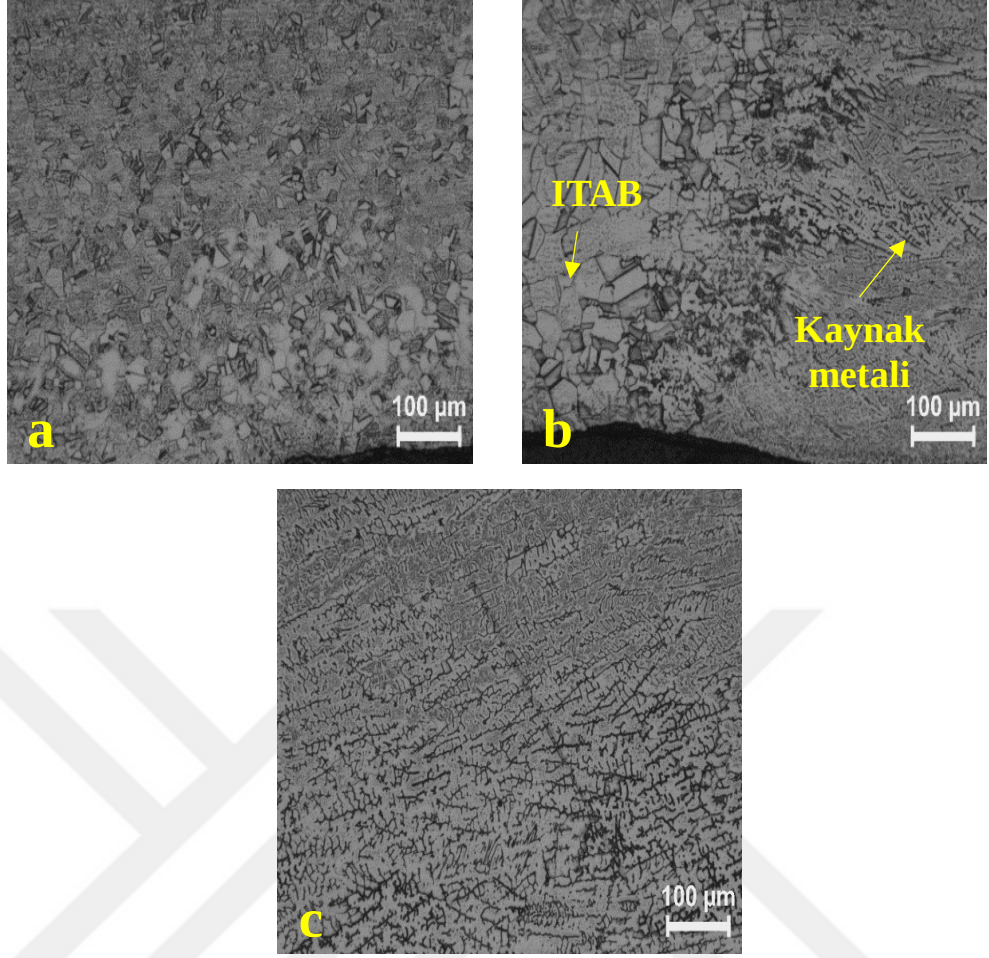
TS 3157 EN ISO 3651-2/Kasım 2000 standardına uygun olarak 275 °C’de 24 saat korozyona uğratılmış TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş, korozyona uğratılmış ve ısıtılmış uygulanmış malzemelerin mikroyapı görüntüleri şekil 5.6.-5.9.’da verilmiştir [28].

Şekil 5.6.'da verilen TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş malzemelere ait mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde kaynak metalinin (Şekil 5.6.-c) ince, uzun ve dentritik tanelerden oluştuğu, ITAB'nin tane irileşmesinin belirgin bir şekilde olduğu ve kaynak metalini ana metal geçiş sınırının belirgin olarak oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 5.6.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrası mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) ITAB, c) Kaynak bölgesi

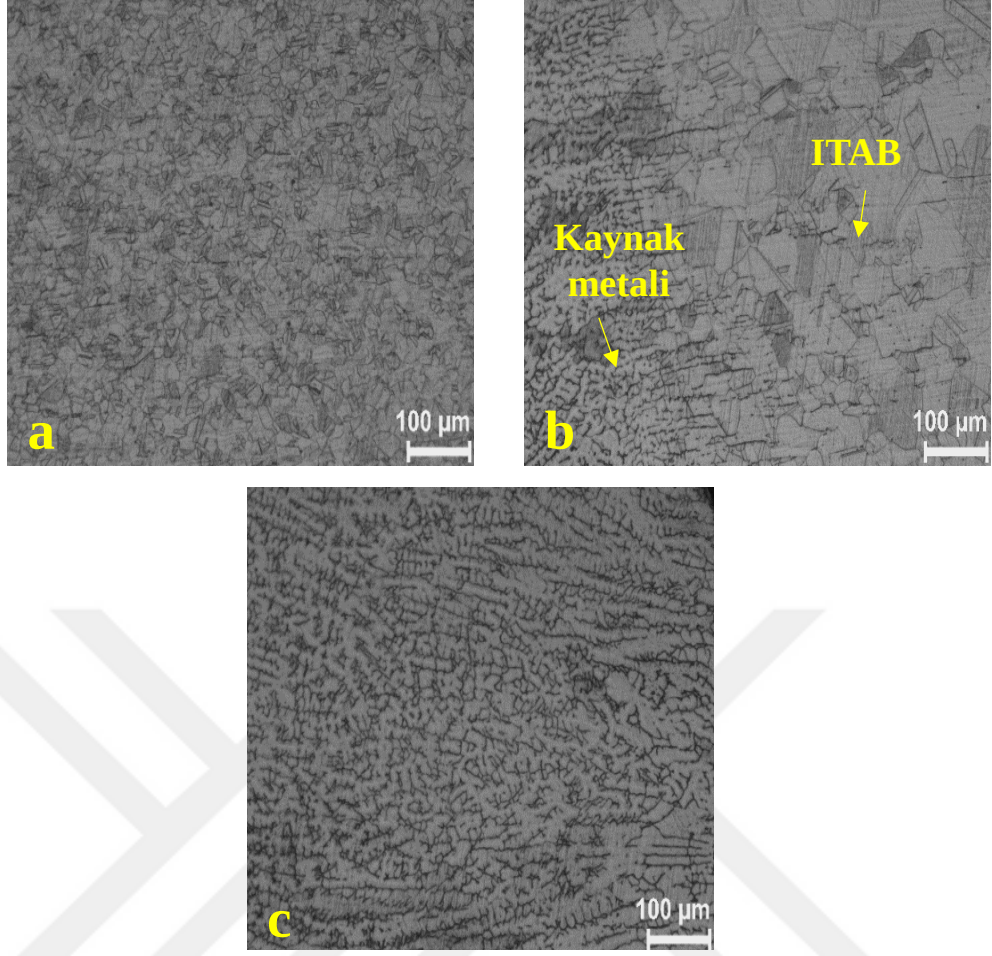
Şekil 5.7.'de TIG kaynağı ile birleştirilen malzemelerin korozyon işlemi sonrasında 650 °C'de 1 saat ısıtma işlemi uygulanmış malzemenin mikroyapı görüntüleri verilmektedir. 650 °C ısıtma işlemi neticesinde mikroyapılarda belirgin bir farklılık oluşmamakla birlikte kaynak metalinde ısıtma işlemi görmemiş malzemeye göre (Şekil 5.6.-c) daha ince ve daha kısa dentrit tane oluştuğu, ITAB tanelerinde küçülme ve geçiş sınırının uyumlu olduğu görülmektedir.



**Şekil 5.7.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) Kaynak bölgesi

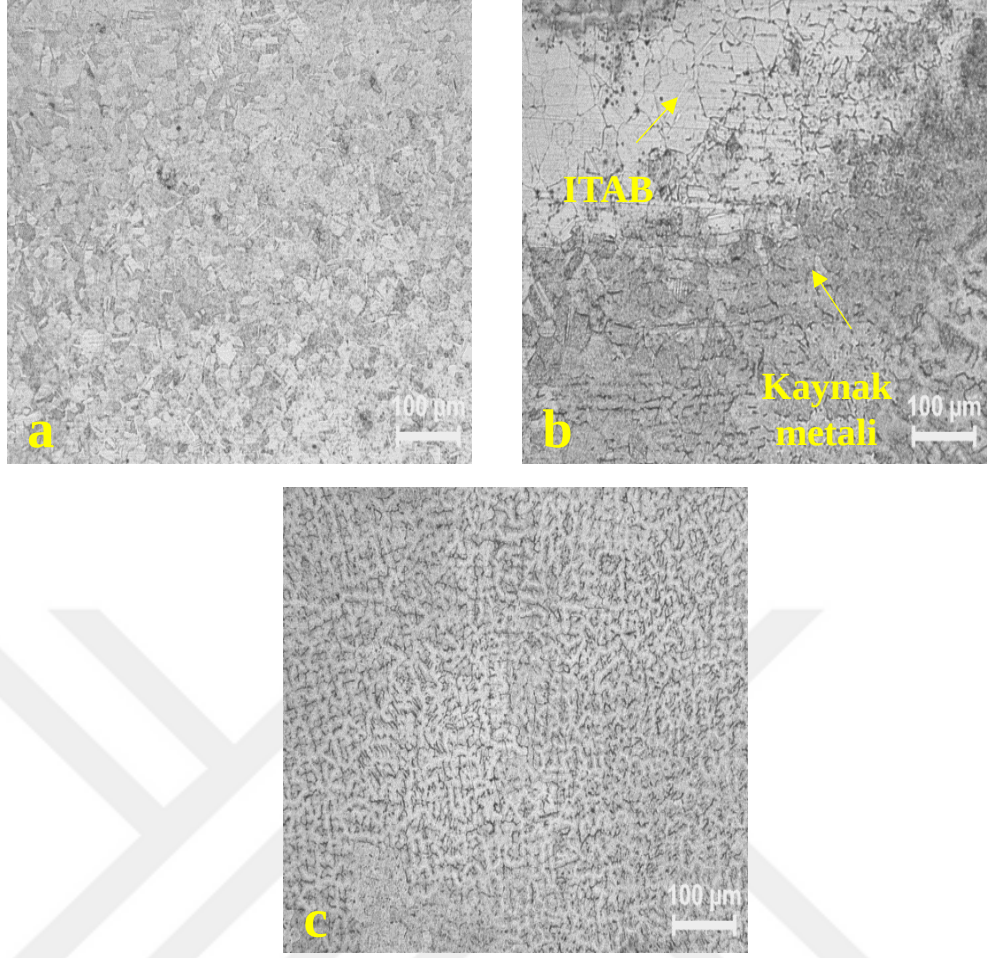
Şekil 5.8.’de verilen TIG kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrasında 850 °C’de 1 saat ısıtıl işlem uygulanmış malzemenin ITAB bölgesinde (Şekil 5.8.-b) tanelerin, 650 °C’de 1 saat ısıtıl işlem uygulanmış malzemenin ITAB tanelerine (Şekil 5.7.-c) göre küçüldüğü görülmüştür. Kaynak bölgesinde (Şekil 5.8.-c) dentritik kolların giderek küçüldüğü, farklı yönlü yönlendiği ve incelendiği görülmektedir.





**Şekil 5.8.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) ITAB, c) Kaynak bölgesi

Şekil 5.9.’da verilen TIG kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrasında 850 °C’de 5 saat ısıtıl işlem uygulanmış malzemenin ana metal bölgesinde (Şekil 5.9.-a) tane boyutunda herhangi bir değişimin olmadığı görülürken, ITAB bölgesinde de (Şekil 5.9.-b) diğer işlem görmüş malzemelere göre tanelerin daha da küçüldüğü görülmüştür. Kaynak bölgesinde (Şekil 5.9.-c) dentritik kolların diğer şekillere kıyasla daha çok küçüldüğü, farklı yönlü yönlendiği ve çok daha ince olduğu görülmektedir.



**Şekil 5.9.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıt işlem görmüş malzemenin mikroyapı görüntüleri, a) Ana metal, b) ITAB, c) Kaynak bölgesi

Isı tesiri altında kalan bölgeler incelendiğinde, ana metale göre tanelerin belirgin bir büyümeye uğradığı tespit edilmiştir. Geçiş bölgelerindeki bu tanelerin kaynak metaline doğru ilerlediğinde dentritik kollara dönüştüğü görülmüştür. TIG kaynağı ile birleştirilmiş ve korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıt işlem uygulanmış malzemede (Şekil 5.8.-b) tane büyüklüğünün daha fazla olduğu görülmüştür. Taneler ile dentritik kollar arasında bir düzensizliğe rastlanmamıştır.

Kaynak bölgelerinde ise, ısıt işlem uygulanmamış malzeme (Şekil 5.6.-c) kalın, düzenli ve uzun dentritik kollara sahip iken, sıcaklık ve sürenin artmasına bağlı olarak (Şekil 5.7.-c, Şekil 5.8.-c, Şekil 5.9.-c) kolların incelendiği, farklı yönlendiği ve kısaldığı görülmüştür. Oluşan en ince ve düzensiz dentritik kollar ise TIG kaynağı ile birleştirilmiş ve korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıt işlem uygulanmış malzemede (Şekil 5.9.-c) meydana gelmiştir.

Lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerde kaynak metali daha küçük bir hacim alandan oluşurken, TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerde kaynak metalinin daha büyük olduğu görülmektedir. Benzer şekilde ITAB bölgesi lazer kaynağı ile birleştirilen malzemelerde çok dar bir alanda oluşurken, TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerde geniş bir alanda ve oldukça iri taneli bir yapıdan oluştuğu görülmüştür. Kaynak metali tane yapısının lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerde ince, uzun ve sütunsal yapıdan oluşurken, TIG kaynağında oluşan kaynak metali ince, uzun ve dentritik tanelerden oluştuğu görülmüştür.

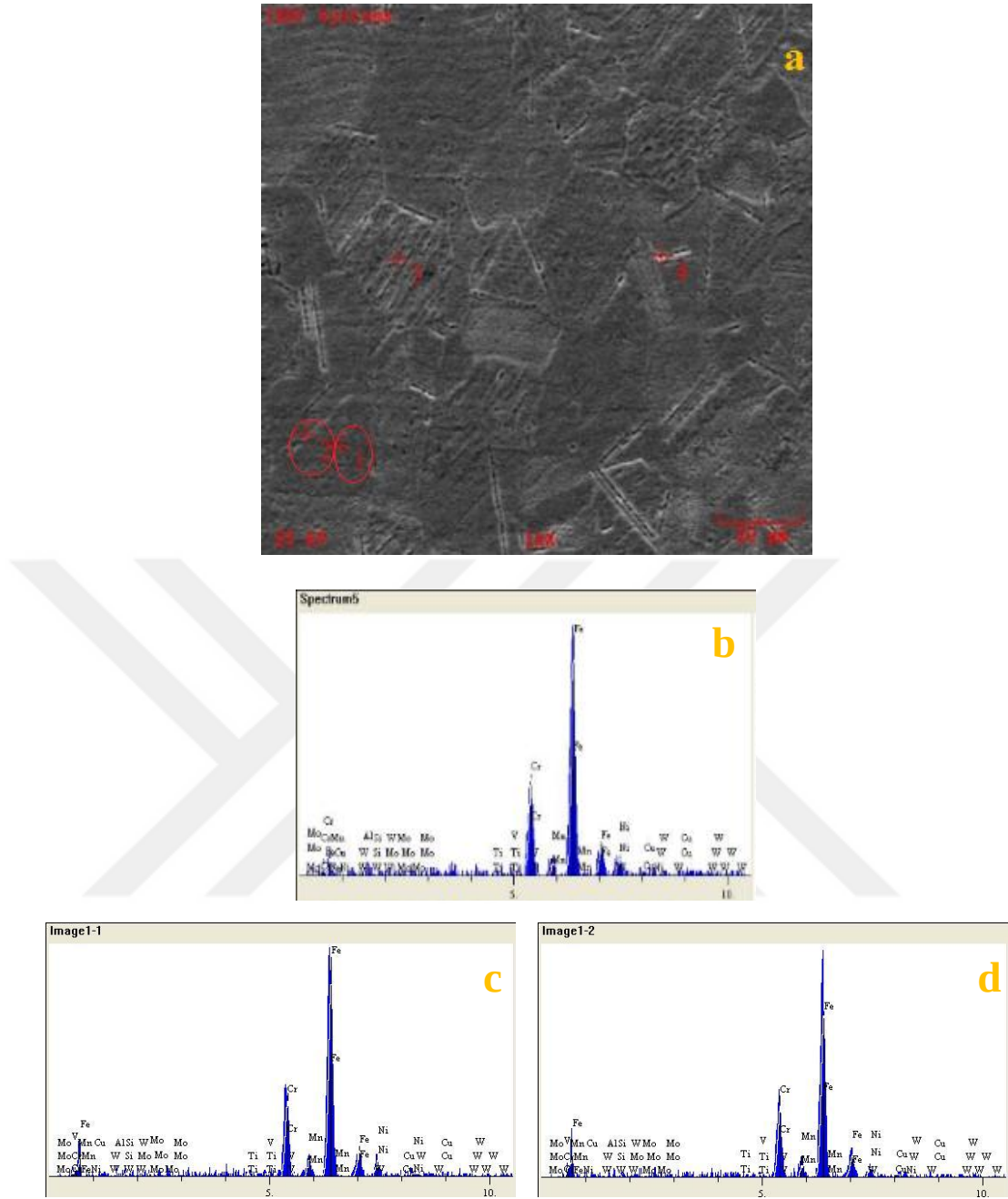
Daha önce yapılan bir çalışmada AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısında görülen yapıların ısıtılma işleminden sonra da mevcut olduğu belirtilmiştir. [30].

