

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AISI 430/HARDOX 450 ÇELİĞİNİN NİKEL ARA TABAKA
KULLANILARAK TIG ÇİFT TARAFLI ARK KAYNAK
YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ**

DENİZER GENÇDOĞAN

METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

ADYAMAN, 2020

T.C.
ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 430/HARDOX 450 ÇELİĞİNİN NİKEL ARA TABAKA
KULLANILARAK TIG ÇİFT TARAFLI ARK KAYNAK YÖNTEMİYLE
BİRLEŞTİRİLMESİ**

Denizer GENÇDOĞAN
Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez 31/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

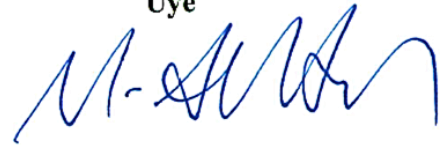


Doç. Dr. Tanju TEKER
Danışman



Prof. Dr. Turhan KURŞUN
Üye

Dr. Öğr. Üyesi Müslüm ALTUN
Üye



Prof. Dr. Murat KOCA
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AISI 430/HARDOX 450 ÇELİĞİNİN NİKEL ARA TABAKA KULLANILARAK TIG ÇİFT TARAFLI ARK KAYNAK YÖNTEMİYLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Denizer GENÇDOĞAN

Adıyaman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Tanju TEKER
Yıl : 2020, Sayfa sayısı: 197

Jüri : Prof. Dr. Turhan KURŞUN
: Doç. Dr. Tanju TEKER
: Dr. Öğr. Üyesi Müslüm ALTUN

Son zamanlarda, imalat sektörü, daha iyi performans, ekonomik faydalar nedeniyle çeşitli yapıların imalatı için TIG kaynağı gibi modern kaynak tekniklerinin kullanılmasını talep etmektedir. Birbirine benzemeyen metal kaynağı; kompozisyonları, ergime noktaları ve termal genleşme katsayıları değişebilen iki metalin veya alaşımın birleştirilmesini içeren bir tekniktir. AISI 430 ferritik paslanmaz çelikler; çevre dostu, hijyen, mükemmel işleme ve kaynaklama kolaylığı, korozyona karşı yüksek direnç gibi mükemmel mekanik özelliklerden dolayı farklı altyapılarda yoğun olarak kullanılan malzemeler arasındadır.

Bu tez çalışması beş başlık altında oluşturulmuştur. Birinci bölümde; kaynak ve yöntemleri, paslanmaz çelikler, HARDOX çelikleri ve nikelin özellikleri anlatılmıştır. İkinci bölümde; konu ile alakalı literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde; yapılan deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde; deney sonuçları analiz edilip tartışılmıştır. Beşinci bölümde ise deney sonuçlarının genel bir değerlendirmesi yapılmıştır. AISI 430 ile HARDOX 450 çelik malzemeler kaynak ağızı açmadan, nikel ara tabakalı ve ara tabakasız olarak çift taraflı TIG kaynak yöntemi ile kaynatıldı. Kaynaklı birleştirmelerin mikroyapısal değişimleri Optik Mikroskop (OM), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS), Elektronların Geri Saçınım Difraksiyonu (EBSD), Elementel Yüzey Haritalandırma (Mapping), X-Işını Kırınımı (XRD) analizleri kullanılarak incelenmiştir. Kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için Mikrosertlik, Çentik Darbe ve Çekme testleri uygulanmıştır. Deney numunelerinin çekme testinden sonra kopan yüzeyleri SEM kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 430; HARDOX 450; Ara tabaka; Çift taraflı TIG Kaynağı; Mekanik özellikler.

ABSTRACT

MSc Thesis

JOINT OF AISI 430/HARDOX 450 STEEL WITH TIG DOUBLE SIDED ARC WELDING METHOD USING NICKEL INTERLAYER

Denizer GENÇDOĞAN

Adiyaman University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Metallurgy and Material Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Tanju TEKER
Year : 2020 , Number of pages: 197

Jury : Prof. Dr. Turhan KURŞUN
: Assoc. Prof. Dr. Tanju TEKER
: Asist. Prof. Dr. Müslüm ALTUN

Recently, the manufacturing sector have preferred to the use of modern welding methods such as TIG welding for the manufacture of different structures due to exceed efficiency, economic advantages. Dissimilar metal joining is a technique including joining of two metals or alloys that may vary in their compound, melting points and thermal expansions coefficient. 430 ferritic stainless steel is one of the most widely used materials in various infrastructures due to its perfect mechanical features such as high corrosion resistance, weldability, environmental friendliness and hygiene.

This study is composed of five titles. In the first part, welding and its methods, stainless steels, HARDOX steels and nickel properties are explained. In the second part, related literature is searched. In the third chapter, information about experimental studies is given. In the fourth chapter, experimental results are analyzed and discussed. In the fifth chapter, a general evaluation of the experimental results is made. AISI 430 and HARDOX 450 steel materials are welded by using double-sided TIG welding method with or without nickel interlayers. Microstructural changes of welded joints were examined by using Optical Microscope (OM), Scanning Electron Microscope (SEM), Energy Dispersion Spectrometry (EDS), Electron Back Scatter Diffraction (EBSD), Elemental Mapping (Mapping), X-Ray Diffraction (XRD) analysis. Microhardness, Notch Impact, Tensile Tests were performed to detect the mechanical properties of the weld samples. The fracture surfaces after tensile testing of the test samples were examined by using SEM.

Key Words: AISI 430; HARDOX 450; Interlayer; Double-sided TIG welding; Mechanical properties.

DESTEKLER

Bu tez çalışması ADYUBAP tarafından MÜFYL/2019-0001 numaralı proje ile desteklenmiştir.



BEYAN

“AISI 430/HARDOX 450 Çeliğinin Nikel Ara tabaka Kullanılarak TIG Çift Taraflı Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.



Deniz GENÇDOĞAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübesinden istifade ettiğim Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Bölüm Başkanı ve danışmanım Sayın Doç. Dr. Tanju TEKER'e, çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen öğretmen arkadaşlarım Davut MAZLUM ve Ali ÖNDER'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca desteklerini esirgemeyen Anneme, Babama ve ailemdeki tüm bireyler ile sevgili nişanlım Seyhan AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
DESTEKLER.....	III
BEYAN.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak	2
1.2. Ergitme Kaynağı	3
1.2.1. Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı	3
1.2.2. Metal Inert Gaz (MIG) ve Metal Aktif Gaz (MAG) Kaynağı.....	4
1.2.3. Plazma Kaynağı ve Kesme.....	6
1.2.4. Toz Altı Ark Kaynağı.....	8
1.2.5. Elektrik Direnç Kaynağı.....	9
1.2.6. Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı	10
1.2.6.1. Koruyucu Gaz Kaynağı.....	10
1.2.6.1.1. Asal Gazlar.....	11
1.2.6.1.2. Aktif Gazlar.....	12
1.2.6.2. Tungsten Inert Gaz Kaynak Yöntemi	14
1.2.6.3. Tungsten Inert Gaz Kaynak Donanımı	14
1.2.6.3.1. Kaynak Akım Üretici	15
1.2.6.3.2. Kaynak Torcu ve Kablosu.....	16
1.2.6.3.3. Elektrod Tutucusu	17
1.2.6.3.4. Elektrod Tutucusu Kovanı	17
1.2.6.3.5. İzolasyon Halkası/Adaptör.....	18
1.2.6.3.6. Nozul.....	18
1.2.6.3.7. Elektrod Sıkma Kepi.....	18
1.2.6.3.8. Koruyucu Gaz Donanımı	19
1.2.6.3.9. Kaynak Elektrodu	19
1.2.6.3.10. Koruyucu Gazlar	21
1.2.6.4. Tungsten Inert Gaz Kaynağının Uygulama Alanları	22
1.2.6.5. Tungsten Inert Gaz Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları	23
1.3. Paslanmaz Çelikler.....	24
1.3.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler	28
1.3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler	30
1.3.3. Çökelti Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler.....	33
1.3.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler.....	34
1.3.5. Ferritik Paslanmaz Çelikler	34
1.3.5.1. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kırılganlıkları.....	38
1.3.5.2. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	39
1.4. HARDOX Çelikleri.....	40

1.4.1. HARDOX Çelik Türleri	43
1.4.2. HARDOX Çeliğinin Kaynaklanabilirliği.....	44
1.5. Nikel.....	45
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	46
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	50
3.1. Çalışmanın Amacı	50
3.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	50
3.3. TIG Kaynağından Önce Deney Numunelerinin Hazırlanması	51
3.4. TIG Kaynak İşlemi.....	52
3.5. Metalografik İnceleme İşlemi	54
3.6. Mikrosertlik Ölçümleri.....	58
3.7. Çekme Testi Ölçümleri	59
3.8. Darbe Deneyi Ölçümleri	62
3.9. Kırık Yüzey Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi.....	63
3.10. Elektron Geri Saçınım Difraksiyon (EBSD) Analizi	63
4. DENEY SONUÇLARI	64
4.1. Kaynak Makroyapı İncelenmesi.....	64
4.2. Kaynak Mikroyapı İncelenmesi	67
4.3. Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) Analiz Sonuçları	88
4.4. Elementel Haritalandırma (Mapping) Analiz Sonuçları	145
4.5. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları.....	149
4.6. Çentik Darbe Deney Sonuçları.....	151
4.7. Çentik Darbe Deneyleri Kırık Yüzey SEM, EDS ve Mapping Analizleri... ..	154
4.8. Elektron Geri Saçınım Difraksiyon (EBSD) Analiz Sonuçları.....	159
4.9. Çekme Deney Sonuçları.....	161
4.10. Çekme Deneyi Kopan Yüzeylerin SEM, EDS ve Mapping Analizleri.....	165
4.11. XRD Test Sonuçları	182
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	186
KAYNAKLAR	189
KİŞİSEL BİLGİLER.....	197

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 AWS A5.12 ve DIN 32528'e göre TIG kaynak elektrodları	19
Çizelge 1.2 Metal ve alaşımların kaynaklarında kullanılan parametreler	21
Çizelge 1.3 Paslanmaz çelik türleri standartları	28
Çizelge 3.1 Deneyde kullanılan malzemelerin % kimyasal bileşimleri	51
Çizelge 3.2 TIG kaynak birleştirmesi için üretim parametreleri	53
Çizelge 3.3 Metalografik numunelerin hazırlanmasında kullanılan parametreler	55
Çizelge 4.1 AISI 430, HARDOX 450 ve Nikelin % kimyasal ağırlıkları	90
Çizelge 4.2 N1 numunesi sol üst bölge 1. nokta EDS analizi	92
Çizelge 4.3 N1 numunesi sol üst bölge 2. nokta EDS analizi	92
Çizelge 4.4 N1 numunesi sol üst bölge 3. nokta EDS analizi	93
Çizelge 4.5 N1 numunesi sağ üst bölge 4. nokta EDS analizi	94
Çizelge 4.6 N1 numunesi sağ üst bölge 5. nokta EDS analizi	95
Çizelge 4.7 N1 numunesi sol alt bölge 6. nokta EDS analizi	96
Çizelge 4.8 N1 numunesi sol alt bölge 7. nokta EDS analizi	96
Çizelge 4.9 N1 numunesi sol alt bölge 8. nokta EDS analizi	97
Çizelge 4.10 N1 numunesi sol alt bölge 9. nokta EDS analizi	98
Çizelge 4.11 N1 numunesi sol üst bölge 10. nokta EDS analizi	99
Çizelge 4.12 N1 numunesi sol üst bölge 11. nokta EDS analizi	99
Çizelge 4.13 N1 numunesi sol üst bölge 12. nokta EDS analizi	100
Çizelge 4.14 N3 numunesi sol üst bölge 13. nokta EDS analizi	101
Çizelge 4.15 N3 numunesi sol üst bölge 14. nokta EDS analizi	102
Çizelge 4.16 N3 numunesi sol üst bölge 15. nokta EDS analizi	102
Çizelge 4.17 N3 numunesi sağ üst bölge 16. nokta EDS analizi	103
Çizelge 4.18 N3 numunesi sağ üst bölge 17. nokta EDS analizi	104
Çizelge 4.19 N3 numunesi sağ üst bölge 18. nokta EDS analizi	105
Çizelge 4.20 N3 numunesi sol alt bölge 19. nokta EDS analizi	106
Çizelge 4.21 N3 numunesi sol alt bölge 20. nokta EDS analizi	106
Çizelge 4.22 N3 numunesi sol alt bölge 21. nokta EDS analizi	107
Çizelge 4.23 N3 numunesi sağ alt bölge 22. nokta EDS analizi	108
Çizelge 4.24 N3 numunesi sağ alt bölge 23. nokta EDS analizi	109
Çizelge 4.25 N3 numunesi sağ alt bölge 24. nokta EDS analizi	109
Çizelge 4.26 N5 numunesi sol üst bölge 25. nokta EDS analizi	110
Çizelge 4.27 N5 numunesi sol üst bölge 26. nokta EDS analizi	111
Çizelge 4.28 N5 numunesi sol üst bölge 27. nokta EDS analizi	112
Çizelge 4.29 N5 numunesi sol üst bölge 28. nokta EDS analizi	113
Çizelge 4.30 N5 numunesi sağ üst bölge 29. nokta EDS analizi	113
Çizelge 4.31 N5 numunesi sol alt bölge 30. nokta EDS analizi	114
Çizelge 4.32 N5 numunesi sol alt bölge 31. nokta EDS analizi	115
Çizelge 4.33 N5 numunesi sol alt bölge 32. nokta EDS analizi	116
Çizelge 4.34 N5 numunesi sağ alt bölge 33. nokta EDS analizi	117
Çizelge 4.35 N5 numunesi sağ alt bölge 34. nokta EDS analizi	117
Çizelge 4.36 N5 numunesi sağ alt bölge 35. nokta EDS analizi	118
Çizelge 4.37 N11 numunesi sol üst bölge 1. nokta EDS analizi	119

Çizelge 4.38 N11 numunesi sol üst bölge 2. nokta EDS analizi.....	120
Çizelge 4.39 N11 numunesi sol üst bölge 3. nokta EDS analizi.....	120
Çizelge 4.40 N11 numunesi sağ üst bölge 4. nokta EDS analizi	121
Çizelge 4.41 N11 numunesi sağ üst bölge 5. nokta EDS analizi	122
Çizelge 4.42 N11 numunesi sağ üst bölge 6. nokta EDS analizi	123
Çizelge 4.43 N11 numunesi sol alt bölge 7. nokta EDS analizi	124
Çizelge 4.44 N11 numunesi sol alt bölge 8. nokta EDS analizi	124
Çizelge 4.45 N11 numunesi sol alt bölge 9. nokta EDS analizi	125
Çizelge 4.46 N11 numunesi sol alt bölge 10. nokta EDS analizi	126
Çizelge 4.47 N11 numunesi sol alt bölge 11. nokta EDS analizi	127
Çizelge 4.48 N11 numunesi sağ alt bölge 12. nokta EDS analizi.....	127
Çizelge 4.49 N33 numunesi sol üst bölge 13. nokta EDS analizi.....	128
Çizelge 4.50 N33 numunesi sol üst bölge 14. nokta EDS analizi.....	129
Çizelge 4.51 N33 numunesi sol üst bölge 15. nokta EDS analizi.....	130
Çizelge 4.52 N33 numunesi sağ üst bölge 16. nokta EDS analizi	131
Çizelge 4.53 N33 numunesi sağ üst bölge 17. nokta EDS analizi	131
Çizelge 4.54 N33 numunesi sol alt bölge 18. nokta EDS analizi	132
Çizelge 4.55 N33 numunesi sol alt bölge 19. nokta EDS analizi	133
Çizelge 4.56 N33 numunesi sol alt bölge 20. nokta EDS analizi	134
Çizelge 4.57 N33 numunesi sağ alt bölge 21. nokta EDS analizi.....	135
Çizelge 4.58 N33 numunesi sağ alt bölge 22. nokta EDS analizi.....	135
Çizelge 4.59 N55 numunesi sol üst bölge 23. nokta EDS analizi.....	136
Çizelge 4.60 N55 numunesi sol üst bölge 24. nokta EDS analizi.....	137
Çizelge 4.61 N55 numunesi sol üst bölge 25. nokta EDS analizi.....	138
Çizelge 4.62 N55 numunesi sağ üst bölge 26. nokta EDS analizi	139
Çizelge 4.63 N55 numunesi sağ üst bölge 27. nokta EDS analizi	139
Çizelge 4.64 N55 numunesi sol alt bölge 28. nokta EDS analizi	140
Çizelge 4.65 N55 numunesi sol alt bölge 29. nokta EDS analizi	141
Çizelge 4.66 N55 numunesi sol alt bölge 30. nokta EDS analizi	142
Çizelge 4.67 N55 numunesi sağ alt bölge 31. nokta EDS analizi.....	143
Çizelge 4.68 N55 numunesi sağ alt bölge 32. nokta EDS analizi.....	143
Çizelge 4.69 Ara tabakasız N1, N3 ve N5 numunelerinin % element sonuçları	144
Çizelge 4.70 Ara tabakalı N11, N33 ve N55 numunelerinin % element sonuçları	145
Çizelge 4.71 Kırık N55 numunesi yüzeyi 1. nokta EDS analizi.....	157
Çizelge 4.72 Kırık N55 numunesi yüzeyi 2. nokta EDS analizi.....	158
Çizelge 4.73 Kırık N55 numunesi yüzey element % sonuçları	158
Çizelge 4.74 Ara tabakalı ve ara tabakasız numunelerin çekme deney sonuçları ...	162
Çizelge 4.75 N11 numunesi kopan yüzey 1. nokta EDS analizi.....	169
Çizelge 4.76 N22 numunesi kopan yüzey 2. nokta EDS analizi.....	170
Çizelge 4.77 N22 numunesi kopan yüzey 3. nokta EDS analizi.....	171
Çizelge 4.78 N22 numunesi kopan yüzey 4. nokta EDS analizi.....	172
Çizelge 4.79 N33 numunesi kopan yüzey 16. nokta EDS analizi.....	173
Çizelge 4.80 N33 numunesi kopan yüzey 17. nokta EDS analizi.....	173
Çizelge 4.81 N33 numunesi kopan yüzey 18. nokta EDS analizi.....	174
Çizelge 4.82 N1 numunesi kopan yüzey 1. nokta EDS analizi.....	175
Çizelge 4.83 N1 numunesi kopan yüzey 2. nokta EDS analizi.....	176

Çizelge 4.84 N1 numunesi kopan yüzey 2. nokta EDS analizi.....	176
Çizelge 4.85 N1 numunesi kopan yüzey 4. nokta EDS analizi.....	177
Çizelge 4.86 N2 numunesi kopan yüzey 5. nokta EDS analizi.....	178
Çizelge 4.87 N2 numunesi kopan yüzey 6. nokta EDS analizi.....	179
Çizelge 4.88 N2 numunesi kopan yüzey 7. nokta EDS analizi.....	179
Çizelge 4.89 N2 numunesi kopan yüzey 8. nokta EDS analizi.....	180
Çizelge 4.90 Kopma yüzeyleri element % sonuçları	180
Çizelge 4.91 N1 numunesi XRD analiz sonuçları	182
Çizelge 4.92 N3 numunesi XRD analiz sonuçları	183
Çizelge 4.93 N5 numunesi XRD analiz sonuçları	184
Çizelge 4.94 N11 numunesi XRD analiz sonuçları	184
Çizelge 4.95 N33 numunesi XRD analiz sonuçları	185
Çizelge 4.96 N55 numunesi XRD analiz sonuçları	185

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Örtülü elektrodla ark kaynağının şematik gösterimi.....	4
Şekil 1.2 MIG/MAG kaynağının prensip şeması.....	5
Şekil 1.3 Koruyucu gazların MIG/MAG kaynaklarında nüfuziyet üzerine etkileri.....	5
Şekil 1.4 Plazma kaynağı şematik gösterimi	7
Şekil 1.5 Toz altı kaynağı prensip şekli	9
Şekil 1.6 Elektrik direnç kaynağı şematik gösterimi	10
Şekil 1.7 Soy gazların ve karışımli gazın ark gerilimi	12
Şekil 1.8 CO ₂ kullanılan koruyucu gaz kaynağında meydana gelen tepkimeler	13
Şekil 1.9 Arkta oluşan yük taşıyıcıların hareketi	16
Şekil 1.10 TIG kaynak torcu	17
Şekil 1.11 TIG kaynak torcu kısımları	18
Şekil 1.12 Elektrod bileme açısına göre meydana gelen nüfuziyetler	20
Şekil 1.13 Koruyucu gazların TIG kaynağında nüfuziyeti etkileri	22
Şekil 1.14 TIG kaynak işlemi	23
Şekil 1.15 Farklı kesitlerdeki paslanmaz çelik mamuller	24
Şekil 1.16 Paslanmaz çelikten imal edilmiş sıvı taşıyıcı depolar	26
Şekil 1.17 Paslanmaz çelikler için Cr ve Ni oranları	27
Şekil 1.18 Östenitik paslanmaz çelikten imal edilmiş ürünler	29
Şekil 1.19 Martenzitik paslanmaz çelikten imal edilmiş Sürmene bıçağı	31
Şekil 1.20 Martenzitik paslanmaz çeliğin ısıl işlemi	32
Şekil 1.21 Ferritik paslanmaz çelikten imal edilmiş HES türbini.....	35
Şekil 1.22 %17 Cr içeren ferritik paslanmaz çeliğin faz diyagramı	37
Şekil 1.23 HARDOX çeliğinden yapılmış dozer kepçesi	41
Şekil 1.24 HARDOX çeliğinden imal edilmiş bir kırıcı	42
Şekil 1.25 HARDOX çeliğinden imal edilmiş delici	43
Şekil 1.26 HARDOX çeliğinden yapılmış bir kamyon kasası	44
Şekil 3.1 Kaynak numuneleri kesme işlemi	51
Şekil 3.2 Kaynaklı birleştirme şematik gösterimi	52
Şekil 3.3 TIG kaynak makinesi	53
Şekil 3.4 Metalografik inceleme numunesi.....	54
Şekil 3.5 Metalografik numuneleri zımparalama ve parlatma makinesi.....	55
Şekil 3.6 Elektrolitik dağlama ünitesi	56
Şekil 3.7 Metalografik incelemelerde kullanılan optik mikroskop.....	56
Şekil 3.8 Taramalı elektron mikroskobu.....	57
Şekil 3.9 XRD cihazı.....	58
Şekil 3.10 Mikrosertlik ölçüm cihazı	59
Şekil 3.11 Mikrosertlik numunesi üzerindeki sertlik ölçüm noktaları	59
Şekil 3.12 Tel erozyon kesme makinesi.....	60
Şekil 3.13 TSE 138 standardına uygun hazırlanmış çekme numunesi	60
Şekil 3.14 Kaynaklı birleştirilmiş deney numunelerinin çıkarılması.....	61
Şekil 3.15 Çekme deney makinesi	61
Şekil 3.16 Çentik darbe deney makinesi	62
Şekil 3.17 Çentik darbe deney numunesi	62
Şekil 3.18 EBSD analiz cihazı	63

Şekil 4.1 Ara tabakasız numunelerin kaynak makroyapı görüntüleri	64
Şekil 4.2 Ara tabakasız numunelerin arakesit alınmış makroyapı görüntüleri	65
Şekil 4.3 Ara tabakalı numunelerin kaynak makroyapı görüntüleri	66
Şekil 4.4 Ara tabakalı numunelerin arakesit alınmış makroyapı görüntüleri.....	67
Şekil 4.5 HARDOX 450 malzemesi kaynak öncesi mikroyapısı	67
Şekil 4.6 AISI 430 malzemesi kaynak öncesi mikroyapısı.....	68
Şekil 4.7 Schaeffler diyagramı	70
Şekil 4.8 Ara tabakalı birleştirmede meydana gelen kaynak metali mikroyapısı.....	71
Şekil 4.9 Ara tabakasız birleştirmede meydana gelen kaynak metali mikroyapısı....	71
Şekil 4.10 Nikelin mikroyapısı	72
Şekil 4.11 AISI 430 ve HARDOX 450 çelikleri ısının tesiri altında kalmış bölgeler	73
Şekil 4.12 AISI 430 çift taraflı kaynağında kum saati oluşumu ve ITAB	74
Şekil 4.13 HARDOX 450 çift taraflı kaynağında kum saati oluşumu ve ITAB.....	75
Şekil 4.14 N1 numunesi optik mikroyapısı.....	78
Şekil 4.15 N2 numunesi optik mikroyapısı.....	78
Şekil 4.16 N3 numunesi optik mikroyapısı.....	79
Şekil 4.17 N4 numunesi optik mikroyapısı.....	79
Şekil 4.18 N5 numunesi optik mikroyapısı.....	80
Şekil 4.19 N11 numunesi optik mikroyapısı.....	80
Şekil 4.20 N22 numunesi optik mikroyapısı.....	81
Şekil 4.21 N33 numunesi optik mikroyapısı.....	81
Şekil 4.22 N44 numunesi optik mikroyapısı.....	82
Şekil 4.23 N55 numunesi optik mikroyapısı.....	82
Şekil 4.24 N1 numunesi SEM mikroyapısı.....	83
Şekil 4.25 N2 numunesi SEM mikroyapısı.....	83
Şekil 4.26 N3 numunesi SEM mikroyapısı.....	84
Şekil 4.27 N4 numunesi SEM mikroyapısı.....	84
Şekil 4.28 N5 numunesi SEM mikroyapısı.....	85
Şekil 4.29 N11 numunesi SEM mikroyapısı.....	85
Şekil 4.30 N22 numunesi SEM mikroyapısı.....	86
Şekil 4.31 N33 numunesi SEM mikroyapısı.....	86
Şekil 4.32 N44 numunesi SEM mikroyapısı.....	87
Şekil 4.33 N55 numunesi SEM mikroyapısı.....	87
Şekil 4.34 N1 numunesi sol üst bölge SEM ve 1. nokta EDS grafiği.....	91
Şekil 4.35 N1 numunesi sol üst bölge 2. nokta EDS grafiği.....	92
Şekil 4.36 N1 numunesi sol üst bölge 3. nokta EDS grafiği.....	93
Şekil 4.37 N1 numunesi sağ üst bölge SEM ve 4. nokta EDS grafiği	94
Şekil 4.38 N1 numunesi sağ üst bölge 5. nokta EDS grafiği	94
Şekil 4.39 N1 numunesi sol alt bölge SEM ve 6. nokta EDS grafiği	95
Şekil 4.40 N1 numunesi sol alt bölge 7. nokta EDS grafiği	96
Şekil 4.41 N1 numunesi sol alt bölge 8. nokta EDS grafiği	97
Şekil 4.42 N1 numunesi sol üst bölge SEM ve 9. nokta EDS grafiği.....	98
Şekil 4.43 N1 numunesi sol üst bölge 10. nokta EDS grafiği.....	98
Şekil 4.44 N1 numunesi sol üst bölge 11. nokta EDS grafiği.....	99
Şekil 4.45 N1 numunesi sol üst bölge 12. nokta EDS grafiği.....	100
Şekil 4.46 N3 numunesi sol üst bölge SEM ve 13. nokta EDS grafiği.....	101

Şekil 4.47 N3 numunesi sol üst bölge 14. nokta EDS grafiği.....	101
Şekil 4.48 N3 numunesi sol üst bölge 15. nokta EDS grafiği.....	102
Şekil 4.49 N3 numunesi sağ üst bölge SEM ve 16. nokta EDS grafiği	103
Şekil 4.50 N3 numunesi sağ üst bölge 17. nokta EDS grafiği	104
Şekil 4.51 N3 numunesi sağ üst bölge 18. nokta EDS grafiği	104
Şekil 4.52 N3 numunesi sol alt bölge SEM ve 19. nokta EDS grafiği	105
Şekil 4.53 N3 numunesi sol alt bölge 20. nokta EDS grafiği	106
Şekil 4.54 N3 numunesi sol alt bölge 21. nokta EDS grafiği	107
Şekil 4.55 N3 numunesi sağ alt bölge SEM ve 22. nokta EDS grafiği.....	108
Şekil 4.56 N3 numunesi sağ alt bölge 23. nokta EDS grafiği.....	108
Şekil 4.57 N3 numunesi sağ alt bölge 24. nokta EDS grafiği.....	109
Şekil 4.58 N5 numunesi sol üst bölge SEM ve 25. nokta EDS grafiği.....	110
Şekil 4.59 N5 numunesi sol üst bölge 26. nokta EDS grafiği.....	111
Şekil 4.60 N5 numunesi sol üst bölge 27. nokta EDS grafiği.....	111
Şekil 4.61 N5 numunesi sağ üst bölge SEM ve 28. nokta EDS grafiği	112
Şekil 4.62 N5 numunesi sağ üst bölge 29. nokta EDS grafiği	113
Şekil 4.63 N5 numunesi sol alt bölge SEM ve 30. nokta EDS grafiği	114
Şekil 4.64 N5 numunesi sol alt bölge 31. nokta EDS grafiği	115
Şekil 4.65 N5 numunesi sol alt bölge 32. nokta EDS grafiği	115
Şekil 4.66 N5 numunesi sağ alt bölge SEM ve 33. nokta EDS grafiği.....	116
Şekil 4.67 N5 numunesi sağ alt bölge 34. nokta EDS grafiği.....	117
Şekil 4.68 N5 numunesi sağ alt bölge 35. nokta EDS grafiği.....	118
Şekil 4.69 N11 numunesi sol üst bölge SEM ve 1. nokta EDS grafiği.....	119
Şekil 4.70 N11 numunesi sol üst bölge 2. nokta EDS grafiği.....	119
Şekil 4.71 N11 numunesi sol üst bölge 3. nokta EDS grafiği.....	120
Şekil 4.72 N11 numunesi sağ üst bölge SEM ve 4. nokta EDS grafiği	121
Şekil 4.73 N11 numunesi sağ üst bölge 5. nokta EDS grafiği	122
Şekil 4.74 N11 numunesi sağ üst bölge 6. nokta EDS grafiği	122
Şekil 4.75 N11 numunesi sol alt bölge SEM ve 7. nokta EDS grafiği	123
Şekil 4.76 N11 numunesi sol alt bölge 8. nokta EDS grafiği	124
Şekil 4.77 N11 numunesi sol alt bölge 9. nokta EDS grafiği	125
Şekil 4.78 N11 numunesi sağ alt bölge SEM ve 10. nokta EDS grafiği.....	126
Şekil 4.79 N11 numunesi sağ alt bölge 11. nokta EDS grafiği.....	126
Şekil 4.80 N11 numunesi sağ alt bölge 12. nokta EDS grafiği.....	127
Şekil 4.81 N33 numunesi sol üst bölge SEM ve 13. nokta EDS grafiği.....	128
Şekil 4.82 N33 numunesi sol üst bölge 14. nokta EDS grafiği.....	129
Şekil 4.83 N33 numunesi sol üst bölge 15. nokta EDS grafiği.....	129
Şekil 4.84 N33 numunesi sağ üst bölge SEM ve 16. nokta EDS grafiği	130
Şekil 4.85 N33 numunesi sağ üst bölge 17. nokta EDS grafiği	131
Şekil 4.86 N33 numunesi sol alt bölge SEM ve 18. nokta EDS grafiği	132
Şekil 4.87 N33 numunesi sol alt bölge 19. nokta EDS grafiği	133
Şekil 4.88 N33 numunesi sol alt bölge 20. nokta EDS grafiği	133
Şekil 4.89 N33 numunesi sağ alt bölge SEM ve 21. nokta EDS grafiği.....	134
Şekil 4.90 N33 numunesi sağ alt bölge 22. nokta EDS grafiği.....	135
Şekil 4.91 N55 numunesi sol üst bölge SEM ve 23. nokta EDS grafiği.....	136
Şekil 4.92 N55 numunesi sol üst bölge 24. nokta EDS grafiği.....	137

Şekil 4.93 N55 numunesi sol üst bölge 25. nokta EDS grafiği.....	137
Şekil 4.94 N55 numunesi sağ üst bölge SEM ve 26. nokta EDS grafiği	138
Şekil 4.95 N55 numunesi sağ üst bölge 27. nokta EDS grafiği	139
Şekil 4.96 N55 numunesi sol alt bölge SEM ve 28. nokta EDS grafiği	140
Şekil 4.97 N55 numunesi sol alt bölge 29. nokta EDS grafiği	141
Şekil 4.98 N55 numunesi sol alt bölge 30. nokta EDS grafiği	141
Şekil 4.99 N55 numunesi sağ alt bölge SEM ve 31. nokta EDS grafiği.....	142
Şekil 4.100 N55 numunesi sağ alt bölge 32. nokta EDS grafiği.....	143
Şekil 4.101 Ara tabakalı AISI 430 numunesi Mapping analizi	147
Şekil 4.102 Ara tabakalı HARDOX 450 numunesi Mapping analizi	147
Şekil 4.103 Ara tabakasız AISI 430 numunesi Mapping analizi	148
Şekil 4.104 Ara tabakasız HARDOX 450 numunesi Mapping analizi.....	148
Şekil 4.105 Ara tabakalı birleştirmelerin üst-alt mikrosertlik grafikleri.....	150
Şekil 4.106 Ara tabakasız birleştirmelerin üst-alt mikrosertlik grafikleri.....	151
Şekil 4.107 Ara tabakalı birleştirme darbe deneyi kırık numuneler	152
Şekil 4.108 Ara tabakalı numunelerin darbe enerjisi grafiği	153
Şekil 4.109 Ara tabakasız birleştirme darbe deneyi kırık numuneler	153
Şekil 4.110 Ara tabakasız numunelerin darbe enerjisi grafiği	154
Şekil 4.111 N11, N33 ve N55 darbe numuneleri kırık yüzey SEM görüntüleri.....	155
Şekil 4.112 N1, N3 ve N5 darbe numuneleri kırık yüzey SEM görüntüleri.....	156
Şekil 4.113 Kırık N55 numunesi yüzeyi 1. nokta SEM ve EDS grafiği.....	157
Şekil 4.114 Kırık N55 numunesi yüzeyi 2. nokta EDS grafiği.....	158
Şekil 4.115 Kırık yüzey N55 numunesi AISI 430 tarafı Mapping analizi.....	159
Şekil 4.116 Ara tabakalı N33 numunesi AISI 430 tarafı EBSD analizi	160
Şekil 4.117 Ara tabakasız N3 numunesi AISI 430 tarafı EBSD analizi	161
Şekil 4.118 Ara tabakalı numunelerin çekme deneyi öncesi makro görünüşleri.....	163
Şekil 4.119 Ara tabakasız numunelerin çekme deneyi öncesi makro görünüşleri...	163
Şekil 4.120 Ara tabakalı numunelerin çekme deneyi sonrası makro görünüşleri....	164
Şekil 4.121 Ara tabakasız numunelerin çekme deneyi sonrası makro görünüşleri..	164
Şekil 4.122 N11, N33 ve N55 çekme numuneleri kopma yüzey SEM görüntüleri .	167
Şekil 4.123 N1, N3 ve N5 çekme numuneleri kopma yüzeyi SEM görüntüleri.....	168
Şekil 4.124 N11 numunesi kopan yüzey 1. nokta SEM ve EDS grafiği.....	169
Şekil 4.125 N22 numunesi kopan yüzey 2. nokta SEM ve EDS grafiği.....	170
Şekil 4.126 N22 numunesi kopan yüzey 3. nokta EDS grafiği.....	171
Şekil 4.127 N22 numunesi kopan yüzey 4. nokta EDS grafiği.....	171
Şekil 4.128 N33 numunesi kopan yüzey 16. nokta SEM ve EDS grafiği.....	172
Şekil 4.129 N33 numunesi kopan yüzey 17. nokta EDS grafiği.....	173
Şekil 4.130 N33 numunesi kopan yüzey 18. nokta EDS grafiği.....	174
Şekil 4.131 N1 numunesi kopan yüzey 1. nokta SEM ve EDS grafiği.....	175
Şekil 4.132 N1 numunesi kopan yüzey 2. nokta EDS grafiği.....	175
Şekil 4.133 N1 numunesi kopan yüzey 2. nokta EDS grafiği.....	176
Şekil 4.134 N1 numunesi kopan yüzey 4. nokta EDS grafiği.....	177
Şekil 4.135 N2 numunesi kopan yüzey 5. nokta SEM ve EDS grafiği.....	178
Şekil 4.136 N2 numunesi kopan yüzey 6. nokta EDS grafiği.....	178
Şekil 4.137 N2 numunesi kopan yüzey 7. nokta EDS grafiği.....	179
Şekil 4.138 N2 numunesi kopan yüzey 8. nokta EDS grafiği.....	180

Şekil 4.139 N33 numunesi kopma yüzeyi Mapping analizi	181
Şekil 4.140 N2 numunesi kopma yüzeyi Mapping analizi	181
Şekil 4.141 N1 numunesi XRD analiz grafiği	182
Şekil 4.142 N3 numunesi XRD analiz grafiği	183
Şekil 4.143 N5 numunesi XRD analiz grafiği	183
Şekil 4.144 N11 numunesi XRD analiz grafiği	184
Şekil 4.145 N33 numunesi XRD analiz grafiği	185
Şekil 4.146 N55 numunesi XRD analiz grafiği	185



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

CO_2	: Karbondioksit
eV	: Elektronvolt
$^{\circ}C$	: Sıcaklık
μm	: Mikrometre
M_s	: Martenzit başlangıç
$\alpha-Fe$	: Alfa demir
T_m	: Mutlak sıcaklık
A	: Amper
MPa	: Mega Paskal
$T_{850/500}$	: Mutlak geçiş sıcaklığı
σ	: Sigma

Kısaltmalar

MIG	: Metal inert gaz
MAG	: Metal aktif gaz
TIG	: Tungsten inert gaz
PAW	: Plasma arc welding
AISI	: American iron and steel institute
FSS	: Ferritic stainless steel
ITAB	: Isının tesiri altındaki bölge
YMK	: Yüzey merkezli kübik
HMK	: Hacim merkezli kübik
HR	: Hardness Rockwell
HV	: Hardness Vickers
HB	: Hardness Brinell

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte farklı mekanik ve termodinamik özelliklere sahip malzemelerin bir arada kullanılması gereksinimi doğmaktadır. Özellikle iyi iletken olan bir malzeme ile iyi de korozyon direnci olan veya iyi korozyon direnci olan ile iyi mekanik özellikleri olan malzemeleri birlikte kullanılması önem arz etmektedir. Farklı özellikleri bir arada bulundurabilmek için malzemelerin birleştirme ihtiyacı duyulmaktadır. Bunun içinde kullanılabilecek en önemli yöntem, kaynaklı birleştirmelerdir.

Ülkemizde son yıllarda yapılan hızlı sanayi atılımları ile birlikte paslanmaz çeliklerin kullanım alanı genişlemektedir. Korozyif ortamlarda dayanım gerektiren malzeme seçiminde paslanmaz çelikler önde gelen malzemelerdir. Bunun yanında mutfak eşyası, kimya ve gıda sanayii, ısıtıcılar, petrol kapları, asit taşıyıcıları bazı kullanım alanlarıdır.

Kaynak edilebilirlikleri bakımından, paslanmaz çelikler, iyi kaynak kabiliyetlerine haizdirler. Endüstriye elverişli hale geldiklerinden itibaren sürekli olarak yeni uygulama alanları gelişmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte mekanik ve kimyasal özellikleri farklı olan malzemelerin bir arada kullanılması ihtiyacından dolayı, bu çalışmada da endüstride korozyon direnci gerektiren uygulamalarda tercih edilen ve muadili olan östenitik paslanmaz çelikten ucuz olan AISI 430 çeliği ile yine endüstriyel uygulamalarda aşınmaya yönelik çalışma sahalarında kullanılan ekipman imalatında tercih edilen HARDOX 450 çeliği TIG çift taraflı ark kaynak yöntemi ile kaynak ağzı açılmadan nikel ara tabakalı ve ara tabakasız birleştirilmesinden meydana gelmiş kaynak bölgesinin mekanik özellikleri ve mikroyapısı deneysel çalışmalarla araştırılmıştır.

1.1. Kaynak

Kaynak, iki aynı veya ayrı cins metalik ya da termoplastik malzemeyi ısı ve basınç altında ilave tel katarak veya katmadan sökülemeyecek şekilde birleştirmektir [1]. Bu tanımlamaya göre yöntemin sadece metallere değil aynı zamanda termoplastiklere, ayrıca benzer özellik sergileyen ve ergime dereceleri birbirine yakın metallere de tatbik edildiği söylenebilir.

Kaynaklı uygulamalar son yüzyılda hızlı bir atılım göstererek büyümüş ve gelişmiş olsa da, geçmişinin insanların metalle ilk uğraşmaya başladıkları tarih kadar eski olduğu bilinmektedir. Yapılan araştırmalarda ilk kaynak yönteminin demirci ocağında tavlanan sıcak metalin, tavlanan başka bir metal ile dövülerek karşılıklı sıkıştırılması ve difüzyon sonucunda birbirine kaynaklanması ile oluştuğu bilinmektedir [2]. Bu yöntemin yerine günümüz endüstrisinde gelişen şartlarla birlikte modern yöntemler tercih edilmektedir.

Günümüz kaynak teknolojisinin temelleri 1880'li yıllarda Rus fizikçi Benardos tarafından aydınlatma amacıyla kullanılan ve ergimeyen karbon elektrod ile kaynak edilecek parça arasında oluşturulan arkın tatbik ettiği ısı ile malzemeyi ergitmek suretiyle modern kaynak teknolojisi başlamış oldu. Fakat yöntemin bu şekliyle kullanılması uygun olmadığından ve sürekli ilave metal tatbiki gerektirdiğinden yeni arayışlara girilmiş ve başka bir Rus olan Slavianof 1891'de ark taşıyıcı ve ilave metal bir çubuğu kaynakta kullanarak günümüzdeki elektrik ark kaynağını bulmuştur [3].

1907'de Oskar Kjellberg örtülü elektrodu, 1886'da Elihu Thomson elektrik direnç kaynağını, 1882'de Wilson gaz kaynağını bulmuştur. 1934'te toz altı kaynağı, 1936'da TIG kaynağı, 1948'de MIG kaynağı ABD'de ve metal aktif gaz kaynağı ise SSCB'de keşfedilmiştir [3]. Ülkemizde kaynak ilk olarak 1920'li yıllarda gemi gövdesi imalatında kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra 1935'te Eskişehir'de bulunan CER atölyesinde ilk kaynak atölyesi kurulmuştur [3].

1.2. Ergitme Kaynağı

Birleştirilmesi yapılacak olan malzemelerin kaynak bölgelerini bir ısı yardımı ile sürekli ergitmek suretiyle ve aynı cinsten bir ilave malzeme katarak ya da katmayarak yapılan birleştirmeye ergitme kaynağı denir. Ergitme suretiyle yapılacak kaynaklar oksijen-gaz dışında çoğunlukla ark oluşturma esasına dayanmaktadır. Kızgın bir katottan yayılan elektronların anodu yüksek bir hızla bombardıman etmesi sonucunda meydana gelen olaya ark denir [4]. Bu işlem sırasında katottan 100m/sn hız ile elektronlar ayrılıp anodu bombardıman ederken anottan da katoda 1m/sn hız ile bir geçiş söz konusudur.

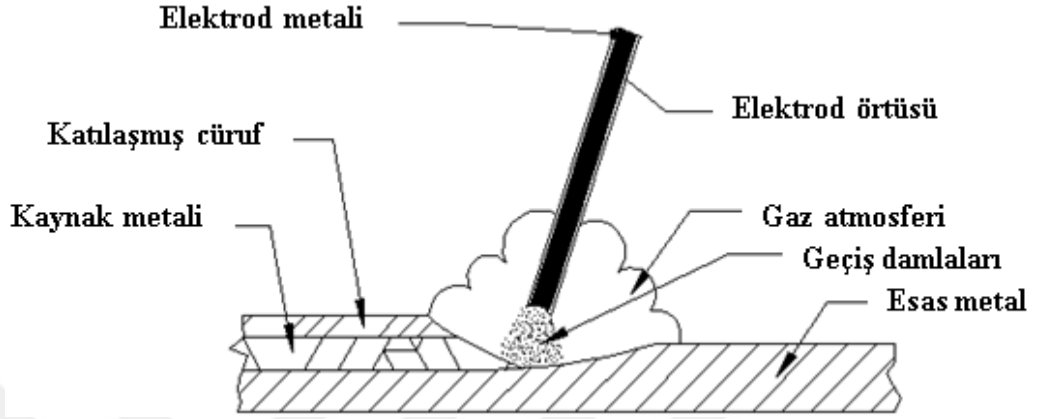
Arkın meydana gelmesiyle birlikte açığa çıkan enerji metalleri eriterek sıvı hale getirir. Sıvı hale gelen metaller fiziksel metalurjik esaslar neticesinde birbirlerine bağlanarak kaynaklı birleştirmeyi sağlamış olurlar. Bu işlem süresince havanın olumsuz etkilerinden kaynak ark havuzunu koruması için kaynak ortamına gaz koruması tatbik edilir.

1.2.1. Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı

İsveçli Mühendis Oskar Kjellberg'in bir metal çubuk etrafına kaynağa yanması ve yanma sonucunda ortaya çıkardığı gaz ile kaynak banyosunu havanın olumsuz etkilerinden korumak için örtülü elektrodla kaynak yöntemini keşfetmiş oldu.

Örtülü elektrodla ark kaynağı yöntemi endüstriyel anlamda en yaygın ve pratik olarak en fazla kullanılan kaynak yöntemidir. Bu teknik ile birçok metalin kaynağı yapılabilmeyle birlikte en çok da sade karbonlu çeliklerin yarı mamulden mamul olarak üretilmelerinde kullanılmaktadır. Kaynak için gerekli olan akım gücünü kaynak transformatörü, redresör ya da kaynak trafosundan alır. Alınan bu enerji, kaynak bölgesine kaynak penci ile kaynak şasesi arasındaki kaynak elektrodu ile iş parçası arasında meydana getirilen arkın ve arkın oluşması ile yanan elektrod örtüsünün çıkardığı gaz ile kaynak banyosunu havanın olumsuz etkilerinden

korumak suretiyle kaynak gerçekleştirilir [4]. Akım şiddeti ve kaynak banyosunun kontrolü kaynakçı tarafından sağlanır.

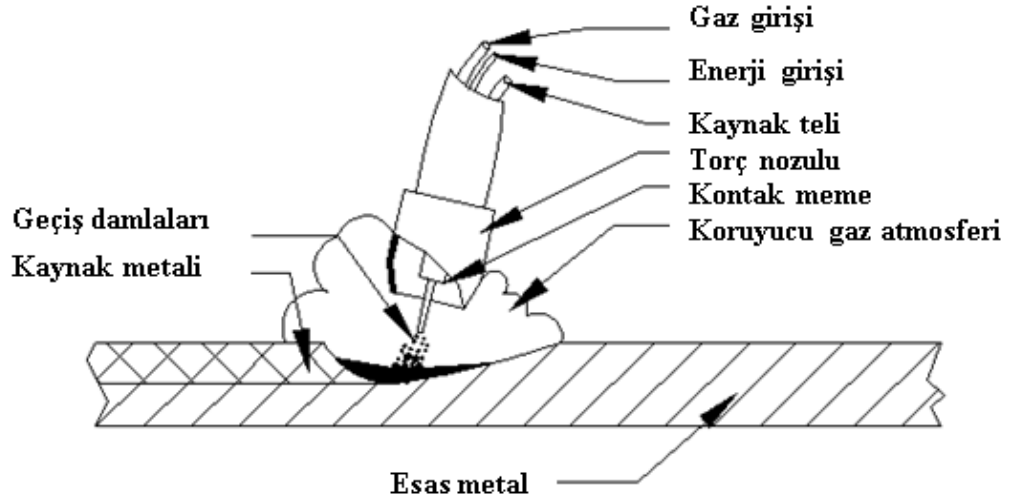


Şekil 1.1 Örtülü elektrodla ark kaynağının şematik gösterimi

1.2.2. Metal Inert Gaz (MIG) ve Metal Aktif Gaz (MAG) Kaynağı

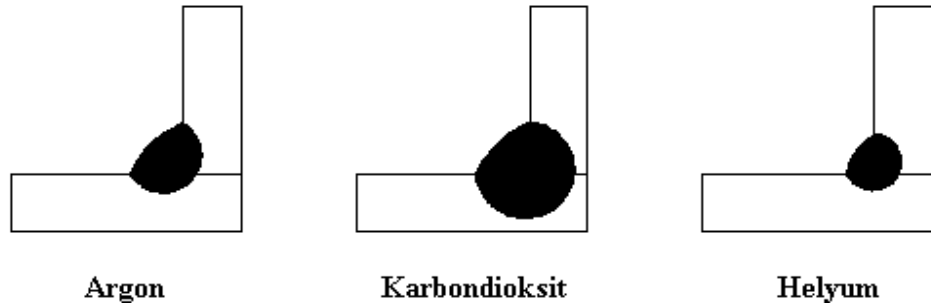
MIG kaynağı ilk defa Amerika Birleşik Devletleri'nde alüminyum ve alaşımlarının, daha sonra da alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımlarının kaynağında kullanılmıştır [4]. Yöntem bir akım üretici, bir gaz ünitesi, tel sürme ünitesi ve bir de kaynak kablo takımından meydana gelen teçhizatın torç içerisinde gelen tel ile iş parçası arasında oluşan arkın yine torç içerisinde gelen koruyucu gaz ile havadan soyutlanmasıyla kaynak işlemi gerçekleşir. Ark oluşumu otomatik ya da kaynakçı tarafından el ile kontrol edilen bir kaynak pasosunu oluşturmaktadır.

MIG kaynak tekniğinde koruyucu gaz olarak argon ve helyum ile karışımli gazlar kullanılmaktadır. Yöntem genellikle demir dışı metallerin kaynağında tercih edilmektedir. Çünkü bu teknikte kullanılan gazların asal gazlar olmalarından dolayı hem kaynak metali ile hem de diğer olasılıklarla tepkimeye girmemektedirler [4].



Şekil 1.2 MIG/MAG kaynağının prensip şeması

Aynı tekniğin çeliklere uygulanmasıyla birlikte o yıllarda argon ve helyum gazlarına nispeten daha ucuz olan CO₂ gazı kullanılmaya başlanmış ve bu şekilde de MAG kaynak tekniği ortaya çıkmıştır [2]. Bu teknikte karbondioksit gazı asal gazlar gibi olmayıp, kaynak metaline ile tepkimeye girerek kaynak anında aşırı sıçramalara neden olabilmektedir.



Şekil 1.3 Koruyucu gazların MIG/MAG kaynaklarında nüfuziyet üzerine etkileri

Gaz altı ark kaynağı gaz korumalı bir ark oluşturduğundan bu yöntemde belli başlı gazlar kullanılmaktadır. Bunlar karbondioksit (CO₂), argon (Ar), helyum (He) ve bazı durumlarda Ar+O₂ gibi karışımli gazlar kullanılmaktadır.

Karbondiyoksit gazı, sadece MAG uygulamalarında kullanılan ve bazı durumlarda da karışımli gazlar ile birlikte kullanılan bir gazdır. Derin nüfuziyetli kaynak dikişlerinin çekilmesini sağlar. Bir karbon ve iki oksijen atomunun birleşmesi ile teşekkül eder. Kokusu ve rengi olmayan karbondiyoksit gazı havadan 1.5 kat ağırdır [5].

Argon gazı, asal gaz olduğundan kaynak anında metal ile tepkimeye girmeyerek düzgün ve az sıçramalı bir kaynak dikişinin çekilmesini sağlar. Özellikle paslanmaz çeliklerin kaynağında %2.5 oksijen ile karıştırılırsa malzemenin yüzey gerilimini kırar.

Helyum gazı da argon gibi asal bir gazdır ve kaynak anında metal ile tepkimeye girmez. Fakat argona nispeten daha pahalıdır ve zor elde edilir. Havadan temin edilişi imkânsız olduğundan, doğal gazdan ayrıştırılarak elde edilir [5]. Ark gerilimi, yüksek oluşundan dolayı ısıyı iletme özelliği hızlı olan malzemelerin kaynağında tercih edilir.

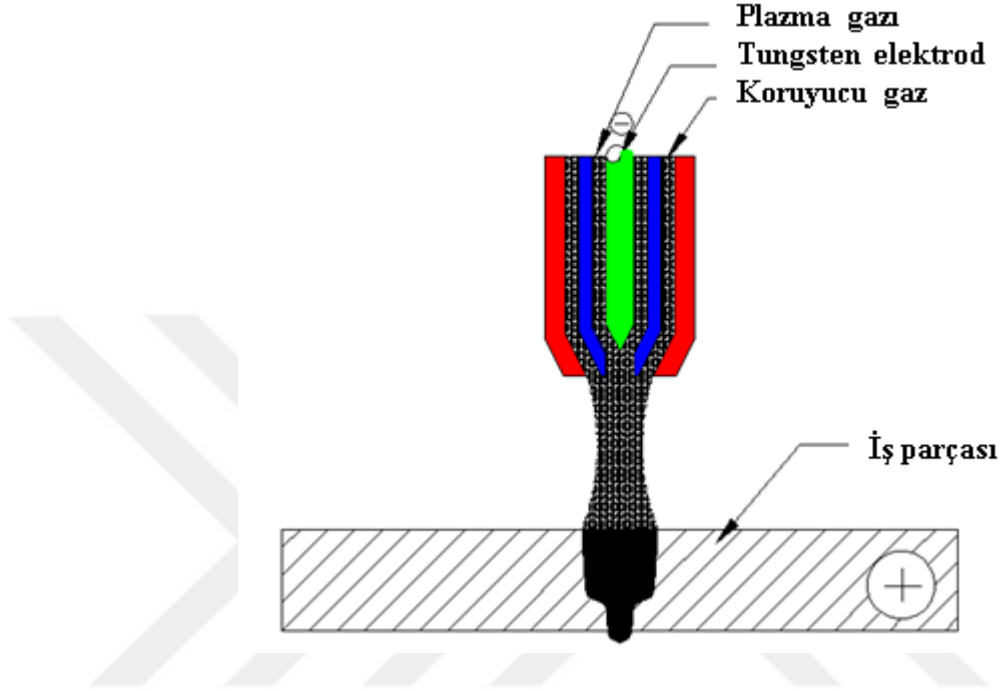
MIG-MAG kaynak tekniğinde diğer tüm kaynak yöntemlerinde olduğu gibi kaynatılacak malzemenin cinsine, fiziksel ve kimyasal çalışma koşullarına göre kaynak tel/elektrodu seçilir. Seçilecek olan kaynak teli, özellikle MAG uygulamasında, yüzeyin bakır kaplı olmasına dikkat edilir. Bu şekilde olacak olan tel yüzeyi hem korozyondan uzun süre korunmuş olacak hem de kaynak için gerekli olan kaynak enerjisini kontak memeden alırken akım kesilmesine neden olmadan kolay bir akım geçişi sağlayacaktır.

1.2.3. Plazma Kaynağı ve Kesme

Plazma üzerine yapılan çalışmalar Schonherr' in 1909 yılında bir gazın dönel hareketinin basıncından faydalanarak arkı dengeleyen bir cihazı geliştirmesiyle başlar. Schonherr tarafından geliştirilen bu cihaz, ark üzerine yapılan çalışmalara öncülük etmiştir [6].

Plazma terimi, iyonlaşmış gaz kütlesi anlamına gelmektedir. Plazma kaynağı, pratik anlamda TIG kaynak yöntemine benzemekle birlikte farklılıklarının da olduğu

görülmektedir. Özellikle TIG kaynak yönteminde gaz, iş parçasına nispeten daha uç açılı çarparken plazmada dik bir çarpış vardır [5].



Şekil 1.4 Plazma kaynağı şematik gösterimi [5]

Plazma arkının oluşturulması çeşitli yollarla yapılır. Bunlar tungsten elektrodla iş parçası arasında elektrik devresi tamamlanarak ark, iş parçası üzerinden akar. Buna direkt veya transfer olmuş ark denir. Endirekt veya transfer olmamış ark ise meme ile tungsten elektrodun arasında tamamlanan elektrik devresi ile ark bakır meme ile elektrod arasında meydana gelir [6].

Yöntem iç içe geçmiş dairesel iki nozulun ortasında bulunan ve içteki bakır meme ile temas halindeki ilk arkı oluşturan tungsten elektrod ve en dıştaki koruyucu gazı veren nozuldan oluşur. Bu yöntemde koruyucu gaz olarak en çok argon gazı tercih edilir. Fakat bazı uygulamalarda iyonizasyonu daha fazla olan ve daha çok ısıyı meydana getiren helyum gazı tercih edilir [7].

Plazma yöntemi ile ayrıca uygun kaynak parametreleri belirlendiğinde 10 mm gibi kalın kesitli paslanmaz çelik malzemeler de kaynaklı birleştirilebilirler [8].

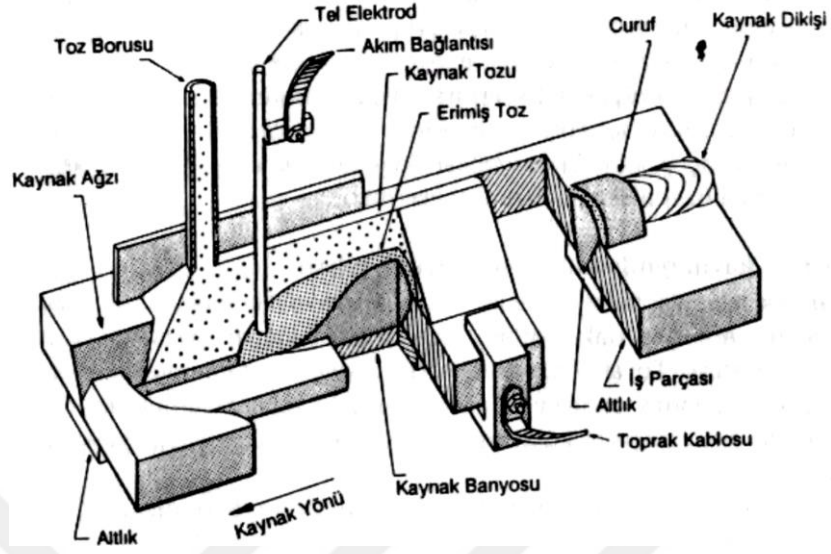
Plazma kesme ise daha çok diğer kesme yöntemleri ile kesilemeyen malzemelerin kesiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

1.2.4. Toz Altı Ark Kaynağı

İlk olarak ABD’de dairesel kesitli malzemelerin birleştirilmesi amacıyla keşfedilmiş bir kaynak yöntemidir. Bu yöntemde kaynak için gerekli olan akım gücü bir akım üreticinden alınır ve kaynak bölgesine kaynak kabloları yardımıyla taşınır. Kontak memeden kaynak teline verilen akım gücü ile ark başlatılır. Başlayan kaynak arkını havanın olumsuz etkilerinden korumak ve bazı durumlarda alaşımlamak amacıyla özel tozlar kullanılmaktadır. Bu şekilde elde edilecek kaynak dikişlerinde enerjinin büyük bir kısmı ısıya dönüştüğünden daha düşük akım şiddetlerinde derin nüfuziyetin sağlanması mümkündür [4].

Toz altı kaynağı diğer kaynak yöntemlerinden ayrı olarak otomatik olarak kullanılan bir kaynak yöntemi olduğundan dolayı sadece kurulu bir alanda kullanılabilir. Ayrıca her pozisyonda kullanımı uygun değildir. Genellikle çeliklerin kaynağında tercih edilen bir yöntemdir.

Derin bir nüfuziyeti olan, yüksek hızla, sıçramasız ve çevreye ısı yayımına meydan vermeyen kaynak yöntemidir.



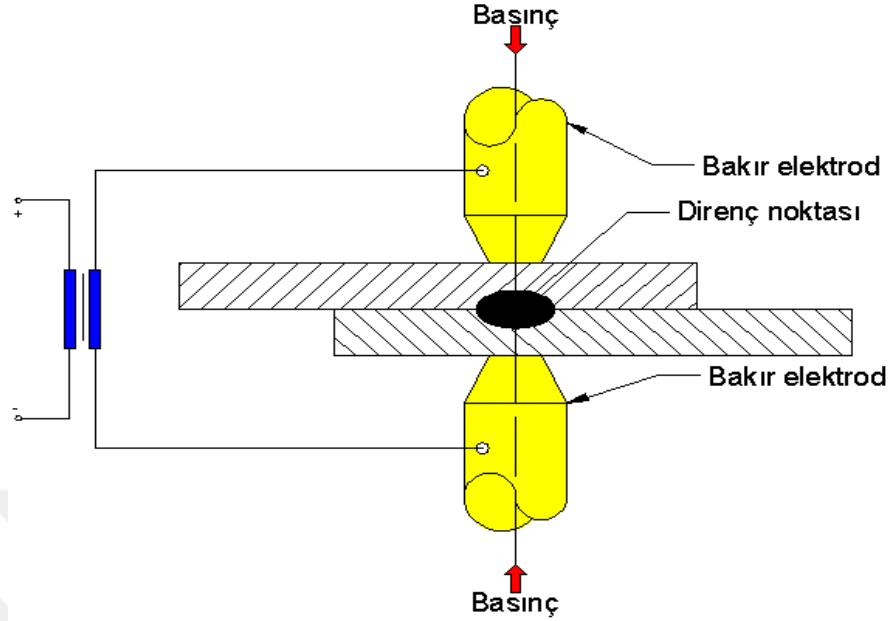
Şekil 1.5 Toz altı kaynağı prensip şekli [6]

1.2.5. Elektrik Direnç Kaynağı

Birleştirilmek için hazırlanmış olan sac metallerin temas eden yüzeylerine karşılıklı yerleştirilmiş olan bakır elektrodlar arasından geçen akımın, malzemenin en düşük dirençli bölgesinde meydana getirmiş olduğu ergimenin etkisiyle temas eden malzeme yüzeylerinin birbiri üzerine kaynaması ile gerçekleşen bir kaynak tekniğidir [5].

Teknikte, bakır elektrodlar arasına yerleştirilen malzemelere kaynak makinesinin pedalına basılarak sıkıştırma kuvveti uygulanır. Bu ilk temas ile sıkışan malzemelere pedala biraz daha basılarak akım verilir ve malzemeler arasında bir akım geçişi sağlanır. Akabinde belirli bir süre beklenir ve ergime sağlandıktan sonra pedaldan ayak hafifçe çekilerek akım kesilir ve malzemelerin soğuması sağlanarak birleştirme işlemi gerçekleştirilir [5].

Elektrik direnç kaynağı, nokta kaynağı olarak malzemelere tatbik edilebildiği gibi sürekli dikiş halinde de uygulanması mümkündür. Fakat bu yöntemin kolay sertleşebilen metallere uygulanması kaynak sonrasında ITAB bölgesinde sertleşmelere ve kırılgan bir yapı oluşturmaya neden olacağından tavsiye edilmez.



Şekil 1.6 Elektrik direnç kaynağı şematik gösterimi

1.2.6. Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı

1.2.6.1. Koruyucu Gaz Kaynağı

Kaynak banyosunu havanın olumsuz etkilerinden korumak amacıyla, kaynak işlemi süresince kaynak torcu içerisinde gelen, sürekli ve kesintisiz bir gaz yardımı ile oluşturulan gaz atmosferiyle yapılan korumalı kaynak yöntemlerine verilen genel ada koruyucu gaz kaynağı denir. Metalleri ergitmek suretiyle yapılan kaynak işleminde kaynak banyosunu atmosferin olumsuz etkilerinden korumak için bir gazdan faydalanarak yapılması düşüncesi ilk defa 1926 yılında Alexander usulüyle ortaya atılmış ve daha sonraki yıllarda Arcogen usulü geliştirilerek gerçekleştirilmiştir [9, 10].

1930'lu yıllara gelindiğinde koruyucu gaz kaynaklarında asal gaz kullanılması patenti alınmış ve 1940 yılında bir uçak firması tarafından magnezyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılmıştır. 1942 yılında ise argon ve helyum gazları kullanılarak demir dışı metaller ile alaşımları kaynak edilmiştir. Ayrıca 1952 yılında

yapılan çalışmalarla karbondioksit gazı da koruyucu gaz kaynaklarında kullanılmaya başlanmıştır [9].

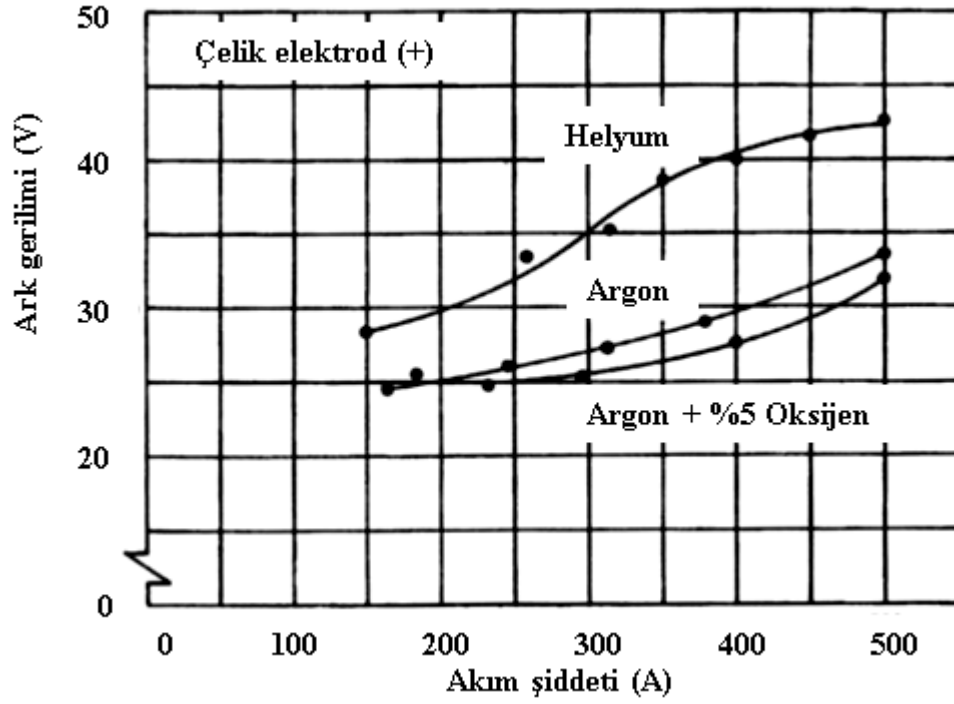
Koruyucu gaz kaynak yöntemlerinde aktif gaz olarak karbondioksit (CO_2), azot (N), hidrojen (H) ve oksijen (O_2) ile asal gazlar olan argon (Ar) ve helyum (He) kullanılmaktadır [11].

1.2.6.1.1. Asal Gazlar

Koruyucu gaz kaynaklarında iki tip asal gaz kullanılmaktadır. Kullanılan bu gazlar metaller ile tepkimeye girmediklerinden demir dışı metaller ile paslanmaz çeliklerin kaynaklarında öncelikle tercih edilmektedir.

Bunlardan birisi olan helyum gazı hidrojenden sonra en hafif gazdır. Havadan hafif olması nedeniyle kapalı alanlarda yapılacak kaynaklarda gerekli iş güvenliği ve işçi sağlığı tedbirleri alınmalıdır. İyonizasyon enerjisi 24.5 eV olan helyum ile yapılacak birleştirmelerde yüksek ark gerilimi elde edilebilir. Bu da kaynakta iyi bir ısı girdisi ile derin nüfuziyeti sağlamada faydalı olmaktadır. Bu özelliği sebebiyle alüminyum, bakır ve magnezyum metallerinin kaynaklarında ön tav yapılmaksızın kaynak yapabilmeye imkân sağlamaktadır [5, 11].

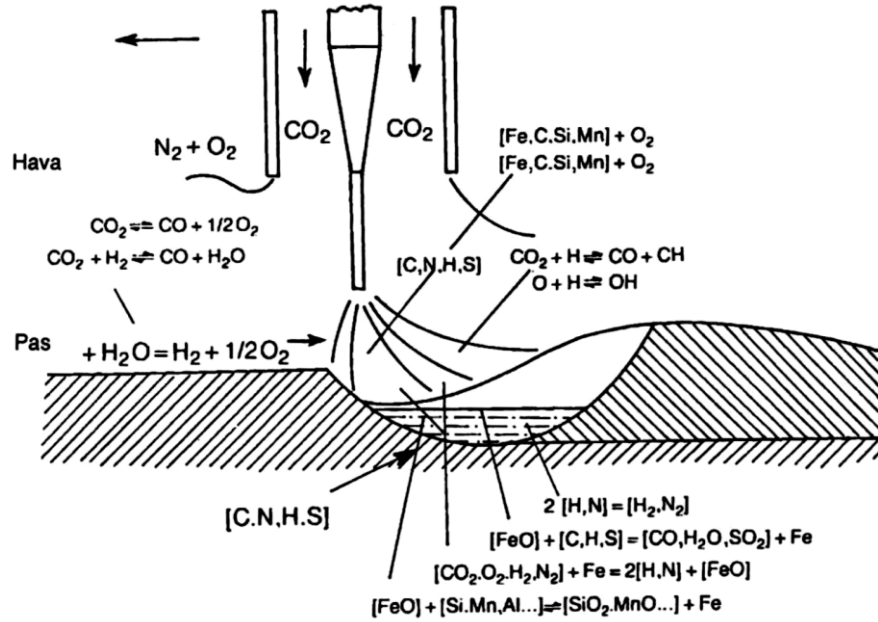
Koruyucu gaz kaynaklarında kullanılan bir diğer gaz ise argondur. Havadan ağır olan argon gazı kaynak anında yere çökmektedir. Bunun için yatay düzlemde yapılan birleştirme işlemlerinde iyi bir koruyucu gaz görevi görmektedir. İyonizasyon enerjisi 15.7 eV ile helyumdan daha düşüktür. Düşük iyonizasyon ile daha ince kesitli malzemelerin kaynaklarında düşük çalışma gerilimi ile birleştirme yapmayı sağlar. Ucuz ve kolay temin edilebilmesi argon gazının en çok kullanılan koruyucu gazlardan birisi olmasını sağlamaktadır [5, 11].



Şekil 1.7 Soy gazların ve karışımli gazın ark gerilimi [11]

1.2.6.1.2. Aktif Gazlar

Bu gaz grubuna giren gazlar kaynak anında kaynak metali ile tepkimeye girerek kıvılcım saçınımına neden olurlar. En çok ve yaygın olarak kullanılan karbondioksit gazı, renksiz, kokusuz, 1.997 kg/cm^3 yoğunluğunda ve havadan da 1.5 kat ağırdır. Bu gaz özellikle sade karbonlu çeliklerin kaynağında derin nüfuziyet, hızlı kaynak, iyi mekanik özellikler sağlaması ve kolay temin edilebilmesi nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Tüpler halinde kullanım yerlerine sevk edilen bu gaz, tüpte sıvı haldedir ve kullanım anında tüpten çıkarken bir ön ısıtıcı yardımı ile kullanılmalıdır. Aksi halde kış aylarında donma nedeniyle yetersiz bir koruma olabilir. Ayrıca karbondioksit gazı argon ve helyum gibi tek atomlu gaz olmadığından, kaynağında yüksek sıcaklıklara çıkıldığında karbonmonoksit ile oksijen olarak ayrışmaktadır [5, 11].



Şekil 1.8 CO₂ kullanılan koruyucu gaz kaynağında meydana gelen tepkimeler [11]

Aktif koruyucu gazların bir diğeri de oksijendir. Bu gaz renksiz ve kokusuz olup atmosferik şartların %21'ini oluşturmaktadır. Kaynak banyosunun korunmasında farklı bir gaz ile birlikte karışım halinde kullanılır. Nadir metaller ve asal gazlar ile tepkimeye girmese de birçok metal ve alaşımla tepkime yapabilecek bir gazdır. Argon ile birlikte paslanmaz çeliklerin kaynağında oksitleyici olarak kullanılabilir. Ayrıca yüzey gerilimini düşürücü bir etkisi de vardır. Fakat kaynak metalinde oksitlenmeye ve esas metallerde oksidasyon kayıplarına neden olmaktadır [5, 11].

Hidrojen gazı hafif, kokusuz ve renksiz bir gazdır. Oksijenle birleşince patlayıcı bir gaz karışımı ortaya çıkarır. Argon gazına ilave edilerek paslanmaz çelikler ile nikel ve alaşımlarının kaynaklarında kullanılır. Oksijen gibi hidrojen gazı da tek başına kullanılmaz. Kaynak yüzeyinde oksit tabakası oluşumunu önler [5, 11].

Genelde helyum gazının kolay bulunmadığı ülkelerde azot gazı tercih edilmektedir. Çok olmasa da nadiren kullanılır. Akım ve ark şiddetini yükseltici ve yüzey gerilimini düşürücü etkisi vardır ve argon gazına %12 oranlarında ilave edilerek kullanılır. Bakır gibi metallerin kaynaklarında kullanıldığı gibi plazma kesme işlemlerinde de tercih edilmektedir [5, 11].

1.2.6.2. Tungsten Inert Gaz Kaynak Yöntemi

Magnezyum ve alaşımlarının birleştirilmesi amacıyla ilk defa ikinci dünya savaşı yıllarında kullanılmaya başlanmış bir kaynak yöntemi olan TIG kaynağı ya da endüstriyel anlamda kullanılan adı ile “Argon Kaynağı”, ergime olmayan tungsten elektrod ile kaynak malzemesi arasında oluşturulan sürekli ark ile iş parçalarını ergitmek ve ilave malzeme katarak ya da katmadan yapılan birleştirme işlemidir. Bu işlem boyunca torç adı verilen ve kaynakçı tarafından tutularak ergimeyen elektrodun bağlı bulunduğu bir aparat içerisinde kesilmeksizin gelen asal koruyucu gaz yardımı ile kaynak banyosu havanın olumsuz etkilerinden korunur. TIG kaynak yöntemi ile hemen hemen tüm metallerin ergitmeli birleştirilmesi uygun gaz, amper ve ergimeyen elektrod seçimi ile mümkündür [5].

TIG kaynağında kaynaklı birleştirme işlemi yaklaşık 3400 °C’de ergiyen tungsten elektrod ile sağlanır. Bu elektrottan sağlanan ısı anında torç içerisinde gelen asal koruyucu gaz hem kaynak banyosunu havanın olumsuz etkilerinden korur hem de dikiş formunu düzenler. Ayrıca nüfuziyet üzerine de etki eder. Bu yöntem, yüksek kaliteli kaynaklar elde etmek için tercih edilen kaynak yöntemlerinden birisidir [5, 10].

Bu kaynak yönteminde asal gazlar kullanılmaktadır. Kullanılan bu asal gazlar argon ve helyum gazlarıdır. Bu yöntem ilk kullanılmaya başlandığında helyum gazı kullanılmış olsa da daha ucuz ve kolay temin edilebilmesinden dolayı argon gazı daha çok tercih edilmiştir.

TIG kaynak yöntemi ile günümüzde alüminyum, bakır, magnezyum ve paslanmaz çelik ile diğer yöntemlerle kaynak edilebilmesi zor olan birçok metal, kaynak edilmektedir.

1.2.6.3. Tungsten Inert Gaz Kaynak Donanımı

TIG kaynak donanımı aşağıda belirtilen teçhizatlardan meydana gelmektedir.

- Doğru ve alternatif akım kaynak üretici,
- Kaynak torcu ve kablo,

- Koruyucu gaz donanımı,
- Soğutma suyu takım tertibatı (gerekli hallerde),
- Kaynak kumanda düğme ve tertibatlarını barındıran pano,
- Kaynak şase kablosu,
- Kaynak elektrodu.

Gerekli görülmesi durumunda sistem içerisine farklı takım ve cihazlar eklenebilir.

1.2.6.3.1. Kaynak Akım Üreteci

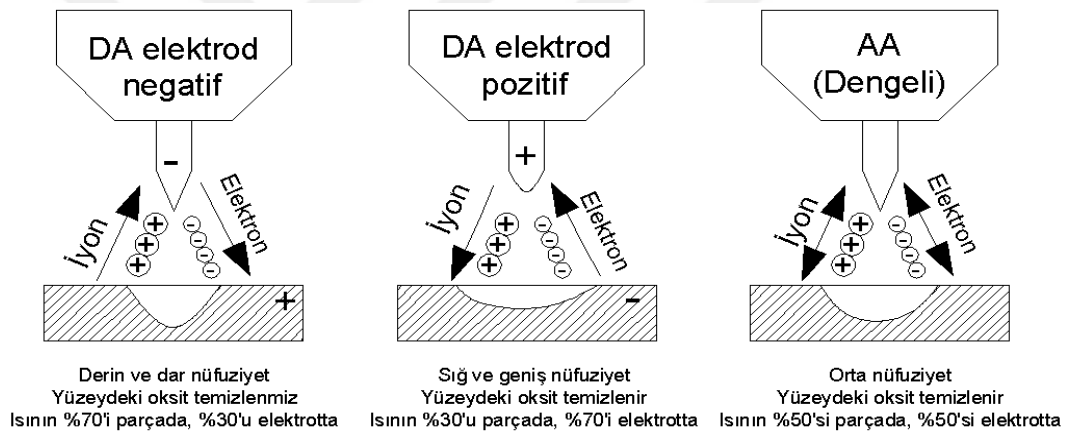
TIG kaynak yönteminde daha çok transformatör ve redresör tipi kaynak makineleri kullanılmaktadır. Bu makineler her iki akım yükü ile çalışabilme özelliğine sahip olmaları nedeniyle her türden metal ve alaşıma kaynak yapabilmek mümkündür. TIG kaynağında kullanılan kaynak makineleri düşey karakteristikte (sabit akım) akım-gerilim özelliğine sahiptir. Bu kaynak yönteminde elektrik ark kaynağına kıyasla devrede kalma süresi çok daha kısa olduğundan uygun akım üreteçleri seçimi çok önemlidir [5, 9].