## **5.2. SEM-EDS Sonuçları ve Tartışma**

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin birleştirilmesi esnasında meydana gelen kaynak ısısının malzemenin korozyon davranışına etkisini incelemek amacı ile yapılan bu çalışmada kaynak metali, ITAB ve ana metalden SEM görüntüleri ve EDS analizleri alınarak bu bölümde tartışılmıştır.

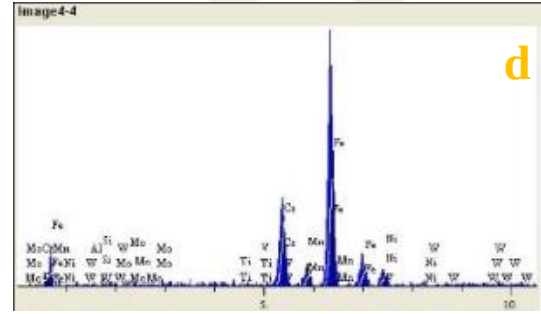
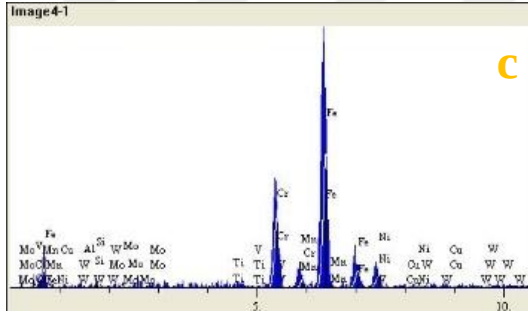
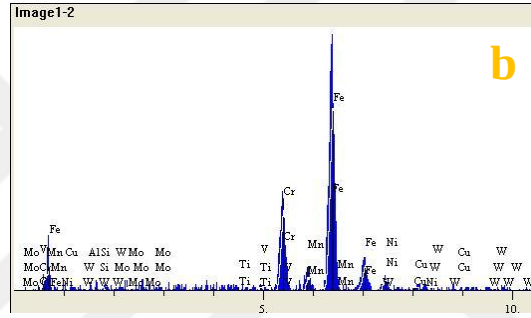
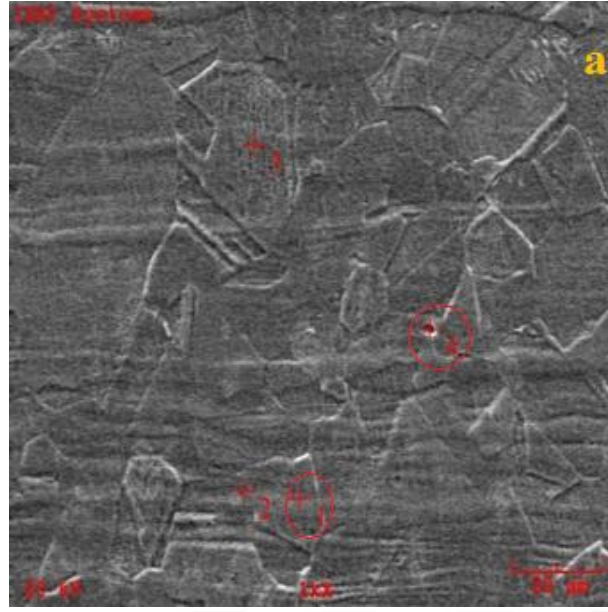
Lazer kaynak yönteminde ısı girdisi düşük olduğu için ITAB kısmen oluşmuş ancak EDS ve SEM alınmamıştır. TIG kaynak yönteminde ısı girdisi fazla olduğu için ısıdan etkilenen bölge daha geniş bir aralıktadır. Bu nedenle TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen malzemelerden EDS ve SEM alınmıştır.

DeneySEL çalışmalarda kullanılan korozyon sonrası ısıtılma işlem görmemiş ve ısıtılma işlem görmüş AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik malzemeye ait EDS analiz noktaları Şekil 5.10.-5.30. 'da verilmektedir.



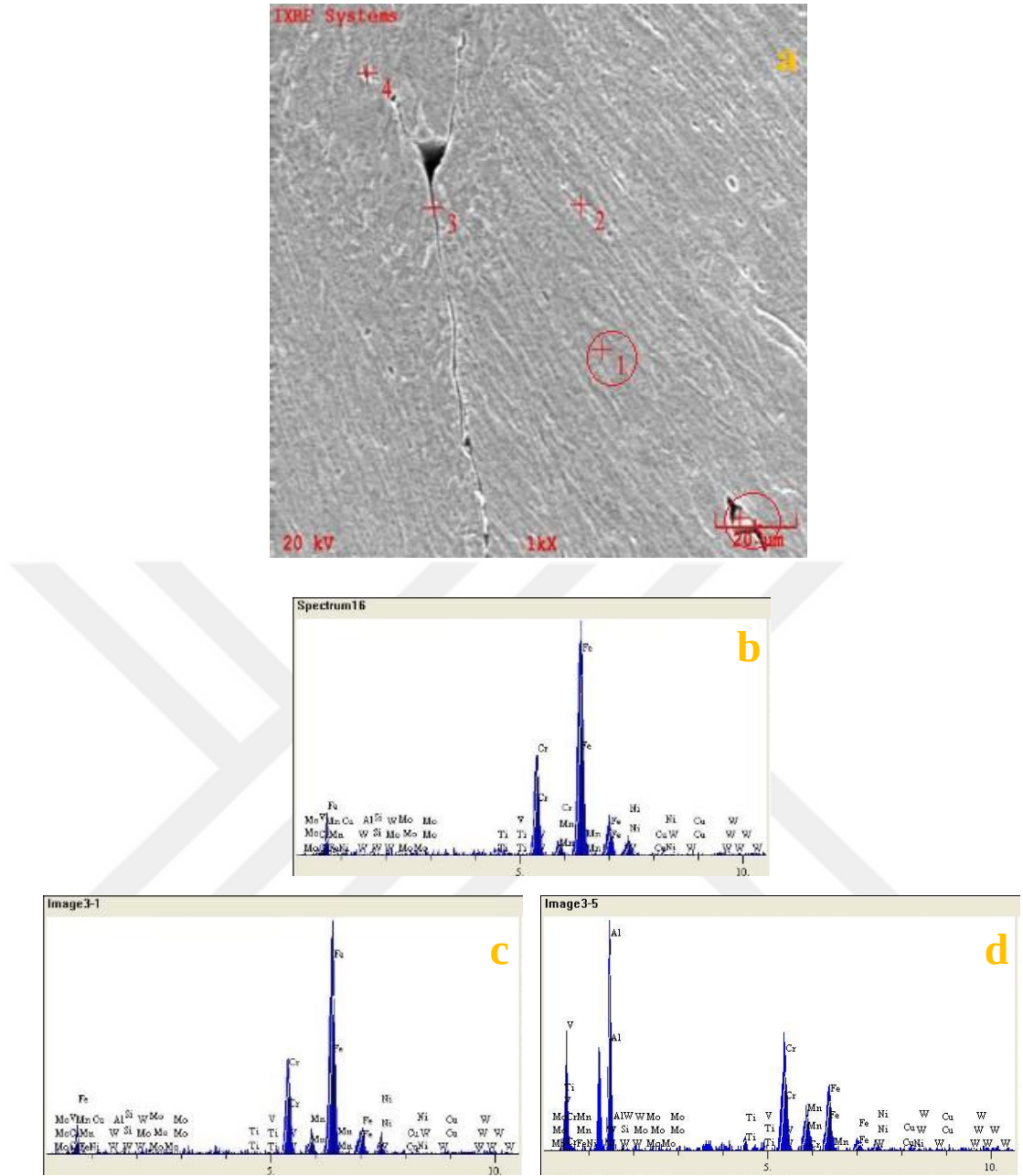
**Şekil 5.10.** AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik malzemenin korozyon sonrasına ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri

Lazer kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve TS 3157 EN ISO 3651-2/Kasım 2000 standardına uygun olarak 275 °C’de 24 saat korozyona uğratılmış malzemelerin ısılsız ve ısılsız işlem sonrası SEM görüntüleri ve EDS analizleri Şekil 5.11.-5.18.’de verilmiştir.

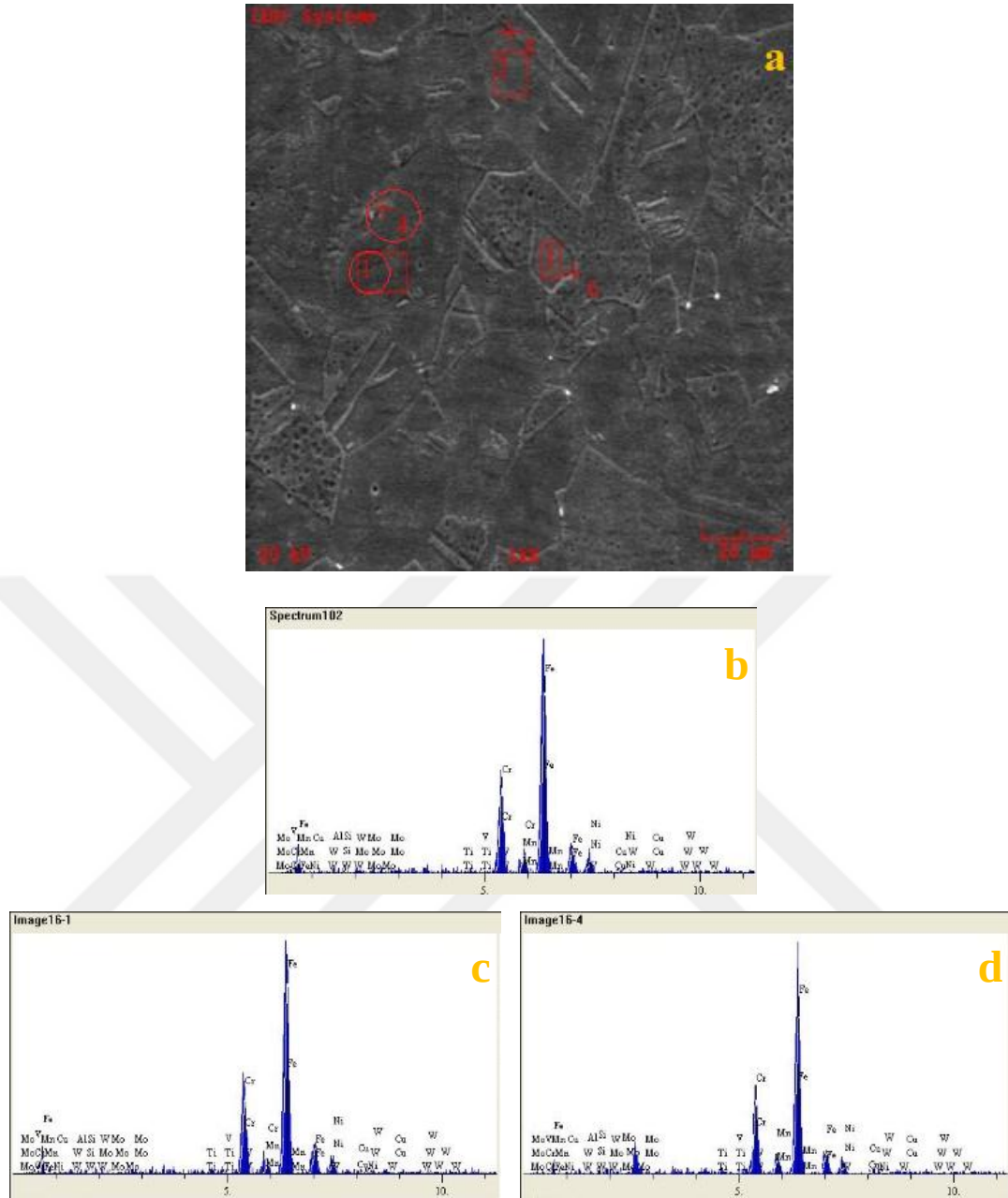


**Şekil 5.11.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrası ana metal bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı

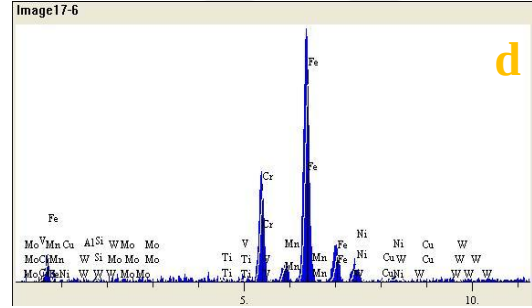
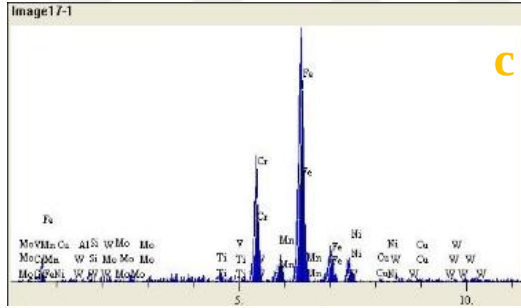
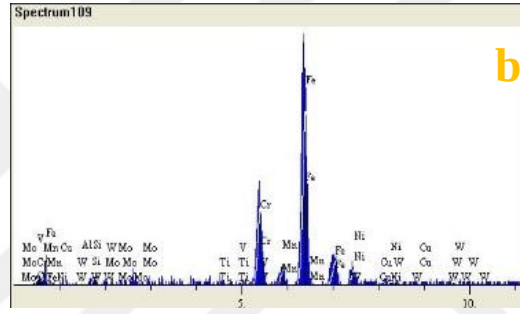
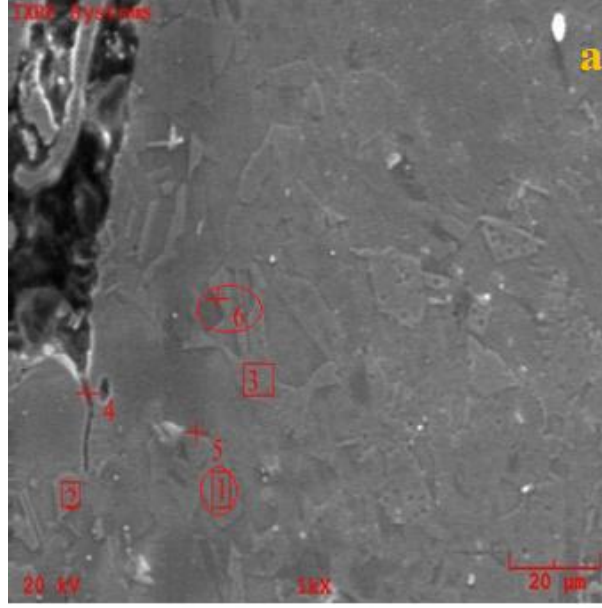