TIG kaynak yönteminde tüm metallere kaynak yapılabilindiğinden yeni tasarlanan kaynak makineleri hem alternatif akımı hem de doğru akımı üretebilecek türdedir. Yapılan çalışmalarla birlikte inverter TIG kaynak makineleri hem hafif hem de kararlı ark oluşturdıkları için kaynaklı birleştirme işlemleri yapan kaynakçılar tarafından çokça tercih edilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar ile birlikte darbeli akım yöntemleri geliştirilmiş ve ince kesitli parçaların kaynaklarında çarpılmaları azaltan kaynaklar bu makineler ile yapılabilmektedir. Bu makinelerin özelliği kaynak akımını ayarlanabilen frekansta alt ve üst değerler arasında değiştirerek ısı girdisini minimumda tutmaktadır [5, 9].

TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen metallerden bakırın kaynağında doğru akım, alüminyum ve magnezyum metallerinin kaynağında ise alternatif akım kullanılır. Genelde de TIG kaynağında birleştirme işlemleri doğru akımda yapılmaktadır. TIG kaynak işlemlerinde akım şiddetlerine bağlı olarak pozitif ve negatif kutup vardır. Bunlardan negatif kutup soğuk kutuptur ve pozitif kutup yerine kullanılması halinde akım yüklenebilirliği negatif kutupta daha fazla olup, tungsten

elektrodun da ömrü, bu kutupta, daha uzun olmaktadır. Ters kutuplama halinde ise elektrod fazla ısınmakta ve akım şiddeti zayıflamaktadır. Böyle bir durumda hafif metaller ve ince kesitli parçalar kaynak edilebilir [5, 9].

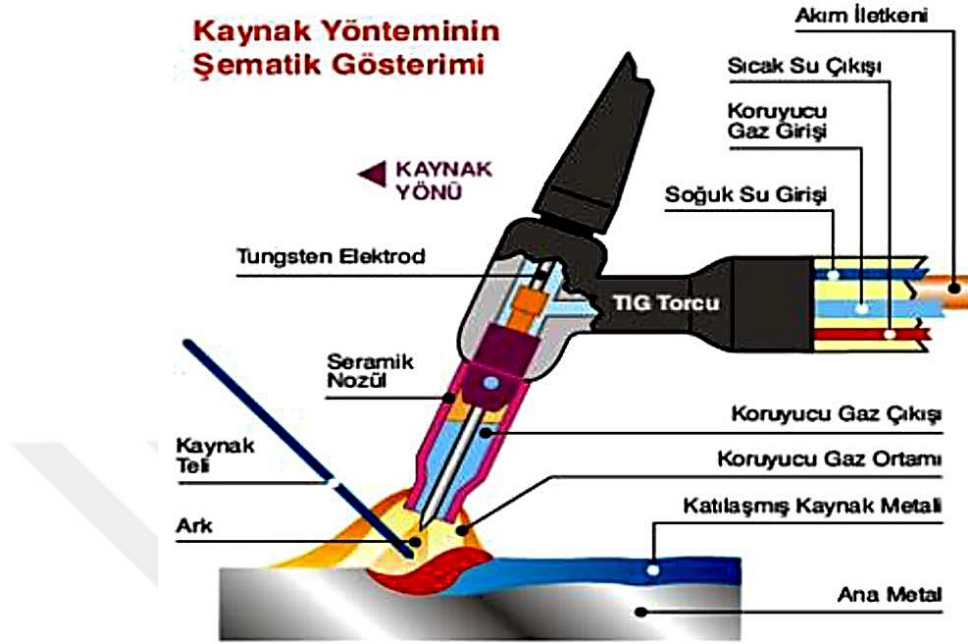
TIG kaynağıyla, çok yüksek sıcaklıkta ergiyen oksit tabakası bulunan metallerin kaynaklarında, metal yüzeyinde bulunan oksit tabakası kaynak banyosunda akma olmasına ve kaynaklı birleşmenin yapılmasını engeller. Özellikle 2050 °C’de ergiyen alüminyum oksit (Al_2O_3) alüminyum metalinin kaynağında görülen bir oksittir. TIG kaynağında arkta oluşan yük taşıyıcılar oksit tabakasını ortamdan uzaklaştırmaktadır. Bu yük taşıyıcılar elektronlar ile onların ayrışmasından oluşan pozitif gaz iyonlarından meydana gelmektedir.



Şekil 1.9 Arkta oluşan yük taşıyıcıların hareketi [5]

1.2.6.3.2. Kaynak Torcu ve Kablosu

Koruyucu gaz kaynak işlemlerinde kaynak için gerekli olan ısı ile koruyucu gazı kaynak banyosuna aktaran aparata kaynak torcu denir. Torç kaynakçı tarafından ya da robotik bir kol yardımı ile kontrol edilir. Kaynak için gerekli olan elektrik enerjisi torç içerisinde bulunan kontak meme vasıtasıyla ergimeyen tungsten elektroda aktarılır. Ayrıca torç ucuna takılı olan porselen nozulun kılavuzluğunda kaynak banyosuna koruyucu gaz verilir. İmal edilmiş olan torçlar TIG kaynağı için üretilmiş olan elektrodları tutabilmelidir.



Şekil 1.10 TIG kaynak torcu [12]

1.2.6.3.3. Elektrod Tutucusu

Elektrodu torca bağlayan ve kaynak akımını elektroda ileten, TIG kaynak elektrodunu çepeçevre saran, aynı zamanda elektrod yüksüğü olarak da bilinen ve üzerinde boylamasına kanallar bulunan takıma elektrod tutucusu denir. Elektrod tutucuları genellikle bakırdan üretilir ve iç çapları elektrodu tam tutacak şekilde tasarlanır. Fakat yüksek sıcaklıklara çıkacak kaynaklarda krom-nikel alaşımlı tutucular da kullanılabilir [5].

1.2.6.3.4. Elektrod Tutucusu Kovanı

Elektrod tutucusunun içine girdiği ve kendi somunu ile torç gövdesine tespit edilen özel bir torç takımıdır. Genellikle bakırdan imal edilir ve elektrod tutucusunu sıkıştırma görevi yanında gaz difüzörü görevi görerek kaynak kablosundan gelen gazın dağıtımını yapar [5].

1.2.6.3.5. İzolasyon Halkası/Adaptör

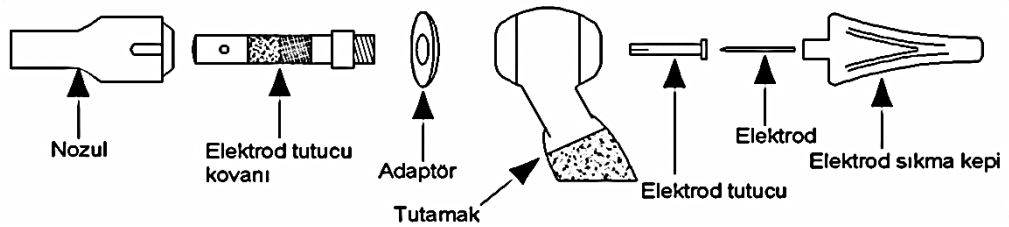
Boyun ile ısınan nozul arasında yalıtkan bir conta görevi görerek nozulun sıcaklığının boyuna iletilmesini engeller. Ayrıca nozulları sabitlemek için de kullanılırlar. Eğer standart nozul kullanılırsa izolasyon halkası, göz lensli nozul kullanılırsa adaptör kullanılır [5].

1.2.6.3.6. Nozul

Torcun ucuna takılan ve koruyucu gazın kaynak banyosuna kontrollü bir şekilde iletimini sağlayan, kullanım yerine göre dar ağızlı ya da geniş ağızlı imal edilen torç takımıdır. Gaz nozulları bakır, seramik ve şeffaf camdan imal edilir. Eğer yüksek akım şiddeti ve su soğutmalı bir torç kullanılıyorsa bakır nozul kullanılabilir. Kaynak bölgesinin görülmesi ve kaynağın takibi için şeffaf cam nozullar kullanılır. Bunlara nispeten ucuz olan seramik nozullar da vardır ve bu nozullar çapraz ateşlemeye meydan vermezler. Kullanılan bu nozulların çapları koruyucu gaz debisine göre artmakta ya da azalmaktadır [5].

1.2.6.3.7. Elektrod Sıkma Kepi

Kullanım alanına ve modeline göre farklılıklar gösteren bu takımlar kaynak elektrodunu sıkamak amacıyla kullanılırlar. Bu takımlar torcun modeline göre de farklılıklar göstermektedir [5].



Şekil 1.11 TIG kaynak torcu kısımları [5]

TIG kaynağında kullanılan torçlar kullanım işine ve türüne göre farklı boyut ve biçimde olabilir. Ayrıca su soğutmalı ve su soğutmasız olarak da imal edilebilir. Bunların da 100 ampere kadar olanları su soğutmasız olarak, 100 amperden yüksek akım şiddetlerinde kullanılacak olanları ise su soğutma sistemli olması tavsiye edilir.

1.2.6.3.8. Koruyucu Gaz Donanımı

Koruyucu gazlar TIG kaynak yönteminde kaynak banyosunu havanın zararlı etkilerinden korumak amacıyla kullanılır. Kullanılan bu koruyucu gazlar, asal gazlar ile bunlardan elde edilen karışımlardır. Koruyucu gaz donanımı, TIG kaynağında kullanılan gazları basınçlı tüplerden alıp kaynak bölgesine ileten borular ile tüplerin gaz çıkış kısmında bulunan manometrelerden oluşmaktadır.

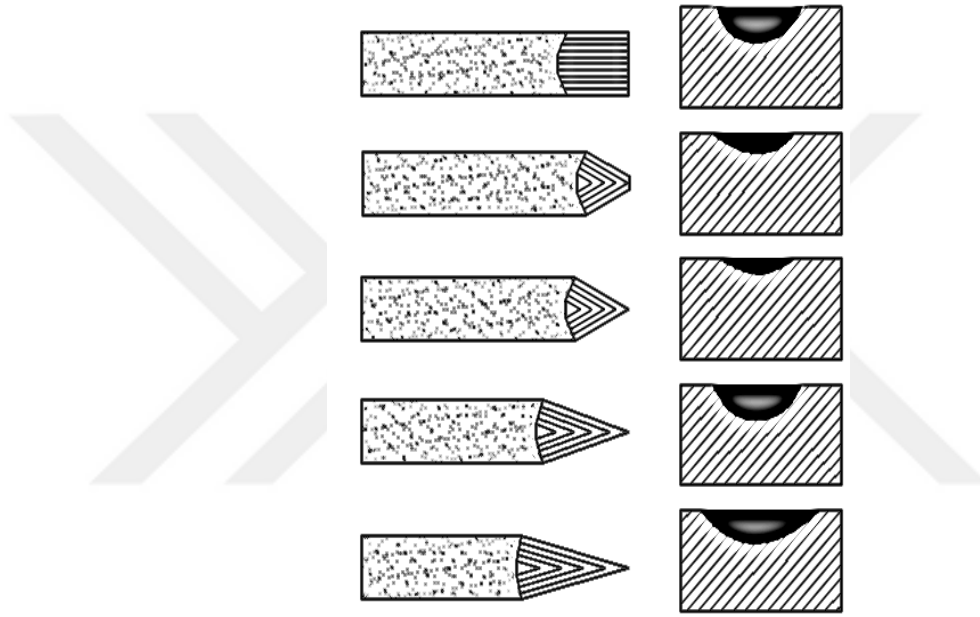
1.2.6.3.9. Kaynak Elektrodu

Kaynak işlemi boyunca ergimeyen ve kaynaklı birleştirme yapılan malzemelerin ergitilmesi işlemini gören ve yaklaşık ergime derecesi 3400 °C olan tungsten elektrodlar kullanılır. Bu elektrodlar yüksek sıcaklıkta ergimelerinin yanı sıra iyi de bir elektron yayıcı özelliğe sahiptir. Günümüzde yaklaşık olarak %99.5 saflıkta tungsten elektrodlar kaynak işleminde kullanılmaktadır.

Çizelge 1.1 AWS A5.12 ve DIN 32528'e göre TIG kaynak elektrodları [5]

Elektrod	Sembolü	Oksit içeriği (%)	Katışıklar (%)	Renk kodu
Saf	W	-	<0.20	Yeşil
Toryum oksit	WT 10	0.90-1.20 ThO ₂	<0.20	Sarı
Toryum oksit	WT 20	1.80-2.20 ThO ₂	<0.20	Kırmızı
Toryum oksit	WT 30	2.80-3.20 ThO ₂	<0.20	Leylak
Toryum oksit	WT 40	3.80-4.20 ThO ₂	<0.20	Portakal
Zirkonyum oksit	WZ 4	0.30-0.50 ZrO ₂	<0.20	Kahverengi
Zirkonyum oksit	WZ 8	0.70-0.90 ZrO ₂	<0.20	Beyaz
Lantan oksit	WL 10	0.90-1.20 LaO ₂	<0.20	Siyah
Seryum oksit	WC 20	1.80-2.20 CeO ₂	<0.20	Gri

TIG kaynağında alternatif akım kullanıldığında saf tungsten elektrod kullanılırken, doğru akımlı birleştirmelerde toryum oksit, zirkonyum oksit ve tantalyum oksit elektrodlar kullanılır. Kullanılan bu elektrodlar kaynak anında meydana gelen ısıdan dolayı konikliğini kaybedebilir ve üzerinde topaklaşma görülebilir. Böyle bir durumda bilenmeleri ve tekrar konik hale getirilmeleri gerekir. Bunun için taşlama makineleri kullanarak elektrodlar dik bir şekilde bilenmelidir.



Şekil 1.12 Elektrod bileme açısına göre meydana gelen nüfuziyetler [12]

TIG kaynak uygulamalarında kullanılacak elektrodlar akım türü ve şiddetine göre seçilmelidir. Elektrod çapları DIN 32528' e göre şöyledir: 0.5, 1.0, 1.6, 2.0, 2.4, 3.0, 3.2, 4.0, 5.0, 6.0, 6.4, 8.0 ve 12 mm çaplarında ve 50, 75, 150 ve 175 mm uzunluklarında tespit edilmiştir [5].

Kaynaklı birleştirme anında kullanılan elektrodun belirli kısmının gaz nozulundan dışarıda olması istenir. Bu durum için geçerli olan miktar, nozul ucundan elektrod ucuna kadar olan ölçü için elektrod çapının 1 ya da 2 katı kadar gaz nozulundan dışarıya çıkmış olmasıdır.

TIG kaynağında, kaynak elektrodlarının tutuşturulması önem arz eden bir konudur. Arkın oluşumu TIG kaynağında yaklaşık olarak iş parçası ile elektrod arasındaki 3 mm mesafede olabilir. Bu durum için arada kalan mesafenin elektriksel

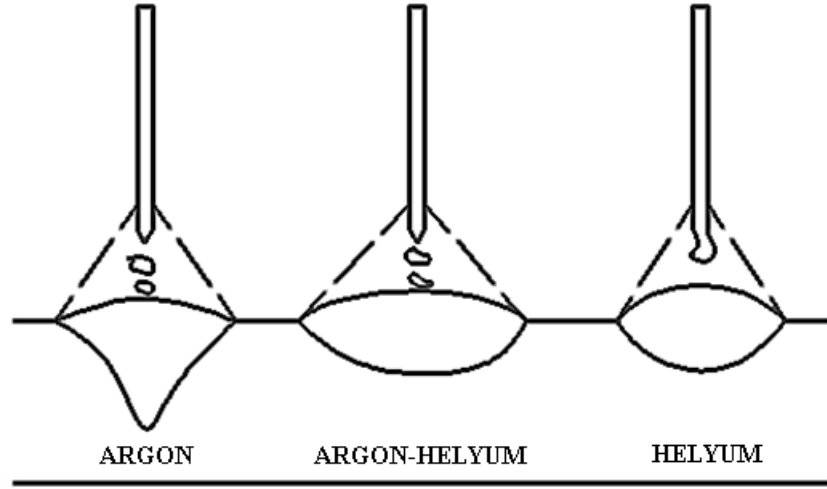
anlamda iletken olması gerekir. Bunun için yüksek sıcaklık ile birlikte koruyucu gazında iletken olması gerekmektedir. Böyle bir tutuşma için de yüksek frekanslı ya da yüksek gerilim uyarı etkili cihazlar varsa elektrod iş parçasına temas ettirilmeden arkın oluşturulması mümkün olur. Eğer bahsedilen özellikte bir makine yok ise elektrod iş parçasına kısa süreli dokundurularak da ark oluşturulabilir [5, 9].

1.2.6.3.10. Koruyucu Gazlar

Kaynak bölgesini atmosferin zararlı etkilerinden koruyan ve kaynak banyosunu örten, TIG kaynak yönteminde kullanılan asal gazlara koruyucu gazlar denir. Bu gazlar argon, helyum ve bunlar ile birlikte kullanılan karışım gazlarıdır. Kullanılan koruyucu gazlar, kaynak anında ergimiş kaynak metali ve kızgın haldeki tungsten elektrod ile herhangi bir tepkimeye girmemeleri tercih nedenidir. Kullanılacak kaynak metali, akım türü, elektrod cinsi gibi değişkenlere göre koruyucu gazlar seçilmektedir.

Çizelge 1.2 Metal ve alaşımların kaynaklarında kullanılan parametreler [5]

Metal	Et Kalınlığı	Akım Türü	Elektrod Türü	Koruyucu Gaz
Alüminyum	Tüm Kalınlıklar Kalın Parçalar İnce Parçalar	AA DAEN DAEP	W veya WT WT WT ve WZ	Ar veya Ar-He Ar-He veya Ar Ar
Bakır ve Alaşımları	Tüm Kalınlıklar İnce Parçalar	DAEN AA	WT W veya WZ	Ar veya Ar-He Ar
Magnezyum Alaşımları	Tüm Kalınlıklar İnce Parçalar	AA DAEP	W veya WZ WZ veya WT	Ar Ar
Nikel ve Alaşımları	Tüm Kalınlıklar	DAEN	WT	Ar
Az Karbonlu Az Alaşımlı Çelik	Tüm Kalınlıklar İnce Parçalar	DAEN AA	WT W veya WZ	Ar veya Ar-He Ar
Paslanmaz Çelik	Tüm Kalınlıklar İnce Parçalar	DAEN AA	WT W veya WZ	Ar veya Ar-He Ar
Titanyum	Tüm kalınlıklar	DAEN	WT	Ar



Şekil 1.13 Koruyucu gazların TIG kaynağında nüfuziyeti etkileri [12]

1.2.6.4. Tungsten Inert Gaz Kaynağının Uygulama Alanları

Genellikle hafif metallerin birleştirilmesinde kullanılmakta olan TIG kaynağı farklı büyüklüklerde torçlarla birlikte kalın kesitli malzemelerin de kaynağında kullanılmaktadır. Her pozisyonda uygulanabilir ve kaynak kabiliyeti zayıf metaller olan yüksek miktarda çinko içeren bronzlar, titanyum alaşımları, zirkonyum ve uranyum metallerinin de kaynağında kullanılabilir. Bunun yanında TIG kaynağı aşağıdaki uygulama alanlarında da kullanılmaktadır;

- Alüminyum konstrüksiyonlar ve mutfak eşyaları ile boru tesisatları,
- Kimya ve gıda sanayiinde kullanılan takımlar-cihazlar, paslanmaz çelikler, buhar türbinleri, eşanjörler, yakıt tankları,
- Deokside edilmiş bakır ve alaşımları,
- Sübap oturma yüzeyleri,
- Dövülmüş-kalıplanmış-preslenmiş saclar,
- Çinko kaplı saclar, atom reaktörleri,
- Farklı türdeki metallerin birleştirilmesinde, iş ve işlemlerinde kullanılır [5].



Şekil 1.14 TIG kaynak işlemi [13]

1.2.6.5. Tungsten Inert Gaz Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

TIG kaynak yönteminin diğer kaynak yöntemlerine nispeten birçok üstünlüğü vardır. Bunlar şu şekilde özetlenebilir;

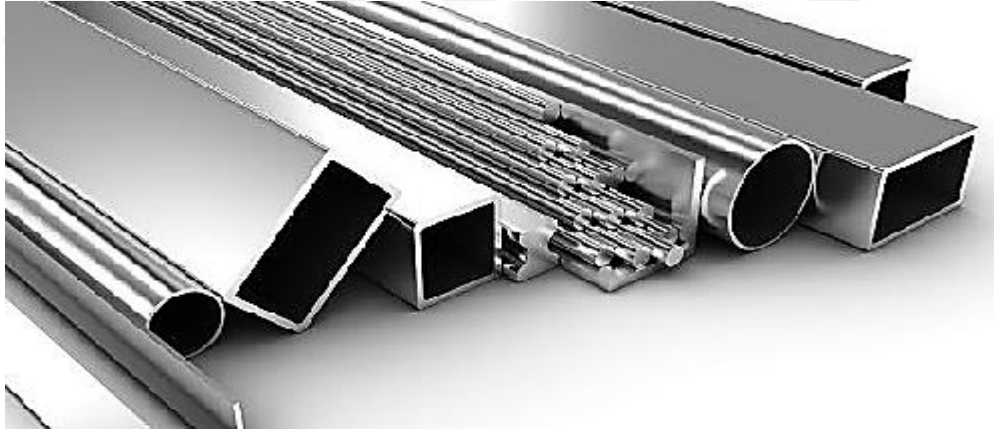
- Kaynak dikişlerine tesviye işlemine ihtiyaç yoktur,
- Kısa bir alanda ITAB oluştuğundan çarpılma, çekme oluşmaz,
- Farklı metallerin ve alaşımların kaynağı yapılabilir,
- Kaynak yöntemi kolayca mekanize olabilir,
- Bütün metal ve alaşımları bu yöntem ile kaynaklı birleştirilebilir,
- Tüm pozisyonlarda tatbik edilmesi mümkündür,
- Kaynak bölgesini temizlemek için ilave dekapana ihtiyaç yoktur.

Bu yöntemin avantajları yanında dezavantajları da şu şekilde sıralanabilir;

- Kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik olmayabilir,
- Metal yığılma hızı diğer yöntemlere nispeten düşüktür,
- Tecrübe isteyen bir kaynak tekniğidir,
- İyi bir kaynak kalitesi için kaynak bölgesi ve elektrod iyi temizlenmelidir [5].

1.3. Paslanmaz Çelikler

Günümüz şartlarında mühendislik uygulamalarında ihtiyaçları karşılayabilmek için birçok malzeme kullanılmaktadır. Kullanılan bu malzemelerin, ihtiyaca göre iyi iletken, sertlikleri kabul edilebilir, mükemmel tokluk, yüksek mukavemet, kaynaklanabilirliklerinin iyi olması ve korozyona karşı dayanımlarının yüksek olması tercih edilme nedenlerinden bazılarıdır. Bu gibi durumlar için birçok malzeme saymak mümkündür. Sayılacak bu malzemelerden korozyona karşı direnci en iyi olanı ise paslanmaz çeliklerdir. İlk olarak tüfek namlularına dayanımlarını arttırması için 1913 yılında çeşitli elementleri ilave eden Harry Brearley belli bir süre sonra krom ilavesi yaptığı çeliklerin diğerlerine nispeten korozyona daha dirençli olduklarını görür. Amerika ile Fransa’da yapılan çalışmalar ile bu çelik türü günümüz şartlarında kullanılan, yabancı literatürde ızsız, lekesiz çelik anlamına gelen “stainless steel” paslanmaz çelikler üretimine başlanır.



Şekil 1.15 Farklı kesitlerdeki paslanmaz çelik mamuller

Paslanmaz çelik içeriğinde en az %12 oranında krom bulunduran çeliklere verilen genel isimdir [14]. Bu çeliklerin genel olarak demir-krom, demir-krom-karbon ve demir-krom-nikel-karbon elementlerinden meydana gelmiş çeşitli türleri mevcuttur [6]. Bunların yanında içeriklerini zenginleştirmek ve korozyona karşı dayanımlarını artırmak, farklı mekanik ve fiziksel özellikler kazandırmak amacıyla paslanmaz çeliklerin içerisine farklı elementler de ilave edilebilir. Temelde

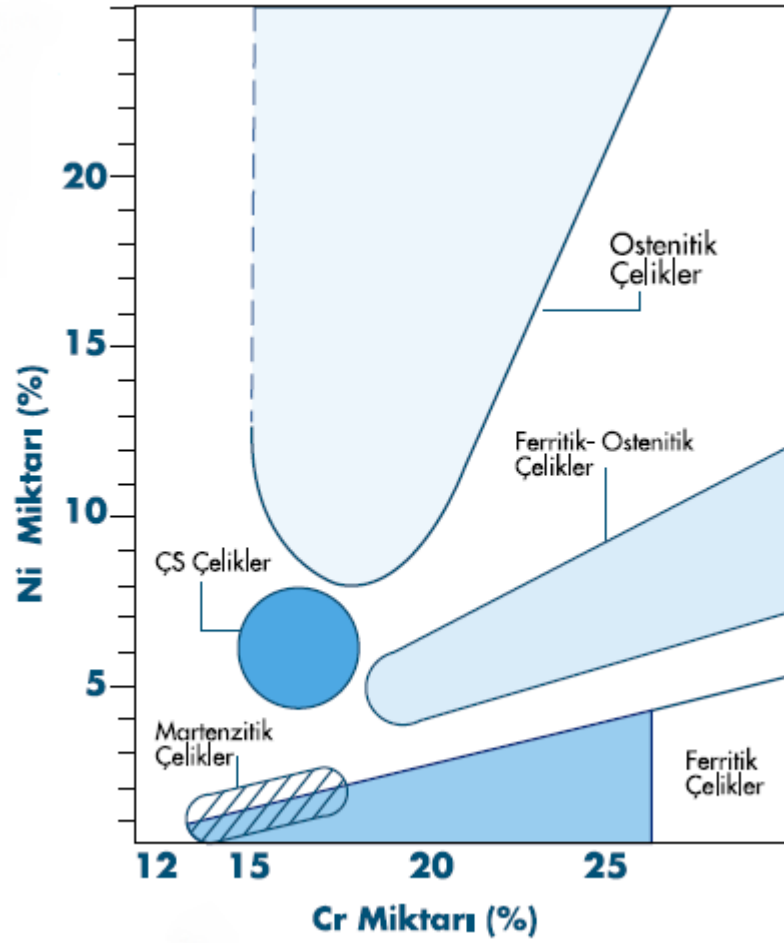
paslanmaz çelikler kolaylıkla korozyona uğramaktadır ki bu durum hemen fark edilebilir. Yüzeyi parlatılmış bir paslanmaz çeliğin belirli bir zaman sonra parlak yüzeyinin yerini daha mat, donuk veya soluk bir yüzey alacaktır. Bu durumun yaşanması paslanmaz çelikler için normaldir. Çünkü paslanmaz çeliklere korozyona karşı dayanım arttırıcı özelliği kazandıran bu matlaşma anında yüzeyde oluşan, kimyasal tepkimelere karşı pasiflik veren krom oksit (Cr_2O_3) filmidir. Oluşan krom oksit filmi 1-10 μm kalınlığındadır. Çelik yüzeyinde oluşan bu ince tabaka malzemenin uzun süre korozyon aşınma göstermeden kullanılabilmesine imkân vermekte ve korozyona pasif bir metal ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Fakat bu durum yüzeyin ileride oksitlenmeyeceği anlamına gelmez. Paslanmaz çeliklerde mümkün oldukça karbon miktarını asgaride tutup, krom ve nikel gibi elementlerin miktarlarının arttırılması gerekmektedir [6].

Adi karbonlu bir çeliğe krom ilavesi ile paslanmaz çelik elde edilebilir fakat üretilen bu malzemenin korozyona karşı mükemmel bir direnci olsa da mühendislik uygulamalarında, gelişen endüstri ile birlikte, sadece bir özellik için malzeme temini kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Bunun için de paslanmaz çeliklere farklı alaşım elementleri ilave edilerek mekanik, fiziksel ve kaynaklanabilirlik özelliklerinde iyileştirmeler yapılmaktadır. Gittikçe kullanım alanı genişleyen paslanmaz çeliklerin özelliklerinde yapılan iyileştirmeler her geçen gün artmaktadır.



Şekil 1.16 Paslanmaz çelikten imal edilmiş sıvı taşıyıcı depolar

Üretimi iyi bir bilgi birikimi gerektiren paslanmaz çeliklerin imalatına elektrik ark ocaklarına yüklenen çelik hurdası, ferrokrom, nikel, molibden ve paslanmaz çelik hurdası ile başlanır. Ergitilen bu malzemeler argon-oksijen-karbon giderme işlemine tabi tutularak üretimleri gerçekleştirilir. Bu işlemde karbon miktarı azaltılan ve kükürdü giderilen eriyik ürüne döküm potasından dökülmeden önce ihtiyaç hasıl olursa gerekli elementler eklenir ve homojenleşmesi için argon gazı üflenerek üretimi gerçekleştirilir. Paslanmaz çelikler krom ve nikel miktarları dikkate alınarak sınıflara ayrılır. Krom miktarı fazla olanlar ferritik, nikel miktarı fazla olanlar östenitik olarak adlandırılır. Bu çeliklerde bazı durumlarda karbon miktarının beklenenden fazla olabilir. Böyle bir durumda meydana gelebilecek olan krom karbür çökeltileri tane sınırlarında yuvalanarak malzemede taneler arası korozyona neden olmaktadır [6].



Şekil 1.17 Paslanmaz çelikler için Cr ve Ni oranları [15]

Kullanım alanı hızla artan paslanmaz çelikler inşaat sektöründe, imalat endüstrisinde, kara-hava-deniz ulaşımlarında, mutfak aletleri yapımında, ısıtma sistemlerinde, asit tankları ve taşıyıcıları yapımında, tıp sektöründe, gıda hizmetlerinde, kesici el aletleri imalatı vb. iş ve kollarında yaygın olarak tercih edilmektedir.

Günlük ihtiyaçları karşılamada insanların en yakınında olan paslanmaz çelikler beş ana gruba ayrılarak incelenebilirler. Bunlar; östenitik paslanmaz çelik, martenzitik paslanmaz çelik, dupleks paslanmaz çelik, çökelti sertleştirilmiş paslanmaz çelik ve ferritik paslanmaz çeliktir.

Çizelge 1.3 Paslanmaz çelik türleri standartları [15]

ASTM	EN No.	EN Sembol	UNS	BS	JIS	NF	SIS
Ferritik Paslanmaz Çelikler							
409	1.4512	X 2 CrTi 12	S40900	409 S 19	SUS 409	Z 3 CT 12	
430	1.4016	X 6 Cr 17	S43000	430 S 17	SUS 430	Z 8 C 17	2320
439 (430Ti)	1.4510	X 3 CrTi 17	S43900		SUS 430 LX	Z 4 CT 17	
Martenzitik Paslanmaz Çelikler							
410	1.4006	X 10 Cr 13	S41000	410 S 21	SUS 410	Z 10 C 13	2302
420	1.4021	X 20 Cr 13		420 S 37	SUS 420 J 1	Z 20 C 13	2303
	1.4028	X 33 Cr 13	S42000	420 S 45	SUS 420 J 2	Z 33 C 14	2304
440C	1.4125	X 105 CrMo 17	S44004		SUS 440C	Z 100 CD17	
Dublex Paslanmaz Çelikler							
2205	1.4462	X 2 CrNiMoN 22-5-3	S31803	318 S13	329 J3L	Z 3 CND 22-05 Az	2377
329	1.4460	X 4 CrNiMoN 27-5-2	S32900		SUS 329J1	Z 5 CND 27-05 Az	2324
Östenitik Paslanmaz Çelikler							
301	1.4310	X 12 CrNi 17-7	S30400	301 S 21	SUS 301	Z 11 CN 18-08	2331
304	1.4301	X 12 CrNi 18-10	S30400	304 S 31	SUS 304	Z 7 CN 18-09	
304L	1.4306	X 12 CrNi 19-11	S30403	304 S 11	SUS 304 L	Z 3 CN 18-10	2352
	1.4307	X 12 CrNi 18-9					2352
304LN	1.4311	X 12 CrNiN 18-10	S30453	304 S 61	SUS 304 L	Z3 CN 18-10 AZ	2371
309	1.4828	X 12 CrNiSi 20*12	S30900	304 S 24	SUS 309	Z 17 CNS 20-12	
309S	1.4833	X 12 CrNi 24-12	S30908	309S16	SUS 309 S	Z15 CN 24-13	
310	1.4841	X 15 CrNiSi 25-10	S31000	314 S 24	SUS 310	Z 15 CNS 25-20	
310S	1.4845	X 12 CrNi 25-21	S31008	310 S 16	SUS 310 S	Z 8 CN 25-20	2361
316	1.4401	X 5 CrNiMo 17-12-2	S31600	316 S 31	SUS 316	Z 7 CND 17-11-02	2347
	1.4436	X 5 CrNiMo 17-13-3		316 S 33		Z 7 CND 18-12-03	2343
316L	1.4404	X 5 CrNiMo 17-12-2	S31603	316 S 11	SUS 316 L	Z 3 CND 17-12-02	2348
	1.4432	X 5 CrNiMo 17-12-3		316 S 13		Z 3 CND 17-12-03	2353
	1.4435	X 1 CrNiMoTi 18-14-3		316 S 13		Z 3 CND 17-11 Az	2353
316LN	1.4406	X 2 CrNiMoTi 17-11-2	S31653	316 S 61	SUS 316 LN	Z 6 CNDT 17-12	2375
316Ti	1.4571	X 6 CrNiMoTi 17-12-2	S31636	320 S 31	SUS 316 Ti	ZH CNT 18-10	2350
321	1.4541	X 6 CrNiTi 18-10	S32100	321 S 31	SUS 321	Z 6 CNNb18-10	2337
347	1.4550	X 6 CrNiTiB 18-10	S34700	347 S 31	SUS 347		2338
Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilir Paslanmaz Çelikler							
631	1.4568	X 7 CrNiAl 17-7	S17700	301 S 81	SUS 631	Z 9 CNA 17-7	2388

1.3.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler

İçeriğinde krom, nikel ve molibden bulunduran bu çelik oda sıcaklığında östenitik içyapıya sahip olması nedeniyle bu isimle anılmaktadır. İçeriğinde bulundurduğu krom ve nikel oranlarının toplamı %23 civarında bulunan bu çelikler ısıtıl işlem ile sertleştirilememekte ve yüksek sıcaklıkta iyi mekanik özellikleri

bulunmaktadır [16]. Östenitik paslanmaz çelikler %16-26 arası Cr, %35'e kadar Ni ve %20'ye kadar da Mn içermektedirler [6]. ABD'de üretilen paslanmaz çeliklerin %70'e yakınıni sağlayan östenitik paslanmaz çelikler korozyona dirençli oluşları, tercih edilme nedeni olarak gösterilebilir [14].

Kullanım ve ihtiyaç durumlarına göre östenitik paslanmaz çelikler çeşitli gruplara ayrılmaktadır. Paslanmaz çelikler içerisinde 3XX serisi içerisinde tanımlanmış olup bu seri içerisinde en yaygın kullanılanları 302 ile 304 serisidir. 304 serisine yüksek sıcaklık dayanımını arttırmak amacıyla %2 oranında molibden ilave edilerek 316 serisi östenitik paslanmaz çelik üretilebilir. Ayrıca bu çeliğin krom karbür çökmesini önlemek için ve kaynaklı imalatı gerektiren uygulamalarda kullanımlarını artırmak için karbon miktarı asgariye indirildiğinde 316 L östenitik paslanmaz çeliği üretilmiş olur. Burada "L" İngilizce "Low" kelimesini karşılamakta olup karbon miktarının az olduğu anlamında kullanılır [14].



Şekil 1.18 Östenitik paslanmaz çelikten imal edilmiş ürünler

Östenitik paslanmaz çeliğin kristal kafes yapısı içerisinde bulunan kristal kusurlar sebebiyle buralara yuvalanan azot elementi östenitin mukavemetini arttırmaktadır. Tavlanmış halde bulunan türünün akma dayanımı 200-275 MPa civarlarında görülürken, azot içeriği yüksek olan türünde ise bu değer 500 MPa civarında görülebilir [6]. İçeriğinde bulunan nikel elementi bu çeliğin her türlü şartta ve ısıtılma işlemde morfolojisinin YMK östenitte kalmasını sağlar. Ayrıca nikel ek olarak ilave edilecek olan mangan, karbon ve azot elementleri YMK yapının bozulmadan kalmasına etki etmiş olur [6, 14]. Fakat bunlar arasında karbon her ne kadar östenit artırıcı görülse de karbür oluşturunca olarak etki edeceğinden içeriğe ilave edilmesinden kaçınılmalıdır. Bu çeliklerin içerdiği alaşım elementine göre kullanım alanları farklılık gösterir. Özellikle yüksek oranlarda Ni içeren türleri asidik ortamlarda, 309-310 türleri yüksek sıcaklıklar, 316 ve 317 türleri klorürlü şartlarda tercih edilmektedir.

Bu çeliklerin ısıtılma işlem ile sertleştirilemediği bilinmektedir. Bu malzemeler soğuk deformasyon anında pekileşerek sertleşme eğilimi gösterirler. Fakat bu çelikler böyle bir durumda oda sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda krom ve nikel içeriğinden dolayı termodinamik olarak kararlı olmayan östenit, çeliğin deforme edilmesi anında bir miktar martenzite dönüşebilir [14]. Ayrıca alaşımlama yöntemi ile karbon ve azottan yararlanarak sertleştirme yapılabilir.

Kaynak yapılırken östenitik paslanmaz çeliklerde $t_{850/500}$ sıcaklık aralığında yavaş bir geçiş sağlanırsa tane sınırlarına krom karbür çökmesi kaçınılmaz olur. Bunun için mutlak suretle bu sıcaklık aralığı hızlı geçilmelidir. Hızlı soğutma ve düşük karbonlu çelikler seçilerek birleştirme yapılabilir [14].

1.3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

%11-18 oranında krom ihtiva eden bu paslanmaz çeliklerin en önemli özelliği su verme sertleştirilmesi ile morfolojilerinin martenzite dönüştürülmesidir [16]. Martenzitik paslanmaz çeliklere yapılacak olan sertleştirme işlemlerinin en önemli etkileyicisi karbon elementidir. İçeriğinde %1.2 oranına kadar çıkabilecek olan karbon, sertlik ve mukavemet ile martenzit artışı sağlamaktadır [6, 16]. Kaynak

kabiliyeti düşük, orta derecede korozyon direncine sahip, ısıtma işlemi ile sertleştirilebilen bu çelikler ayrıca manyetik özelliğe sahip olup kesici takım, bıçak ve çeşitli mil, pim yapımında kullanılır [6].



Şekil 1.19 Martenzitik paslanmaz çelikten imal edilmiş Sürmene bıçağı

422 martenzitik paslanmaz çelik serisine içeriğindeki karbon sebebiyle tane sınırlarında krom karbür çökmesini engellemesi için molibden ilave edilmektedir. Nikel, 414 ile 431 serisine tane sınırı korozyonunu önlemek ve mekanik özellikleri iyileştirmek için ilave edilir. Fakat bu çelik içerisine katılacak olan elementlerin miktarı sınırlı tutulmalıdır. Aksi durumda karbon gibi elementler M_s sıcaklığını düşürür ve martenzitik paslanmaz çeliğin mikroyapısında normal kullanım şartlarında bir miktar östenit kalabilir. Kullanım durumlarına göre 410 serisi türbin, karbon oranı yüksek olan 440 serisi makas, bıçak, yay, dişli ve cerrahi ürünlerin imalatında kullanılmaktadır [6, 14].

Martenzitik paslanmaz çeliklerin ısıtma işlemi ile sertlik, tokluk, akma dayanımı gibi mekanik özelliklerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Bu çeliklerin sertleştirilmesi aşamasında yaklaşık olarak 1000–1100 °C sıcaklıklar arasında yapılan tavlama işlemi sonucunda, tam östenitleştirme yapıldıktan sonra hızlı soğuma ile mikroyapıları martenzite dönüştürülerek kullanılabilir. Soğutma işlemleri karbon miktarına bağlı olarak suda, yağda, hava-azot karışımlı kum havuzunda ve açık havada yapılabilir. Yapılan ısıtma işlemi sonucunda sertlikleri 60-65 HR civarında olmaktadır. Fakat bu halleri ile gevrek (kırılgan) bir yapıya sahip olan martenzitik paslanmaz çeliklerde tokluğu arttırmak ve iç gerilmeleri azaltmak için menevişleme

yapılmaktadır. 200-300 °C’de yapılan bu işlem ile içyapı rahatlatılmaktadır. Menevişleme sonucunda bu çeliklerde karbür çökelmeleri nedeniyle korozyon direncinde az miktarda bir azalma görülebilir [16].



Şekil 1.20 Martenzitik paslanmaz çeliğin ısıtılması

Mekanik özellikleri martenzitik paslanmaz çeliklerin ısıtılması ile geliştirilebildiği gibi niyobyum, molibden ve tungsten alaşım elementleri ile de mekanik özellikleri geliştirilebilir. Bu çeliklerin yapılan ısıtma işlemleri sonucunda mükemmel bir aşınma dayanımı gösterdikleri ve 1900 MPa akma dayanıma ulaştıkları görülür.

1.3.3. Çökelti Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler

Artan ihtiyaçlar için 1940'lı yıllarda geliştirilen paslanmaz çelik türüdür. İyi bir korozyon direncine sahip olan çökelti sertleştirilmiş paslanmaz çelikler, 585-795 MPa akma gerilmesine sahiptir. Kolay üretim, iyi süneklik ve yüksek dayanım göstermektedirler. Çökelti sertleştirilmiş paslanmaz çelikler martenzitik, östenitik ve yarı östenitik olmak üzere üç çeşit olarak belirlenmiştir. İçerisinde bulunan Cu, Nb, Mo, Ti, ve Al gibi alaşım elementlerinin kullanımı ile çökelti sertleştirmeli östenitik ve martenzitik yapı sağlanır. Bu çeliklerde yapılacak olan sertleştirme işlemi yaşlandırma ile gerçekleştirilmektedir. Yapılacak olan soğuk şekillendirme ve yaşlandırma ile akma mukavemetleri 1700 MPa'a kadar çıkabilir [6, 14].

Yarı östenitik tipe sahip olan çökelti sertleştirilmiş paslanmaz çelikler, termomekanik işlem ile martenzite dönüşebildiklerinde bu isimle anılırlar. Bu çeliklerin üretiminde östenit (γ) ile ferritin (α) dengesinin korunması gerekir. Aksi bir durumda birinin fazla olmasından dolayı östenitten martenzite dönüşüm sağlanamayacaktır. Bu çeliklerin farklı türleri mevcut olmakla birlikte 17-7 PH tipi, 301 östenitik paslanmaz çeliği ile benzer oranlarda Cr ile Ni bulundursa da çökelti sertleştirmesi için %1.2 oranında Al içermelidir. Burada çökelti sertleştirilmiş paslanmaz çelik östenitik yapı ile δ -ferritlerden meydana gelir. Bu durumda yaşlandırılmış çökelti sertleştirilmiş paslanmaz çelik östenitten martenzite dönüşüm için malzeme yüksek sıcaklığa kadar ısıtılır ve krom karbür (Cr_{23}C_6) olarak çökme olmadan üretilir. Çökelmeler başlangıçta östenit ile ferrit sınırlarında yuvalanırken artan soğuma ile östenitten belirli oranlarda Cr ve C uzaklaştırılması sonucunda kararsız hale gelen östenit M_s sıcaklığında martenzite dönüşür. Isıl işlemin uygulamasında son olarak bu çeliklerde 480-650 °C aralığında yaşlandırma işlemi yapılır [14].

Östenitik tipli çökelti sertleştirmeli paslanmaz çelikler martenzitik yapıya dönüştürülemedikleri için M_s sıcaklıkları düşüktür. Bu tiplerinin sertleştirilmesi intermetalik bileşiklerin östenitik martenzite dönüşümüyle birlikte sağlanabilir [6].

Çökelti sertleştirilmiş olarak üretilen paslanmaz çelikler günümüzde havacılık ve uzay, otomotiv, kimya, denizcilik endüstrisi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.3.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler

%18-28 oranlarında Cr ve %4.5-8 oranlarında Ni bulunduran paslanmaz çeliktir. Bu çelik tam ferrit ve tam östenit fazlarına oda sıcaklığında dönüşemedikleri için ve mikroyapılarında östenit ile ferriti bulundurmaları sebebiyle dupleks paslanmaz çelikler olarak adlandırılır. Bu çelikler ferrit ve östenit fazlarından meydana geldiklerinde ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin özelliklerini de gösterir.

Dupleks paslanmaz çeliklerin özelliklerine bakıldığında bunlar, ferritik çeliklerden daha tok olmalarına rağmen östenitik çeliklerden daha az tokluğa ama östenitik çeliklerden daha iyi bir mukavemete sahiptir. Gerilim korozyon dirençleri iyi olmasına rağmen ferritik paslanmaz çelikler kadar değildir. Ayrıca manyetik oluşları, kaynak kabiliyetlerinin iyi oluşu ve klorlu ortamlarda korozyon dirençlerinin iyi oluşu diğer özelliklerindendir [6, 14].

Bu çeliklerin içerisinde bulunan alaşım elementleri östenit ve ferrit oluşturuca olarak görev yapmaktadır. Bunların içerisinde Ni, C, N, Cu elementleri östenit yapıcıyken, Cr ve Mo ise ferrit yapıcı elementler olarak bilinir. Bu çelikler çift fazlı özellik sergileyen Fe, Cr ve Ni elementlerinden oluşmuş bir yapıdadır. İçeriğinde bulunan ferrit yapıcı elementlerin varlığına göre delta (δ) - ferrit meydana gelir. Bu çelikler bunların dışında farklı fazları oluşturmamaları için hızlıca soğutulmalıdır. Aksi halde krom karbürler (M_7C_3 ve $M_{23}C_6$) tane sınırlarına çökelerek kırılabilirlik oluşturur [6, 14].

1.3.5. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler oda sıcaklıklarında içyapılarının ferritik morfolojiye sahip hacim merkezli kübik kristal yapıya sahip α -Fe olmalarından

dolayı bu isimle anılmaktadır. Bu çelikler %12-30 oranlarında krom ve %0.12-0.20 karbon içerir. Martenzitik paslanmaz çeliklere nispetle az karbon içerir. Isıl işlemler ile sertleştirilemeyen bu çelikler manyetik özelliğe sahiptir. Gerilmeli korozyona karşı dirençleri iyidir fakat kaynaklarında görülen tane irileşmesi nedeniyle kaynak edilebilirlikleri diğer paslanmaz çeliklere göre daha zayıftır. Bu çelikler mühendislik tasarımlarında önemli bir yere sahiptir. Östenitik paslanmaz çeliklerden sonra en çok tercih edilen paslanmaz çeliklerdir. Korozyon dirençleri östenitik paslanmaz çeliklere benzer olan bu çelikler nikel içermemelerinden dolayı maliyetleri daha düşüktür [14, 16-19].

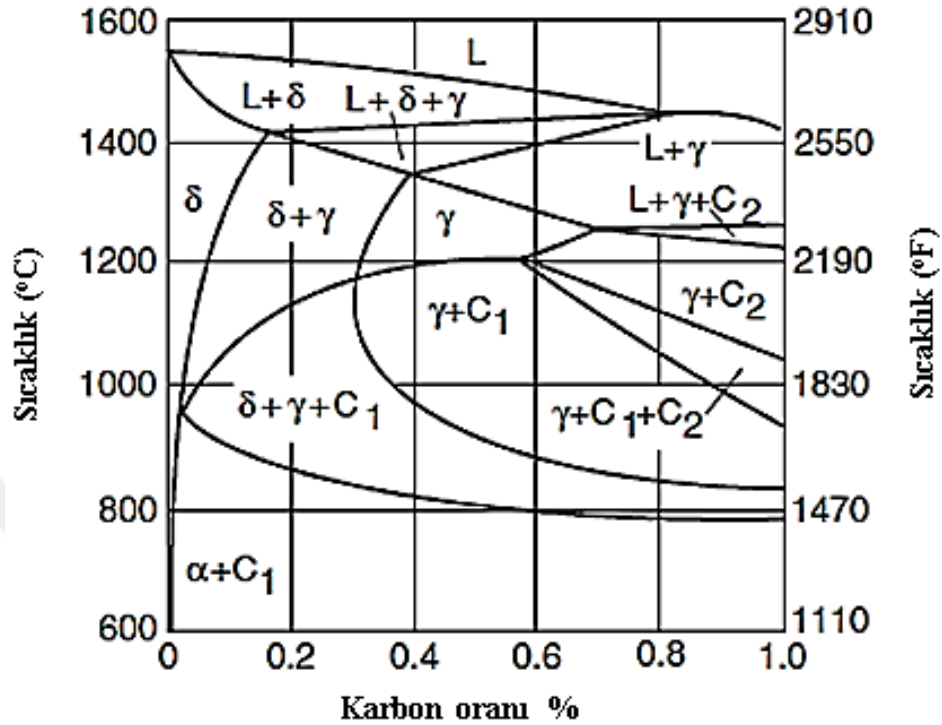


Şekil 1.21 Ferritik paslanmaz çelikten imal edilmiş HES türbini [20]

Ferritik paslanmaz çelikler hem soğuk hem de sıcak şekillendirilebilir. %20'den daha fazla krom içeren türlerinde 550-850 °C sıcaklar arasında yapılan tavlama işlemlerinin uzun sürmesi durumunda yapı içerisinde sigma (σ) fazı çöker. Oluşan bu faz, çeliğin sertliğini artırır, gevrekleşmeye ve korozyon direncinin düşmesine neden olur [16, 21]. Krom, ferritik paslanmaz çeliklerin ferrit oluşturu temel elementidir. Bunun yanında içerisinde karbon, azot, molibden, mangan, silisyum elementleri de mevcuttur. İçeriğinde bulunan krom miktarının artması karbon difüzyonunu yavaşlatır [18, 19, 22].

Ferritik paslanmaz çeliklerin içyapıları her türlü ısıtılma işlemde ve oda sıcaklıklarında HMK yapıda α -Fe'den meydana gelir ve bu çelikler içerdikleri krom yüzdesine bağlı olarak üç şekilde tanımlanır. Birinci grup ferritik paslanmaz çelikleri oluşturan 430 tipi paslanmaz çelikler, hidrojen kırılmalılığına karşı dayanıklıdır, yüksek sıcaklıklarda ve korozyon anında yüzeylerinden dökümler olmamaktadır. Kaynak yapımları durumunda bu tiplerin korozyon dirençlerinde, sünekliklerinde ve tokluklarında azalmalar meydana gelmektedir. Morfolojik yapıları incelenen bu paslanmaz çeliklerin α -Fe ile karbür çökeltileri halinde karbonun tane sınırlarına ve ferrit içine dağılmış haldedir. Östenitlenip suda soğutulurlarsa yapı içerisinde koloniler halinde martenzitlere rastlanır. Bu durumda karbon, ferrit içerisinde çok düşük miktarda (oda sıcaklığında %0.008 C, 723 °C'de azami %0.025 C) çözülür ve kalan karbonun oluşturduğu katı eriyikleri hızlı soğuma anında hacim merkezli tetragonal yapıya sahip martenzite dönüşür [6, 14]. İkinci grup ferritik paslanmaz çelikler, kaynak kabiliyetini ve benzer özelliklerini geliştirmek amacıyla üretilmiştir. Kimyasal içerik bakımından %11-14 Cr ve %0.08-0.2 C'ye sahiptir. Düşük toklukları göze çarpmaktadır. Orta derecede krom içeren bu tipler, otomotiv sanayiinde, tarımsal ilaçlama makinelerinde ve mutfak eşyası yapımında kullanılır. Üçüncü grup ferritik paslanmaz çelikler, gerilmeli ve oyuk korozyonuna karşı dirençli olan, yüksek miktarda krom ve molibden elementleri barındırırlar. Vakum ortamında ve indüksiyonla ergitilerek, oksijenle dekarbürüze edilerek üretildiklerinde kaynak işlemleri sonrasında tokluk ve süneklikleri artar, korozyona dayanıklı hale gelir [6].

Ferritik paslanmaz çelikler, demir-krom-karbon elementleriyle meydana gelen bir üründür. Bu çelik katı halde ferritik kalabilmesi için 1100 °C'nin altına kadar soğutulmaları gerekir. Soğutma süresince yapıda bulunan ferritlerin bazıları östenite dönüşürken bazıları sıcaklık düştükçe krom karbürü (Cr_{23}C_6) dönüşür. Soğutma dengeli bir şekilde devam ederse yapı içerisindeki östenitler de ferrite ve karbürlere dönüşür. Oda sıcaklığında mikroyapı perlit+krom karbür (α +Fe₃C+Cr₂₃C₆) olarak kalır. Normal şartlarda beklenen durum, ergitme başlangıcından oda sıcaklığına soğutulan %17 krom içeren bu çeliklerde mikroyapının ferritten oluşmasıdır.



Şekil 1.22 %17 Cr içeren ferritik paslanmaz çeliğin faz diyagramı [4]

Ferritik paslanmaz çeliklerde kullanılan alaşım elementleri mikroyapı, sertlik, tokluk, akma-çekme dayanımı, sürtünme dayanımı, korozyon ve kaynaklanabilirlikleri üzerine doğrudan etki etmektedir. Titanyum ve niyobyum ferritik paslanmaz çelikleri kararlı hale getirerek taneler arası korozyonu önlemektedir. İçeriğinde artan azot ve karbon miktarı östenit bölgesini genişletmeye eğilimli olduklarından, bunların miktarı asgari düzeyde tutulması gerekmektedir. Eğer bu gerçekleştirilemiyorsa başta krom olmak üzere ferrit yapıcı molibden, titanyum, silisyum, niyobyum ve alüminyum gibi elementlerin yapıya eklenmesi gerekir. Bunlar; molibden korozyon direncini geliştirir, alüminyum yüksek sıcaklık oksidasyonu dayanımını iyileştirir, silisyum ise deoksidan özelliği kazandırma amacıyla içeriğe katılır. Bunların yanında tungsten metali de kullanılabilir. Özellikle ferrit yapıcı bir etkiye sahip olan tungsten elementi yüksek sıcaklık mukavemetini arttırmaktadır [6, 19].

1.3.5.1. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kırılgenlılıkları

Ferritik paslanmaz çeliklerde gevrekliğı bağı olarak üç tip kırılgenlık görölmektedir. 475 °C kırılgenlığı, sigma (σ) fazı kırılgenlığı ve yüksek sıcaklık kırılgenlığıdır.

Bunlardan birincisi 475 °C kırılgenlığıdır. Bu kırılgenlık ferritik paslanmaz çeliğın uzun süreli 400-540 °C sıcaklık aralığında tavlınması ile meydana gelmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalarda 475 °C kırılgenlığının nedeni olarak krom miktarı fazla olan ferrit (α) fazının çizgisel kusurlar olan dislokasyonların üzerine çökmesine bağlanmaktadır. Fakat uzun süreli tavlamlar ile meydana geldiğı için bu kırılgenlık ferritik paslanmaz çeliklerin kısa süreli ısıtma-soğutma ile yapılan kaynak ve ısıt işlem gibi uygulamalarında görölmemektedir. 475 °C kırılgenlığı, ferritik paslanmaz çeliklere ilave edilen molibden, niyobyum ve titanyum elementleriyle hızlanır [6, 14].

İkinci olarak sigma (σ) fazı kırılgenlığı verilebilir. İçeriğinde %15-70 aralığında krom ihtiva eden ferritik paslanmaz çeliklerin 500-800 °C aralığında uzun süreli tavlama işlemlerinde oluşur. Bunun için demir-krom faz diyagramının düşük sıcaklıklarda, denge şartlarında olması gerekir. Sigma fazı yaklaşık olarak 700-800 HV bir sertliğe sahiptir. Yapısı gevrek olan bu faz, krom barındıran çeliklerin kaynaklarında gözlenir. Oluşumu $M_{23}C_6$ ($Cr_{23}C_6$) karbüründen farklıdır. Bu karbür yüksek krom bulunan ferritik paslanmaz çeliklerde krom çökmesi sonucunda oluşur ve genellikle tane sınırlarına çökeliirler [6]. Sigma fazı %52 krom ile %48 demirden meydana geldiğı bilinir. Ayrıca %27 krom içeren çeliğın 565 °C'de 131 gün tavlınmasından sonra çökelimiştir [14, 19].

Üçüncü olarak da yüksek sıcaklık kırılgenlığı verilebilir. $0.7 T_m$ sıcaklığı üzerinde bir sıcaklığa maruz kalan ferritik paslanmaz çeliklerde meydan gelir. Yüksek sıcaklık kırılgenlığı, ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan en önemli sorunlardandır. Yüksek krom içeren çeliklerde önemli sorunlara neden olmaktadır. İçeriğinde karbon ve azot bulunduran çeliklerde bu elementler yüksek

sıcaklık kırılma hızına önemli derecede etki eder. Özellikle tane irileşmesinin olduğu ısının tesiri altında kalan bölgede yüksek sıcaklık kırılma hızı görülür [6, 14].

Ferritik paslanmaz çelikler avantajları ve dezavantajları yönünden bakıldığında diğer paslanmaz çeliklere göre daha ucuz ve korozyona dayanıklı oluşu; mutfak eşyası yapımında, nükleer enerji santrallerinde, termal buhar dönüşümlerinde, sertleştirme ve tavlama sepetlerinde, egzoz sistemlerinde, süsleme ferforjelerinde, ısı dayanım gereken yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [14, 16, 23].

1.3.5.2. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Paslanmaz çeliklere uygulanacak olan kaynak yöntemlerine karşı paslanmaz çeliklerin olumlu tepkiler verdiği, kaynak kabiliyetinin neredeyse tamamında iyi olduğu bilinmektedir. Endüstriyel şartlarda ve mühendislik uygulamalarında birçok kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Bunların içerisinde örtülü elektrod ile ark kaynağı önde gelen bir yöntemdir. Bununla birlikte modern bir kaynak yöntemi olan TIG kaynağı, son yıllarda kullanımı paslanmaz çeliklerde artmaktadır. Seçilen kaynak yöntemleri paslanmaz çeliklerde akma-çekme, darbe, sertlik, tokluk, korozyon gibi özelliklere etki edeceğinden seçilecek kaynak yönteminin; ısı genleşme katsayısı, tane irileşmesi, karbürler, sigma fazı, ısı iletim katsayısı, soğuk şekillendirme gibi özellikler dikkate alınmalıdır [6, 24].

Paslanmaz çeliklerin ısı iletimi adi karbonlu çeliklere nispetle daha düşüktür. Bu sebeple paslanmaz çeliklerin kaynakları esnasında malzemeye tatbik edilen ısının yavaş ilerlemesi söz konusu olduğunda malzemede bir direnç görülür. Ortaya çıkan bu direnç uzun elektrodalarda kızarmalara neden olmaktadır. Bu sebeple paslanmaz çelik elektrodları adi karbonlu çelik elektrodlarına göre daha kısa imal edilmektedir. Ayrıca paslanmaz çeliklerin ısı iletiminin düşük olması nedeniyle kaynaklı birleştirmelerinde düşük ısı girdileri ile çalışılması gerekmektedir.

Ferritik paslanmaz çelikler örtülü elektrodla ark kaynağı, TIG, MIG, elektrik direnç, elektro ısı, tozaltı kaynakları ile birleştirilebilirler. Ferritik paslanmaz çelikler kaynak kabiliyetine bakıldığı zaman bunların paslanmaz çelikler içerisinde martenzitik tip paslanmaz çeliklerden daha iyi bir kaynaklanabilirliğe sahip oldukları

görülmektedir. Bu çeliklerin kaynağında yaygın olarak karşılaşılan sorun, tane irileşmesidir. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında sıvı fazdan direkt katı faza bir dönüşüm olduğundan tane irileşmesi olmaktadır. Oluşan bu tane irileşmesi malzemenin tokluğunu önemli ölçüde düşürmektedir. Bunu önleyebilmek için düşük ısı girdili ve yüksek hızlı kaynaklar yapılması ve karbür ile nitrür yapıcı elementlerin kaynak anında takviyesi yapılmaktadır. Tane büyümesinin daha sonradan bir ısı işlem yardımı ile küçültülmesine imkân yoktur. Genellikle ferritik paslanmaz çelikler ön tavsız kaynak edilir [6, 19, 24-26].

Bu çeliklerin TIG ile kaynak yapılmalarında doğru akımda düz kutuplama ile kaynak edilmesi önerilir. Kaynakları yapılırken koruyucu gaz olarak asal gazlar tercih edilir ve bunlara, kırılmalığa neden olması ile korozyon direncini düşürmesi sebebiyle, azot gazı kesinlikle ilave edilmez. Bu çeliklerin yapılan kaynaklı birleştirmelerinde MIG kaynağı tercih edilmesi durumunda, hızlı dikiş çekmede ve östenitik karakteristikli dolgu metali seçilmesi durumunda çift fazlı mikroyapı meydana getirilerek tane irileşmesi önlenir. TIG ve plazma kaynakları benzer özellikler göstermekle birlikte dar bir ITAB oluşturmaları ve derin nüfuziyet sağladıklarından tercih edilmektedirler. Örtülü elektrod ile ark kaynağı yöntemi ise kaynak bölgesinde hasara neden olduğundan mecbur kalmadıkça kullanılmaması tavsiye edilir [6].

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında meydana gelen tane irileşmesi sorunu 1150 °C üzerindeki sıcaklarda tetiklenir. Kaynak ve ısı etkenler dışında ferritik paslanmaz çelikler ince taneli, sünek bir yapıda olsalar da kaynak sonrasında darbe dayanımı düşük, gevrek yapılı olurlar. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında dolgu metali kullanılıyorsa buna eklenen azot elementi ile katılma, akabinde mikroyapının ince dokulu olması sağlanabilir [6].

1.4. HARDOX Çelikleri

Aşınma endüstriyel piyasada ve mühendislik uygulamalarında en çok karşılaşılan problemlerdendir. Almanya’da yapılan bir araştırmada aşınmanın endüstriye verdiği zararlar yıllık iki milyar Euro’nun üzerinde olduğu

belirtilmektedir. Aşınma sonucunda makine elemanlarının parçalarında meydana gelen hacimsel ve boylamsal azalış, makine elemanın randımanlı çalışmasını sınırlayarak verimini azaltıp zaman içerisinde bozulmasına neden olmaktadır. Aşınmanın önlenmesi ya da asgari düzeye indirilebilmesi için uygun malzeme tasarımının yanı sıra yüksek tokluk, iyi bir mukavemet ve kabul edilebilir düzeyde bir sertlik için ilk tercih edilen çeliklerin arasında iyi bir aşınma direnci olan malzemeler tercih edilmelidir. Bunun için de İsveçli SSAB firması tarafından üretilen HARDOX çeliklerinin en önemli malzeme grupları arasında olduğu söylenebilir. İlk olarak 1970’li yıllar piyasaya sunulan bu çelikler benzer levhalara nispetle 4-5 kat daha serttir. Ayrıca kaynak kabiliyetleri iyi olan, kolayca şekil verilebilen HARDOX çelikleri yük taşıyıcı kepçe kazıyıcısı, kepçe ağzı, kırıcılar ve dövücülerde kullanılmaktadır. HARDOX çeliklerinin alaşım elementlerinin asgari düzeyde olmasını sağlayan ve iyi bir sertlik, tokluk ile mukavemet özelliğini modern roveli ısıtıl işlem hattında yapılan sertleştirme uygulamasındandır [27-29].



Şekil 1.23 HARDOX çeliğinden yapılmış dozer kepçesi [30]

Su verilip akabinde menevişlenerek piyasaya sürülen HARDOX çeliklerinin seçiminde en önemli etkenlerden biri de bu malzemenin kabul edilebilir düzeyde sertliklerinin oluşudur. Çünkü sertlik, bir malzemenin kullanımını tespit ederken

dikkat edilecek önemli parametrelerden biridir. Aşınmaya karşı bir malzemenin direncinin yüksek olmasını sağlar. Malzemedeki aşınmayı etkileyen değişkenler; malzemenin türü, yüzey durumu, alaşım yapısı, ısıtım işlem durumu, çevresel etki, elastiklik modülü, aşınmaya neden olan sistem ve şekildir. HARDOX çelikleri içerisinde bu durumu en iyi sağlayan malzemelerden biri de HARDOX 450 çeliğidir. Öyle ki bu çelik piyasada kullanılan diğer yüksek mukavemetli çeliklere nazaran 5 kat daha dayanıklıdır [31].



Şekil 1.24 HARDOX çeliğinden imal edilmiş bir kırıcı [10]



Şekil 1.25 HARDOX çeliğinden imal edilmiş delici [32]

1.4.1. HARDOX Çelik Türleri

HARDOX 400 serisi, iyi bir kaynak edilebilme özelliğine sahip olan bu çelik 400 HB sertliğe sahiptir. Yüksek oranda aşınma göstermeyen yapıların imalinde kullanılabilir [31]. Elektrik ark kaynağı ve gaz altı kaynağı ile birleştirmede HARDOX 400 esas metalinin sertliği kaynak metali ve ITAB'dan daha fazla olduğu bilinir. Bu durum çeliğin yapısında bulunan martenzitten kaynaklanır [28].

HARDOX 450 serisi, 450 HB sertliğe sahip olan bu çeliğin karbon oranının az olması nedeniyle kaynak kabiliyeti iyidir. Yapılan bir çalışmada bor modifikasyonu ile HARDOX 450 çeliğinin mikrosertliğinde ve korozyon direncinde bir artış elde edilmiştir [29, 33].

HARDOX 500 serisi, diğer türlerine nispetle daha yüksek dayanım istenilen yerlerde kullanılan çelik türüdür. 500 HB sertliğe sahip olan bu çelik darbe tokluğunun yüksek oluşu iyi işlenebilirlik sağlamaktadır. Bu çelik daha çok dış yapı direnci istenilen yerlerde kullanılmaktadır [29, 31].

HARDOX 600 serisi, 600 HB'lık bir sertliğe ve çok yüksek mukavemete sahiptir. Özellikle yüksek aşınma için sert ve tok bir özellik sergileyen bu çelik

kesilebilme ve kaynaklanabilme kabiliyeti sebebiyle yüksek mukavemet uygulamaları için tercih edilen bir çeliktir [29, 31].

HARDOX HiTuf serisi, 350 HB sertliğe sahip bu çelik aşırı ısınma sonucunda çatlamalara maruz kalmamak için özel olarak imal edilmiştir. Özellikle bıçak, yıkım makinesi elemanı ve parçalayıcı makine elemanları yapımı için imal edilmiştir.



Şekil 1.26 HARDOX çeliğinden yapılmış bir kamyon kasası [34]

1.4.2. HARDOX Çeliğinin Kaynaklanabilirliği

HARDOX çelik türleri düşük kaynak eşdeğerliliği sayesinde ergitmeli kaynaklar ile başarılı bir şekilde hem kendi cinsi çeliklerle hem de ergitmeli kaynaklar ile birleştirilebilen diğer çelik türleri ile kaynak edilebilirler. Kaynak esnasında oluşabilecek çatlama riskine karşı bu çeliklere;

- Kaynak öncesi ön tav,
- Yağsız, passız ve kirsiz bir kaynak yüzeyi,
- Soğuma büzölmeleri en az olacak şekilde dikişlerin çekilmesi [29].

1.5. Nikel

Kimyasal simgesi “Ni”, yoğunluğu 8.9gr/cm^3 , atom numarası 28 ve ergime derecesi $1455\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan nikel, ilk olarak 1751 yılında İsveçli Kimyager Baron Axel Fredrik Cronstedt tarafın bulunmuştur. Önemli bir metal olan nikel, döküm ve kaplama işleminin yanı sıra paslanmaz çelik üretiminde de önemli bir yere sahiptir. Yerkürede demir ve cobalt ile birlikte oksitler, sülfatlar ve silikatlar halinde bulunur [35].

Nikel günümüzde havacılık, uzay, otomobil, mimari, madeni para yapımı gibi uygulama alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca tıp sektöründe kalp ve damar hastalıkları için stent yapımında da kullanılır. Bunun yanında akıllı metallerin deformasyon sonucunda eski hallerine kendi kendilerine dönebilmelerini yine nikel borçlu olduğu söylenebilir. Ticari olarak dünya piyasasında kullanılan nikel dört ana grupta incelenir;

- Saf nikeller,
- Nikel-Bakır alaşımları,
- Isıl işlem görmeyen nikel-krom-demir alaşımları,
- Isıl işlem görmüş nikel-krom-demir alaşımları [35].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Cheng ve ark. [36] tarafından yapılan çalışmada; MIG-TIG çift taraflı kaynağında titanyum ile paslanmaz çelik malzemeyi bakır ilave tel ile birleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada birleştirmenin sağlam bir görünüme sahip olduğu, düşük ısı girişi ile ark kaynağındaki hızlı soğumayla yapıda oluşan Ti-Fe intermetalik bileşikler yapıdan uzaklaştırılmıştır. Ayrıca ark-lehim işleminin gerilme direnci, yapıdan Ti-Fe intermetalik bileşiklerinin uzaklaştırılması ile hissedilir ölçüde artmıştır.

Xiong ve ark. [37] tarafından yapılan çalışmada; yüksek mukavemetli bir çeliğe çift taraflı ark kaynağı uygulanmıştır. Çift taraflı ark kaynağında karşılıklı ısıtma, ön ısıtma ve sonraki ısıtmanın etkisiyle iyi mukavemet ve tokluğa sahip mikroyapılar elde edilmiştir. Elde edilen bu mikroyapılarda ferrit ve çita tipi martenzit gözlenmiş ve kaynak metalinin sertliğinin esas metalden ve ITAB'dan daha fazla olduğu görülmüştür.

He ve ark. [38] tarafından yapılan çalışmada; titanyum alaşımının nikel ara tabaka kullanılarak paslanmaz çeliğe difüzyon ile birleştirilebilmesi için uygun parametreler araştırılmıştır. Bu işlemde bağlantının mikroyapısı SEM, EPMA ve mikroskopi ile incelenerek analiz edilmiştir. İnceleme sonucunda atomlar arası difüzyonun saf nikel kullanımıyla titanyum ile demir ve karbon arasında, etkin bir şekilde önlendiği ve sağlam bir bağlantının da oluştuğu gözlenmiştir.

Reddya ve ark. [39] tarafından yapılan çalışmada; nikel ara tabaka kullanılarak maraging çeliği ile düşük karbonlu çelik sürekli tahrikli sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir. Birleştirme sonucunda sertlik, çekme dayanımı ve darbe direnci nikel ara tabakanın tampon oluşturması nedeniyle iyileştiği gözlenmiştir. Ara tabaka kullanılarak yapılan kaynakta farklı metallerin çentik ve çekme dayanımları; ara tabaka olmadan birleştirilen aynı metallerden daha fazla olduğu gözlenmiştir. Ayrıca malzemelerin farklı özellikte olmalarından dolayı ısı akışı da termal iletkenliği yüksek olan malzemeye doğru olmuştur.

Wang ve ark. [40] tarafından yapılan çalışmada; 304 östenitik paslanmaz çelik ile Ti-15-3 titanyum alaşımının bakır ara tabaka kullanılarak elektro ısıtma

kaynağı ile birleştirilmesi, optik mikroskop, SEM ve XRD ile incelenmiş; çekme dayanımı, mikrosertlik ve mekanik özellikleri test edilmiştir. Bunun sonucunda bakır ara tabaka ile çatlak oluşmadan başarıyla birleştirme yapılabildiği, çekme mukavemetinin 234 MPa olduğu, en yüksek sertlik değerinin de Ti-Cu ile Ti-Cu-Fe bileşiklerinde olduğu ve kaynaklı bağlantının gerilme altında kırılma bölgesinde kırılma biçiminin uygun yırtıldığı gözlenmiştir.

Teker [17] tarafından yapılan çalışmada; AISI 430 çelik çifti AISI 316L ara tabaka kullanılarak anahtar deliği plazma kaynağıyla ilave telli ve telsiz olarak birleştirilmiş, ara tabakanın mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. İnceleme sonucunda ara tabakanın numunelerde daha sünek kırılmalara, daha yüksek darbe direncine, daha düşük sertliğe, martenzitik oluşum morfolojisini değiştirdiğine ve ergime bölgesinde östenit oluşumu ile çita martenzite neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca ferrit tane içlerinde biberimsi krom karbürler görülmüştür.

Uluocak [29] tarafından yapılan çalışmada; MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen HARDOX 450 çeliğinin çekme testi anında, malzemenin en hassas bölgesi olan, ısıdan etkilenen bölgeden koptuğu gözlenmiştir. Kaynak bitiminde kaynak bölgesinden ayrılan ısı, kaynak bölgesine bitişik olan bölgede mikroalaşım çökeltilerinden kabalaşma ile birlikte tanelerin de hızla büyümesiyle kaba tanelerin oluşmasını göstermiştir.

Song ve ark. [41] tarafından yapılan çalışmada; lazer-TIG hibrit kaynağı ile nikel ara tabaka kullanılarak birleştirilen magnezyum alaşımı ile çeliğin mikroyapısı üzerine yapılan araştırmada nikel ara tabakanın olmadığı birleştirmede mekanik özelliklerin düştüğü, kesme dayanımının azaldığı ve nikel ara tabakanın mikroyapıları da geliştirdiği gözlenmiştir.

Yıldız ve ark. [42] tarafından yapılan çalışmada; saf nikel ara tabaka kullanılarak AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğe titanyumun difüzyonla birleştirilmesi incelenmiş ve AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğinde tane büyümesi nedeniyle sertlikte bir azalma olduğu, tane büyümesinin ayrıca AISI 430 tarafında yüksek sıcaklıklarda çekme-kopma dayanımını azalttığı gözlenmiştir. Yapılan çekme deneylerinde kırılan yüzeyler incelendiğinde ferritik paslanmaz çelik yüzeyinde biraz

nikel kalırken, Ti-Ni arayüzeyinin FSS-Ni yüzeyinden daha sert olduğu görülmüştür. Ni_2Cr , FeNi , Fe_3Ni ve FeNi_3 ara bileşiklerinin meydana gelebileceği görülmüştür.

Ivanov ve ark. [32] tarafından yapılan bir çalışmada; TIG kaynağı ile yapılan bir kaplama işleminde HARDOX 450 çeliği yüzeyinden oluşturulan kaplamanın sertliğinin esas metalin iki katından daha fazla olduğu görülmüştür.

Teker ve ark. [43] tarafından yapılan çalışmada; 10 mm 'lık AISI 430 AISI 1040 çelik malzemeleri, KPTA kaynak yöntemi ile tek pasoda kaynak ağzı açmadan ve ilave metal kullanılmadan birleştirilmiştir. Yavaş yapılan kaynak işleminde meydana gelen yüksek ısı girdisiyle derin nüfuziyet elde edilmiştir. Bu durum çekme mukavemetinin artmasına neden olmuştur.

S. Kumar ve ark. [44] tarafından yapılan çalışmada; AISI 430 ve AISI 304 çeliklerinin plazma ark kaynaklarında mikroyapısal davranış ve mekanik özellikleri incelemiştir. Ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin PAW ile birleştirilmesinde önemli bir kusur olmadan iyi bir bağlantı yapmışlardır, kaynaktan sonra 825 MPa çekme dayanımı ve %72 uzama elde etmişlerdir. Mikroyapı, alın kaynaklı bölümün ferrit bölgelerinde daha fazla kolonik ve kaynağın mekanik özellikleri kaynak bölgesinde iyi bir mukavemet göstermiştir.

Zhong ve ark. [45] tarafından yapılan çalışmada; tungstenin ferritik paslanmaz çeliğe nikel ara tabaka kullanılarak difüzyonla birleştirilmesi incelenmiştir. İncelemede tungsten-nikel ve nikel-ferritik paslanmaz çelik arasında iyi bir bağlantı kurulduğunu görülmüştür. Ayrıca darbe deneyinde kırılmaların tungsten tarafında, tungsten-nikel ara yüzeyine yakın olduğu görülmüştür. Tungsten-nikel ile nikel-ferritik paslanmaz çelik tarafında sertlikteki artış, katı çözelti fazlarının oluşmasıyla bir artış göstermiştir

Alizadeh-SR ve ark. [46] tarafından yapılan çalışmada; 430 ferritik paslanmaz çeliği nokta direnç kaynağı birleştirilmesinde mekanik özellikleri ve faz dönüşümleri incelenmiştir. Bu çalışmada erime bölgesi ve ITAB'ın mikroyapısında tane büyümesi, martenzit oluşumu ve karbürlerden oluşan durumlardan etkilenmiştir. Kaynak sonucunda oluşan ITAB'da; muhtemel 1120-1480 °C sıcaklıklar arasında, yüksek sıcaklık ITAB'ı, 1000-1120 °C sıcaklıklar arasında, orta sıcaklık ITAB'ı ve düşük sıcaklık ITAB'ı şeklinde metalurjik dönüşümleri ile oluşmuş bölgeler

meydana gelmiştir. Yüksek sıcaklık ITAB'ında ferritin östenite dönüşümü direnç kaynağındaki hızlı soğuma nedeniyle önlenir ve oda sıcaklığında ferrit tane sınırlarında martenzit fazı bulunmaz. Orta sıcaklık ITAB'ında ferrit sınırlarında oluşan östenitleri soğuma anında martenzite dönüşürler. Ergime bölgesinin morfolojik özelliklerine bakıldığında burada meydana gelen tane büyümesi esas metalin neredeyse 11 katıdır.