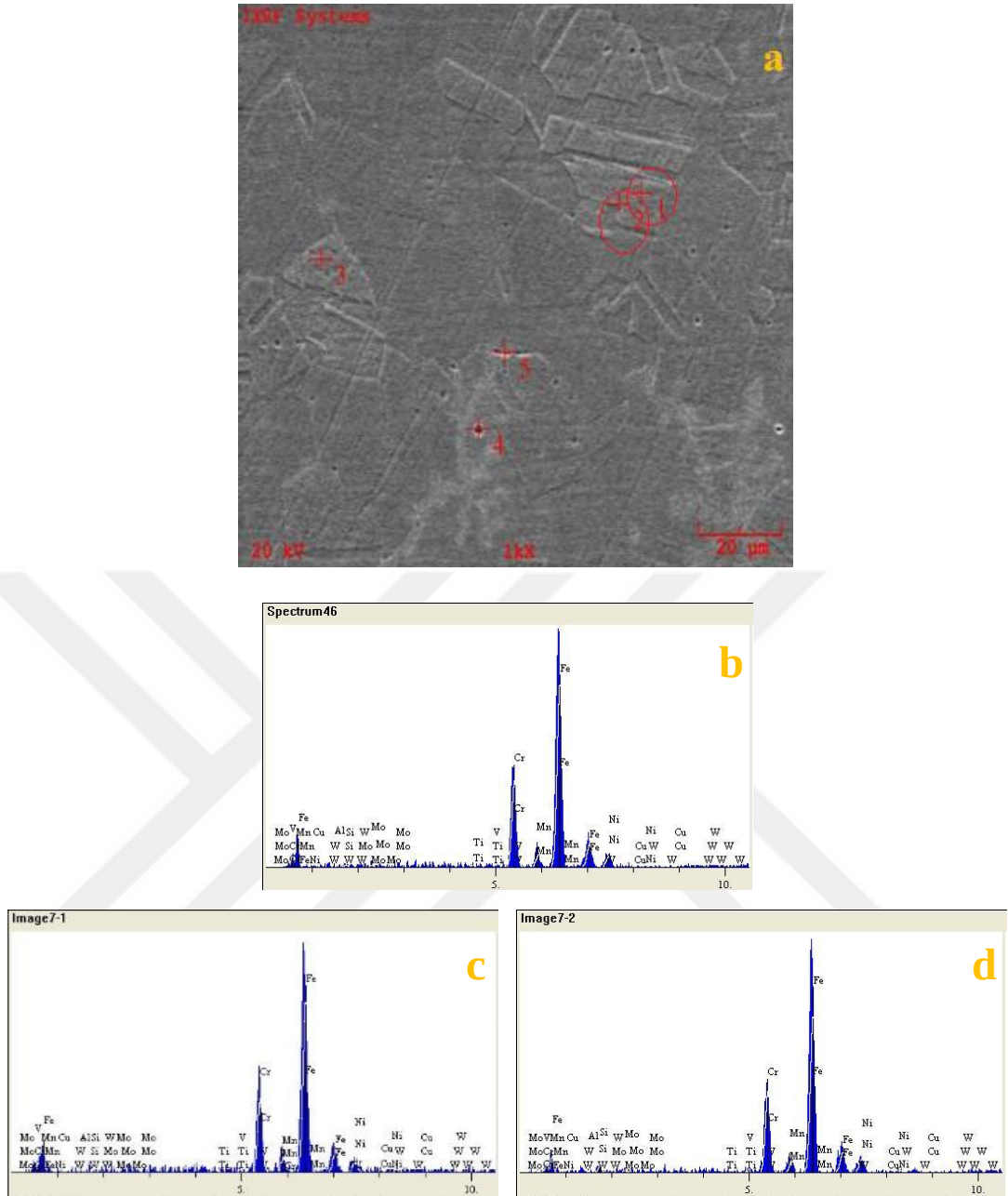
**Şekil 5.12.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrası kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı



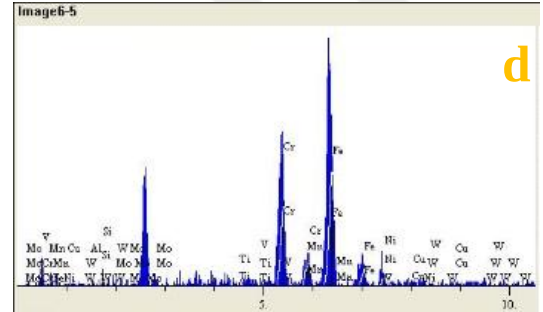
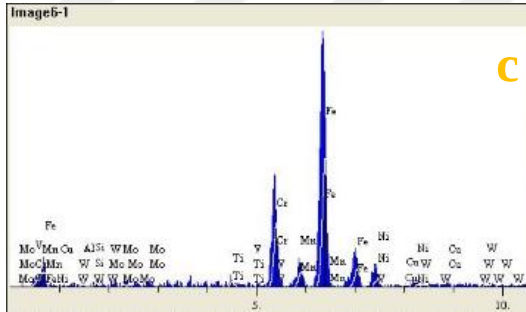
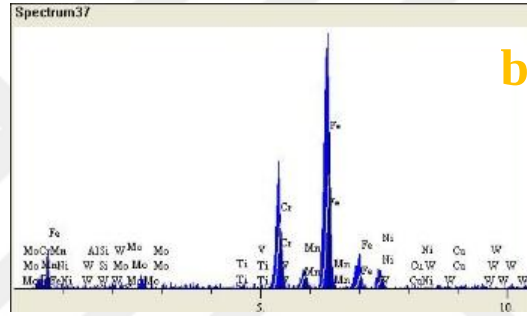
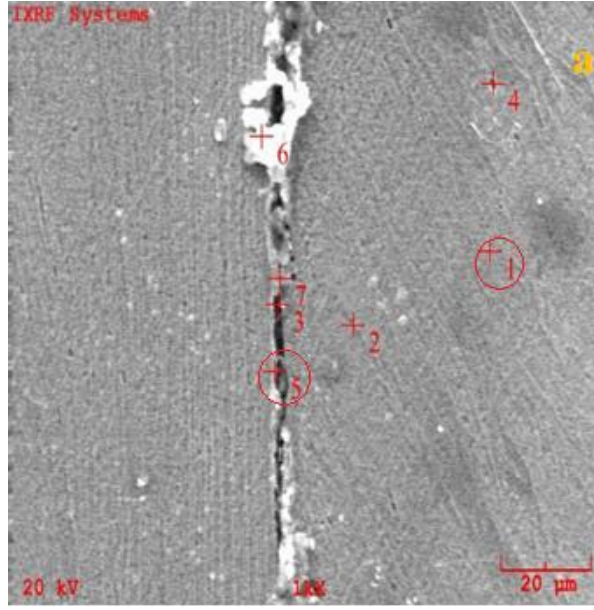
**Şekil 5.13.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtılma işlemi görmüş malzemenin ana metal bölgesi ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı



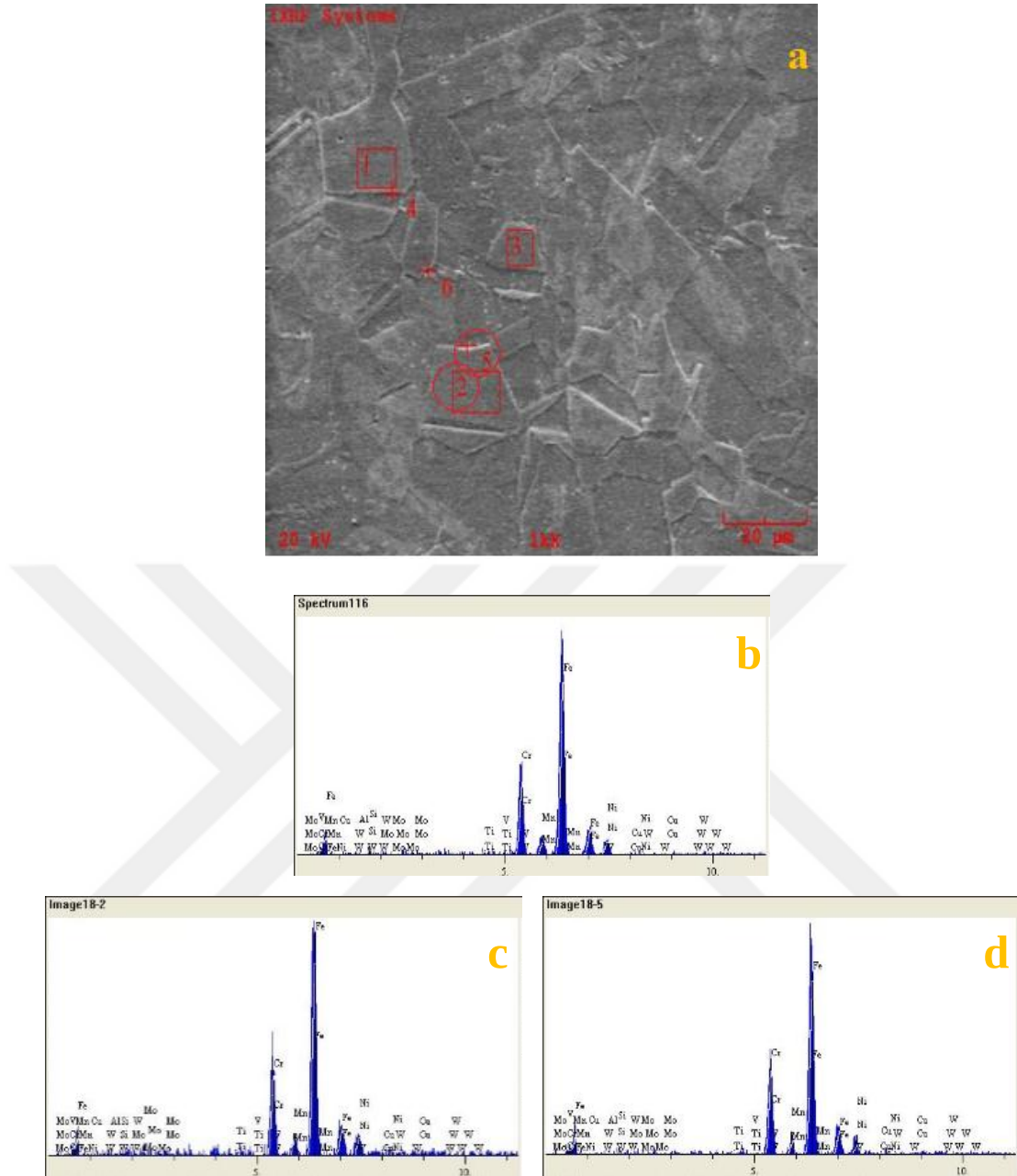
**Şekil 5.14.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtılma işlemi görmüş malzemenin kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı



**Şekil 5.15.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıt işlem görmüş malzemenin ana metal bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı

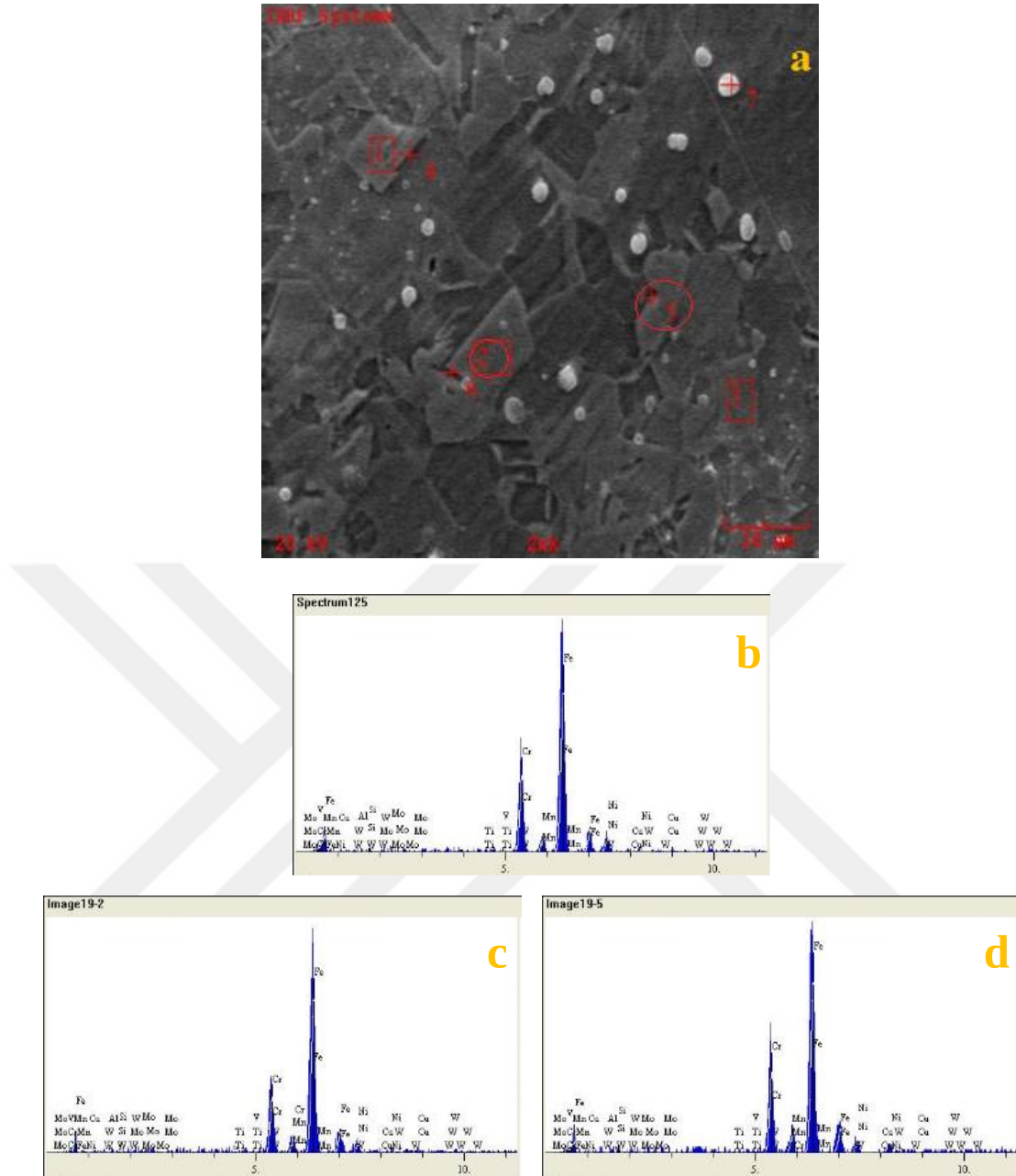


**Şekil 5.16.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıt işlem görmüş malzemenin kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı



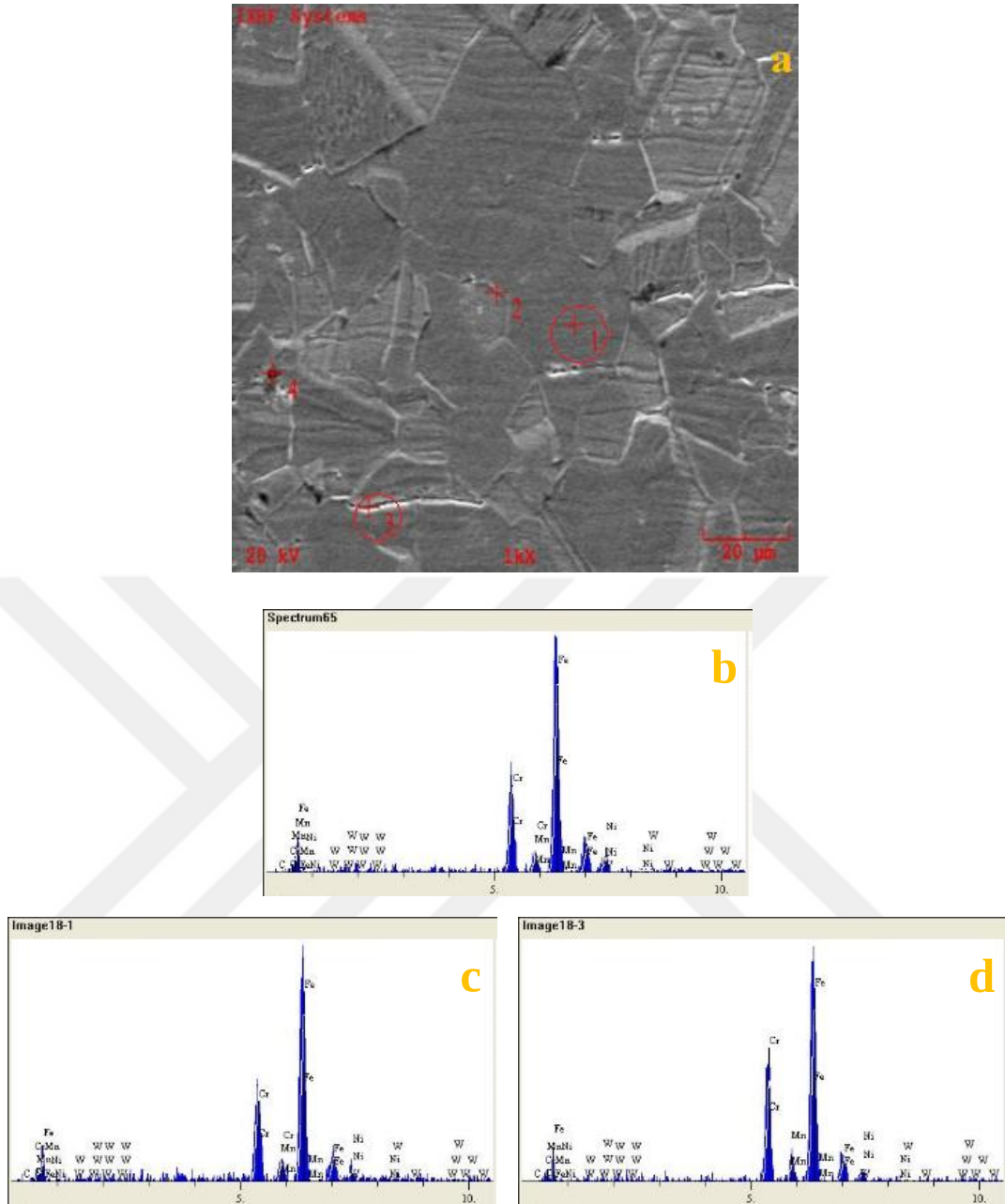
**Şekil 5.17.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıt işlem görmüş malzemenin ana metal bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı





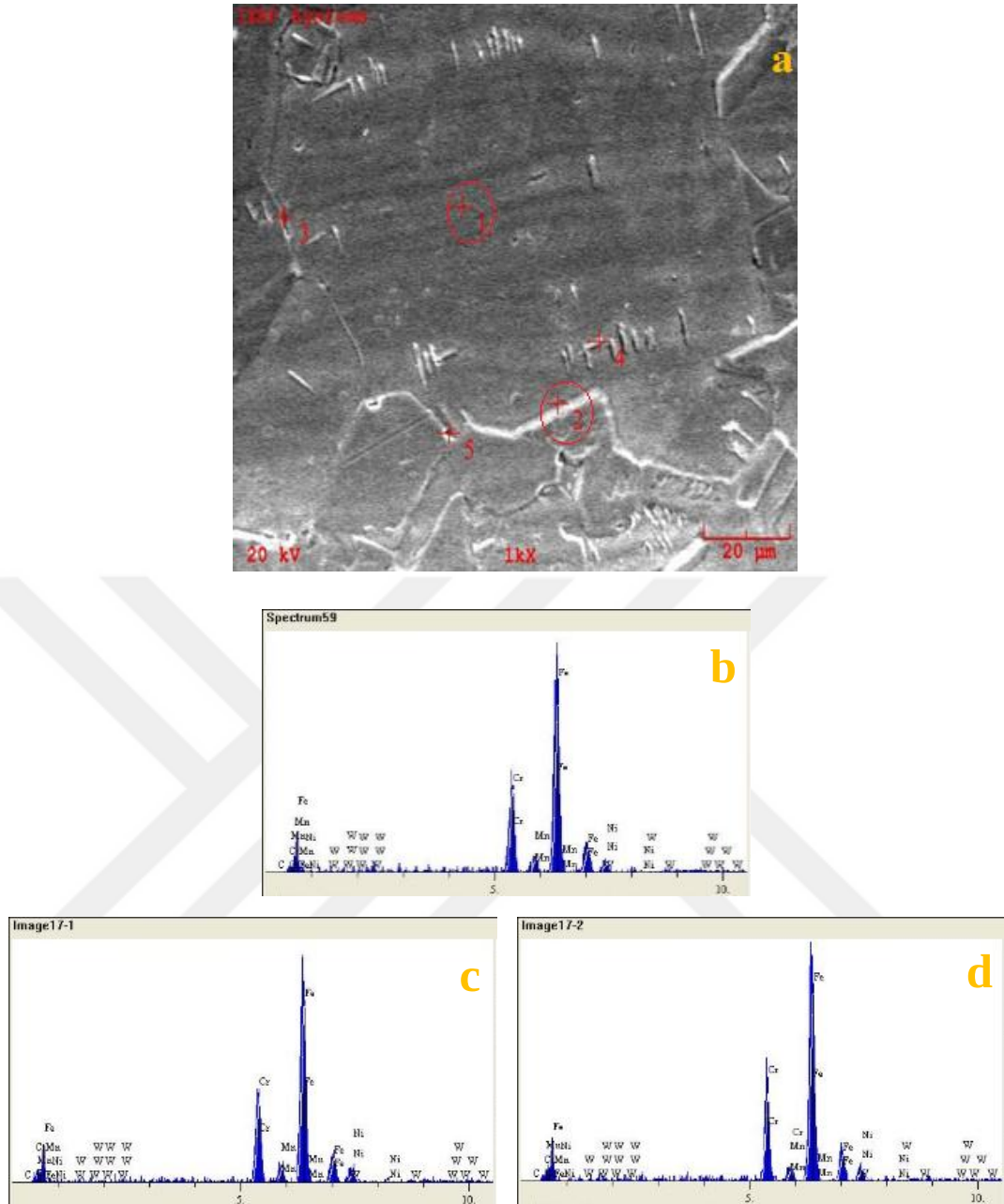
**Şekil 5.18.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıtılmış malzemenin kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı

TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerin korozyon sonrası SEM görüntüleri ve EDS analizleri Şekil 5.19.-5.30.’da verilmiştir.

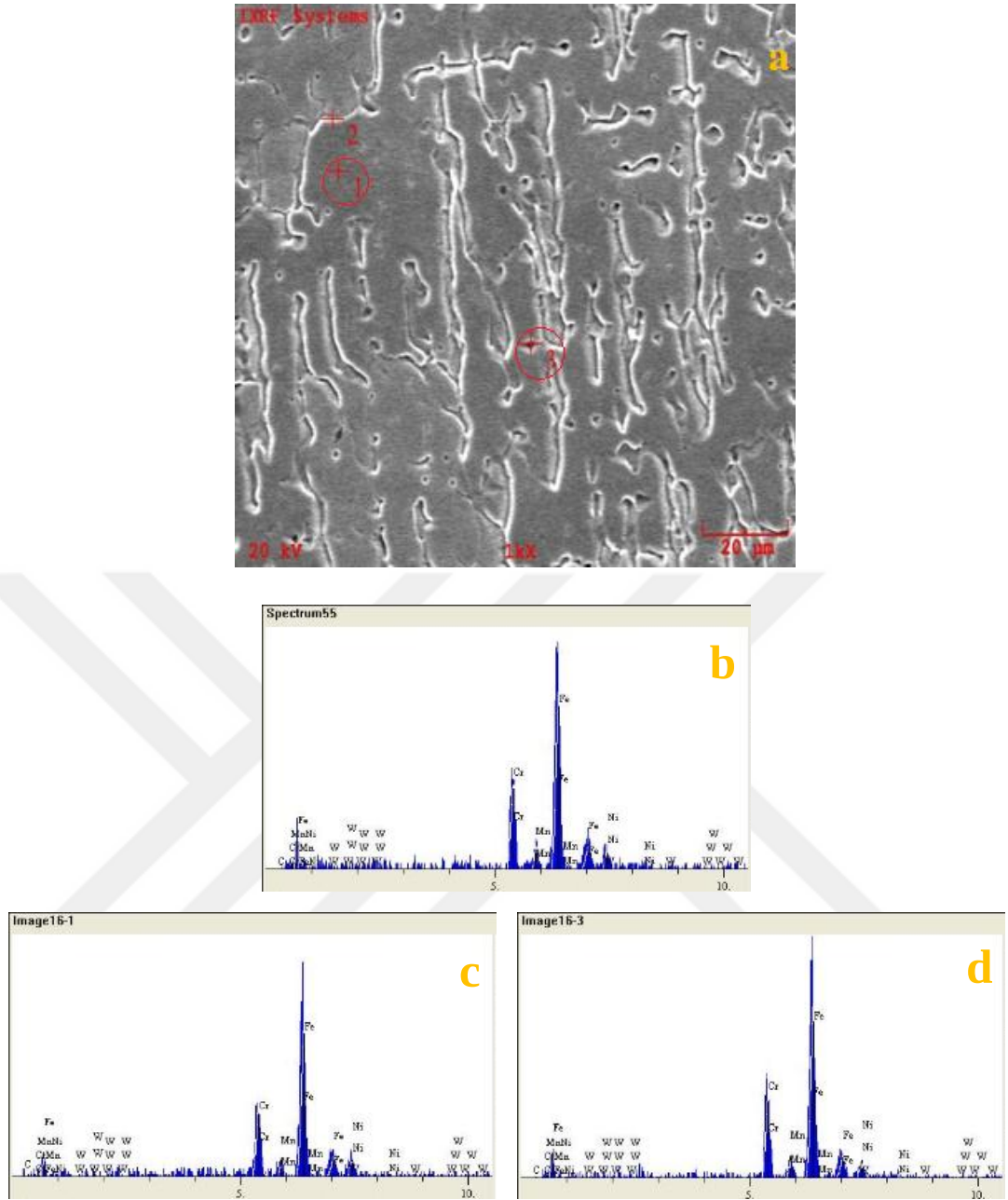


**Şekil 5.19.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrasına ait ana metal bölgesi EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı

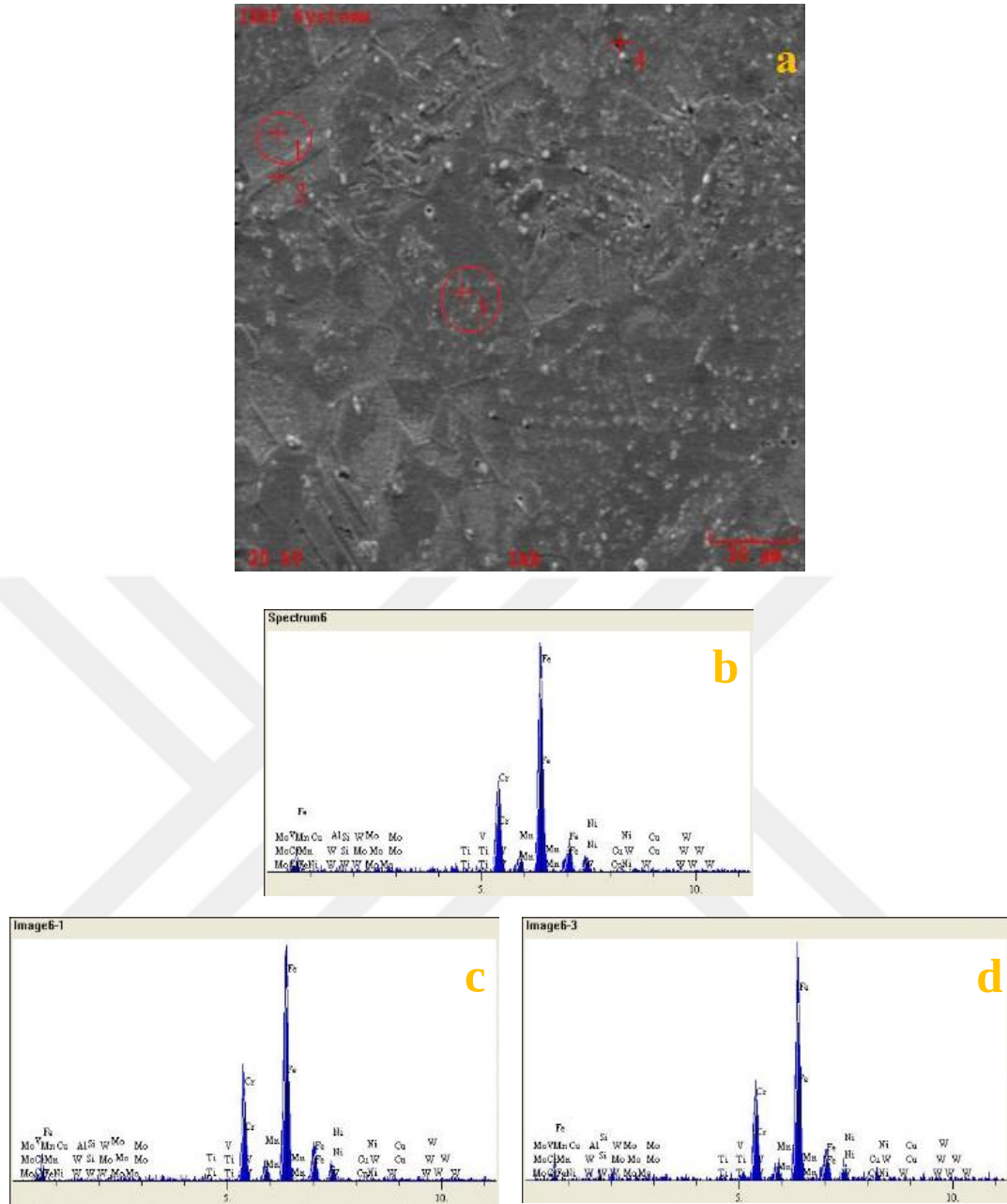




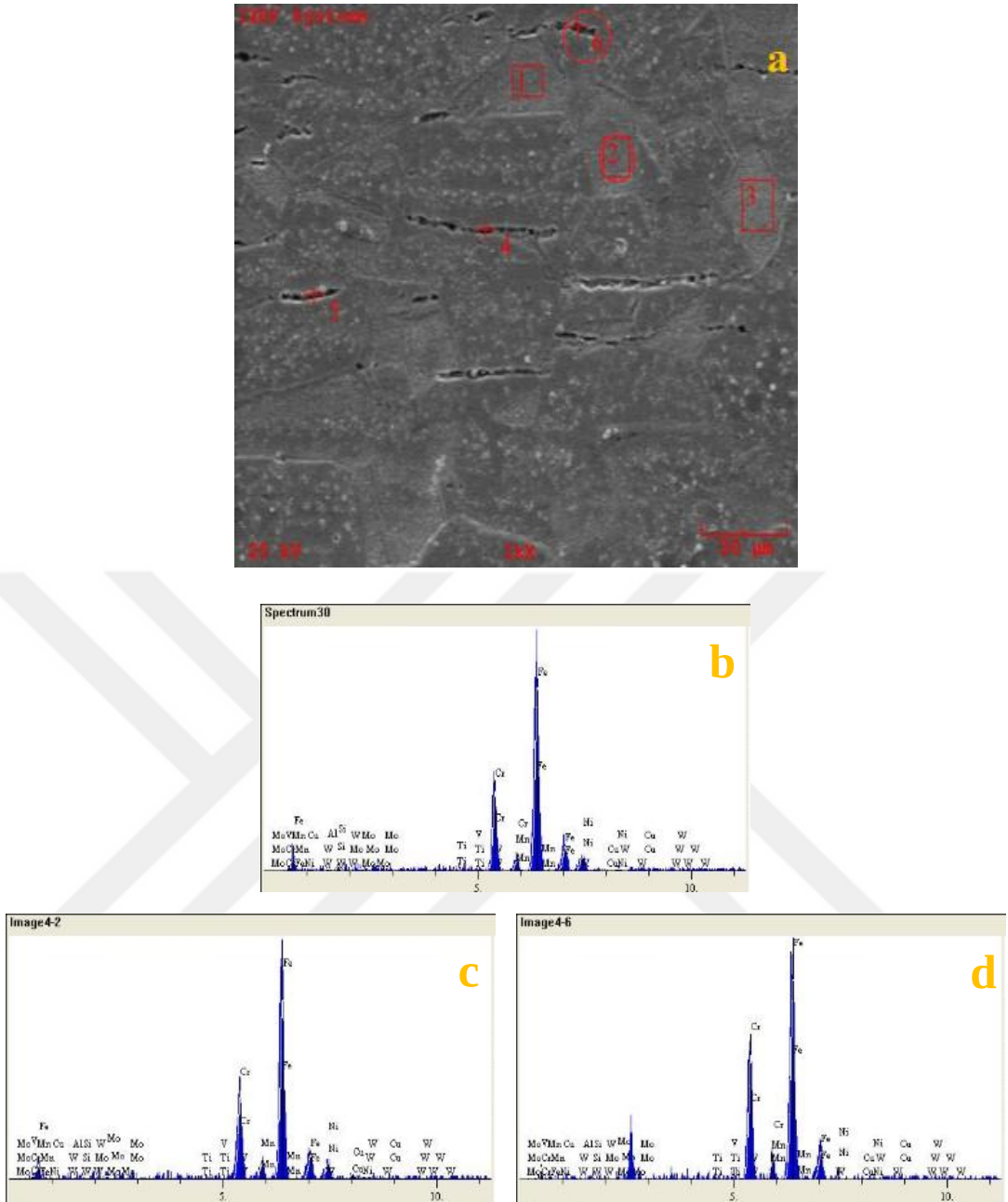
**Şekil 5.20.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerin korozyon sonrası ITAB bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) ITAB bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı



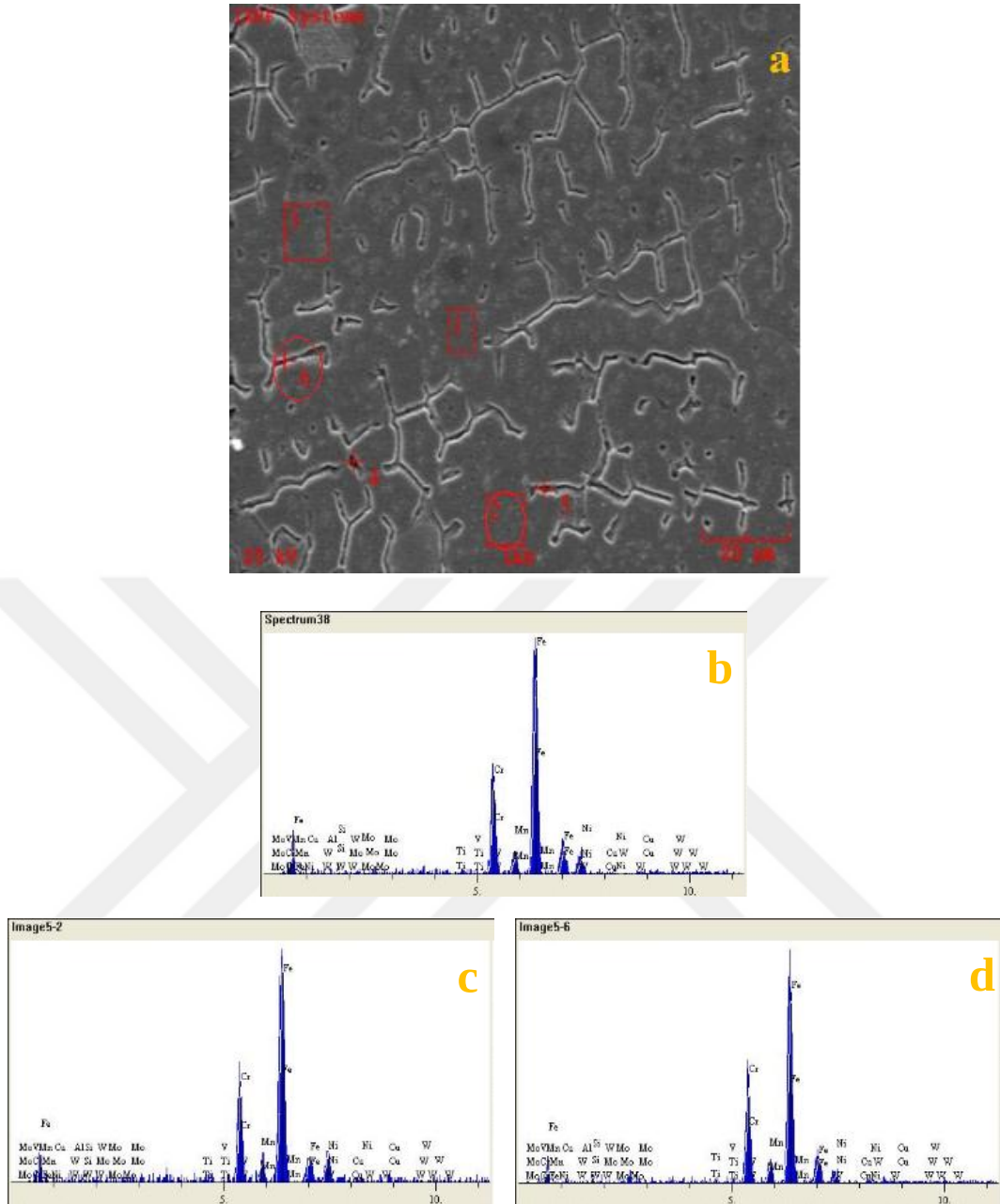
**Şekil 5.21.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrası kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı



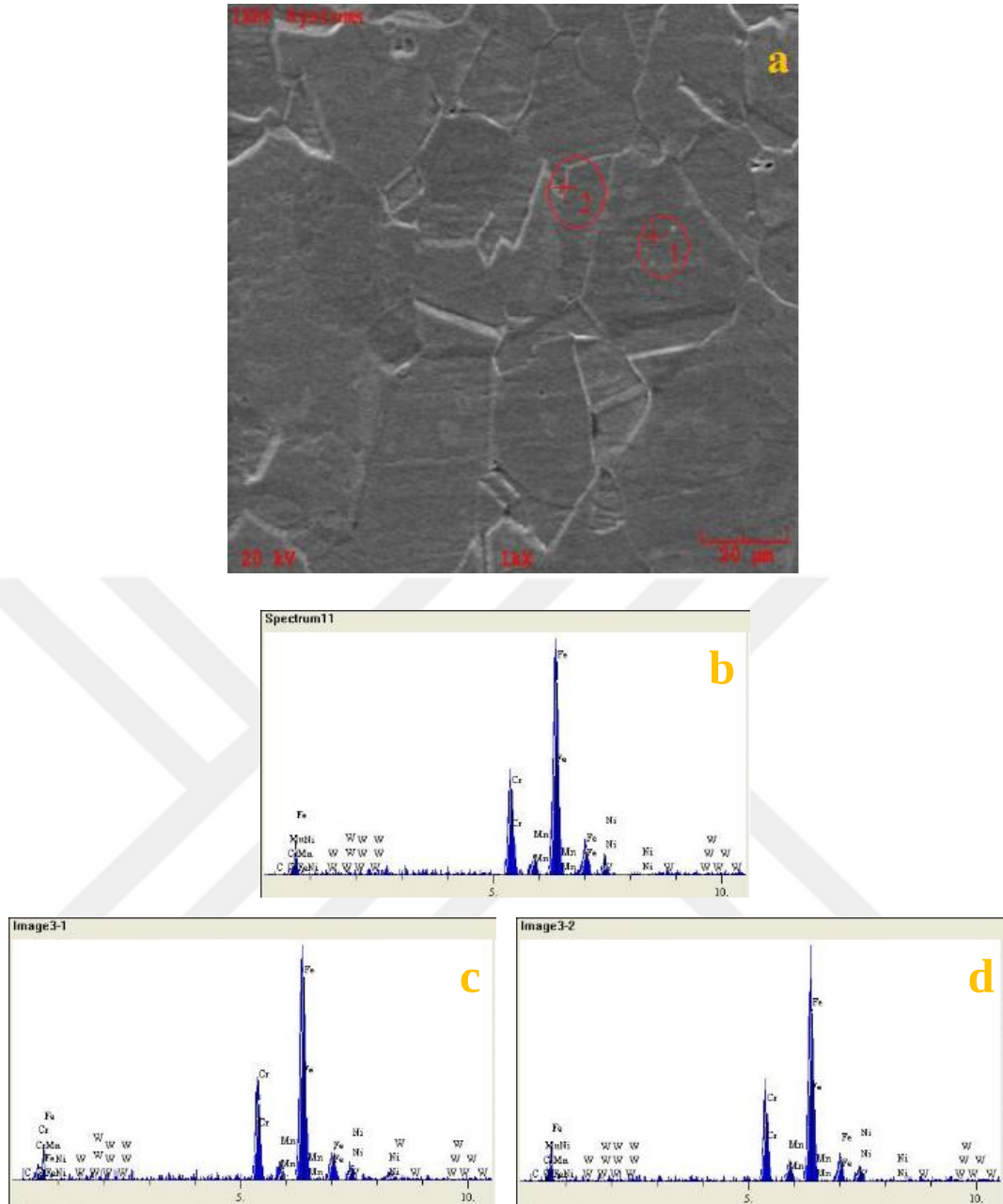
**Şekil 5.22.** TIG kaynağı ile birleştirmiş korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıt işlem görmüş malzemenin ana metal bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı



**Şekil 5.23.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtılma işlemi görmüş malzemenin ITAB bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) ITAB bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı

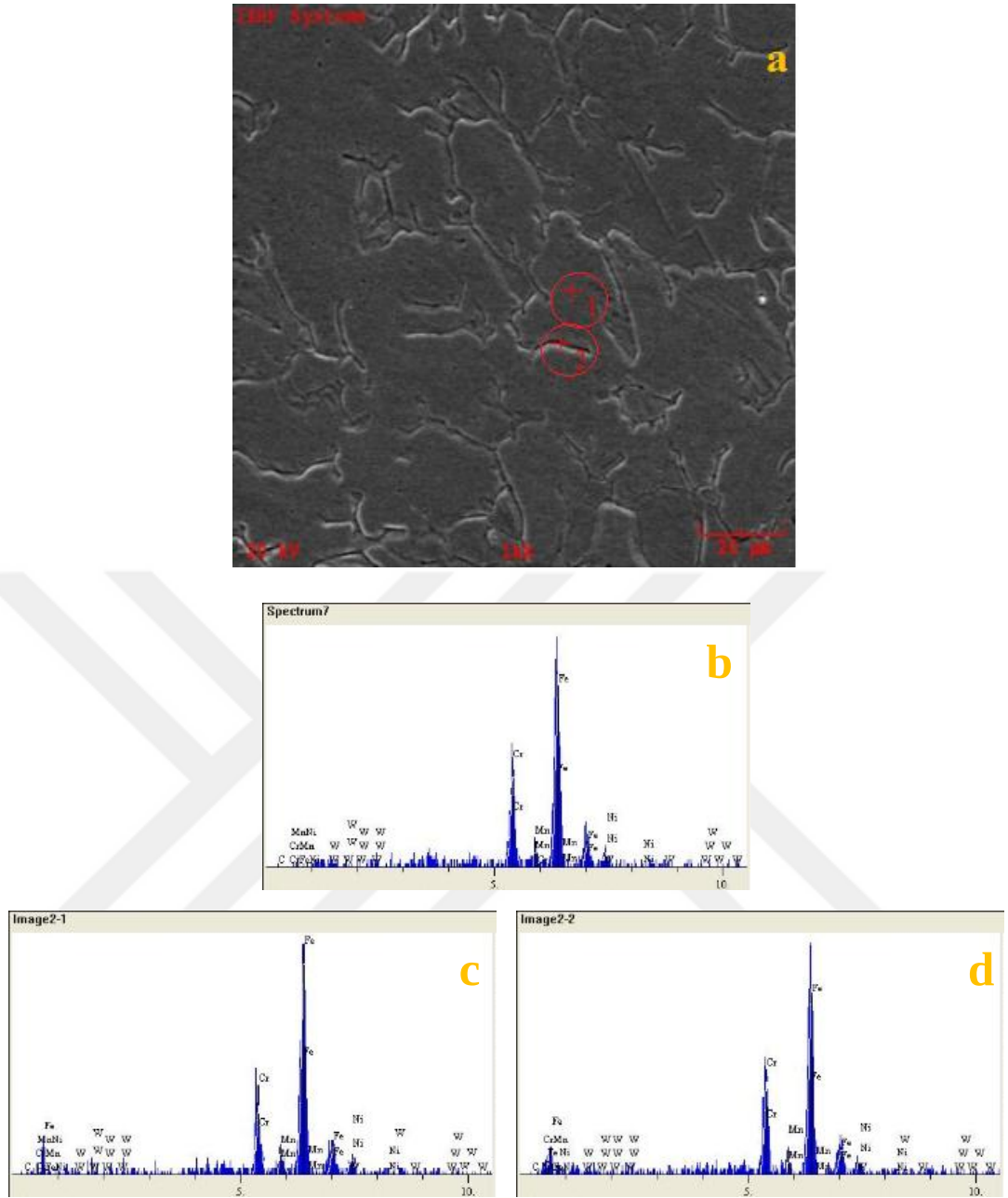


**Şekil 5.24.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat ısıtılmış malzemenin kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı

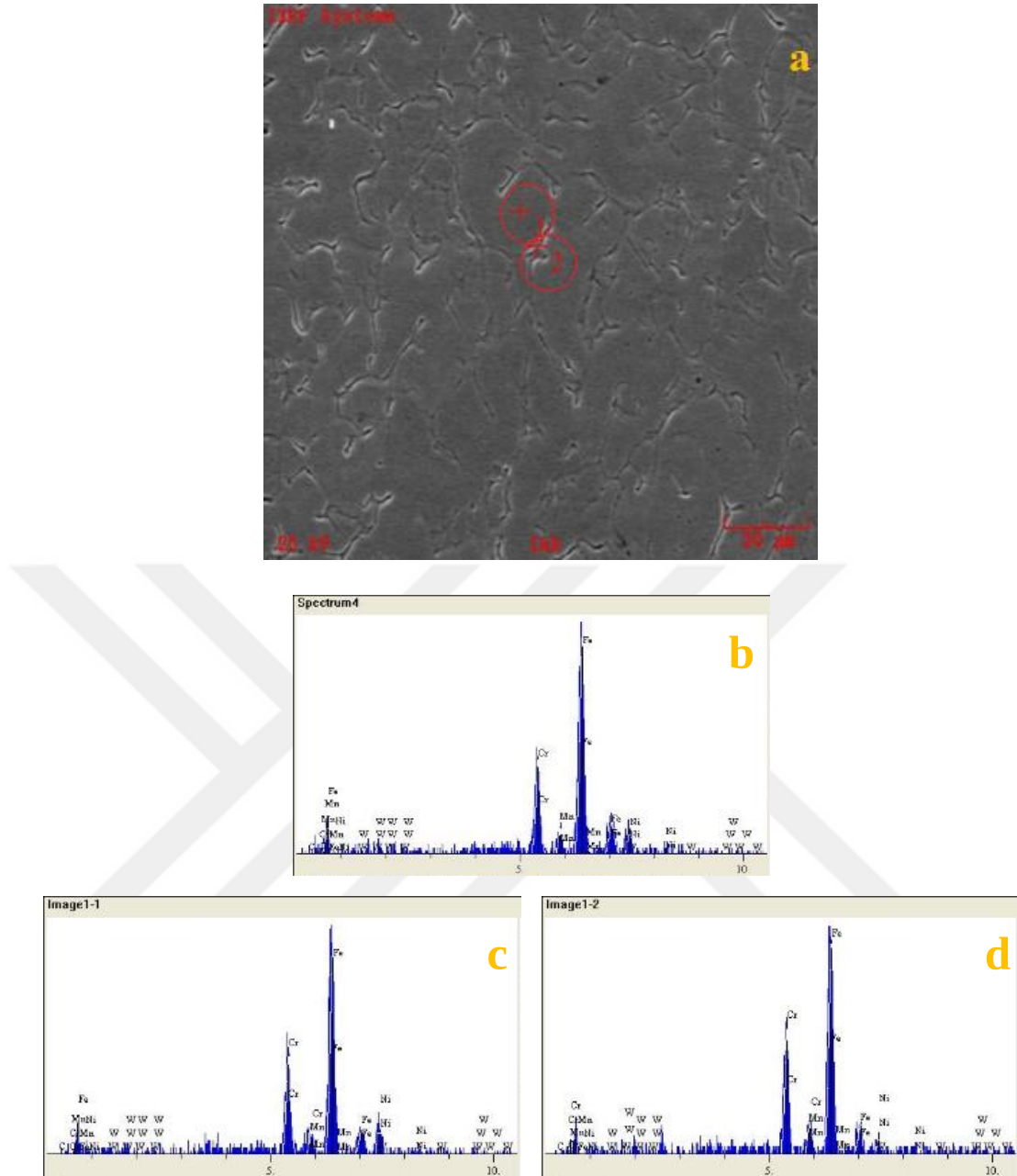


**Şekil 5.25.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıt işlem görmüş malzemenin ana metal bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı



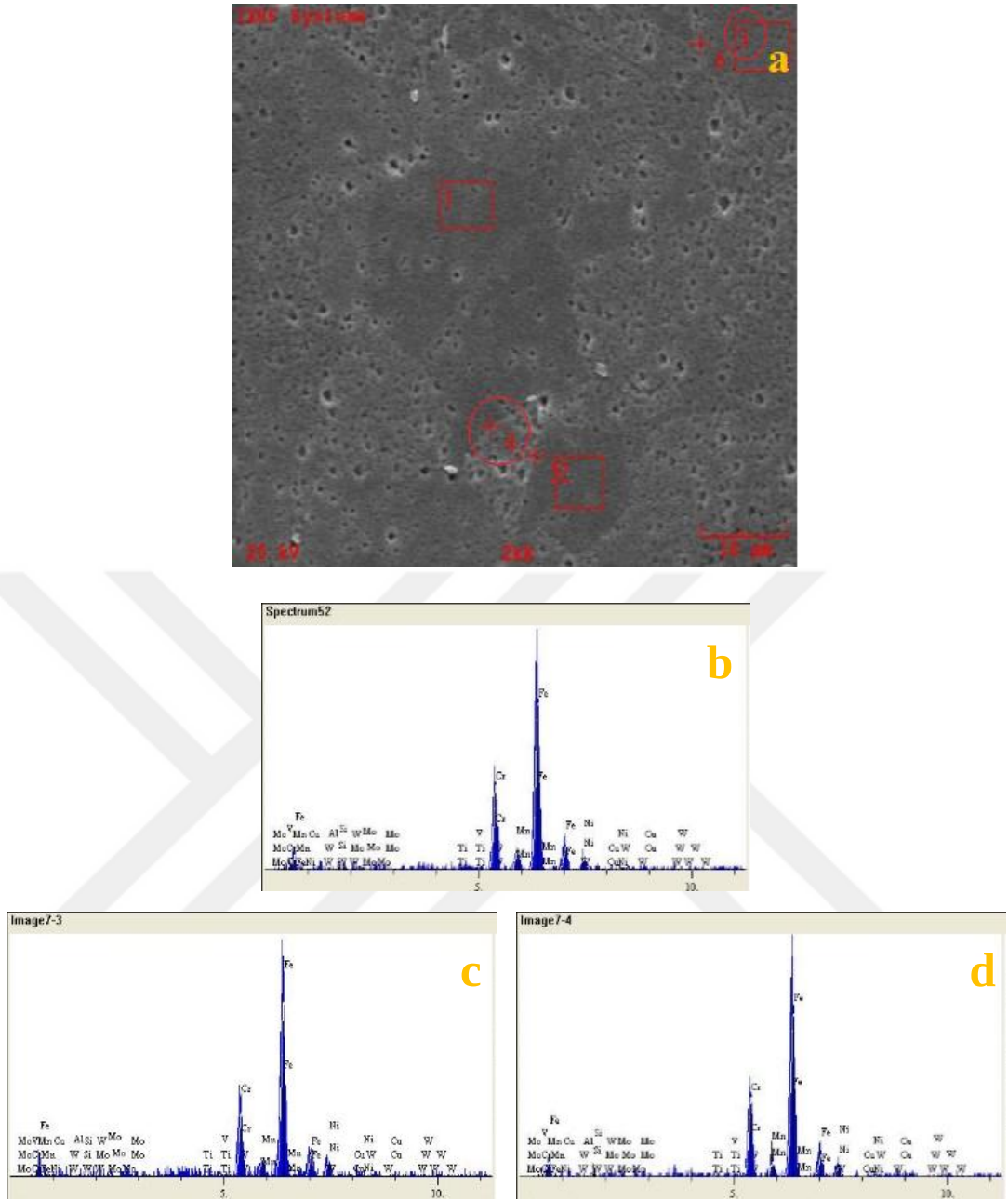


**Şekil 5.26.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıtılmış malzemenin ITAB bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) ITAB bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı

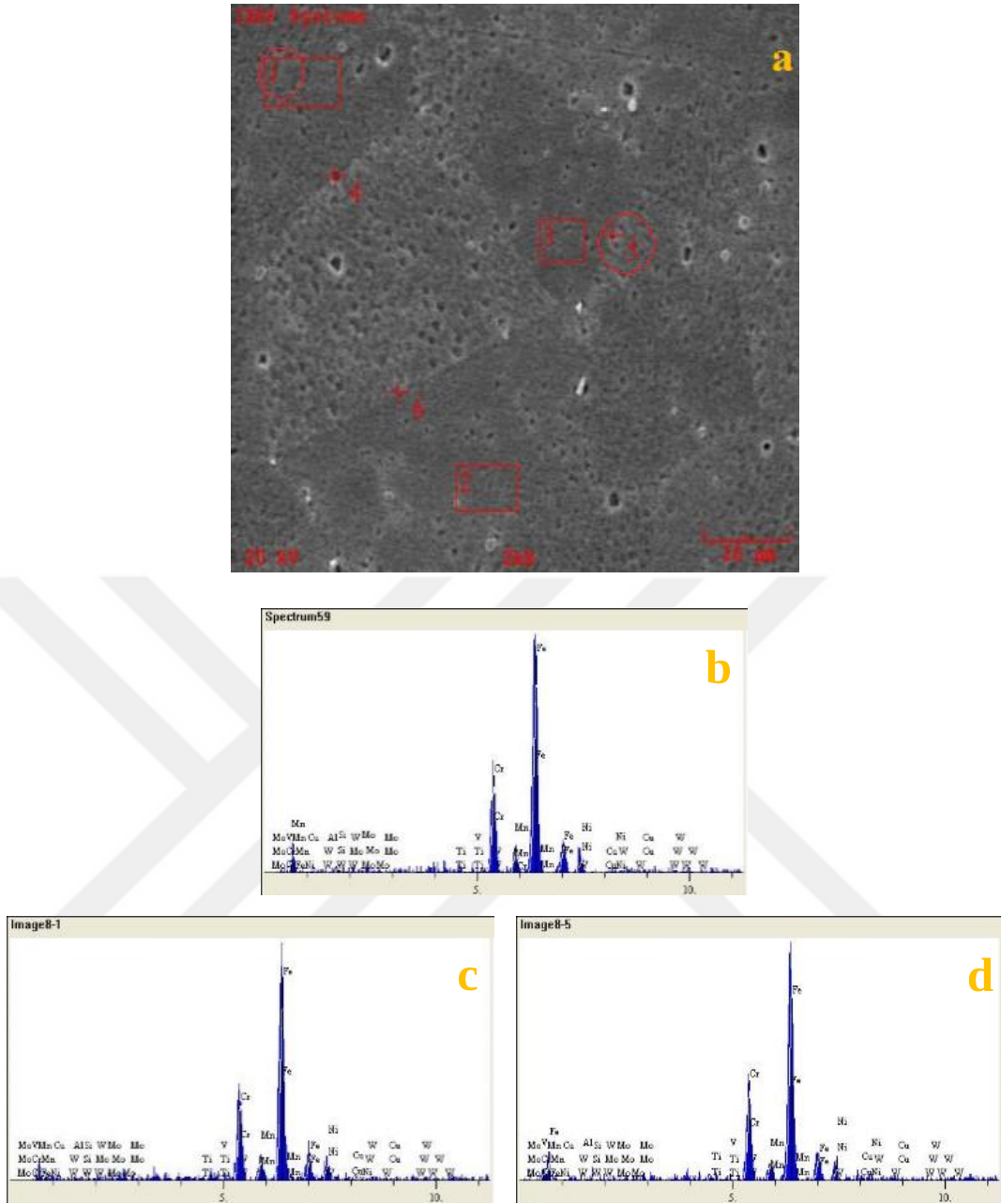


**Şekil 5.27.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 1 saat ısıt işlem görmüş malzemenin kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı

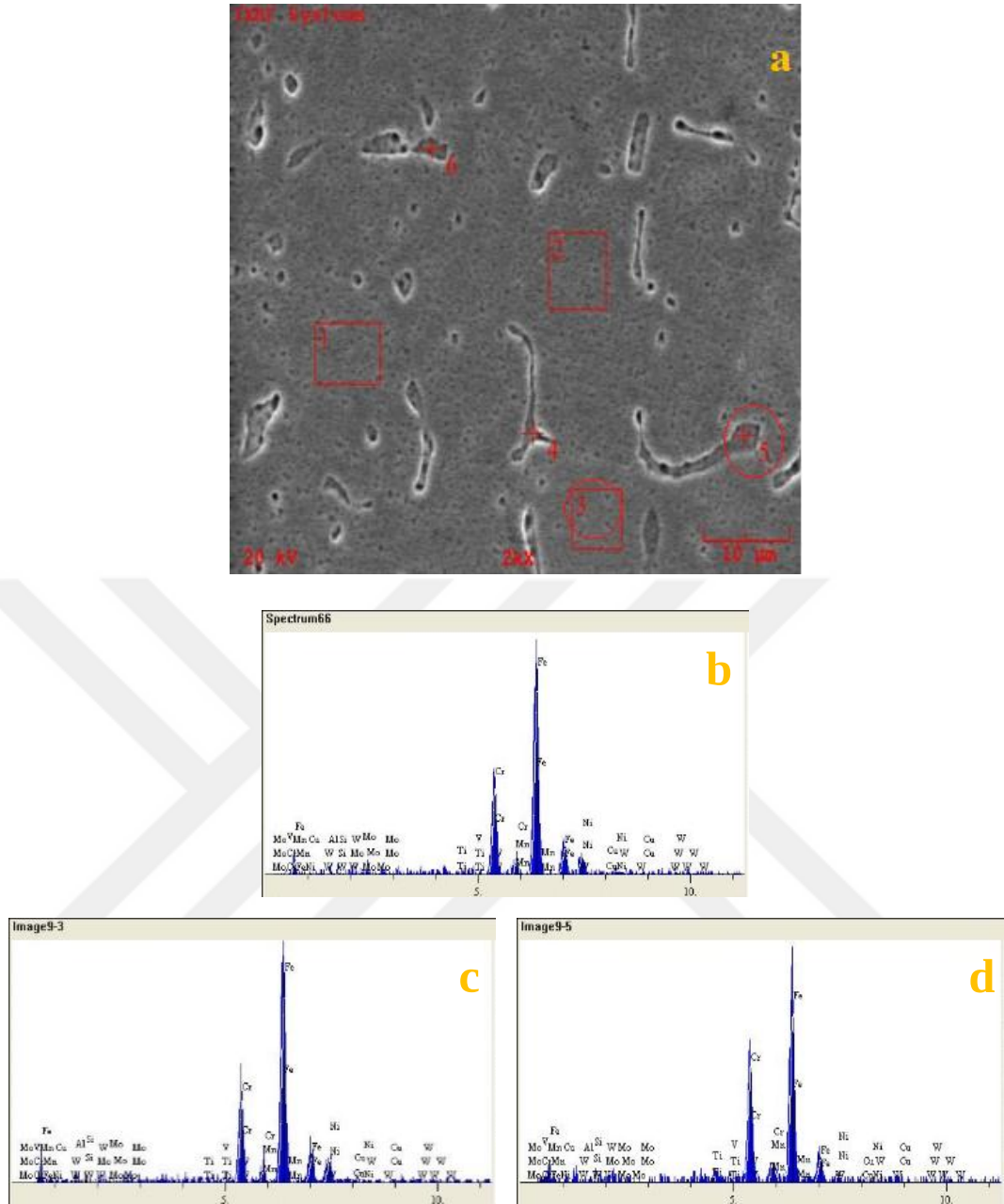




**Şekil 5.28.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin ana metal bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Ana metal, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı



**Şekil 5.29.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıt işlem görmüş malzemenin ITAB bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) ITAB bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı



**Şekil 5.30.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş korozyon sonrası 850 °C’de 5 saat ısıt işlem görmüş malzemenin kaynak bölgesine ait EDS analiz noktaları ve EDS analiz grafikleri, a) Kaynak bölgesi, b) Genel spektrum, c) Tane içi, d) Tane sınırı