Frydman ve ark. [47] tarafında yapılan çalışmada; HARDOX 400 ve 500 çeliklerinin temperlenmiş martenzitik yapıdayken kaynak edilmesi durumunda ısıdan etkilenen bölgelerinde aşınma direnci düşük yapının olduğu gözlenmiştir. 300 °C'ye kadar yapılan tavlamlarda çelikler sertliklerini korurken, 400 °C'de yapılan tavlama sertlikte hızlı bir düşüş görülmüştür.

Muralımohan ve ark. [48] tarafından yapılan çalışmada; 304 östenitik paslanmaz çelik ile titanyum malzemeleri nikel ara tabaka kullanılarak sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir. Nikel ara tabaka ile yapılan birleştirmenin nikelsiz yapıları oranla daha mukavemetli olduğu görülmüştür. Ayrıca nikel ara tabaka kullanımı ile Fe-Ti ve Cr-Ti intermetalik bileşik oluşumu önlenmektedir. Çekme testlerinde kırılma Ti-Ni intermetalik bileşikler içeren yolu izlemiştir.

Teker ve ark. [49] tarafından yapılan çalışmada; sürtünme kaynağı kullanılarak AISI 1030 çeliği ile yüksek kromlu dökme demir nikel ara tabaka kullanılarak birleştirilmiştir. Nikelin kaynak birleştirmesinde martenzit oluşumunu ve krom karbür çökeltisini azalttığı görülmüştür. Sertlik ölçümlerinde nikelin bu azaltıcı etkisinden dolayı kaynak metalindeki sertlikte azalma olmuştur. Ayrıca nikelin çekme deneyinde uzamayı ve çekmeyi iyileştirdiği söylenebilir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Çalışmanın Amacı

Ergitmeli kaynak yöntemleri içerisinde önemli bir yere sahip olan Tungsten İnert Gaz (TIG) kaynağı günümüz mühendislik uygulamalarında kullanılan tüm metallerin birbirleri ve farklı metaller ile birleştirilmesinde tercih edilmektedir. Özellikle paslanmaz çelik malzemelerin argon koruyucu gaz atmosferinde birleştirilmesinde iyi sonuçlar aldığı görülmektedir.

Son yıllarda yapılan farklı metallerin veya aynı cins metallerin birleştirilmesinde ara tabaka malzemesinin birleştirmenin mekanik özellikleri üzerine olumlu etki yaptığı ve başarılı kaynaklı birleştirmeler yapıldığı da görülmektedir [38, 50]. Yapılan çift taraflı kaynak ile açısız ve boyamsal bozulmaların en aza indirileceği, düşük ısı girdisi ve hafif termal bozulmalar ile kaynak dikişlerinin çekileceği, iyi mukavemet ve iyi toklukların elde edildiği bilinmektedir [37, 51].

Bu deneysel çalışmada AISI 430 ile HARDOX 450 malzemeler nikel ara tabakalı ve ara tabakasız olarak kaynak ağızı açılmadan ve ilave telsiz birleştirilerek mikroyapı ve mekanik özellikler üzerinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

3.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Deneysel çalışmalarda piyasadan temin edilen 2000 mm uzunlukta 100 mm genişlikte ve 10 mm kalınlıkta AISI 430 ve HARDOX 450 malzeme çiftlerinden 130x100x10 mm ebadında kaynak numuneleri ve 100x50x2 mm ebadında yassı nikel malzemedan 100x10x2 mm boyutunda ara tabaka numunesi kesilerek kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan bu malzemeler Çizelge 3.1’de belirtilen kimyasal elementlerden oluşmaktadır.

Çizelge 3.1 Deneyde kullanılan malzemelerin % kimyasal bileşimleri

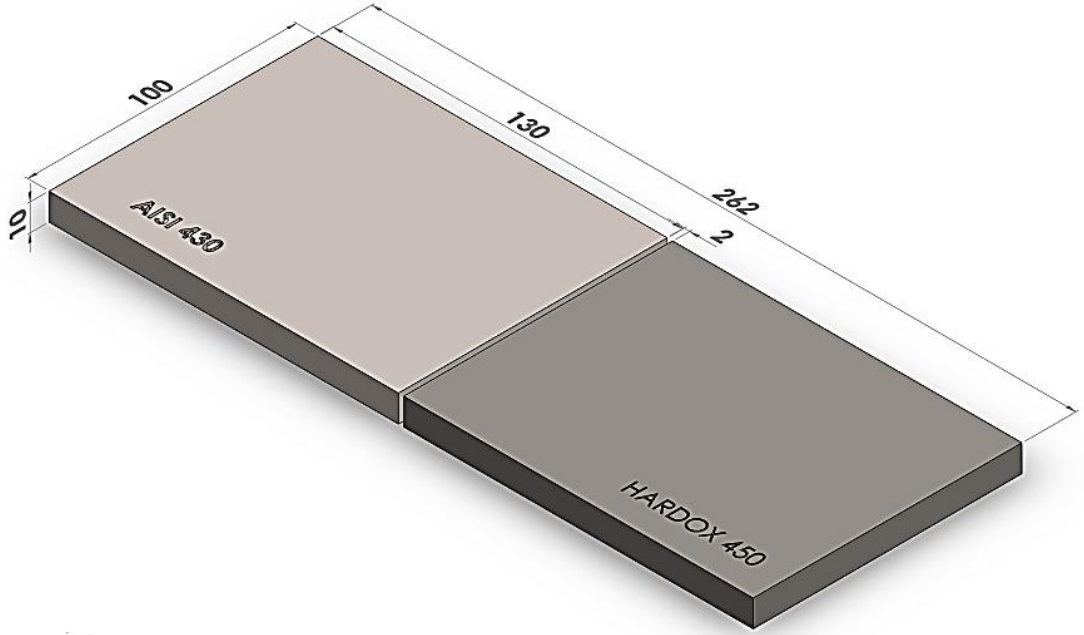
Kimyasal Bileşim (% Ağırlık)											
Malzeme	Fe	C	Cr	Ni	Si	Mo	P	S	B	Mn	Cu
AISI 430	82.64	0.048	16.02	0.22	0.44	0.016	-	0.002	-	0.61	-
HARDOX 450	97.19	0.19	0.25	0.025	0.70	-	0.025	0.010	0.004	1.60	-
NİKEL	0.40	0.02	-	99.0	0.35	-	-	0.01	-	0.35	0.25

3.3. TIG Kaynağından Önce Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney numuneleri kaynak bölgesinde mikroyapısal değişiklikler olmaması için Şekil 3.1’de verilen OPTIMUM marka metal kesici şerit testerede bor yağlı su ile 130 mm uzunlukta kesilmiştir. Akabinde Şekil 3.2’de gösterildiği gibi alın altına (küt-ek) getirilerek kaynak öncesi puntalanmıştır.



Şekil 3.1 Kaynak numuneleri kesme işlemi



Şekil 3.2 Kaynaklı birleştirme şematik gösterimi

3.4. TIG Kaynak İşlemi

Kaynaklı birleştirme işlemi Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü kaynak atölyesinde bulunan “GeKaMac” marka TIG kaynak makinesi ile farklı parametreler kullanılarak koruyucu argon gazı ortamında yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan TIG kaynak makinesi Şekil 3.3’te ve kullanılan parametreler de Çizelge 3.2’de verilmiştir.



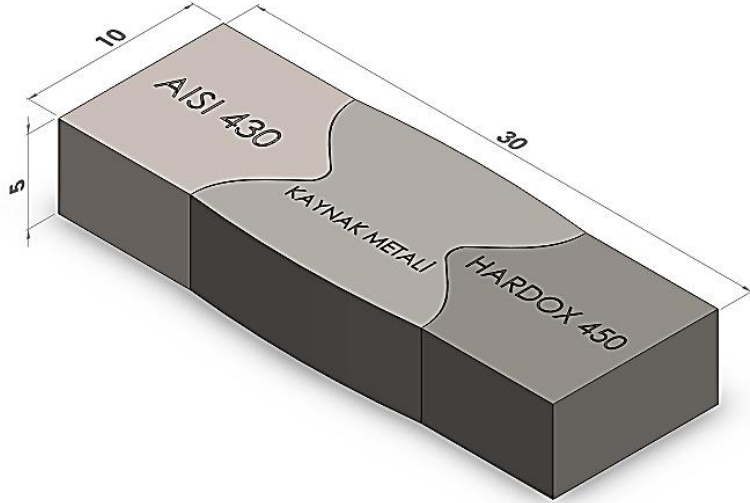
Şekil 3.3 TIG kaynak makinesi

Çizelge 3.2 TIG kaynak birleştirmesi için üretim parametreleri

Nikel Ara tabakasız Kaynak Numuneleri İçin Kaynak Parametreleri					
Numuneler	Amper (A)	Gaz Debisi (lt/dk)	İlerleme Hızı (m/dk)	Voltaj (V)	Nozul Çapı (mm)
N1	415	15	0.01	106	10
N2	430	15	0.01	109	10
N3	445	15	0.01	112	10
N4	460	15	0.01	115	10
N5	475	15	0.01	118	10
Nikel Ara tabakalı Kaynak Numuneleri İçin Kaynak Parametreleri					
Numuneler	Amper (A)	Gaz Debisi (lt/dk)	İlerleme Hız (m/dk)	Voltaj (V)	Nozul Çapı (mm)
N11	430	15	0.01	109	10
N22	445	15	0.01	112	10
N33	460	15	0.01	115	10
N44	475	15	0.01	118	10
N55	490	15	0.01	121	10

3.5. Metalografik İnceleme İşlemi

Kaynaklı birleştirme işlemleri sonrasında Şekil 3.4'te gösterilen numunenin kaynak ara yüzeyleri; Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan ve Şekil 3.5'te verilen "Metkon" marka zımpara ve parlatma makinesinde Çizelge 3.3'te verilen parametrelerde zımparalanmıştır. Hazırlanan bu numuneler 1-4 µm tanecik boyutuna sahip solüsyon ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler etil alkol (etanol C₂H₅OH) içerisinde 3-5 dk arası bekletilerek parlatma anında oluşan atıklardan temizlenmiştir. Temizlenen bu numuneler kaynaklı birleştirme anında meydana gelen içyapısal değişiklikleri görüntülemek amacıyla HARDOX 450 numune kısmı %98 etil alkol ve %2 nitrik asit ile dağlanmıştır. AISI 430 numunesi de Şekil 3.6'da verilen elektrolitik dağlama ünitesinde %50 etil alkol ve %50 nitrik asit içerisinde 12V gerilimde 7-8 sn dağlanmıştır.



Şekil 3.4 Metalografik inceleme numunesi



Şekil 3.5 Metalografik numuneleri zımparalama ve parlatma makinesi

Çizelge 3.3 Metalografik numunelerin hazırlanmasında kullanılan parametreler

Zımpara ve Parlatma Makinesi Çalışma Parametreleri		
Zımpara Tane Boyutu (#)	AISI 430	HARDOX 450
180	200 rpm	200 rpm
240	200 rpm	200 rpm
400	200 rpm	200 rpm
500	300 rpm	300 rpm
800	300 rpm	300 rpm
1000	300 rpm	300 rpm
1200	300 rpm	300 rpm
Parlatma Keçesi	200 rpm	200 rpm



Şekil 3.6 Elektrolitik dağlama ünitesi

Metalografik inceleme için elde edilen numunelerin Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan ve Şekil 3.7’de verilen “LEICA DM750” marka optik mikroskopta farklı büyütmelerde AISI 430 ve HARDOX 450 numunelerinin alt-üst ve sağ-sol ITAB tarafları ile kaynak metalinden olmak üzere beş bölgesinden fotoğraflar alınmıştır.



Şekil 3.7 Metalografik incelemelerde kullanılan optik mikroskop

Kaynaklı birleştirmelerin kaynak ve ısının tesiri altında kalan bölgesi İnönü Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi (IBTAM) Laboratuvarında bulunan Şekil 3.8’de gösterilen “ZEIS EVO40 LEO” marka taramalı elektron mikroskobu ile enerji dağılım spektroskopisi ve elementel haritalandırma analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.8 Taramalı elektron mikroskobu

Kaynak işlemi sonucunda kaynağın birleştirme bölgesiyle ısının tesiri altında kalan bölgesinde meydana gelen morfolojik değişiklikleri ve bileşikleri tespit etmek amacıyla İnönü Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan ve Şekil 3.9’da gösterilen “Bruker” marka XRD cihazı (X-ray diffractometer RadB-DMAX II, Cu K α radyasyonu, $\lambda=15,5418 \text{ \AA}$ dalga boyu) kullanılarak incelemeler yapılmıştır.



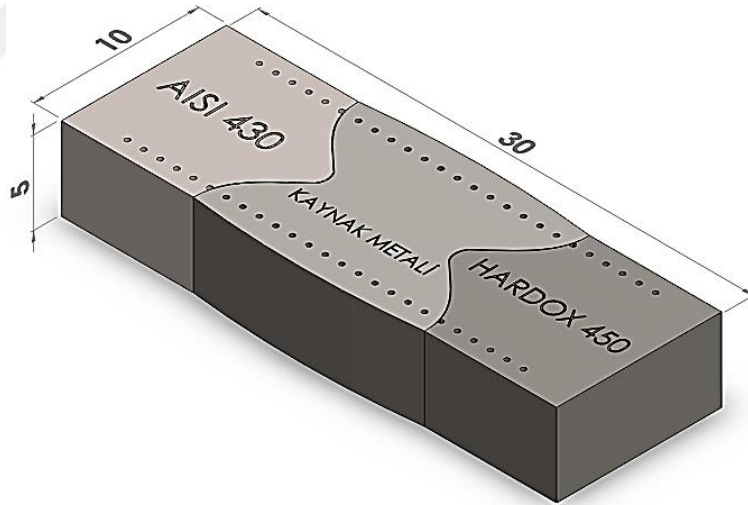
Şekil 3.9 XRD cihazı

3.6. Mikrosertlik Ölçümleri

Kaynaklı bağlantılarda kaynak sonucu meydana gelen ısı dönüşümler nedeniyle kaynak metali ve ısının tesiri altında kalan bölgelerdeki sertliklerde oluşan değişikliklerin incelenmesi için Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Şekil 3.10’da gösterilen “QNESS Q10” marka mikrosertlik cihazı 100 gr’lık yükle 0.5 mm aralıklarla kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerde her numunenin üst ve alt bölgesinden ölçüm alınarak mikrosertlikler Şekil 3.11’de gösterildiği gibi ölçülmüştür.



Şekil 3.10 Mikrosertlik ölçüm cihazı



Şekil 3.11 Mikrosertlik numunesi üzerindeki sertlik ölçüm noktaları

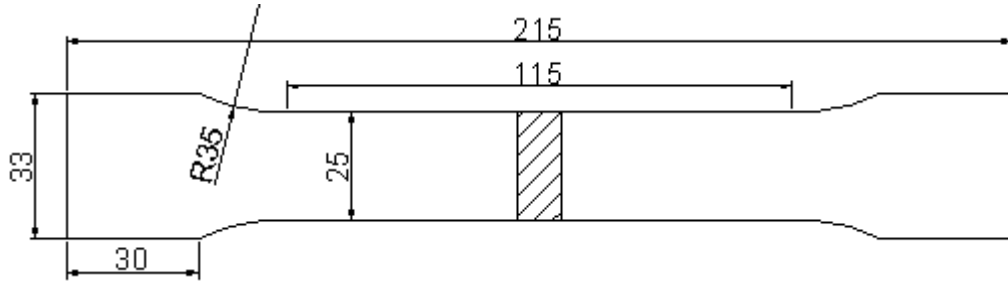
3.7. Çekme Testi Ölçümleri

Kaynaklı birleştirmelerin azami yük taşıma kapasitelerinin tespiti amacıyla her kaynaklı birleştirmeden Şekil 3.12’de gösterilen “TOPCNC” marka tel erozyon makinesi kullanılarak çekme test numunesi çıkarılmıştır. Çekme test numuneleri TSE 138 standardına uygun olarak Şekil 3.13’te gösterilen ölçülerde, Şekil 3.14’te

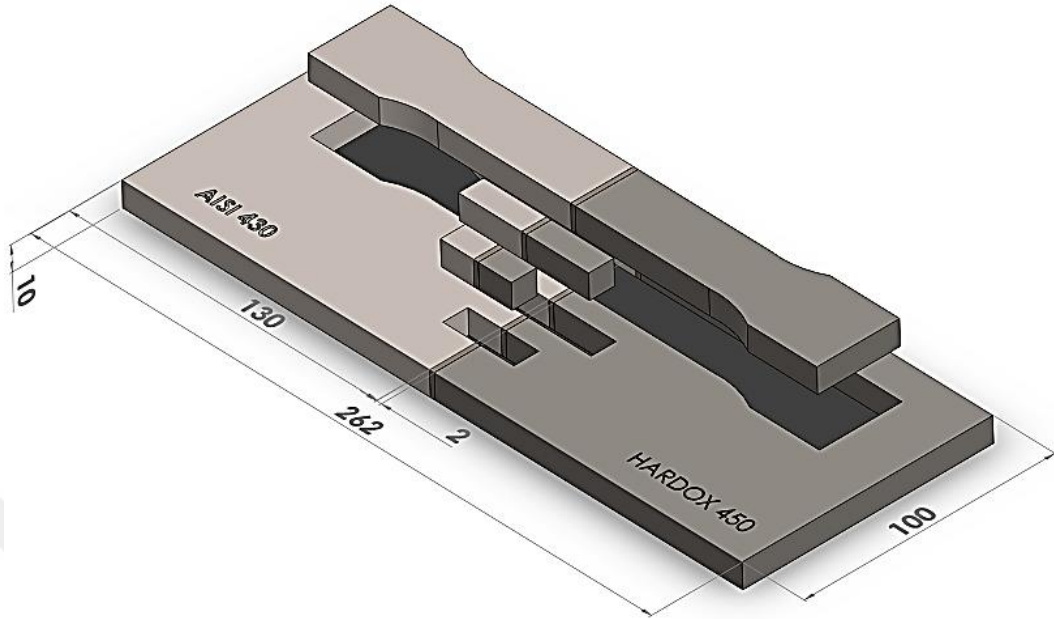
gösterildiği gibi kesilerek hazırlanmıştır. Çekme deney işlemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Malzeme Muayeneleri Deney laboratuvarında 50 KN çekme kapasiteli, Şekil 3.15’te gösterilen “BESMAK” marka hidrolik çekme cihazında 25 °C (oda sıcaklığında) gerçekleştirilmiştir.



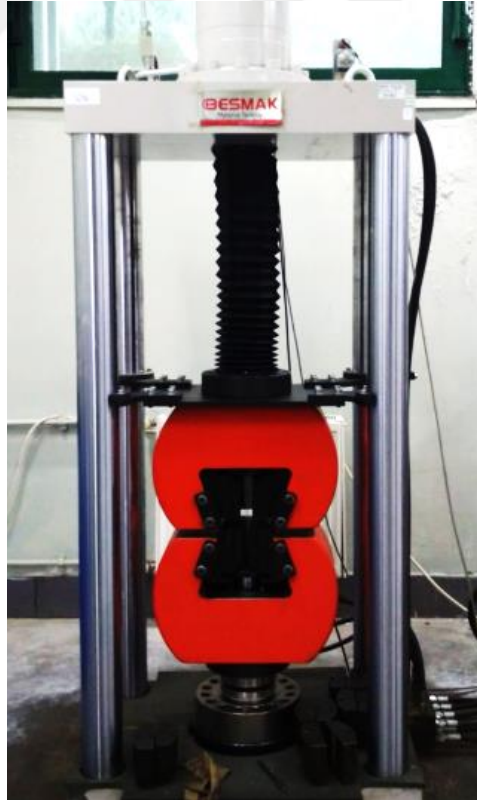
Şekil 3.12 Tel erozyon kesme makinesi



Şekil 3.13 TSE 138 standardına uygun hazırlanmış çekme numunesi



Şekil 3.14 Kaynaklı birleştirilmiş deney numunelerinin çıkarılması



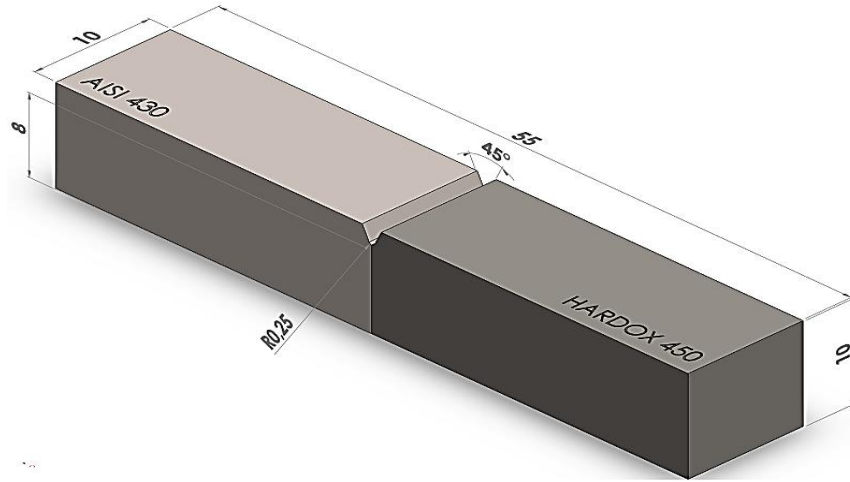
Şekil 3.15 Çekme deney makinesi

3.8. Darbe Deneyi Ölçümleri

Kaynaklı bağlantıların birleştirme sonucunda oluşan fazları ile meydana gelen yeni morfolojisinin iç enerjisi Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında Şekil 3.16’de gösterilen “Bulut Makine” marka darbe deneyi makinesinde 300 J’lük çekiç kullanarak kırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Darbe deneyinde kullanılacak numunenin kesim işlemi Şekil 3.14’te verildiği gibi tel erozyon ile yapılmıştır. Numunelerin ölçüleri ise TSE 269 standardına göre Şekil 3.17’de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 3.16 Çentik darbe deney makinesi



Şekil 3.17 Çentik darbe deney numunesi

3.9. Kırık Yüzey Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Kaynaklı birleştirme sonucunda elde edilen numunelerden kesilmiş olan çekme numunesi ile darbe deney numunesinin kırık yüzeylerinin morfolojisi İnönü Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Şekil 3.8’de gösterilen “ZEIS EVO40 LEO” marka taramalı elektron mikroskobu ile enerji dağılım spektroskopisi yapılmıştır.

3.10. Elektron Geri Saçınım Difraksiyon (EBSD) Analizi

EBSD analizi, kristal yapılarda geri saçılan elektronların örnekten çıkmadan önce kırınımından yararlanarak Kikuchi desenlerinin çözülmesi sayesinde tek ve çok fazlı kristalin örneklerde kristalografik olarak faz tayini, kristalografik yönelim (texture), tane sınırı açılarının belirlenmesi ve faz dağılımı analizlerinde kullanılmaktadır. Analiz sonucu elde edilen desenlerde mevcut yazılım (Orientation Imaging Microscope-OIM) ile veri işleme yapılabilmektedir.

Deney numunelerin faz dağılımı analizlerini yapmak için Dumlupınar Üniversitesi, İleri Teknoloji Merkezi Laboratuvarında, Şekil 3.18’de verilen, elektron geri saçınım difraksiyon cihazı kullanılarak yapılmıştır.

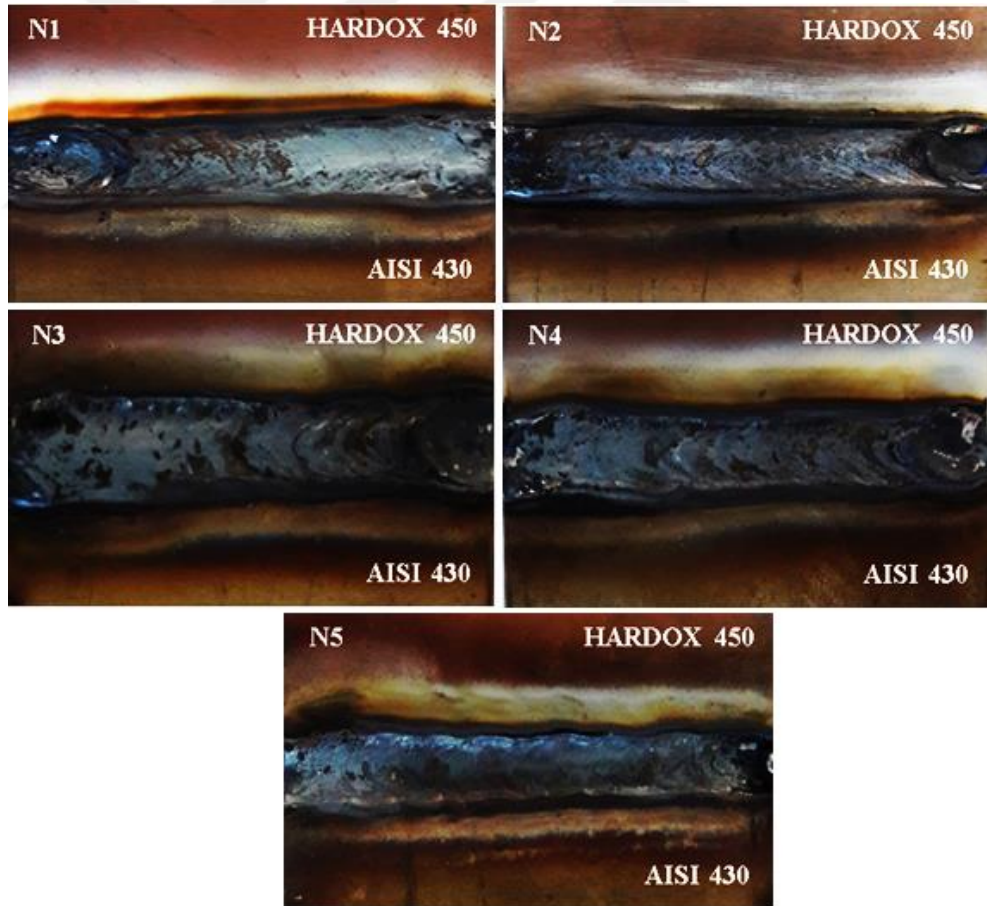


Şekil 3.18 EBSD analiz cihazı

4. DENEY SONUÇLARI

4.1. Kaynak Makroyapı İncelenmesi

TIG çift taraflı nikel ara tabakasız kaynaklı birleştirme işlemleri 415 A, 430 A, 445 A, 460 A ve 475 A parametrelerinde ve her bir numune için 0.01 m/dk sabit kaynak ilerleme hızlarında, ilave telsiz ve kaynak ağzı açılmadan küt-ek olarak gerçekleştirilmiş olup kaynak numunelerinin makroyapı görüntüleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Verilen şekiller incelendiğinde kaynaklı birleştirmeler sonucunda ara tabakasız numunelerde kaynak boyunca elde edilen kaynak dikişlerinin görüntüsü, kaynak kraterleri ve kaynak ergime alanı düzenli bir şekilde oluşmuştur.



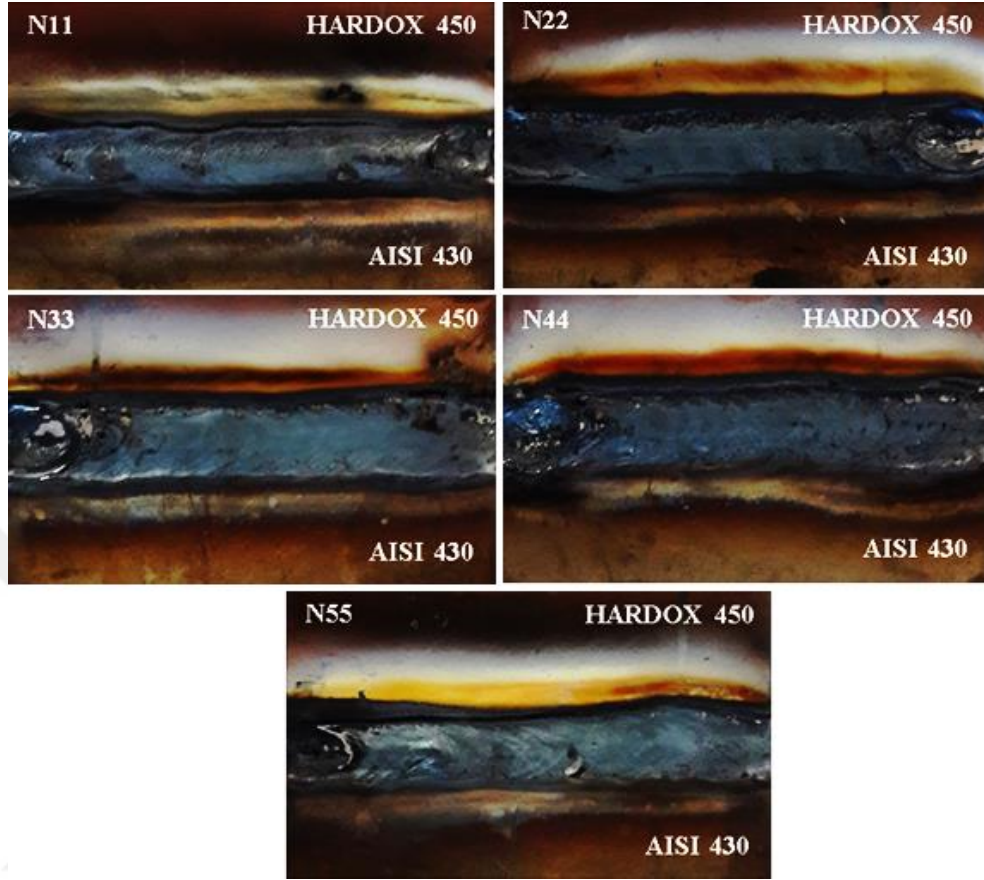
Şekil 4.1 Ara tabakasız numunelerin kaynak makroyapı görüntüleri

Nikel ara tabakasız kaynaklı bağlantıların makroyapı incelemeleri sonucunda N1-N5 numunelerinin kaynak metalinin kum saati profili görünümünde olduğu, N1 numunesi ergime alanında 1.4 mm boşluk meydana geldiği, birleştirmenin yetersiz nüfuziyeti gözlenirken; N2 numunesinde 0.6 mm boşluk ve N3 numunesinde ise 0.2 mm boşluk görülmüştür. Kaynağın artan akım şiddeti ile nüfuziyetinin de arttığı [52], N4 ve N5 numunelerinde çift taraflı kaynakların birleşerek, Şekil 4.2’de görüldüğü gibi kum saati şeklinin oluştuğu görülmüştür.



Şekil 4.2 Ara tabakasız numunelerin arakesit alınmış makroyapı görüntüleri

TIG çift taraflı nikel ara tabakalı birleştirmeleri 430 A 445 A, 460 A, 475 A ve 490 A parametrelerinde ve her bir numune için 0.01 m/dk sabit kaynak ilerleme hızlarında ilave telsiz ve kaynak ağzı açılmadan küt-ek birleştirilmiş kaynak numunelerinin makroyapı görüntüleri Şekil 4.3’te verilmiştir. Verilen numuneler incelendiğinde oluşan kaynak dikiş kraterinin ve kaynak ergime alanının nikel ara tabakasız birleştirmelere göre daha düzenli olduğu görülmektedir. Bu durum ara tabaka olarak kullanılan nikelin sünekliğinden dolayı sıvayıcı etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.3 Ara tabakalı numunelerin kaynak makroyapı görüntüleri

Nikel ara tabakalı birleştirme yapılan ve Şekil 4.4'te kesit alanları verilen N11-N55 numunelerinde N11 numunesinde 2.4 mm, N22 numunesinde 2 mm, N33 numunesi ise 0.3 mm nikel ara tabakanın düşük nüfuziyetten dolayı ergimediği fakat artan akım şiddeti ile N44-N55 numunelerinde ise ergimenin tam olduğu [52] ve çift taraflı kaynakların birleşerek kum saati şeklini verdiği görülmüştür. Ayrıca ara tabakalı birleştirmelerde kaynak metalinde ara tabakasız kaynaklarda olduğu gibi içbükey kaynak görünüşü yerine dışbükey bir kaynak metal oluşumu gözlenmiştir.

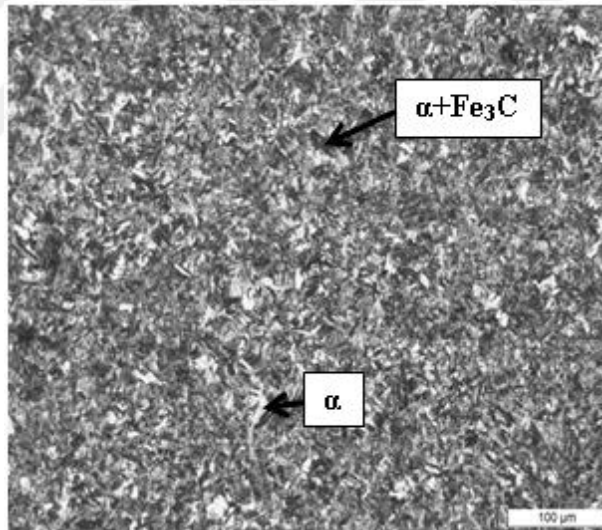


Şekil 4.4 Ara tabakalı numunelerin arakesit alınmış makroyapı görüntüleri

4.2. Kaynak Mikroyapı İncelenmesi

Kaynaklı birleştirmede kullanılacak olan HARDOX 450 çeliği, AISI 430 çeliği ve nikelin kaynak öncesi mikroyapı fotoğrafları incelenmiştir.

HARDOX 450 malzemesi kaynak öncesi mikroyapısı Şekil 4.5'te verilen fotoğraf üzerinde malzemenin yaklaşık olarak benzer miktarlarda yayılım sergilemiş ferrit (α) fazı ve perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) bileşiğinden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4.5 HARDOX 450 malzemesi kaynak öncesi mikroyapısı

Fakat incelenen bu optik resim üzerindeki fazlar klasik bir AISI 1040 çeliğinin optik mikroyapısına nispetle daha fazla iğnemsî bir yapı sergilemektedirler. HARDOX 450 çeliğinin karbon eşdeğerliliğini belirlemek amacıyla Uluslararası Kaynak Enstitüsünün (IIW)-IX no.lu komisyonuna göre karbon eşdeğeri (C_{es}) formülü [4];

$$\%Ceş = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4}$$

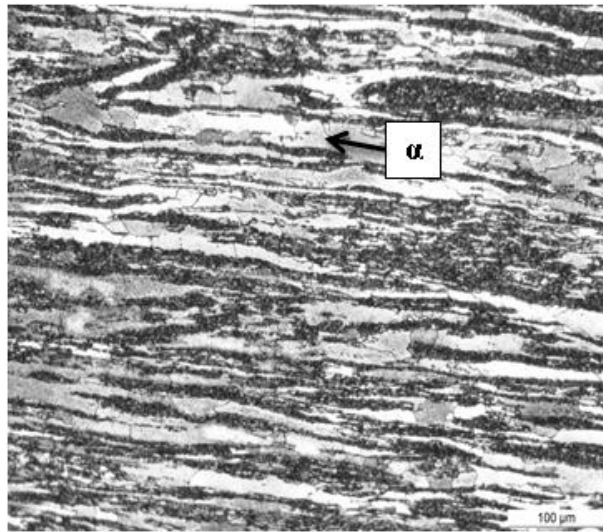
Bu formülde belirtilen alaşım elementi değerleri kimyasal kompozisyondan alınarak yerine konulursa;

$$\%Ceş = 0.19 + \frac{1.60}{6} + \frac{0.70}{24} + \frac{0.025}{40} + \frac{0.25}{5}$$

$$\%Ceş = 0.53 > 0.45$$

İşlem sonunda çıkan değer gerekli olan alt tavlama sıcaklığından yüksek olması nedeniyle HARDOX 450 malzemesi kaynak edilirken çatlamaya ve kırılmaya eğilimli olduğu görülmektedir. Bu deney çalışmasında yapılan kaynaklar ergitmeli kaynaklar olması sebebiyle kaynak işlemi anında görülmesi olası olan bu durumla karşılaşmamıştır. Bu durumun nikel ara tabaka metalinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda nikel ara tabakanın; kaynağın daha sağlam olmasını sağladığı, atomlar arası difüzyonu önlediği, mekanik özellikleri iyileştirdiği ve krom karbür çökmesini azalttığı görülmüştür [38, 39, 49].

AISI 430 malzemesinin kaynak öncesi mikroyapısı Şekil 4.6'da verilmiştir. İncelenen bu mikroyapı deformasyon yönünde uzanan bambu benzeri [53], ferrit (α) (beyaz gözüken fazlar) ve tekstürlerden (koyu gözüken) oluşmaktadır.



Şekil 4.6 AISI 430 malzemesi kaynak öncesi mikroyapısı

İncelenen AISI 430 mikroyapısının $Cr_{eş}$ ve $Ni_{eş}$ değerleri hesaplandığında aşağıdaki değerler elde edilir:

$$\%Cr_{eş} = \%Cr + 1.5 \times \%Si + \%Mo$$

$$\%Cr_{eş} = 16.2 + 1.5 \times 0.44 + 0.016$$

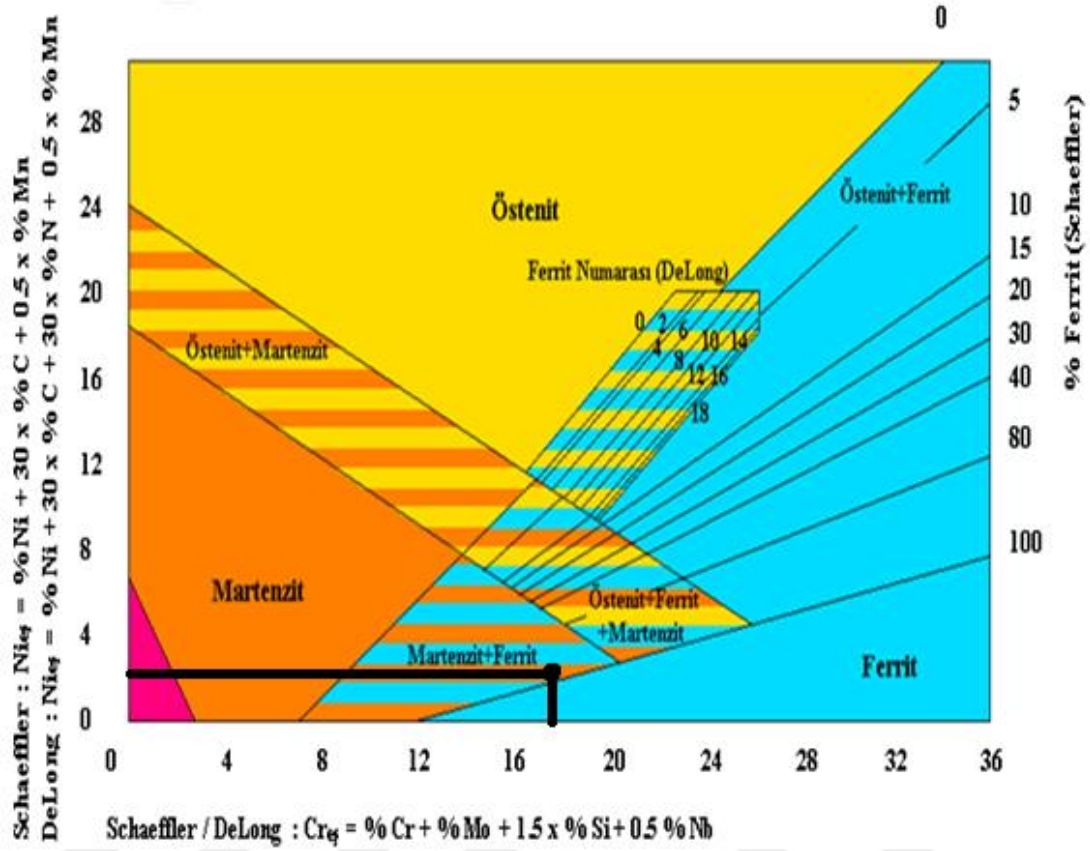
$$\%Cr_{eş} = 16.87$$

$$\%Ni_{eş} = \%Ni + 0.5 \times \%Mn + 30 \times \%C$$

$$\%Ni_{eş} = 0.22 + 0.5 \times 0.61 + 30 \times 0.048$$

$$\%Ni_{eş} = 1.96$$

Elde edilen bu değerler Schaeffler diyagramında değerlendirildiğinde kaynaklı birleştirmede martenzit ile ferrit fazı olması beklenir. Nikel ara tabakalı birleştirmede kaynak metali incelendiğinde kaynak metalinde dentritik bir morfoloji oluşumu görülmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.7 Schaeffler diyagramı [24]

Ayrıca ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında erime bölgesindeki martenzit oluşumu Kaltenhauser ferrit faktörü ile belirlenir [46]. Bu faktör denklemi:

$$KFF = Cr + 6 x Si + 8 x Ti + 4 x Mo + 2 x Al - 40 x (C + N) - 2 x Mn - 4 x Ni$$

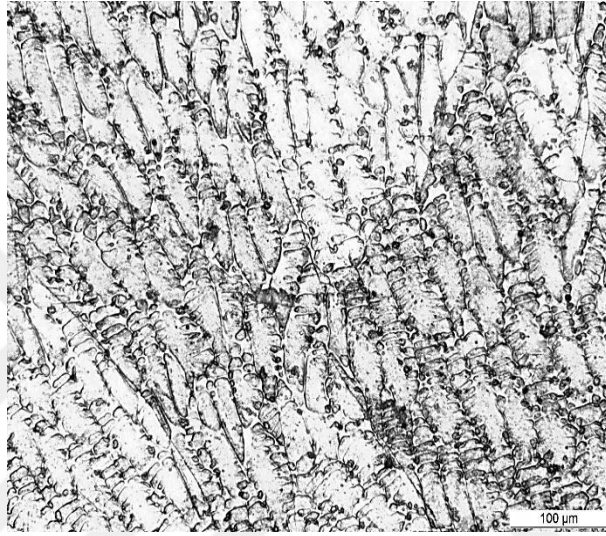
Bu denkleme göre bir ferritik paslanmaz çelikte martenzit oluşumunu engellemek için değerin 17'yi geçmesi gerekmektedir [46]. Kaynaklı birleştirmede kullanılan AISI 430 malzemesinin kimyasal bileşimindeki element değerleri denklemde yerine konulursa;

$$KFF = 16.02 + 6x0.44 + 8x0 + 4x0.016 + 2x0.0 - 40x(0.04) - 2x0.61 - 4x0.22$$

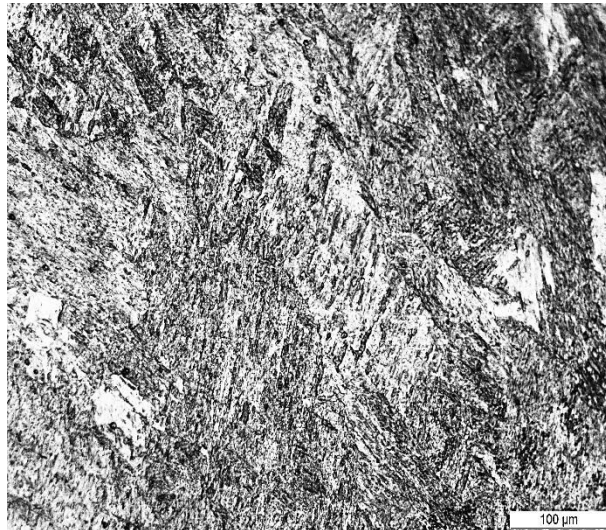
$$KFF = 14.704 < 17$$

olduğundan kaynaklı birleştirmede martenzit oluşumu gözlenir. Kaynaklı birleştirme için kullanılan AISI 430 malzemesinde martenzit oluşumunu engelleyen titanyum ve

niyobyum elementlerinin bulunmaması ve özellikle denklemde sekiz ile çarpılarak sonuca etki eden titanyum elementi bulunmaması kaltenhauser ferrit faktörünün düşük çıkmasına etki etmiştir [4]. Eğer AISI 430 çeliğine üretim anında %0.29 oranında titanyum ilave edilmiş olsaydı, kaltenhauser ferrit faktörüne göre martenzitik oluşum gözlenmeyecekti.



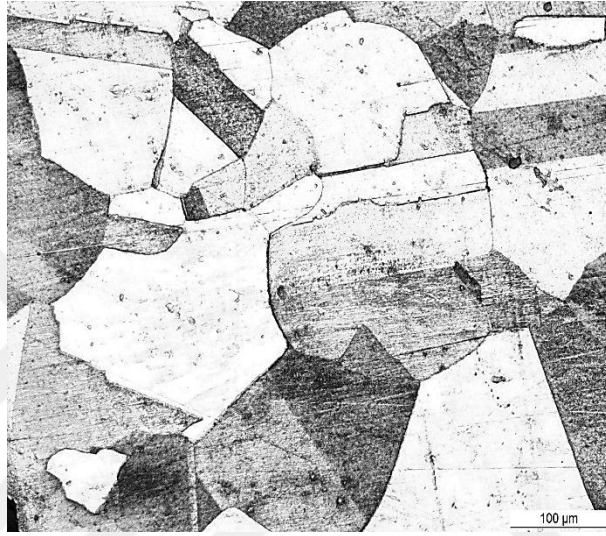
Şekil 4.8 Ara tabakalı birleştirmede meydana gelen kaynak metali mikroyapısı



Şekil 4.9 Ara tabakasız birleştirmede meydana gelen kaynak metali mikroyapısı

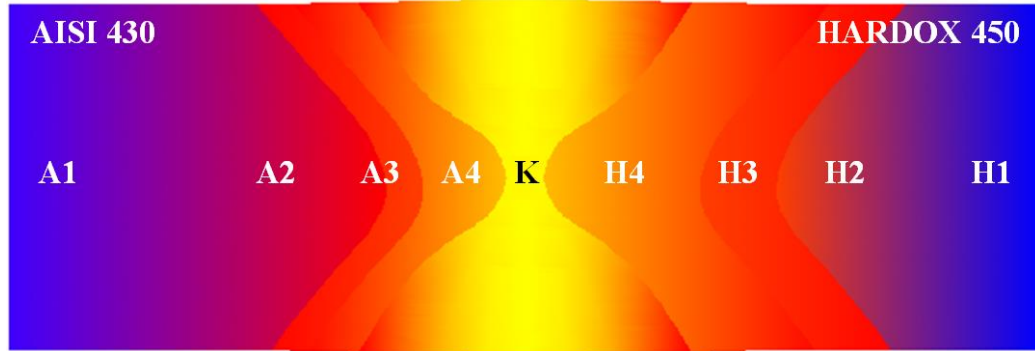
AISI 430 malzemesinin kaynaklı birleştirmelerinde kaynak metalinin cidar bölgelerinde krom karbürlerin (Cr_xC_y) çökeldiği optik mikroyapı fotoğraflarında görülmektedir.

Ara tabakalı birleştirmelerde çalışmanın değişkenlerinden olan ve sonucu etkileyen saf nikel metalinin mikroyapısı Şekil 4.10'de gösterilmiştir.



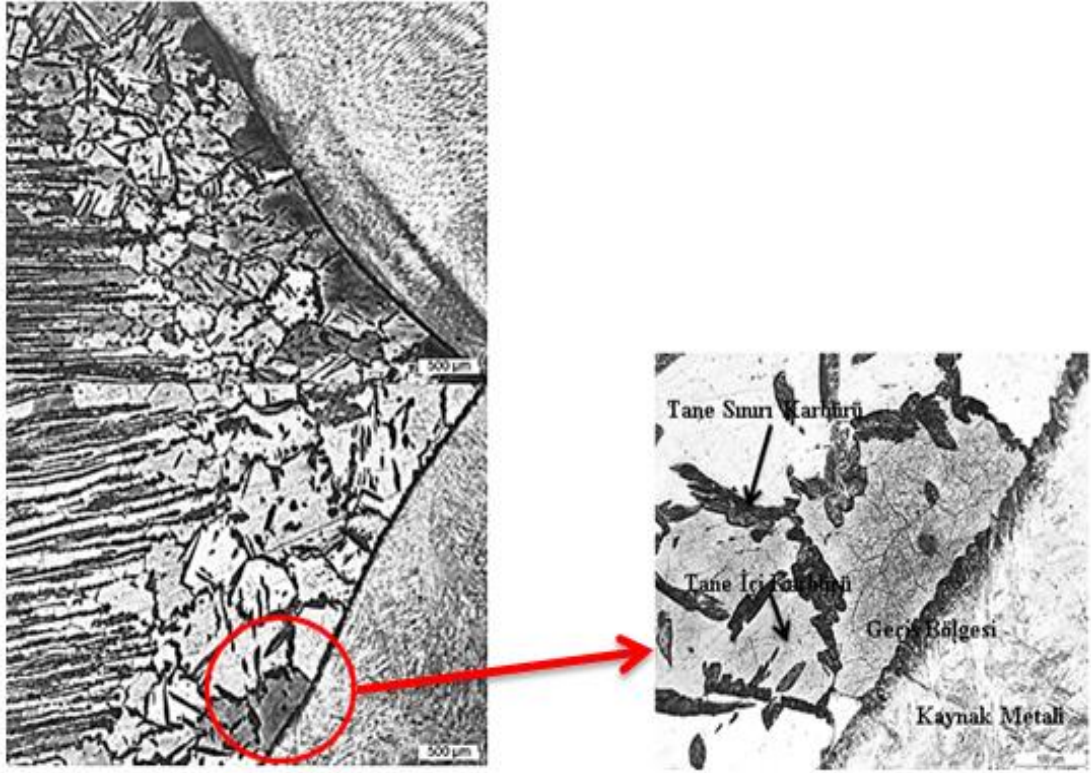
Şekil 4.10 Nikelin mikroyapısı

Kaynaklı birleştirmelerde meydana gelen ısı akışı incelendiğinde ısı iletimin, termal iletkenliği yüksek olana doğru gideceği bilinmektedir [39]. Bu durumda AISI 430 çeliğe oranla yüksek termal iletkenliği olan HARDOX 450 çeliğinde ITAB'ın daha geniş olduğu, iri taneli bölge (H4), ince taneli bölge (H3), kısmen dönüşmüş bölge (H2) ve içyapısında dönüşüm olmamış bölge (H1), Şekil 4.11'de görülmektedir [54]. Ayrıca Şekil 4.11'de AISI 430 malzemesinde oluşan ITAB'da yüksek sıcaklık ITAB (A4), orta sıcaklık ITAB (A3), düşük sıcaklık ITAB (A2) ve esas metal (A1) olarak verilmiştir [46]. AISI 430 malzemesinin çift taraflı dikişinde oluşan mikroyapısı Şekil 4.12'de, HARDOX 450 malzemesinin çift taraflı dikişlerinde oluşan mikroyapısı da Şekil 4.13'te verilmiştir.



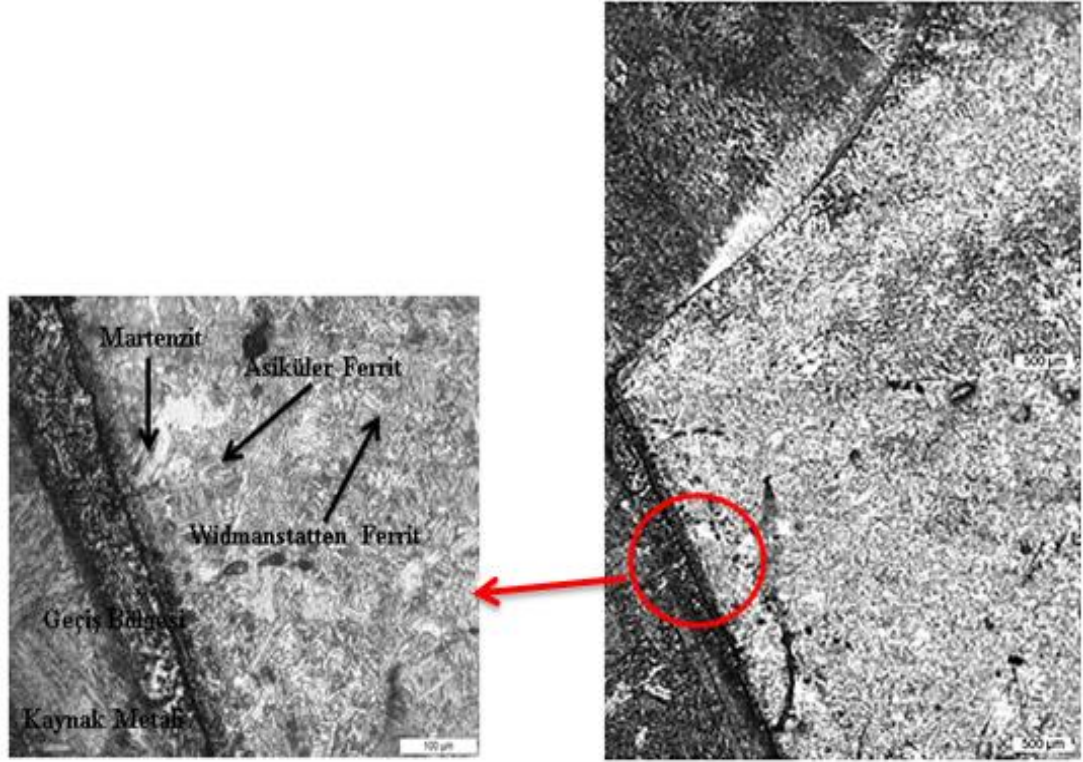
Şekil 4.11 AISI 430 ve HARDOX 450 çelikleri ısının tesiri altında kalmış bölgeler

Şekil 4.12'deki mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde AISI 430 numunesi tarafında elde edilen kaynak ve ısının tesiri altında kalan bölgesinde kısa bir mesafede ITAB olduğu ve akabinde malzemenin üretimi anında oluşmuş olan deformasyon tekstürleri görülmektedir. Verilen mikroyapı fotoğrafı içerisinde daire içerisine alınan bölgenin büyütülmüş mikroyapı fotoğrafına bakıldığında, tane irileşmesinin meydana geldiği ve morfolojide oluşan tane sınırı karbürler, tane içi karbür, geçiş bölgesi ve kaynak metali görülmektedir. Tane sınırlarına çökelmiş krom karbürlerin ayrıca tokluğu düşürdüğü bilinmektedir [55]. Isının tesiri altında kalan bu bölge içerisinde meydana gelmiş olan iri taneler, ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında karşılaşılan normal bir durumdur [56]. Kaynak ITAB'ı, kullanılan kaynak işleminden bağımsız olarak kaba taneli ferritik yapıdan oluşur [25]. Bu, kaynakta meydana gelen ısı döngüsünün bir sonucu olarak ortaya çıkar ve oluşan mikroyapının komşu kaynak metalinden daha yumuşak olduğu yapılan mikrosertlik deneylerinde de görülmüştür.



Şekil 4.12 AISI 430 çift taraflı kaynağında kum saati oluşumu ve ITAB

Şekil 4.13'teki HARDOX 450 kaynaklı birleştirme numunesi mikroyapısı incelendiğinde, AISI 430 malzemeye göre daha geniş bir ısının tesiri altında kalan bölge görülmekle birlikte bu bölge içerisinde soğuma hızı ve karbon miktarına bağlı olarak (deneyde kullanılan malzemede %0.19 C bulunur) çıta tipi martenzitik bir yapı oluşmuştur [14]. ITAB'dan esas metale doğru gidildikçe düşen ısıyla birlikte içyapıda meydana gelen değişiklikde farklılık göstereceğinden verilen mikroyapı fotoğrafında daire içerisine alınan bölgenin büyütülmüş mikroyapısına bakıldığında, asiküler ferrit ve widmanstatten ferrit görmek mümkündür.



Şekil 4.13 HARDOX 450 çift taraflı kaynağında kum saati oluşumu ve ITAB

Kaynaklı birleştirme sonucunda farklı akım şiddetinde (A) fakat aynı gaz debisi, ilerleme hızı ve nozul çapı, ara tabakalı ve ara tabakasız birleştirilen AISI 430 çeliği ile HARDOX 450 çelik çiftlerinden elde edilen optik mikroyapılar Şekil 4.14-Şekil 4.23'te, SEM mikroyapıları Şekil 4.24-Şekil 4.33'te verilmiştir. Verilen bu şekiller kaynak metali ile birleştirmede kullanılan AISI 430 ile HARDOX 450 malzemelerinin mikroyapılarını içeren, çift taraflı kaynağın kum saati formunu gösterecek şekilde oluşmuştur. Meydana gelen bu mikroyapıların şekilleri N1-N5 numuneleri ara tabakasız; N11-N55 numuneleri ise, ara tabakalı birleştirmeleri göstermektedir. TIG çift taraflı birleştirmeler ile elde edilmiş olan numunelerin mikroyapılarına bakıldığında boşluk, çatlak ve yetersiz ergime olan bölgeye rastlanmamıştır. Birleştirmelerde elde edilmiş tüm mikroyapılar ergitmeli kaynaklarda meydana gelen mikroyapılar ile benzerlik göstermektedir. Kaynaklı birleştirmelerde kullanılan malzemelerin optik mikroyapıları incelenirken AISI 430 çeliğinin olduğu tarafa ITAB-AISI 430, HARDOX 450 çeliğinin tarafına ise ITAB-HARDOX 450 olarak tanımlanmıştır.

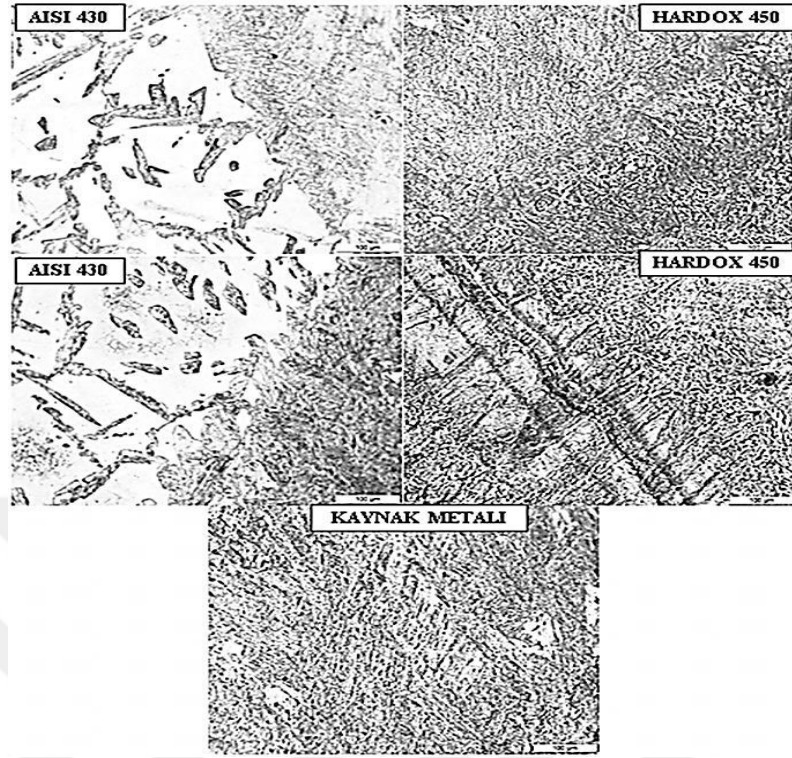
Ara tabakasız numunelerin optik mikroyapıları incelendiğinde ITAB-AISI 430 tarafında meydana gelen morfoloji ferrit fazlarından meydana gelen tipik mikroyapıyı göstermektedir [6]. İncelenen mikroyapılarda artan akım şiddeti ile soğuma hızının artmasına mukabil olarak iğnemsiliği artan çita tipi krom karbürler, tane içinde biberimsi ve tane sınırı karbürleri görülmektedir. Ara tabakasız numunelerin ITAB-HARDOX 450 tarafında ise AISI 430'a göre daha geniş bir ITAB oluştuğu ve oluşan ITAB'da akım şiddetinin artmasına mukabil soğumada meydana gelen artış, morfolojide martenzit oluşumuna neden olmaktadır. ITAB-HARDOX 450'de kaynak cidarından içyapısında değişiklik olmamış bölgeye ilerledikçe yapı içerisinde widmanstatten ferritlere rastlamak mümkündür. Bununla birlikte soğuma hızının yüksek olduğu bölgelerde asiküler ferritler de görülmektedir. Asiküler ferrit, morfolojide bulunan inklüzyonlara ve soğuma hızına bağlı olduğu bilinmektedir [4]. Asiküler ferrit bazen tane içi widmanstatten ferrit olarak da kabul edilmektedir. Dönüşüm ara yüzeyinde merdiveni andıran bir görünüş bu değerlendirmeye neden olur. Dönüşüm ara yüzeyi düz çıkıntı büyüme mekanizmasını andırmaktadır. Ara yüzey hareketinin merdivenimsi mekanizması dönüşüm mekanizmasını yeteri kadar yansıtmamaktadır. Karbonca zenginleşmiş kalıntı östenitin bazen widmanstatten ferritin oluşumuna yardımcı olduğu ifade edilir. Ancak yukarıda bahsedildiği gibi kalıntı östenitin zenginleşmesi dönüşümden önce oluştuğu gibi dönüşümden sonra da gerçekleşebilir. Birçok kaynaklı birleştirmelerde ısı tesiri altında kalmış bölgede oluşan asiküler ferrit tane içinde oluşan beynittir. Bu küçük boyutlara sahip faz asiküler ferrit olarak adlandırılır [57]. Asiküler ferrit beynit fazının tane içinde çekirdekleşen şeklidir. Bu sebeple çekirdekleşme oranının kontrol edilmesiyle bu iki farklı morfoloji birbirine dönüşebilir. Beynitik bir mikroyapı asiküler yapıya malzemenin içinde yeterince oksijen ve bundan dolayı inklüzyona sahip olması halinde dönüşebilir. Asiküler yapının oluşumunun beynitten farkı; asiküler ferritin tane içinde yüksek oranda inklüzyonların bulunması ve yapının inklüzyonlardan oluşmasıdır. Oysa beynit östenit tane sınırında çekirdekleşir. Asiküler ferritin dönüşüm mekanizması beynit fazının dönüşüm mekanizmasına benzer. Ancak, tüm fazlar gibi widmanstatten ferritten inklüzyonlar üzerinde teşekkül edebilir [58]. Ara tabakasız numunelerin

kaynak metalleri her iki metalin de ergimesi suretiyle oluşmuştur. Ara tabakasız birleştirmelerin N4 ve N5 numunelerinde kum saati formu olduğu verilen mikroyapılarda görülmektedir. Birleştirmenin kaynak metallerinde artan akım şiddeti ile morfolojinin iğnemi yapıya dönüştüğü görülmektedir.

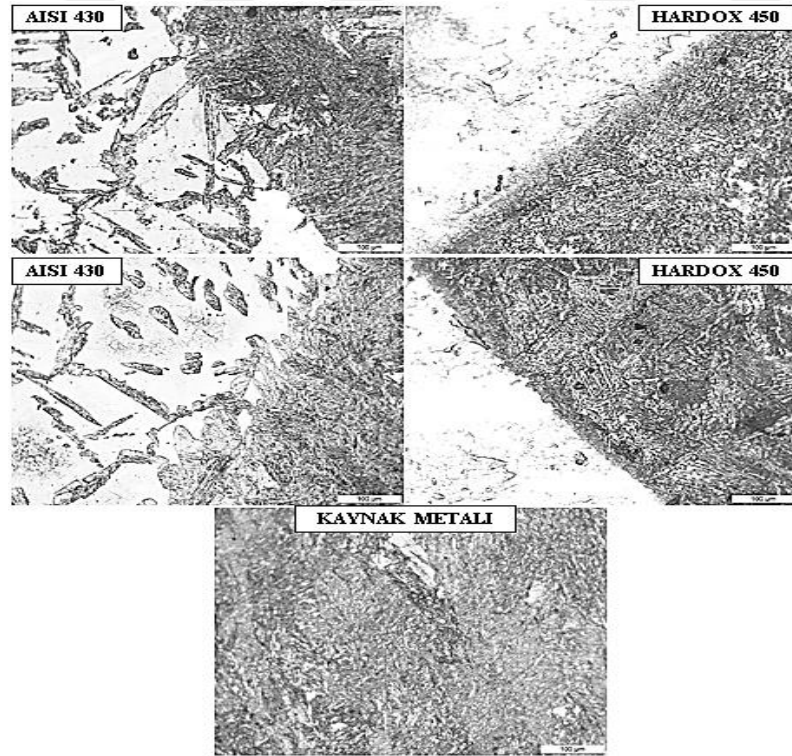
Ara tabakalı birleştirilen numunelerin optik mikroyapıları incelendiğinde ITAB-AISI 430 tarafında meydana gelen morfolojide kaynak metali ile AISI 430 metali arasında oluşan bir karbür ağı görülmektedir. Görülen karbür ağı artan akım şiddeti ile genişliği yer yer artarken ayrıca girinti-çıkıntı şeklinde de görülmektedir. Bu ağın ara tabakalı birleştirmede meydana gelmesi nikel ara tabakadan kaynakladığı düşünülmektedir. AISI 430 malzemesinde ITAB'da oluşan morfolojiye bakıldığında ara tabakasız birleştirilen numunelerin ITAB-AISI 430'a oranla daha az iğnemi bir yapı görülmekle birlikte karbürlerin köşelerinin daha bombeli olduğu görülmektedir. ITAB-HARDOX 450 tarafına bakıldığında martenzit, asiküler ferrit ve widmanstatten ferrite rastlamak mümkündür. Fakat bu yapıların ara tabakasız numunelerde görülenlere oranla, ITAB-AISI 430'da olduğu gibi, iğnemi morfoloji yerine daha bombeli olduğu görülmektedir.

Ara tabakalı ve ara tabakasız birleştirmelerde ITAB-AISI 430 tarafında ferrit taneleri içerisinde biberimsi karbür kümeleri göze çarpmaktadır. Bunlar soğuma anında oluşan karbürlerden oluşmaktadır [59].

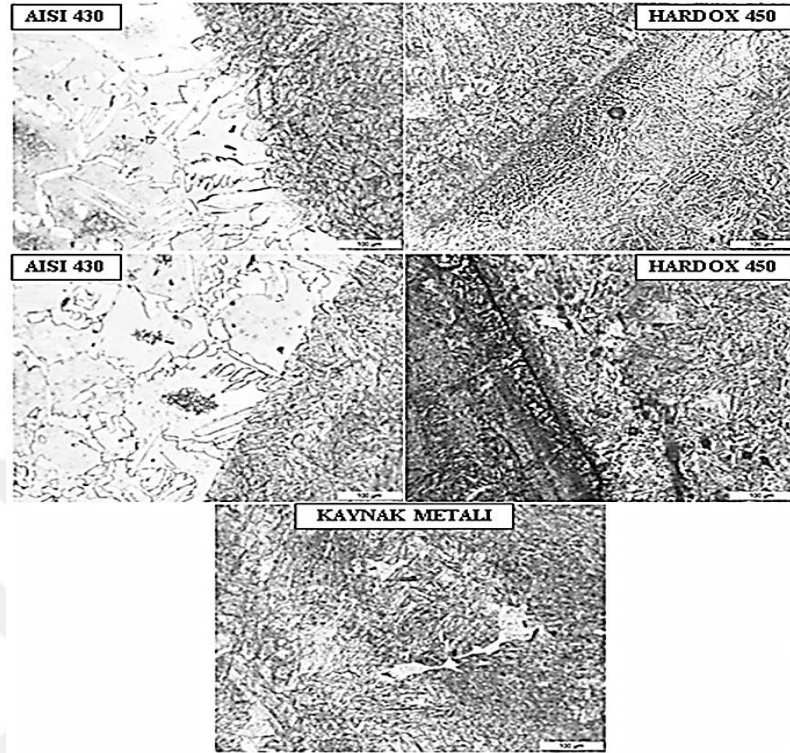
Kaynak metallerine bakıldığında düşük akım şiddetinde yapılan birleştirme numunelerinde belirgin dentritik morfoloji mevcutken, akım şiddetinin yüksek olduğu N44 ve N55 numunelerinde soğuma hızının artması ile birlikte diğer birleştirmelere kıyasla iğnemi bir mikroyapı görülmektedir. Yapılan benzer çalışmalarda [57, 59, 60] ve bu çalışmada da ara tabakasız birleştirilen numunelerde kaynak metalinde martenzitik yapı göze çarpmaktadır. Martenzitin yapı içerisinde oranının fazla olması durumunda hidrojen kaynaklı çatlaklar görülebilir [59]. Fakat bu çalışmada böyle bir durumla karşılaşılmamıştır.



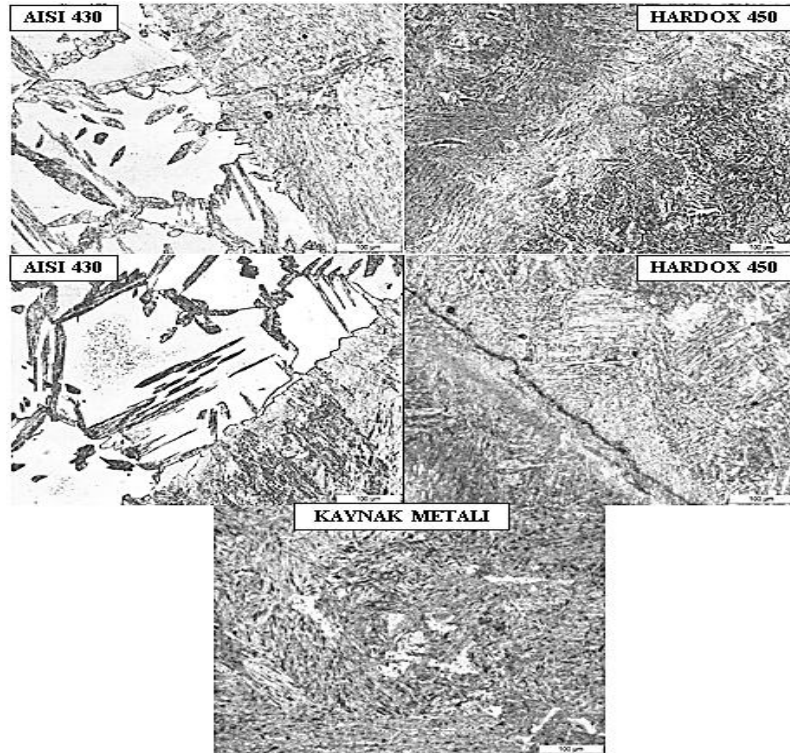
Şekil 4.14 N1 numunesi optik mikroyapısı



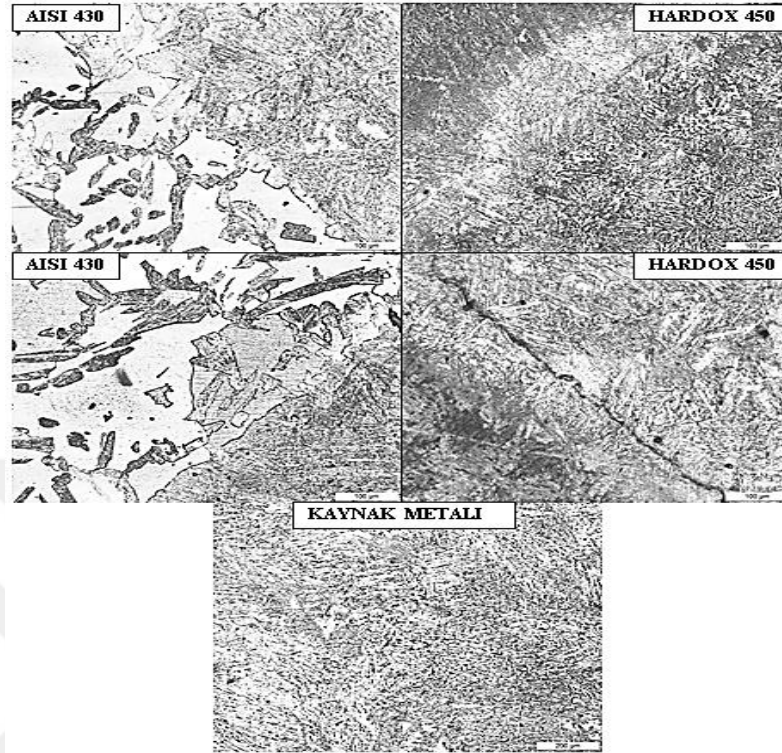
Şekil 4.15 N2 numunesi optik mikroyapısı



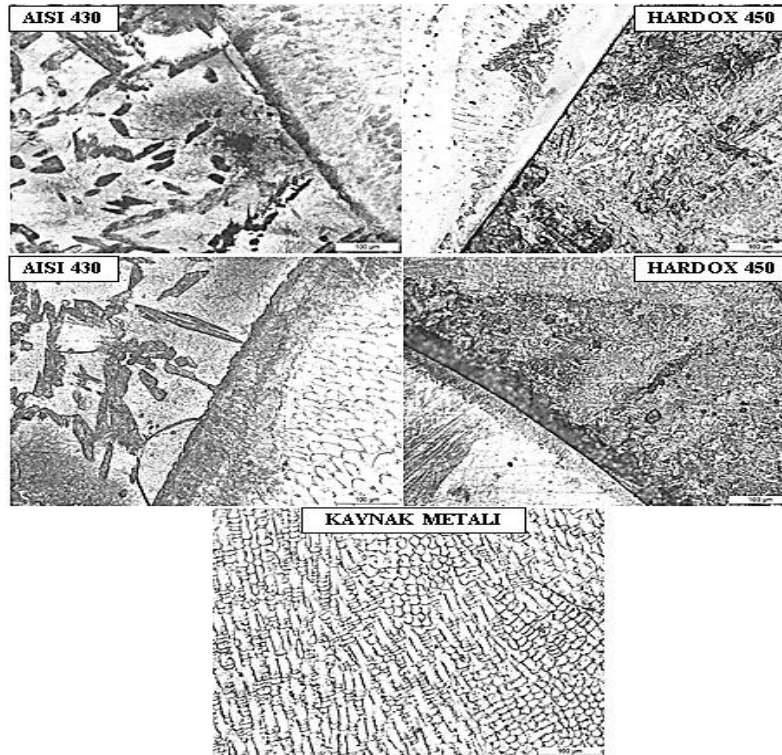
Şekil 4.16 N3 numunesi optik mikroyapısı



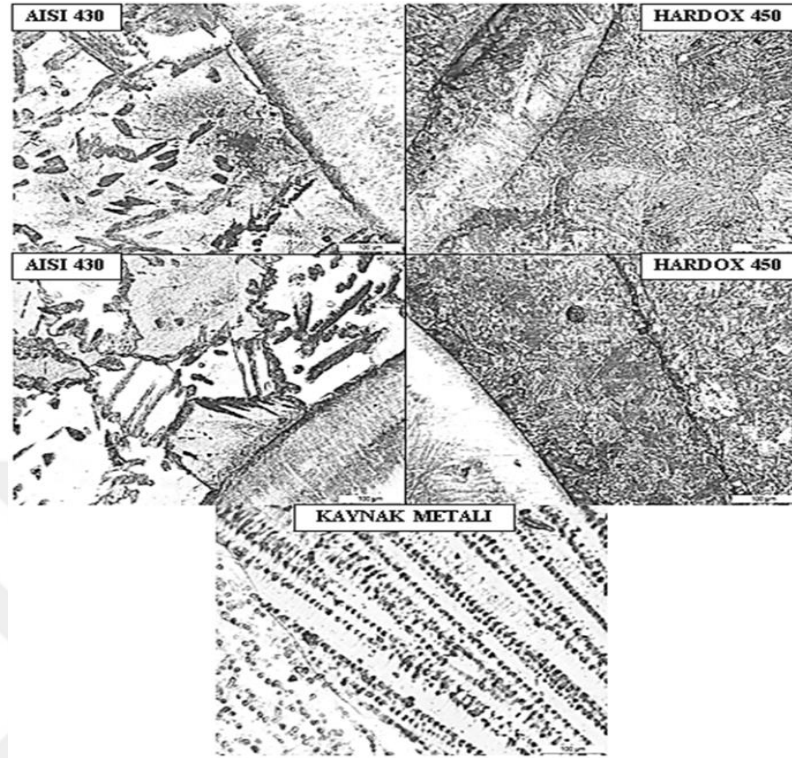
Şekil 4.17 N4 numunesi optik mikroyapısı