**Çizelge 5.1.** Lazer kaynaklı malzemelerin ana metal ve kaynak metali bölgelerindeki tane içi ile tane sınırındaki element EDS analiz değerleri

| Yöntem                        | Bölge - Element | C           | Cr          | Mn          | Fe          | Ni          | W           |
|-------------------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Lazer kaynağı                 |                 | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    |
|                               | Ana metal       | 2,172       | 18,841      | 0,343       | 52,224      | 7,673       | 14,057      |
|                               | Kaynak metali   | 1,703       | 17,367      | 1,98        | 58,989      | 6,713       | 8,963       |
|                               |                 | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı |
|                               | Ana metal       | 0           | 20,554      | 1,898       | 55,435      | 8,74        | 10,232      |
|                               | Kaynak metali   | 0           | 21,04       | 8,118       | 18,936      | 3,669       | 14,24       |
| Lazer kaynağı<br>650°C 1 saat |                 | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    |
|                               | Ana metal       | 0           | 15,206      | 0,542       | 59,735      | 5,31        | 14,865      |
|                               | Kaynak metali   | 2,008       | 15,447      | 3,205       | 57,309      | 6,633       | 10,314      |
|                               |                 | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı |
|                               | Ana metal       | 0           | 16,962      | 2,157       | 58,22       | 4,556       | 13,734      |
|                               | Kaynak metali   | 0           | 16,989      | 1,884       | 61,083      | 8,045       | 9,167       |
| Lazer kaynağı<br>850°C 1 saat |                 | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    |
|                               | Ana metal       | 0           | 16,321      | 1,878       | 58,393      | 5,702       | 12,879      |
|                               | Kaynak metali   | 0           | 16,845      | 3,204       | 53,684      | 5,685       | 14,401      |
|                               |                 | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı |
|                               | Ana metal       | 0           | 19,985      | 0,508       | 62,586      | 8,78        | 4,046       |
|                               | Kaynak metali   | 0           | 20,227      | 4,617       | 44,035      | 5,395       | 16,803      |
| Lazer kaynağı<br>850°C 5 saat |                 | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    |
|                               | Ana metal       | 0,648       | 15,121      | 1,335       | 57,863      | 8,344       | 10,981      |
|                               | Kaynak metali   | 0           | 13,769      | 2,006       | 60,658      | 5,401       | 14,133      |
|                               |                 | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı |
|                               | Ana metal       | 0,912       | 18,351      | 0,875       | 63,435      | 4,974       | 8,585       |
|                               | Kaynak metali   | 0           | 17,332      | 2,9         | 59,013      | 4,545       | 13,452      |

**Çizelge 5.2.** TIG kaynaklı malzemelerin ana metal, ITAB ve kaynak metali bölgelerindeki tane içi ile tane sınırındaki element EDS analiz değerleri

| Yöntem                      | Bölge - Element | C           | Cr          | Mn          | Fe          | Ni          | W           |
|-----------------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| TIG kaynağı                 |                 | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    |
|                             | Ana metal       | 0           | 20,887      | 1,671       | 55,924      | 5,141       | 16,376      |
|                             | ITAB            | 0           | 18,788      | 1,467       | 65,398      | 5,791       | 8,557       |
|                             | Kaynak metali   | 1,227       | 16,917      | 1,756       | 60          | 10,971      | 9,129       |
|                             |                 | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı |
|                             | Ana metal       | 0           | 21,552      | 2,021       | 59,716      | 4,9         | 11,811      |
|                             | ITAB            | 0           | 18,238      | 0,78        | 64,859      | 6,084       | 10,04       |
|                             | Kaynak metali   | 0           | 19,04       | 2,514       | 64          | 8,026       | 6,419       |
| TIG kaynağı<br>650°C 1 saat |                 | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    |
|                             | Ana metal       | 0           | 15,996      | 1,283       | 59,395      | 5,962       | 13,179      |
|                             | ITAB            | 0           | 17,17       | 1,637       | 56,916      | 8,062       | 10,354      |
|                             | Kaynak metali   | 0           | 15,881      | 2,14        | 58,671      | 11,478      | 7,139       |
|                             |                 | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı |
|                             | Ana metal       | 2,19        | 16,524      | 1,821       | 55,077      | 6,747       | 10,632      |
|                             | ITAB            | 0           | 23,236      | 1,283       | 60,736      | 1,525       | 9,367       |
|                             | Kaynak metali   | 0           | 19,05       | 2,47        | 58,668      | 4,147       | 13,199      |
| TIG kaynağı<br>850°C 1 saat |                 | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    |
|                             | Ana metal       | 0           | 14,927      | 0,013       | 62,621      | 5,808       | 16,632      |
|                             | ITAB            | 0           | 14,2        | 4,024       | 74,506      | 7,27        | 0           |
|                             | Kaynak metali   | 0           | 16,231      | 2,591       | 54,6        | 9,95        | 16,628      |
|                             |                 | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı |
|                             | Ana metal       | 1,255       | 16,672      | 2,611       | 61,67       | 6,563       | 11,229      |
|                             | ITAB            | 0           | 18,071      | 1,626       | 62,507      | 7,007       | 10,79       |
|                             | Kaynak metali   | 0           | 21,035      | 2,945       | 57,983      | 5,553       | 12,484      |
| TIG kaynağı<br>850°C 5 saat |                 | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    | Tane içi    |
|                             | Ana metal       | 0           | 13,211      | 3,362       | 56,919      | 7,865       | 11,586      |
|                             | ITAB            | 0           | 15,398      | 3,168       | 55,613      | 8,148       | 11,25       |
|                             | Kaynak metali   | 0           | 15,105      | 1,043       | 54,683      | 9,999       | 11,402      |
|                             |                 | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı | Tane sınırı |
|                             | Ana metal       | 0           | 17,323      | 1,486       | 56,803      | 5,646       | 13,716      |
|                             | ITAB            | 3,125       | 16,615      | 1,593       | 56,104      | 4,638       | 9,778       |
|                             | Kaynak metali   | 0           | 24,073      | 1,159       | 53,42       | 3,958       | 10,439      |

SEM görüntüleri ve EDS analizleri genel olarak değerlendirildiğinde Bölüm 5.1.'deki mikroyapı görüntülerinden büyük farklılığın olmadığı görülmüştür. Tane sınırında oluşması beklenen krom karbür çökmesi yapılan EDS analizlerindeki tane sınırlarında artan Cr miktarı ile açıklanabilir.

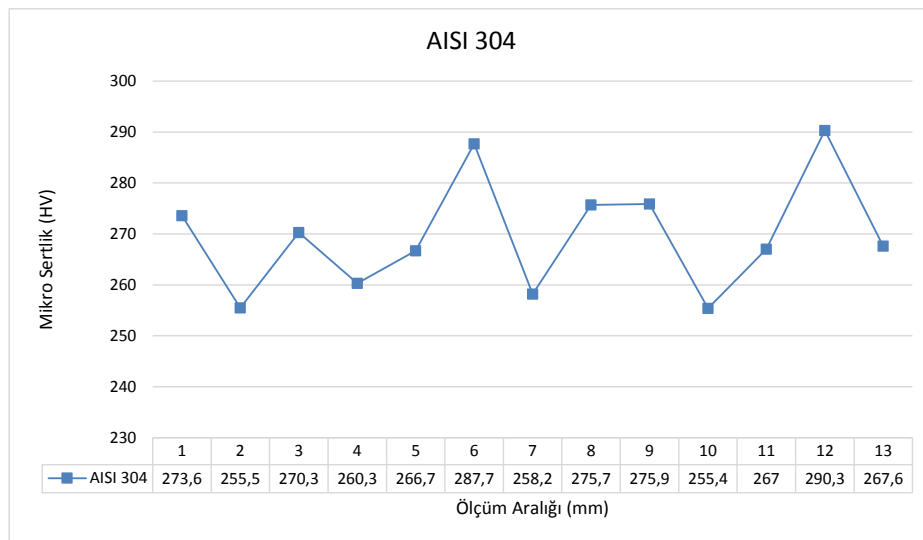
Lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerin korozyon testi sonrası tane içi ve tane sınırındaki Cr değerlerine bakılırsa; ısıtılma işlem görmemiş malzemelerde ana metal

bölgesinde de kaynak bölgesindeki fark da, ısıtıl işlem görmüş malzemelere göre daha azdır. Isıl işlem sıcaklığının ve süresinin artması ile tane sınırında biriken Cr tane içinden daha fazladır. Genel olarak da tane sınırı değeri daha fazladır. En fazla farkın görüldüğü değer 850°C’de 5 saat ısıtıl işlem görmüş malzemedir (Çizelge 5.1.-5.2.).

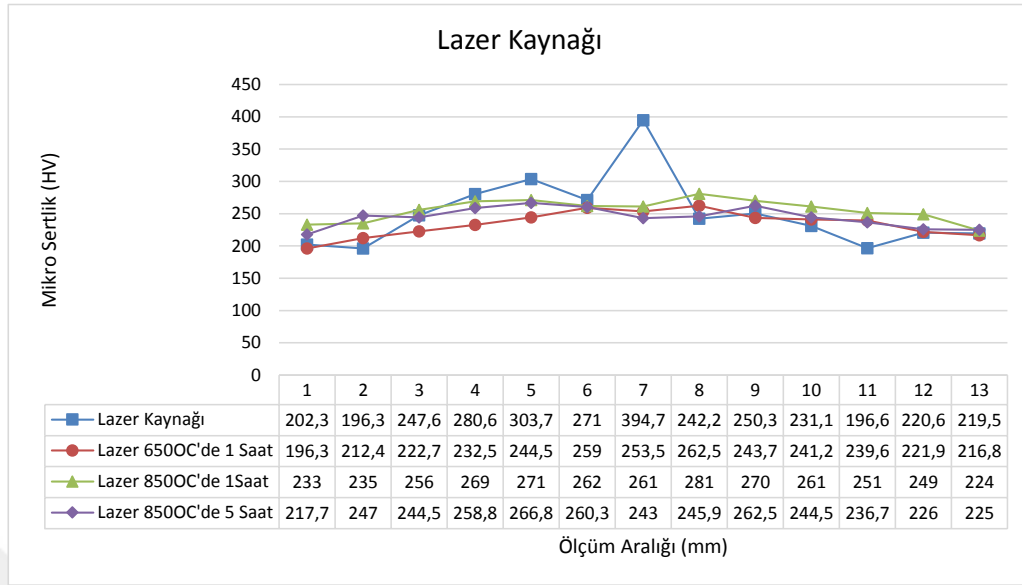
TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerin korozyon testi sonrası tane içi ve tane sınırındaki Cr değerlerine bakılırsa; ısıtıl işlem görmemiş malzemelerde ana metal bölgesinde de, ITAB’da da, kaynak bölgesindeki fark, ısıtıl işlem görmüş malzemelere göre daha azdır. Isıl işlem sıcaklığının ve süresinin artması ile tane sınırında biriken Cr tane içinden daha fazladır. Ana metal ve kaynak metalinde tane sınırlarındaki Cr değerleri ısıtıl işlem sıcaklığının ve süresinin artması ile artmıştır. ITAB bölgesinde ise 650°C’de 1 saat ısıtıl işlem görmüş malzemenin tane içi ve tane sınırındaki Cr değeri farkı en yüksektir (Çizelge 5.1.-5.2.).

### 5.3. Mikro Sertlik Sonuçları ve Tartışma

Lazer ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirildikten sonra korozyona uğratılmış 304 kalite östenitik paslanmaz çelik malzemelerin sertlik ölçümleri Vickers yöntemi ile yapılmıştır. Lazer kaynaklı malzemelerden ana metal ve kaynak bölgesinden, TIG kaynaklı malzemelerden ise ana metal, ITAB ve kaynak bölgesinden alınan sertlik ölçümlerinin değerleri Şekil 5.31.-5.33.’te verilmiştir.

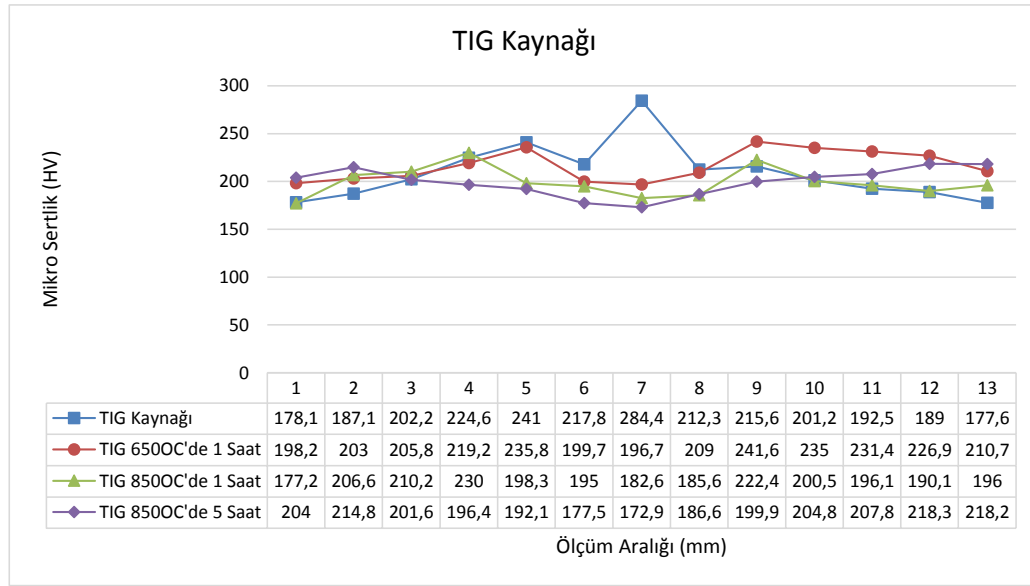


**Şekil 5.31.** AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik malzemenin korozyon sonrası mikro sertlik grafiği



**Şekil 5.32.** Lazer kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat, 850 °C’de 1 saat ve 850 °C’de 5 saat ısıtılmış malzemenin mikro sertlik grafiği

Lazer kaynaklı malzemelerin mikro sertlik testlerinin sonuçları genel olarak incelendiğinde, kaynak bölgesinden (Şekil 5.32.’deki 6., 7. ve 8. noktalar) ana metale (Şekil 5.32.’deki 1., 2., 12. ve 13. noktalar) doğru gidildiğinde sertlik değerlerinde azalma görülmüştür. Isıl işlem görmüş lazer kaynaklı malzemelerin ise kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin daha düşük olduğu ve ana metal kısmında bir miktar artışın gerçekleştiği görülmüştür. Şekil 5.32.’de verilen sertlik grafiğinde en yüksek sertlik değerinin ısıtılmış malzemenin kaynak metalinde olduğu görülmektedir.



**Şekil 5.33.** TIG kaynağı ile birleştirilmiş, korozyon sonrası 650 °C’de 1 saat, 850 °C’de 1 saat ve 850 °C’de 5 saat ısıtma işlemi görmüş malzemenin mikro sertlik grafiği

TIG kaynaklı malzemenin kaynak bölgesinde (Şekil 5.33.’teki 6., 7. ve 8. noktalar) mikro sertlik değerlerinin en yüksek olduğu ve ana metal bölgesinde (Şekil 5.33.’teki 1., 2., 12. ve 13. noktalar) ise ısıtma işlemi görmüş malzemelerde bir miktar artma olduğu görülmüştür. Isıtma işlemi görmüş TIG kaynaklı malzemelerin ise kaynak bölgesinde mikro sertlik değerlerinin, ısıtma işlemi görmemiş malzemeye göre daha düşük olduğu görülmüştür. Şekil 5.33.’te verilen sertlik grafiğinde malzemeler arasında en yüksek ana metal sertliğine sahip malzemenin TIG kaynağı 850 °C’de 5 saat bekletilmiş malzemede, kaynak bölgesinde ise TIG kaynağı ile birleştirilmiş ısıtma işlemi görmemiş malzemenin sahip olduğu görülmüştür.