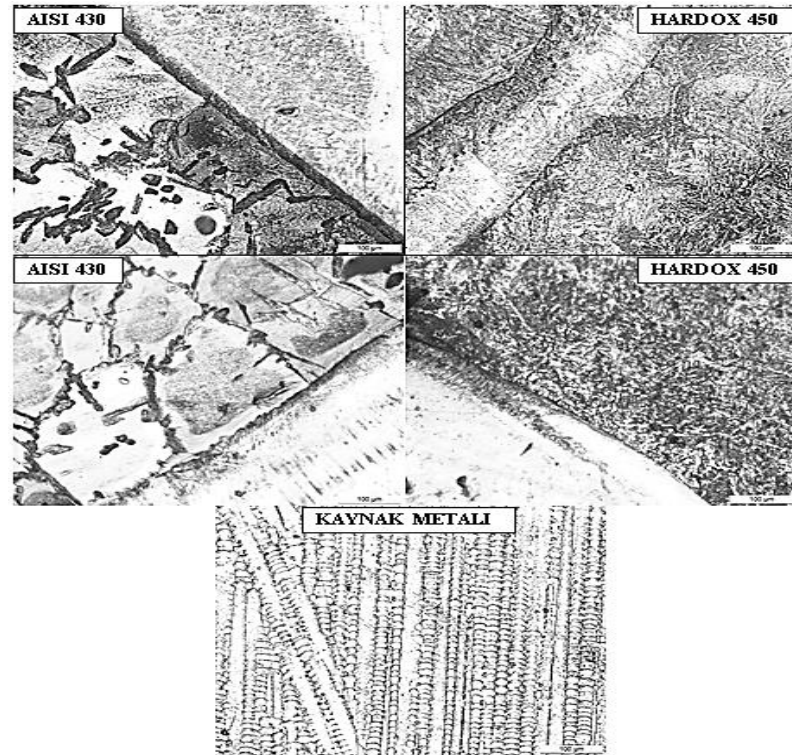
Şekil 4.18 N5 numunesi optik mikroyapısı



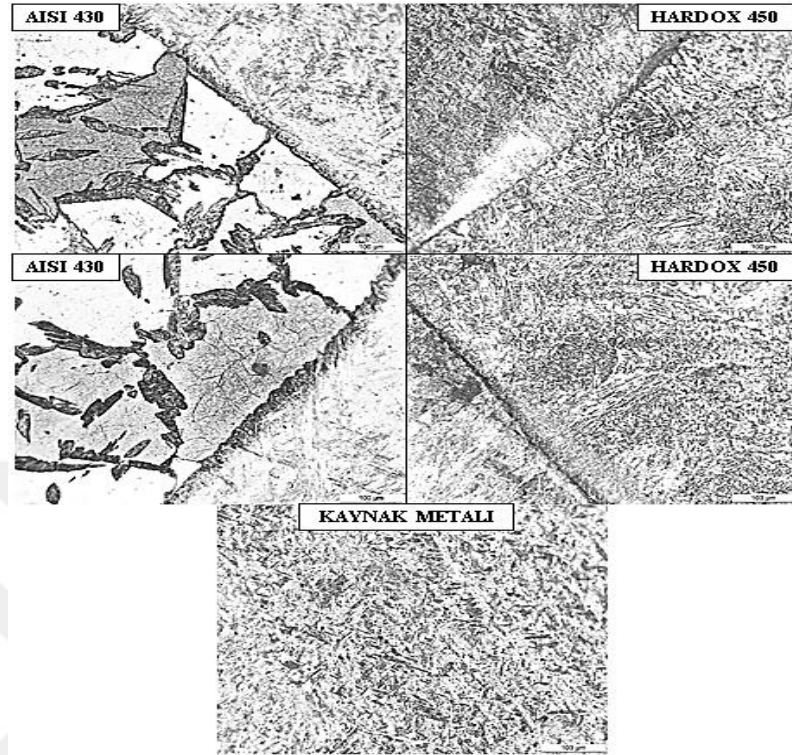
Şekil 4.19 N11 numunesi optik mikroyapısı



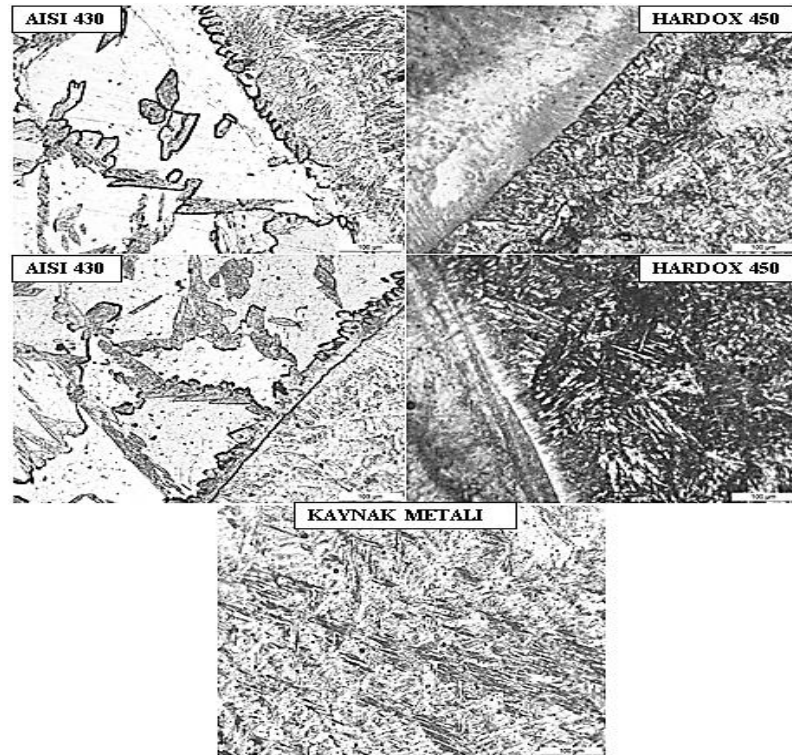
Şekil 4.20 N22 numunesi optik mikroyapısı



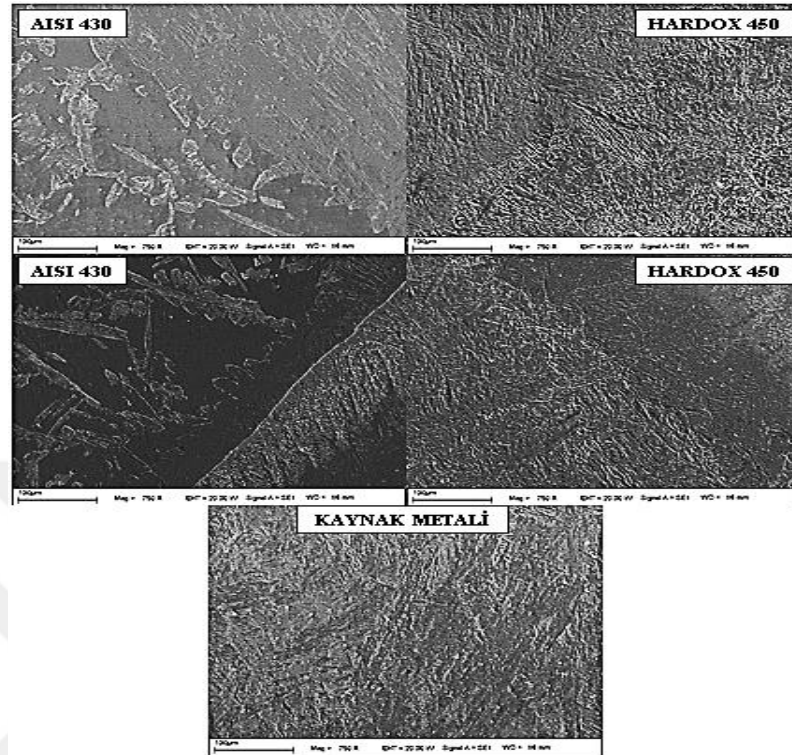
Şekil 4.21 N33 numunesi optik mikroyapısı



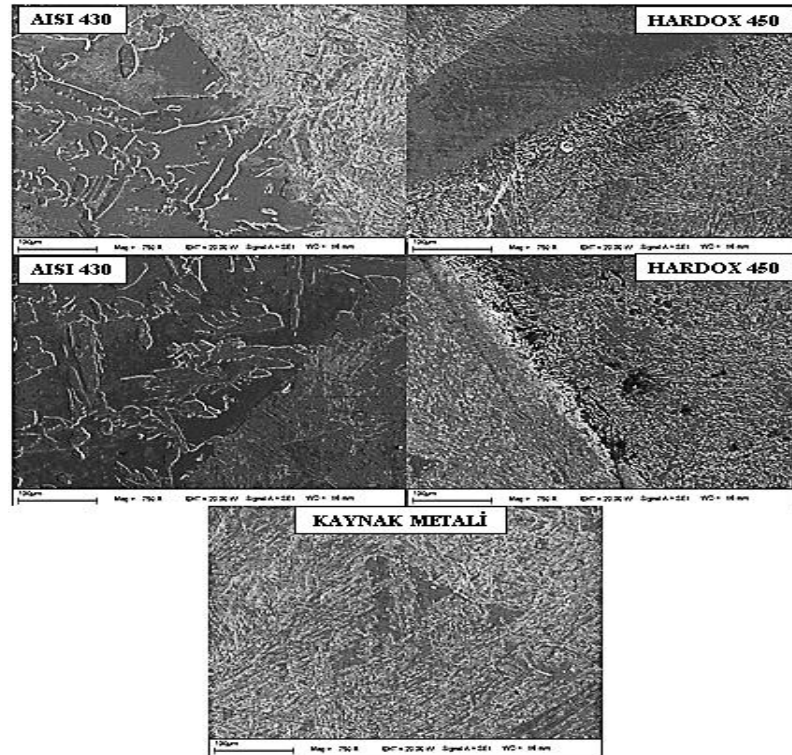
Şekil 4.22 N44 numunesi optik mikroyapısı



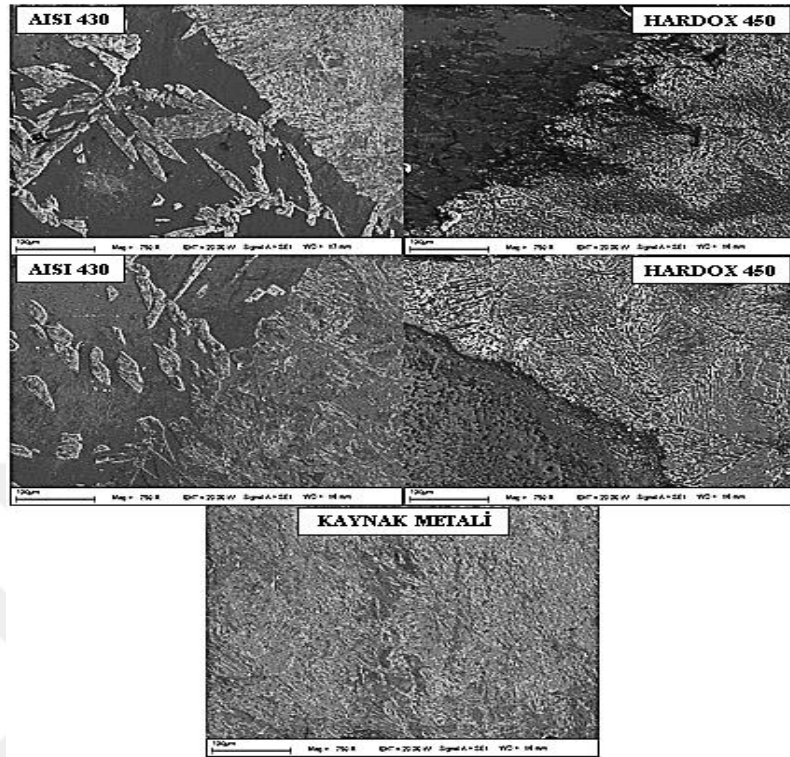
Şekil 4.23 N55 numunesi optik mikroyapısı



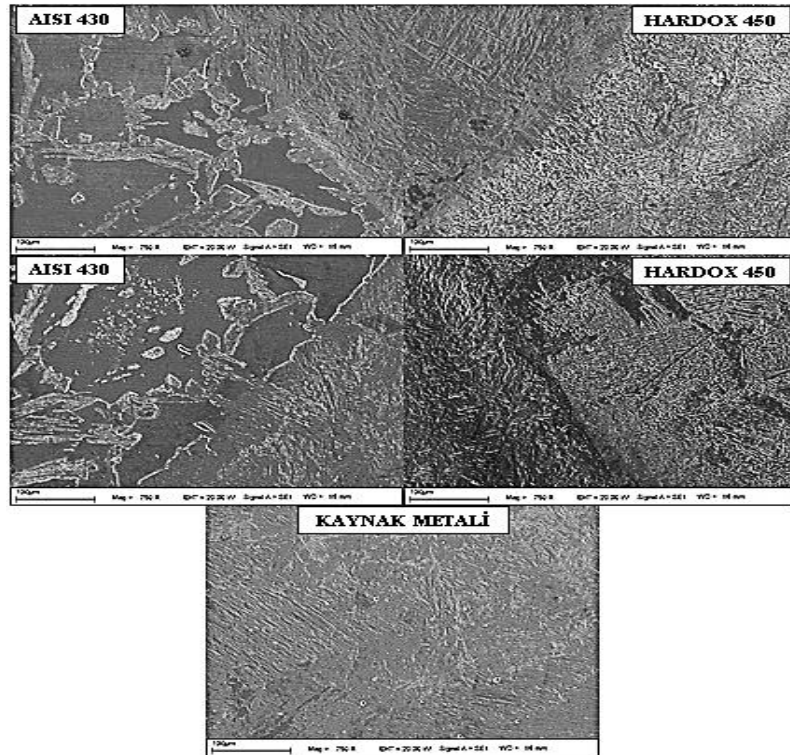
Şekil 4.24 N1 numunesi SEM mikroyapısı



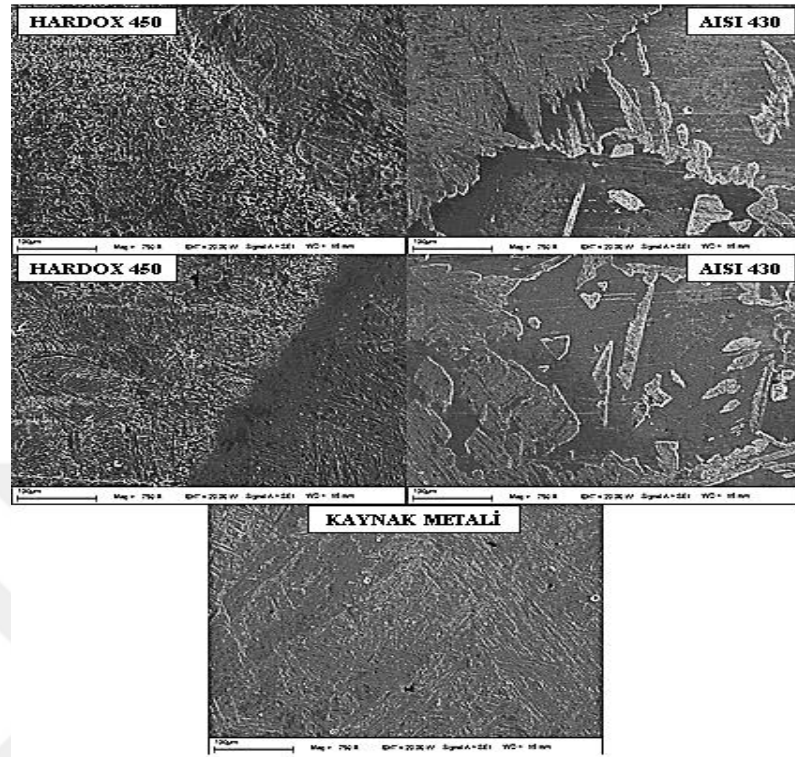
Şekil 4.25 N2 numunesi SEM mikroyapısı



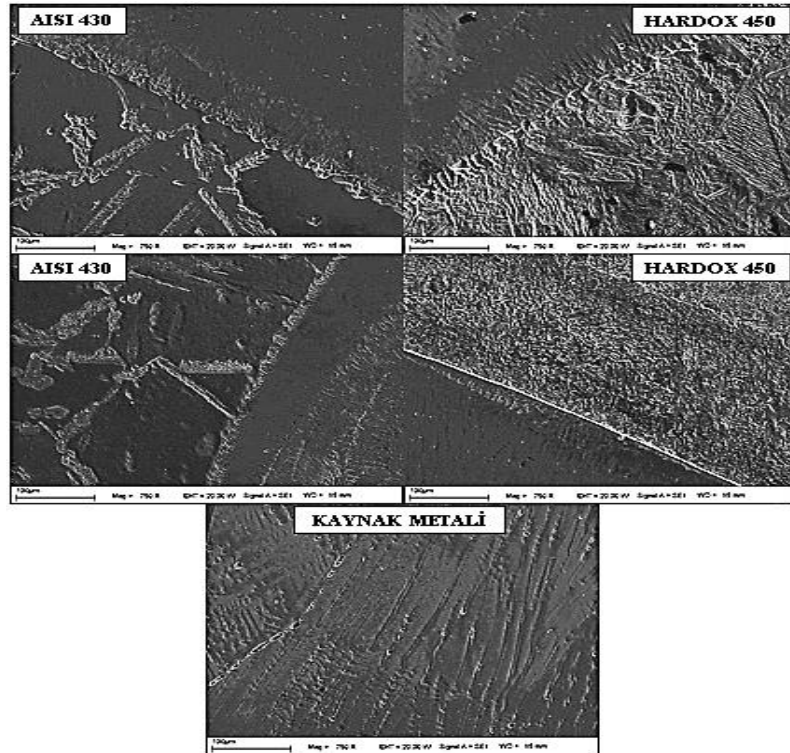
Şekil 4.26 N3 numunesi SEM mikroyapısı



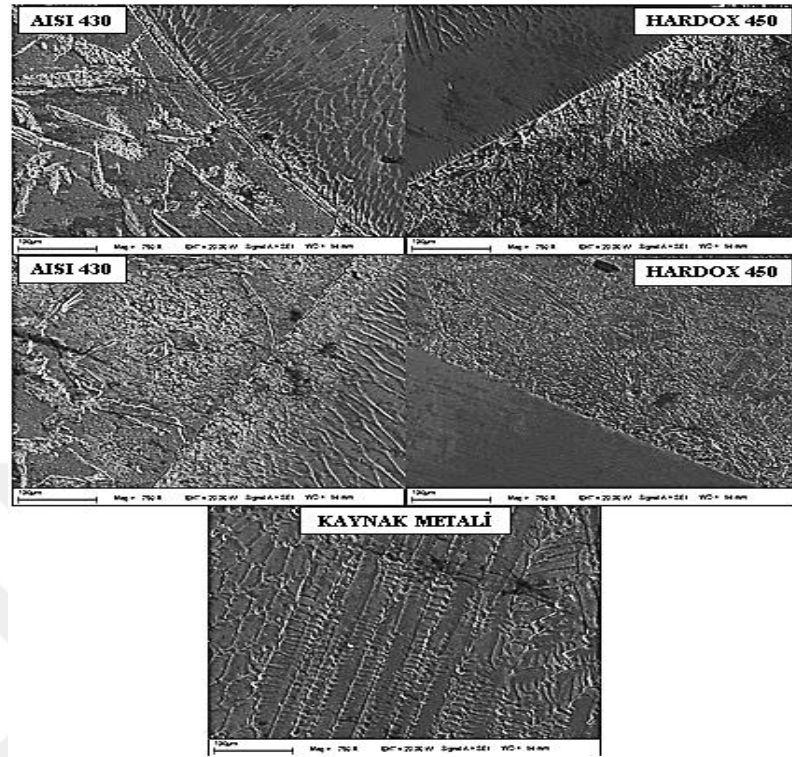
Şekil 4.27 N4 numunesi SEM mikroyapısı



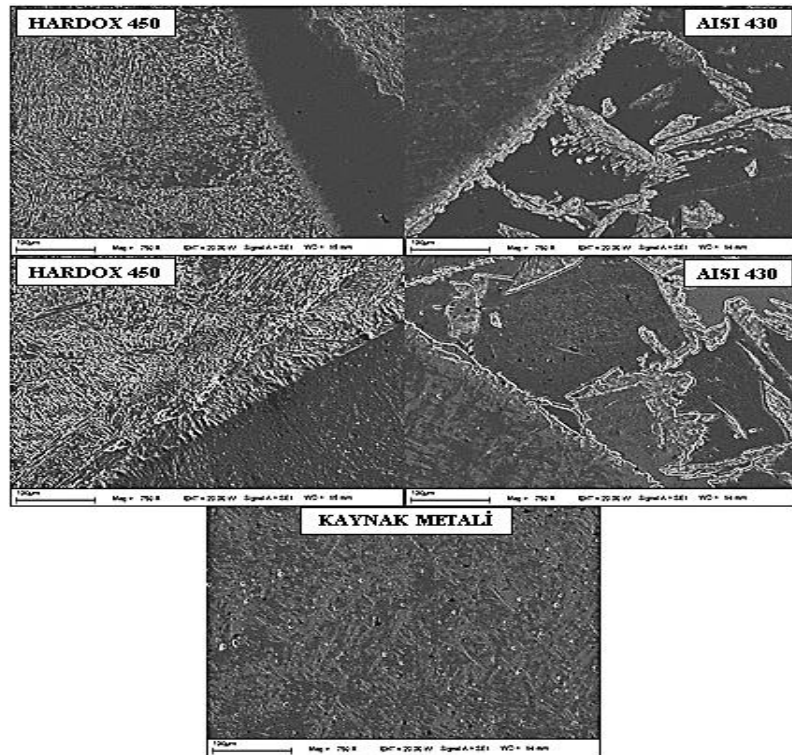
Şekil 4.28 N5 numunesi SEM mikroyapısı



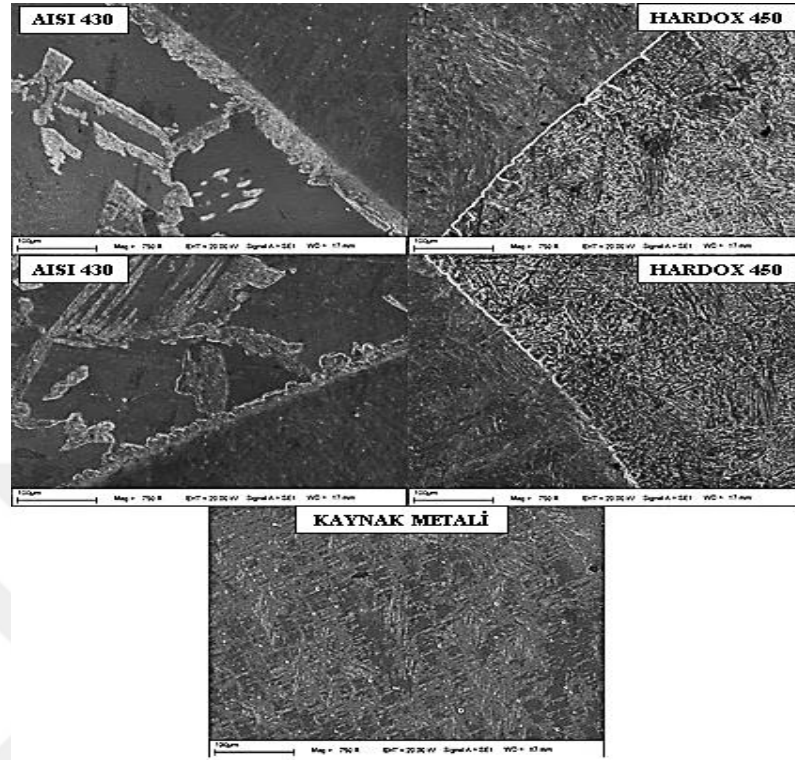
Şekil 4.29 N11 numunesi SEM mikroyapısı



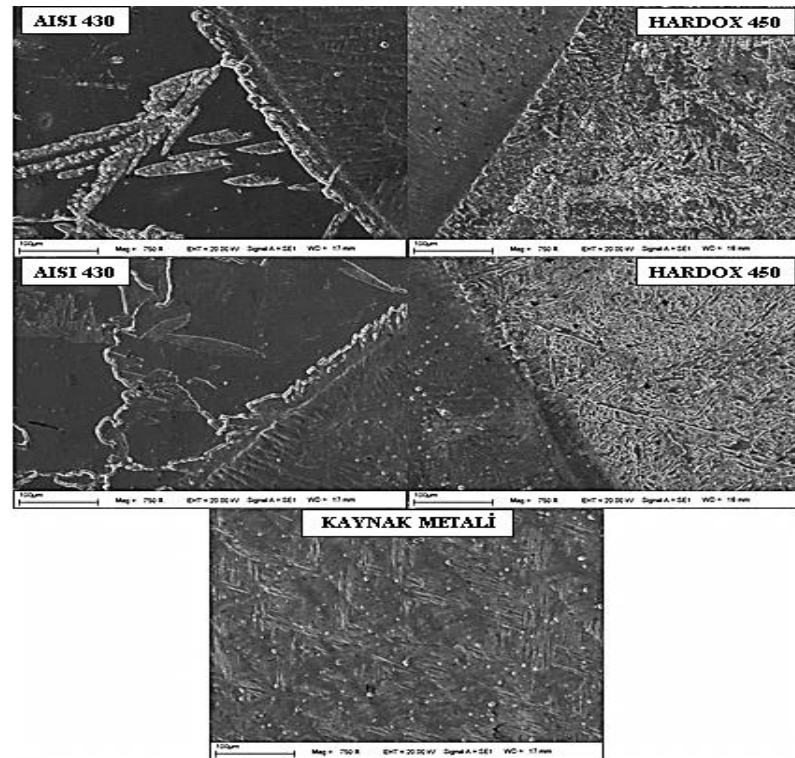
Şekil 4.30 N22 numunesi SEM mikroyapısı



Şekil 4.31 N33 numunesi SEM mikroyapısı



Şekil 4.32 N44 numunesi SEM mikroyapısı



Şekil 4.33 N55 numunesi SEM mikroyapısı

4.3. Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) Analiz Sonuçları

Kaynaklı birleştirme sonucunda elde edilmiş olan N1, N3 ve N5 ara tabakasız numunelerin EDS sonuçları Şekil 4.34-68'de ve Çizelge 4.2-36'da verilmiştir. Ayrıca ara tabakasız numunelerin % element ağırlıkları da Çizelge 4.70'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kaynaklı birleştirme anında kaynak metalinde ve esas metallerde demir (Fe), krom (Cr), mangan (Mn), nikel (Ni), molibden (Mo), karbon (C) ve silisyum (Si) elementleri görülmektedir. Elementlerin yapı içerisinde dağılımları incelendiğinde her iki malzemenin (AISI 430-HARDOX 450) temel bileşeni olan demir elementinin en fazla bulunduğu nokta, N1 numunesi 12. nokta (Kaynak metali) %83.66 ağırlığında tespit edilmiştir. AISI 430 malzemesinin demirden sonra yapısında en fazla bulundurduğu krom elementi N5 numunesi 25. noktada (AISI 430) %16.68 ağırlığında olduğu gözlenmiştir. İncelemede, özellikle kaynak metallerinde olmak üzere, ara tabakasız birleştirmelerde yapılan analizlerde mangan elementi yoğun bir şekilde yayıldığı gözlenmiştir. % element değerlerine bakıldığında yapıda en az 1. noktada (AISI 430) %5.40 oranında, en fazla 33. noktada (kaynak metali) %10.93 oranında olduğu tespit edilmiştir. Kaynak metalinde manganın görülmesi, kaynak metalinde, mukavemetin ve sertliğin artmasına neden olmaktadır fakat bu durum toklukta azalmaya neden olur [61]. Çelik malzemesinin temelini teşkil eden karbon elementinin yapı içerisindeki dağılımına bakıldığında en az karbon miktarına N1 numunesi 3. noktada (Kaynak metali) %1.75 oranında rastlanmaktadır. En fazla karbon elementi ise N5 numunesi 35. noktada %40.98 oranında görülmüştür.

Ara tabakalı birleştirilen N11, N33 ve N55 numunelerini EDS sonuçları Şekil 4.69-100'de ve Çizelge 4.37-68'de verilmiştir. Ayrıca ara tabakalı numunelerin % element ağırlıkları da Çizelge 4.69'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kaynaklı birleştirme sonunda kaynak metalinde ve esas metallerde demir (Fe), krom (Cr), mangan (Mn), nikel (Ni), molibden (Mo), karbon (C) ve silisyum (Si) elementleri ara tabakasız birleştirmede olduğu gibi ara tabakalı birleştirmede de görülmektedir. Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde en fazla demir oranı N11 numunesi (HARDOX 450) 6. noktada %91.25 oranında olduğu görülmektedir. Krom oranına

bakıldığında en fazla N11 numunesi 10. noktada (Kaynak metali) %22.06 oranında olduğu gözlenmiştir. Karbon miktarı incelendiğinde en fazla N55 numunesi 27. noktada %20.49 oranında görülmektedir. Ara tabakalı birleştirmede ara tabakasız birleştirmeye kıyasla mangan miktarı N11 numunesinde % ağırlık olarak azalma görülürken, N33 ve N55 numunelerinden alınan analizlerde mangan miktarının ara tabakasız numunelerden fazla çıktığı görülmektedir.

Ara tabakalı birleştirmenin önemli bir değişkeni olan nikel elementinin kaynaklı birleştirme sonucunda kaynak metalindeki dağılımına bakıldığında alınan analizlerde nikelin en fazla N11 numunesi 4. noktada %16.28 oranında, en az N55 numunesi 25. noktada %2.32 oranında görülmüştür. ITAB-AISI 430 tarafına bakıldığında en fazla N55 numunesi 23. noktada %1.10 oranında, en az N11 numunesi 7. noktada %0.83 oranında olduğu görülmektedir. ITAB-HARDOX 450 tarafına bakıldığında en fazla N33 numunesi 17. noktada %0.84 oranında, en az N11 numunesi 12. noktada ve N33 numunesi 22. noktada %0.54 oranında görülmektedir. Nikel elementinin AISI 430 malzemesi içerisinde HARDOX 450 malzemesinden fazla olması, bu çalışmada yapılan ortalama atom ağırlığı hesaplaması ile açıklanmaktadır. Bu durumun açıklanması için öncelikle Çizelge 4.1’de kaynaklı birleştirmede kullanılan malzemelerin kimyasal element içeriklerinin atom ağırlıkları verilmiştir. Aşağıda verilen ortalama atom ağırlığı (OAA) hesaplanarak elde edilen sonuçlar ile açıklanır.

$$OAA = \%Element\ miktarı \times Atom\ ağırlığı + \dots$$

$$OAA = \%Fex55.8 + \%Cx12 + \%Cr52 + \%Nix58.7 + \%Six28.1 + \%Mox95.9 \\ + \%Px31 + \%Sx32 + \%Bx10.8 + \%Mnx54.9 + \%Cux63.5$$

Çizelge 4.1 AISI 430, HARDOX 450 ve Nikelin % kimyasal ağırlıkları [16, 62]

Element	Sembol	Atom Ağırlığı
Demir	Fe	55,8
Karbon	C	12
Krom	Cr	52
Nikel	Ni	58,7
Silisyum	Si	28,1
Molibden	Mo	95,9
Fosfor	P	31
Kükürt	S	32
Bor	B	10,8
Mangan	Mn	54,9
Bakır	Cu	63,5

$$AISI430 = 82.64 \times 55.8 + 0.048 \times 12 + 16.02 \times 52 + 0.22 \times 58.7 + 0.44 \times 28.1 \\ + 0.016 \times 95.9 + 0.002 \times 32 + 0.61 \times 54.9$$

$$AISI430 = 5505.2$$

$$HARDOX450 = 97.19 \times 55.8 + 0.19 \times 12 + 0.25 \times 52 + 0.025 \times 58.7 + 0.7 \times 28.1 \\ + 0.025 \times 31 + 0.01 \times 32 + 0.004 \times 10.8 + 1.6 \times 54.9$$

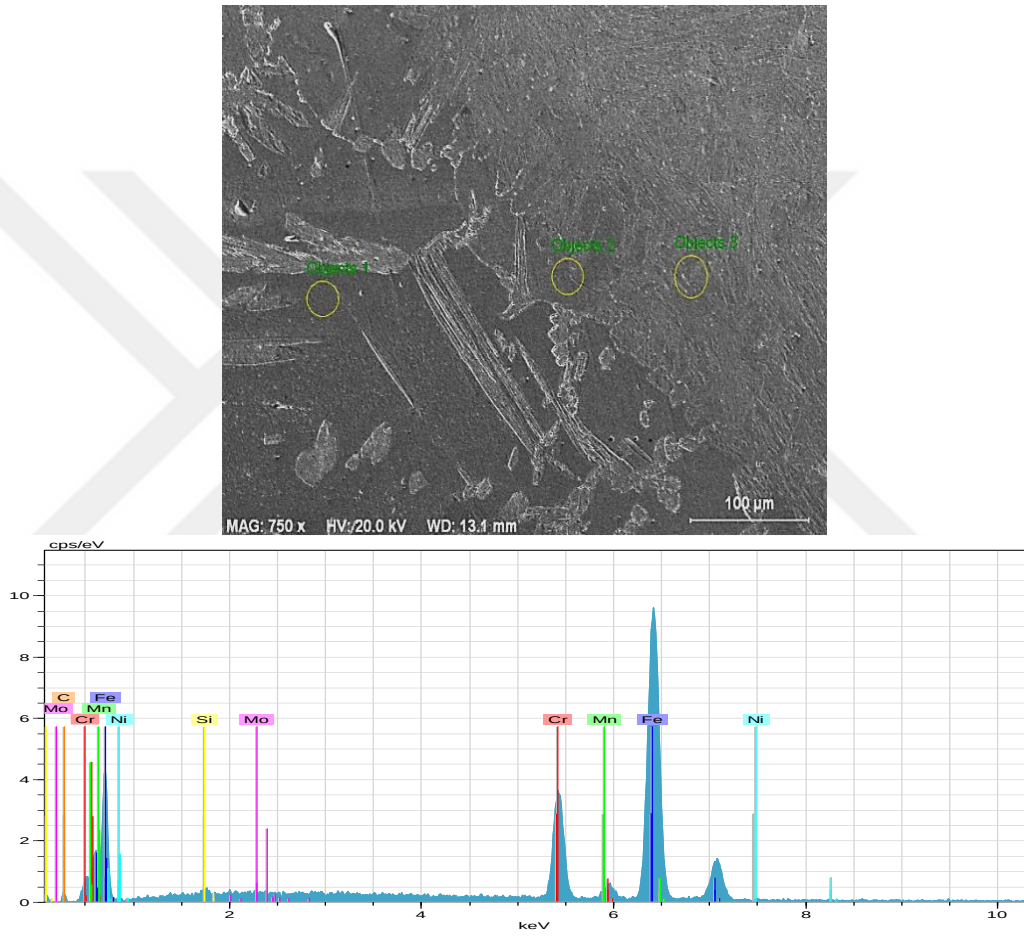
$$HARDOX 450 = 5548,5$$

$$Nikel = 0.4 \times 55.8 + 0.02 \times 12 + 99 \times 58.7 + 0.35 \times 28.1 + 0.01 \times 32 + 0.35 \times 54.9 \\ + 0.25 \times 63.5$$

$$Nikel = 5879.1$$

Yapılan matematiksel işlem sonucunda $OAA_{Ni} > OAA_{HARDOX 450} > OAA_{AISI 430}$ olarak tespit edilmiştir. Bu durumda yapılan literatür incelemesi doğrultusunda ara tabaka metalinin atom ağırlığının daha düşük olduğu tarafa göç ettiği [42] ya da farklı bir ifadeyle belirtecek olursak, atom ağırlığı düşük olanın tarafına bir yoğunlaşma olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışma içerisinde de kullanılan malzemelerin farklı elementlerin kimyasal bileşiminden oluşması nedeniyle ortalama atom ağırlığı şeklinde bir hesaplama yapılarak, nikelin AISI 430 tarafına neden daha

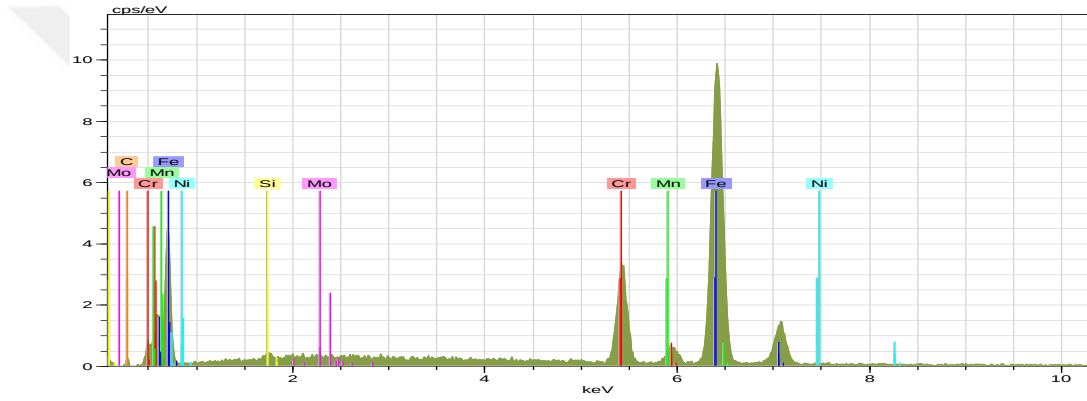
fazla göç ettiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Elementel haritalandırma analizlerine de bakıldığında, ara tabakalı birleştirme için, nikel elementinin AISI 430 malzemesi ITAB'ında HARDOX 450 ITAB'ına göre az miktarda fazla olduğu görülebilir. Bu durumda AISI 430 ile HARDOX 450 malzemelerinin ortalama atom ağırlıklarının birbirine yakın çıkması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.34 N1 numunesi sol üst bölge SEM ve 1. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.2 N1 numunesi sol üst bölge 1. nokta EDS analizi

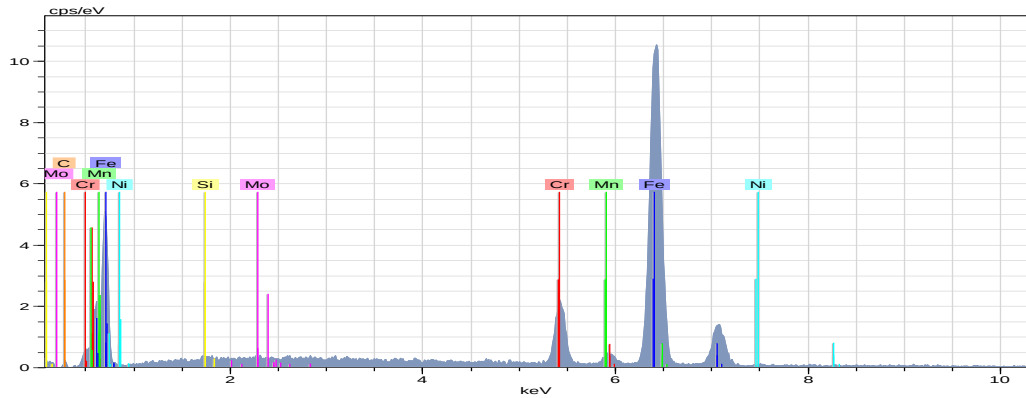
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	76.49	75.43	72.87	2.1
Cr	24	K-series	16.11	15.89	16.49	0.5
Mn	25	K-series	5.58	5.50	5.40	0.3
Mo	42	L-series	1.12	1.11	0.62	0.1
Ni	28	K-series	1.03	1.02	0.94	0.1
C	6	K-series	0.66	0.65	2.90	0.3
Si	14	K-series	0.41	0.40	0.78	0.1
Total			101.39	100.00	100.00	