Tüm değerler kıyaslandığında kaynak metalinde en yüksek değerin 394,7 HV ile lazer kaynağında, en düşük değerin 172,9 HV ile TIG kaynağı 850 °C’de 5 saat bekletilmiş malzemede olduğu görülmüştür. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemenin korozyon sonrası kaynak metal sertliğinin yüksek çıkmasının nedeni olarak dar bir alana uygulanan yoğun bir ısı kaynağının oluşturduğu yüksek ısı ve hızlı soğumanın neticesi olarak düşünülmektedir. Bu durum mikroyapı görüntüleri incelendiğinde de lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerin daha ince tane yapılarından oluştuğu, bunun da sertliğin yüksek çıkması sonucunu oluşturduğu düşünülmektedir. Ana metal bölgesinde en yüksek değerin 249 HV ile lazer kaynağı

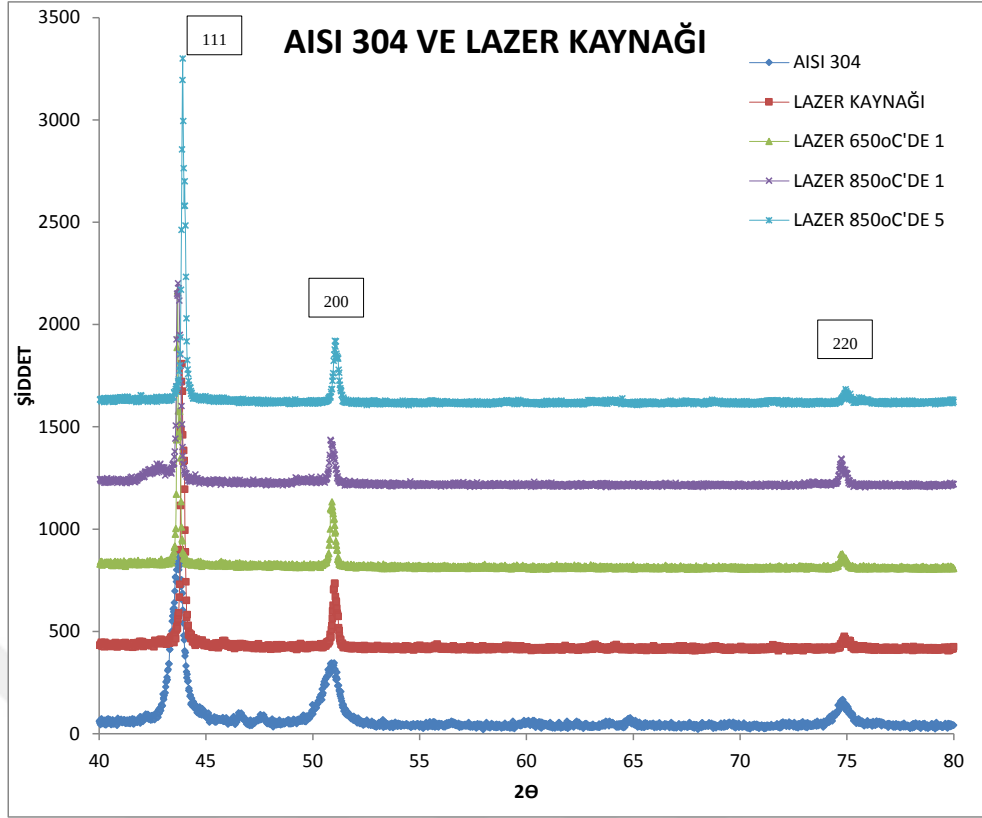


850 °C’de 1 saatte, en düşük değerin 177,2 HV ile TIG kaynağı 850 °C’de 1 saatte görülmüştür.

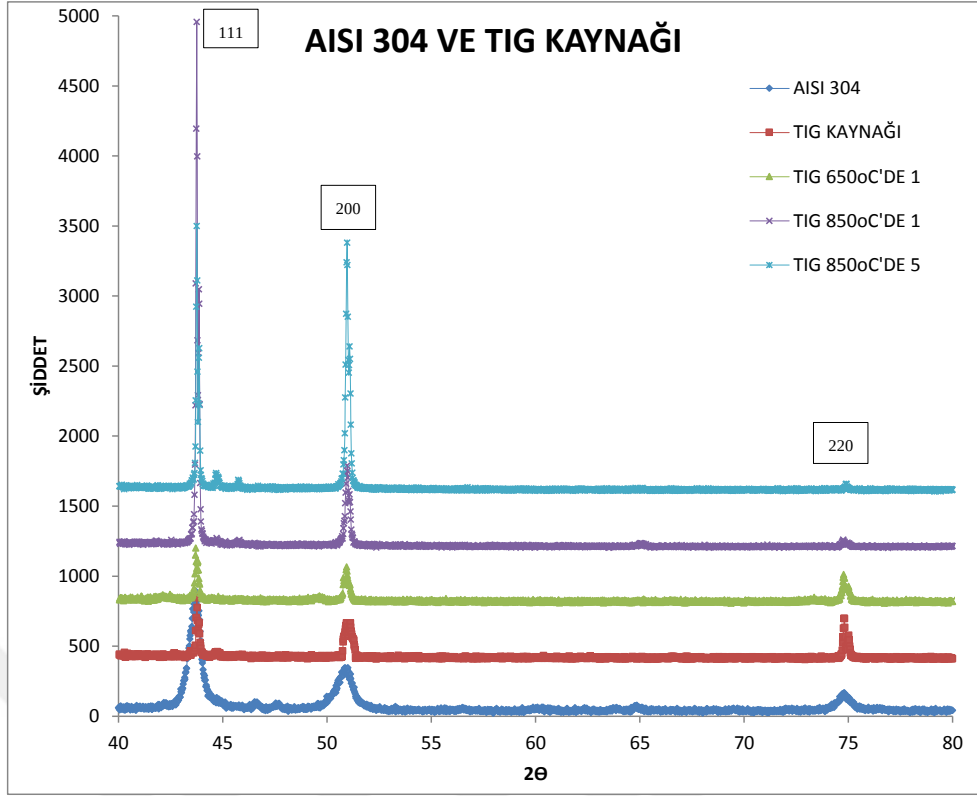
Daha önce yapılan çalışmalarda, 1060 °C ve 760 °C tavlama ısı işleminden sonra 1 saat fırında bekletilen ve suda soğutulan AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin sertlik değerinin ısı işlemli hallerine göre azaldığı ve ısı işlem sonrasında da mikroyapılarda da pek fazla değişim olmadığı belirtilmiştir [30]. 304L östenitik paslanmaz çeliğin kaynaktan sonra; kaynaklı bölge, ITAB ve ana metal arasında çok fazla sertlik değişimi gözlenmediği, AISI 304L’de; ana metalin 182 HV, ITAB 179 HV, kaynak bölgesinin 184 HV mikro sertlik değerlerinde olduğu belirtilmiştir [31]. Korozyona tabi tutulmayan östenitik paslanmaz çelik malzemenin TIG kaynağı sonrasında sertlik değeri sonucunun tüm malzemelerde ana metalden kaynak metaline doğru arttığı belirtilmiştir [32].

#### **5.4. XRD Sonuçları ve Tartışma**

Şekil 5.34. ve Şekil 5.35.’deki XRD grafiklerinde AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin, kaynaklı birleştirme sonrası korozyon ve korozyon sonrası ısı işlemlerin etkisi ile elde edilen piklerin görüntüsü verilmiştir. Elde edilen bu pikler  $40^{\circ} < 2\theta < 80^{\circ}$  aralığında incelenmiştir. Elde edilen bu piklerin açıları ( $2\theta$ )  $43^{\circ}$ ,  $52^{\circ}$  ve  $74^{\circ}$ ’dir. Meydana gelen pikler korozyon sonrası uygulanan ısı işlem neticesinde, ısı işlem etkisi ile pik şiddetleri artmış ve piklerin genişlikleri ( $\beta$ ) daralmıştır. Bu durum korozyon etkisi ile kristal kafes yapılarındaki değişimler korozyon sonrası ısı işlemin etkisi ile daha düzenli hale geldiğinin göstergesidir. Daha önce yapılan çalışmada pik daralması ve şiddetin artması, kristal kafes yapısındaki düzensizliklerin elimine edildiği belirtilmiştir [33].



Şekil 5.34. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzeme ve lazer kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerin korozyon ve ısıtılma sonrası XRD sonuçları



Şekil 5.35. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzeme ve TIG kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerin korozyon ve ısıt işlem sonrası XRD sonuçları

## 6. SONUÇLAR

- 1) Lazer kaynağı ile birleştirilen malzemelerde ısı tesiri altında kalan bölgenin neredeyse hiç oluşmadığı ama TIG kaynağı ile birleştirilen malzemelerin ısı tesiri altında kalan bölgesinde tane irileşmesinin belirgin bir şekilde olduğu görülmüştür.
- 2) TIG kaynaklı malzemelerde, korozyon sonrası ısıl işlem uygulanmamış ve uygulanmış malzemeler incelendiğinde ITAB bölgesi tanelerinin ana metal bölgesi tanelerinden büyük olduğu görülmüştür.
- 3) Isıl işlem uygulanmamış malzemelerde de uygulanmış malzemelerde de ana metal kaynak metali geçişlerinde düzensizliğe rastlanmamıştır.
- 4) Uygulanan ısıl işlem sıcaklığının ve süresinin artması ile kaynak bölgesinde oluşan dentritik kolların incelendiği, farklı yönlendiği görülmüştür.
- 5) Lazer kaynağı ile birleştirilen malzemelerin kaynak metali ve ITAB bölgesi hacmi, TIG kaynaklı malzemelere göre daha küçüktür.
- 6) Lazer ve TIG kaynağı ile birleştirilen malzemelerin korozyon sonrası mikroyapı görüntülerinin, korozyon sonrası ısıl işlem uygulanmış malzemelerin mikroyapılarından farklı olmadığı görülmüştür.
- 7) Lazer ve TIG kaynaklı malzemelerin korozyon sonrası ana metal, ITAB ve kaynak bölgelerindeki tane içi ve tane sınırında biriken Cr değeri farkı, korozyon sonrası ısıl işlem görmüş malzemelerdeki farktan daha azdır.
- 8) Lazer kaynaklı malzemelerin mikro sertlik testlerinin sonuçları genel olarak incelendiğinde, kaynak bölgesinden ana metale doğru gidildiğinde sertlik değerlerinde azalma görülmüştür. Isıl işlem görmüş lazer kaynaklı malzemelerin ise kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin daha düşük olduğu ve ana metal kısmında bir miktar artışın gerçekleştiği görülmüştür.
- 9) TIG kaynaklı malzemenin kaynak bölgesinde mikro sertlik değerlerinin en yüksek olduğu, ısı tesiri altındaki bölgenin de ana metal bölgesinden yüksek ve kaynak bölgesinden düşük olduğu görülmüştür. Isıl işlem görmüş TIG kaynaklı

malzemelerin ise kaynak bölgesinde mikro sertlik değerlerinin, ısıl işlem görmemiş malzemeye göre daha düşük olduğu görölmüştür.

10) XRD analizinde kaynaklı malzemelere korozyon sonrası uygulanan ısıl işlem neticesinde, pik şiddetleri artmış ve piklerin genişlikleri daralmıştır. Bu durum korozyon etkisi ile kristal kafes yapılarındaki değişimler korozyon sonrası ısıl işlemin etkisi ile daha düzenli hale geldiğinin göstergesidir.



## KAYNAKLAR

- [1] Odabaş, C., Paslanmaz Çeliklerin Temel Özellikleri, Kullanım Alanları ve Kaynak Yöntemleri. Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 2004.
- [2] Gülgün, H., Aydoğdu, M., Aydınol, K., AISI 316L Tipi Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Tanelerarası Korozyona Duyarlılığının Elektrokimyasal Polarizasyon Yöntemiyle Belirlenmesi. 12. Uluslararası Metalurji-Malzeme Kongresi ve Fuarı, CNR Expo-İstanbul, ss 5061-5075, 2005.
- [3] Doruk, M., Korozyon ve Önlenmesi. ODTÜ, Ankara, 1972.
- [4] ASTM A 262-91, Standard Practices for Detecting to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steel.
- [5] ASTM G108-92, Standard Test Method for Electrochemical Reactivation for Detecting Sensitization of AISI 304 and 304L Stainless Steel.
- [6] Aran A., Temel M., Paslanmaz Çelikler. Sarıtaş Teknik Yayını No:1, İstanbul, 2004.
- [7] Metals and Their Weldability. Welding Handbook, Volume 4, Seventh Edition, American Welding Society, Miami, USA, 1982.
- [8] Bargel H.J., Schulze G., Malzeme Bilgisi, Çeviren Güleç S., Aran A., Tübitak Yayını, Ankara, 1987.
- [9] Elçiçek, H., Karaoğlanlı, A.C., Demirel, B., Gemicilik Endüstrisinde Korozyon Problemi ve Katodik Koruma Uygulamaları. 6<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, 2011.
- [10] Yılmaz, N., Çeşitli Paslanmaz çeliklerin Biyokorozyonunun İncelenmesi ve Direncinin Arttırılması. Bilim Uzmanlığı Çalışması, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, 2006.
- [11] Şen, M., AISI 304 Tipi Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Soğuk Şekillendirme Miktarının Korozyon Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
- [12] Soncu, M., G-X 10CrNiMoNb 18-10 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Asidik Çökeltilerdeki Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008.
- [13] Aydoğdu, G.H., Aydınol, M.K., AISI 316L Tipi Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Tanelerarası Korozyona Duyarlılığının Elektrokimyasal Polarizasyon Yöntemiyle Belirlenmesi. Metalurji Dergisi, ODTÜ, s. 50, 2005:
- [14] Roberge, P.R., Handbook of Corrosion Engineering, McGraw-Hill Companies, America, 1999.

- [15] ASM Handbook, Corrosion, ASM International, America, 1992.
- [16] Önal, G., Ünüvar, A., Şimşek, T., 5083 Al-Mg Alaşımında Mekanik Özellikler Üzerine Korozyon Etkisinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, ss. 20-2: 191-196, 2005.
- [17] Kanbolu, S., Östenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996.
- [18] Talbot, D., Talbot, J.: Corrosion Science and Technology, CRS Press, BocaRaton FL., Australia, 1998.
- [19] Kaluç, E., Taban, E., Paslanmaz Çelikler Geliştirilen Yeni Türleri ve Kaynak Edilebilirlikleri. Yayın No: 2007/461, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 2007.
- [20] Norrish, J., Advanced Welding Processes. Institute of Physics Publishing, 1992.
- [21] Mazumder, J., Laser beam welding, ASM Handbook, Vol 6, Welding, Brazing and Soldering, pp. 263-269, America.
- [22] Zacharia, T., David, S.A., Vitch, J.M., Debroy, T., Weld pool development during GTA and laser beam welding of type 304 stainless steel, Part I and II, Welding J. 68 (12), pp. 499s-519s, 1989.
- [23] Faerber, M.G., Gases for Laser Cutting and Welding. Proceeding of the 2000
- [24] Aoki A., Takeichi M., Seto M., Yamaguchi S., Development of GTAW Robot System for Aluminum Frame. IIW Doc XII-1814-04, 2004.
- [25] Johnson M., Fountain C., Castner H., GTAW Fluxes for Increased Penetration in Nickel Based Alloys and Titanium. IIW Doc. XII-1617-00, 2000.
- [26] Hichen G.K., Gas-Tungsten Arc Welding, ASM Handbook, Vol 6, Welding, Brazing and Soldering, pp. 190-194, America.
- [27] Chen, Y., Nie, Z.R., Zhou, M.L., Zhang, J.X., ZVO, T.Y., The Research and Development of Tungsten Electrodes Without Radioactivity. International Symposium on Ecomaterials Held in Conjunction with the 39th Annual Conference on Metallurgists of CIM, Environment Conscious Materials-Ecomaterials 699-702, 2000.
- [28] TS\_3157\_EN\_ISO\_3651\_2 Kasım/2000.
- [29] Köse, C., Kaçar, R., Lazer Kaynağı ile Birleştirilen AISI 2205 Dupleks Paslanmaz Çeliğin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi. Technological Applied Sciences, 2016.

- [30] Osmanoğlu, T., AISI 304 ve 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına, Mekanik Özelliklerine Ve Korozyon Davranışları Soğuk Deformasyonun Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [31] Koca, E., TIG Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
- [32] Kükürtçü, G.E., Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2014.
- [33] Nascimento, F.C., Foerster, C.E., Silva, S.L.R., Lepienski, C.M., Siqueira, C.J.M., Junior, C.A., A Comparative Study of Mechanical and Tribological, 2009.