Şekil 4.35 N1 numunesi sol üst bölge 2. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.3 N1 numunesi sol üst bölge 2. nokta EDS analizi

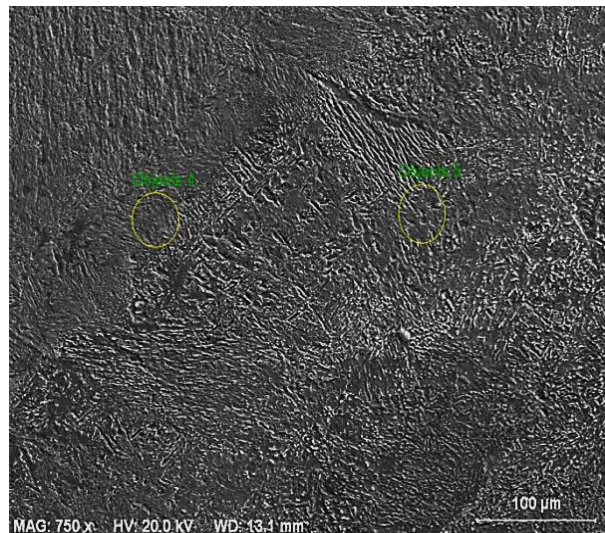
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	77.56	76.53	74.47	2.1
Cr	24	K-series	14.83	14.63	15.29	0.5
Mn	25	K-series	5.88	5.80	5.74	0.3
Mo	42	L-series	1.21	1.20	0.68	0.1
Ni	28	K-series	0.99	0.98	0.90	0.1
C	6	K-series	0.49	0.48	2.19	0.2
Si	14	K-series	0.38	0.37	0.72	0.1
Total			101.35	100.00	100.00	

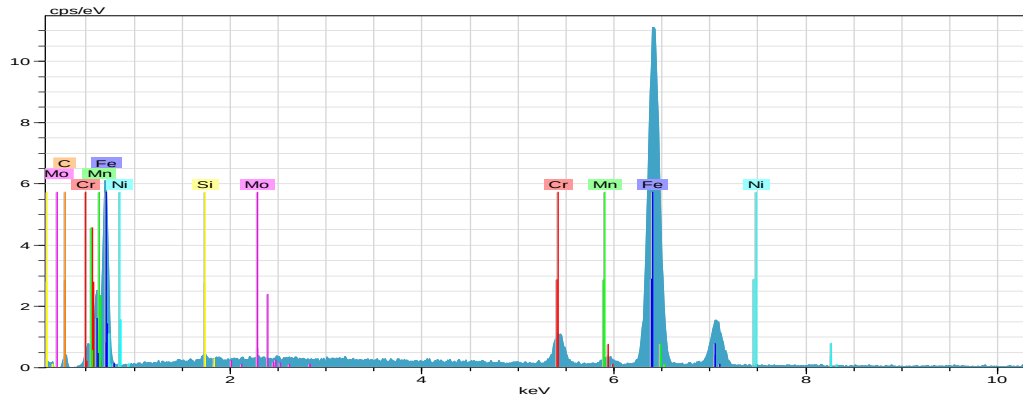


Şekil 4.36 N1 numunesi sol üst bölge 3. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.4 N1 numunesi sol üst bölge 3. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	81.03	81.26	79.65	2.2
Cr	24	K-series	8.87	8.90	9.37	0.3
Mn	25	K-series	6.98	7.00	6.97	0.3
Mo	42	L-series	1.11	1.12	0.64	0.1
Ni	28	K-series	1.00	1.00	0.93	0.1
C	6	K-series	0.38	0.38	1.75	0.2
Si	14	K-series	0.35	0.35	0.69	0.1
Total			99.73	100.00	100.00	

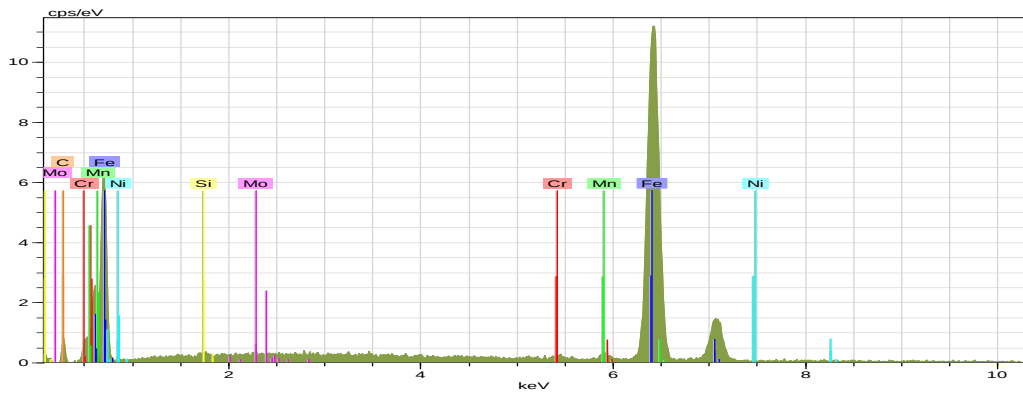




Şekil 4.37 N1 numunesi sağ üst bölge SEM ve 4. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.5 N1 numunesi sağ üst bölge 4. nokta EDS analizi

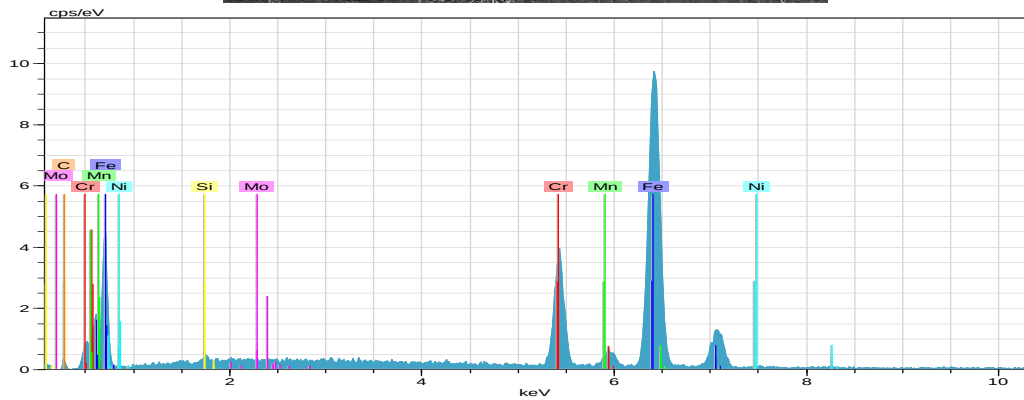
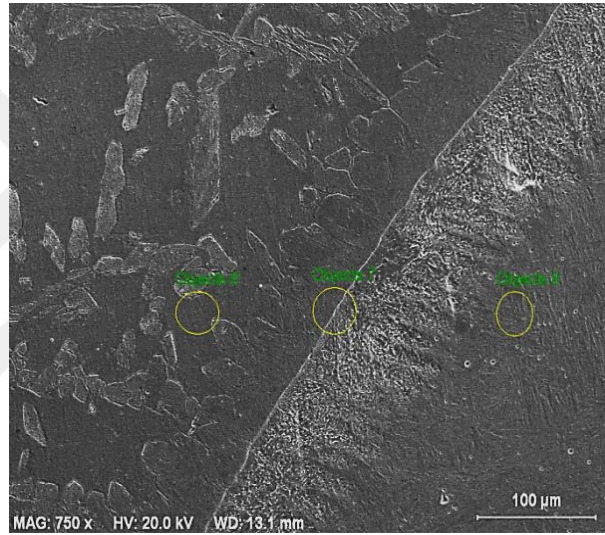
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	87.70	85.14	81.47	2.4
Mn	25	K-series	7.42	7.20	7.00	0.3
Cr	24	K-series	4.40	4.27	4.39	0.2
C	6	K-series	1.18	1.14	5.09	0.4
Mo	42	L-series	1.07	1.04	0.58	0.1
Ni	28	K-series	0.85	0.83	0.75	0.1
Si	14	K-series	0.39	0.38	0.72	0.1
Total			103.01	100.00	100.00	



Şekil 4.38 N1 numunesi sağ üst bölge 5. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.6 N1 numunesi sağ üst bölge 5. nokta EDS analizi

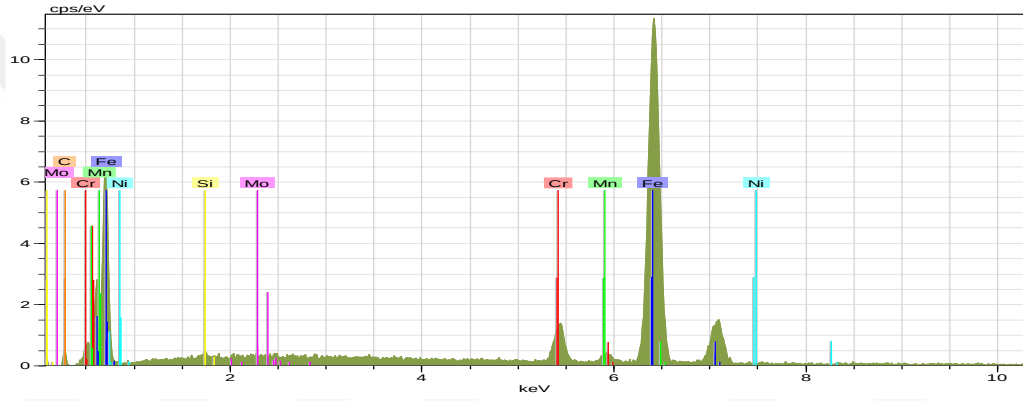
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	88.52	87.77	81.76	2.4
Mn	25	K-series	7.86	7.79	7.38	0.3
C	6	K-series	2.04	2.02	8.74	0.6
Mo	42	L-series	0.86	0.85	0.46	0.1
Ni	28	K-series	0.73	0.73	0.64	0.1
Cr	24	K-series	0.65	0.64	0.64	0.1
Si	14	K-series	0.20	0.20	0.37	0.0
Total			100.86	100.00	100.00	



Şekil 4.39 N1 numunesi sol alt bölge SEM ve 6. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.7 N1 numunesi sol alt bölge 6. nokta EDS analizi

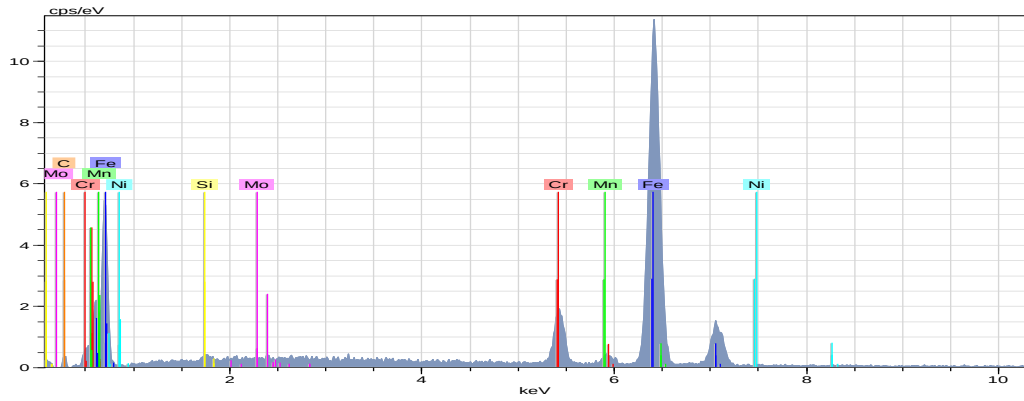
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	76.31	74.60	72.25	2.1
Cr	24	K-series	16.14	15.78	16.41	0.5
Mn	25	K-series	6.69	6.54	6.43	0.3
Mo	42	L-series	1.11	1.09	0.61	0.1
Ni	28	K-series	1.05	1.03	0.95	0.1
C	6	K-series	0.59	0.58	2.59	0.3
Si	14	K-series	0.40	0.39	0.75	0.1
Total			102.29	100.00	100.00	



Şekil 4.40 N1 numunesi sol alt bölge 7. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.8 N1 numunesi sol alt bölge 7. nokta EDS analizi

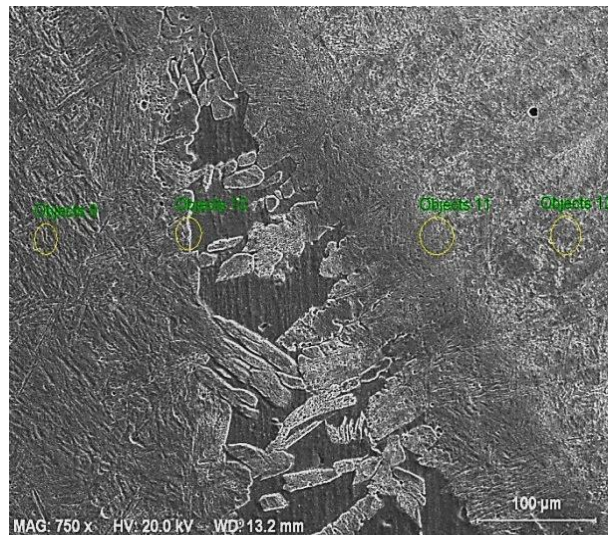
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	83.70	83.73	80.31	2.3
Mn	25	K-series	7.43	7.43	7.25	0.3
Cr	24	K-series	5.28	5.28	5.44	0.2
Mo	42	L-series	1.22	1.22	0.68	0.1
C	6	K-series	1.07	1.07	4.78	0.4
Ni	28	K-series	0.87	0.87	0.80	0.1
Si	14	K-series	0.39	0.39	0.75	0.1
Total			99.97	100.00	100.00	

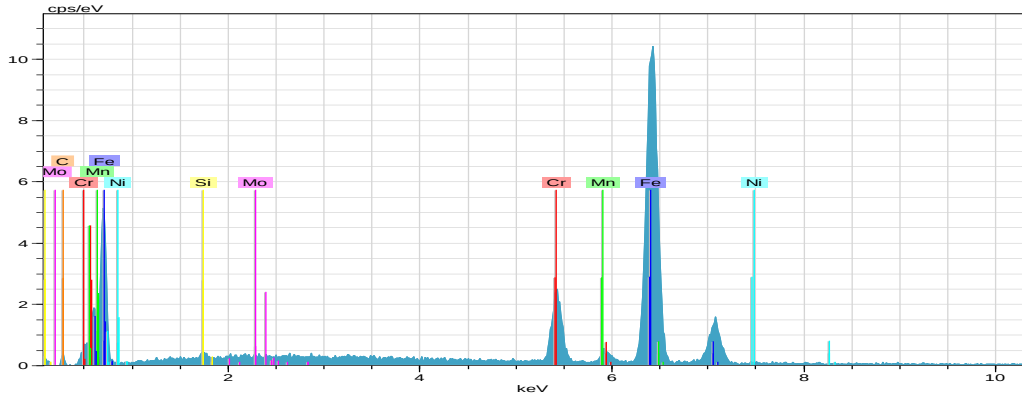


Şekil 4.41 N1 numunesi sol alt bölge 8. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.9 N1 numunesi sol alt bölge 8. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	85.74	81.94	79.14	2.4
Cr	24	K-series	7.91	7.56	7.84	0.3
Mn	25	K-series	7.32	6.99	6.87	0.3
Mo	42	L-series	1.26	1.20	0.67	0.1
Ni	28	K-series	1.14	1.09	1.00	0.1
C	6	K-series	0.87	0.83	3.72	0.3
Si	14	K-series	0.41	0.40	0.76	0.1
Total			104.64	100.00	100.00	

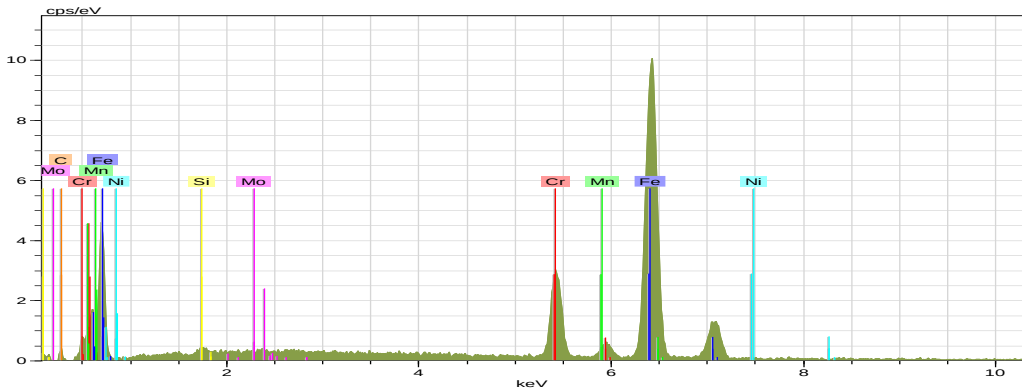




Şekil 4.42 N1 numunesi sol üst bölge SEM ve 9. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.10 N1 numunesi sol alt bölge 9. nokta EDS analizi

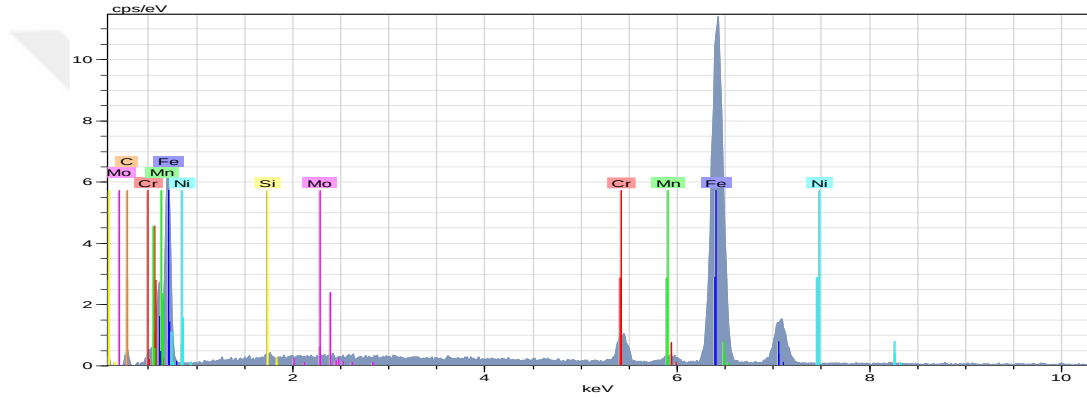
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	80.94	79.75	76.93	2.2
Cr	24	K-series	10.06	9.92	10.27	0.3
Mn	25	K-series	7.22	7.12	6.98	0.3
Ni	28	K-series	1.13	1.11	1.02	0.1
Mo	42	L-series	0.96	0.95	0.53	0.1
C	6	K-series	0.81	0.80	3.58	0.3
Si	14	K-series	0.36	0.36	0.69	0.1
Total			101.49	100.00	100.00	



Şekil 4.43 N1 numunesi sol üst bölge 10. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.11 N1 numunesi sol üst bölge 10. nokta EDS analizi

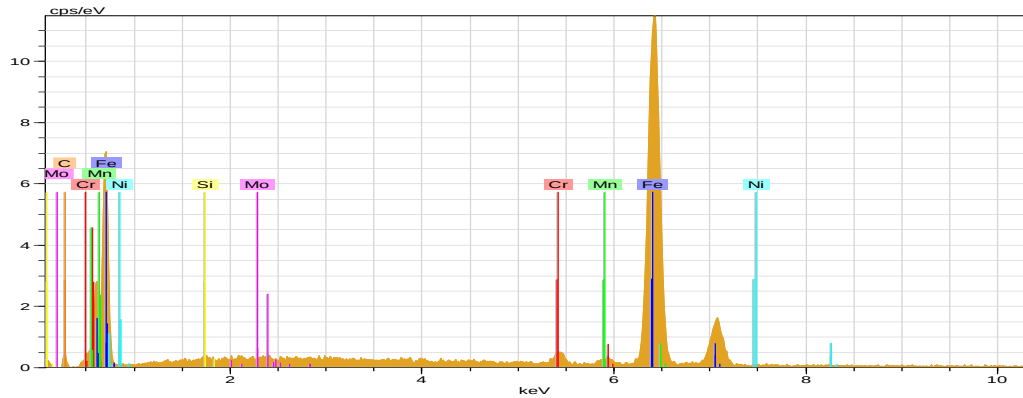
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	76.32	76.32	73.39	2.1
Cr	24	K-series	13.32	13.32	13.76	0.4
Mn	25	K-series	7.11	7.11	6.95	0.3
Mo	42	L-series	1.15	1.15	0.64	0.1
Ni	28	K-series	0.88	0.88	0.80	0.1
C	6	K-series	0.82	0.82	3.68	0.3
Si	14	K-series	0.41	0.41	0.78	0.1
Total			100.00	100.00	100.00	



Şekil 4.44 N1 numunesi sol üst bölge 11. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.12 N1 numunesi sol üst bölge 11. nokta EDS analizi

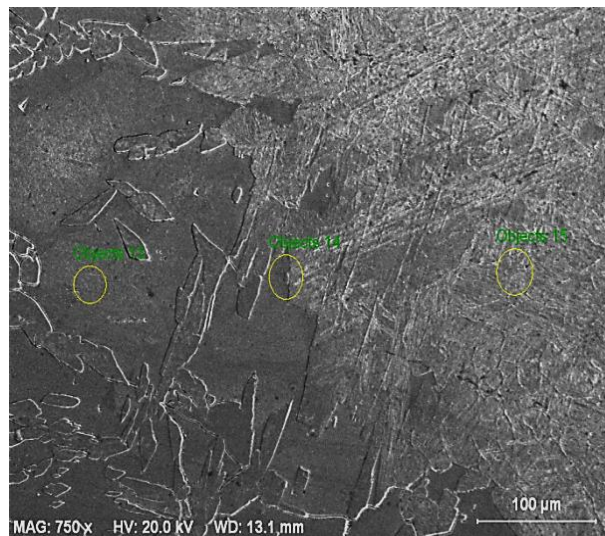
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	85.74	84.27	80.26	2.4
Mn	25	K-series	8.63	8.48	8.21	0.3
Cr	24	K-series	3.83	3.76	3.85	0.2
C	6	K-series	1.31	1.29	5.70	0.4
Ni	28	K-series	1.02	1.00	0.91	0.1
Mo	42	L-series	0.90	0.89	0.49	0.1
Si	14	K-series	0.32	0.31	0.59	0.1
Total			101.74	100.00	100.00	

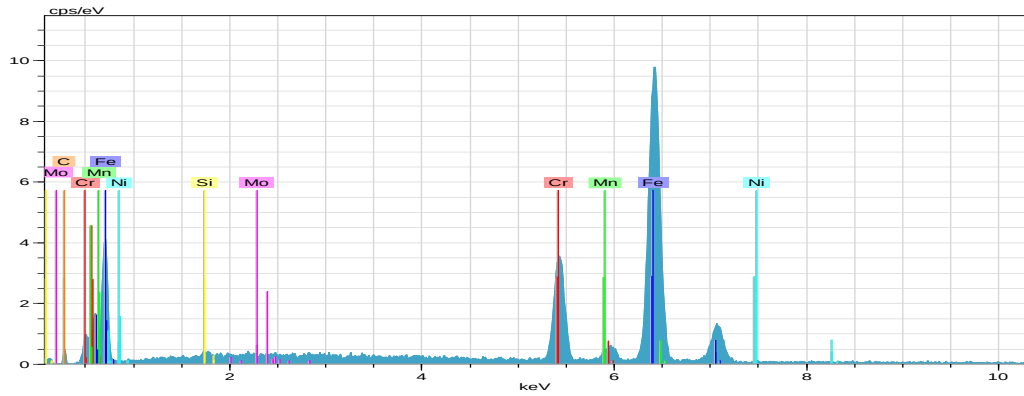


Şekil 4.45 N1 numunesi sol üst bölge 12. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.13 N1 numunesi sol üst bölge 12. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	86.95	86.85	83.66	2.4
Mn	25	K-series	8.10	8.09	7.92	0.3
Cr	24	K-series	1.64	1.64	1.70	0.1
Mo	42	L-series	1.11	1.11	0.62	0.1
C	6	K-series	1.05	1.05	4.71	0.4
Ni	28	K-series	1.02	1.02	0.94	0.1
Si	14	K-series	0.24	0.24	0.45	0.0
Total			100.12	100.00	100.00	

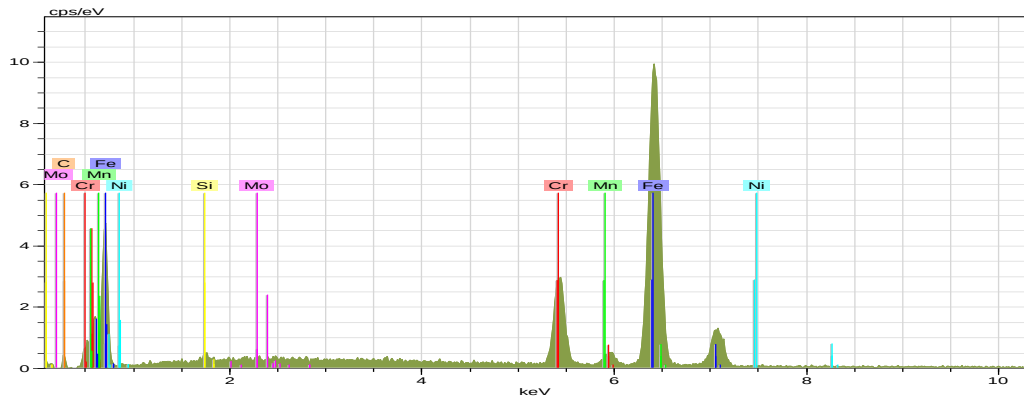




Şekil 4.46 N3 numunesi sol üst bölge SEM ve 13. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.14 N3 numunesi sol üst bölge 13. nokta EDS analizi

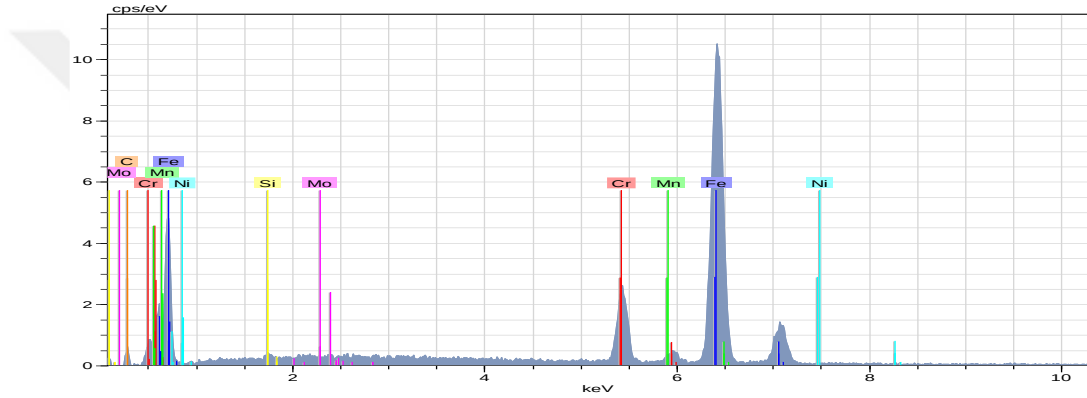
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	74.77	73.97	71.00	2.1
Cr	24	K-series	15.87	15.70	16.18	0.5
Mn	25	K-series	7.06	6.98	6.81	0.3
Ni	28	K-series	1.12	1.10	1.01	0.1
Mo	42	L-series	1.01	1.00	0.56	0.1
C	6	K-series	0.82	0.81	3.62	0.3
Si	14	K-series	0.43	0.43	0.82	0.1
Total			101.07	100.00	100.00	



Şekil 4.47 N3 numunesi sol üst bölge 14. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.15 N3 numunesi sol üst bölge 14. nokta EDS analizi

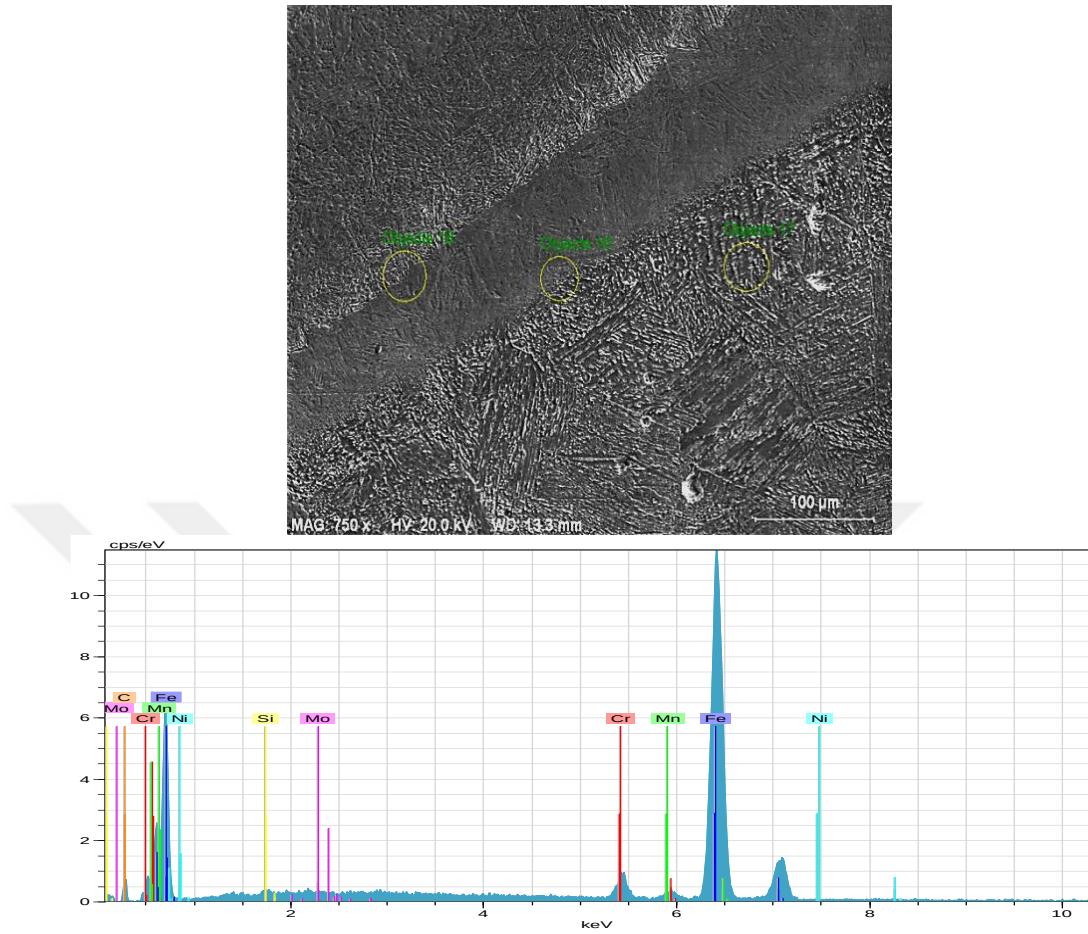
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	75.79	75.58	72.62	2.1
Cr	24	K-series	13.41	13.37	13.80	0.4
Mn	25	K-series	7.72	7.70	7.52	0.3
Mo	42	L-series	1.15	1.14	0.64	0.1
Ni	28	K-series	0.95	0.94	0.86	0.1
C	6	K-series	0.84	0.84	3.74	0.3
Si	14	K-series	0.43	0.43	0.82	0.1
Total			100.28	100.00	100.00	



Şekil 4.48 N3 numunesi sol üst bölge 15. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.16 N3 numunesi sol üst bölge 15. nokta EDS analizi

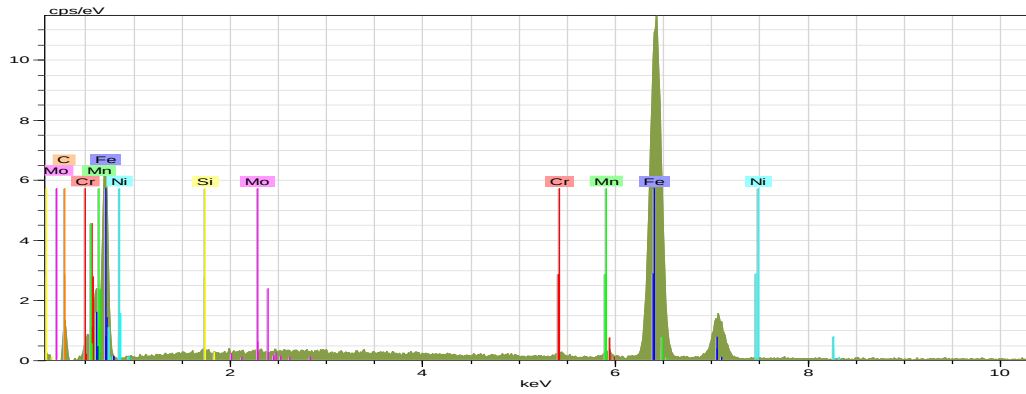
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	80.04	78.09	73.80	2.2
Cr	24	K-series	10.76	10.50	10.66	0.4
Mn	25	K-series	7.91	7.71	7.41	0.3
C	6	K-series	1.43	1.40	6.13	0.5
Mo	42	L-series	1.07	1.05	0.58	0.1
Ni	28	K-series	0.98	0.96	0.86	0.1
Si	14	K-series	0.31	0.30	0.56	0.1
Total			102.50	100.00	100.00	



Şekil 4.49 N3 numunesi sağ üst bölge SEM ve 16. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.17 N3 numunesi sağ üst bölge 16. nokta EDS analizi

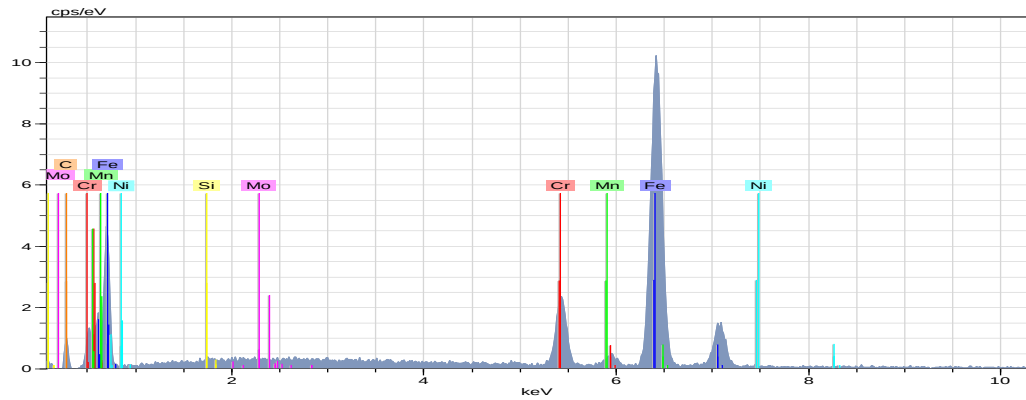
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	81.74	83.70	77.91	2.3
Mn	25	K-series	8.29	8.49	8.03	0.3
Cr	24	K-series	3.46	3.55	3.55	0.2
C	6	K-series	1.94	1.99	8.61	0.6
Mo	42	L-series	1.09	1.12	0.61	0.1
Ni	28	K-series	0.85	0.87	0.77	0.1
Si	14	K-series	0.28	0.28	0.52	0.1
Total			97.66	100.00	100.00	



Şekil 4.50 N3 numunesi sağ üst bölge 17. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.18 N3 numunesi sağ üst bölge 17. nokta EDS analizi

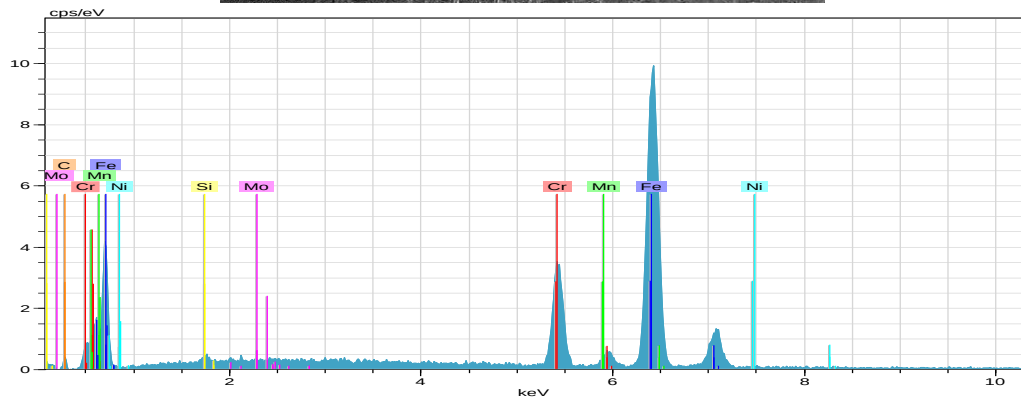
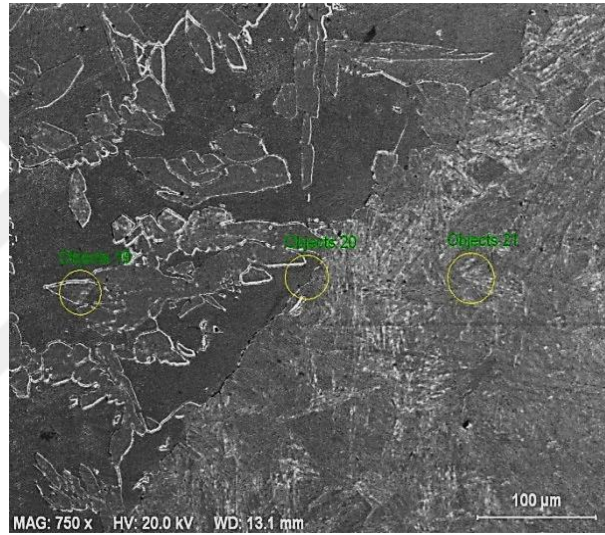
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	83.91	84.76	74.48	2.3
Mn	25	K-series	8.60	8.68	7.76	0.3
C	6	K-series	3.75	3.79	15.49	0.9
Mo	42	L-series	1.02	1.03	0.52	0.1
Ni	28	K-series	0.82	0.82	0.69	0.1
Cr	24	K-series	0.65	0.66	0.62	0.1
Si	14	K-series	0.25	0.25	0.44	0.1
Total			98.99	100.00	100.00	



Şekil 4.51 N3 numunesi sağ üst bölge 18. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.19 N3 numunesi sağ üst bölge 18. nokta EDS analizi

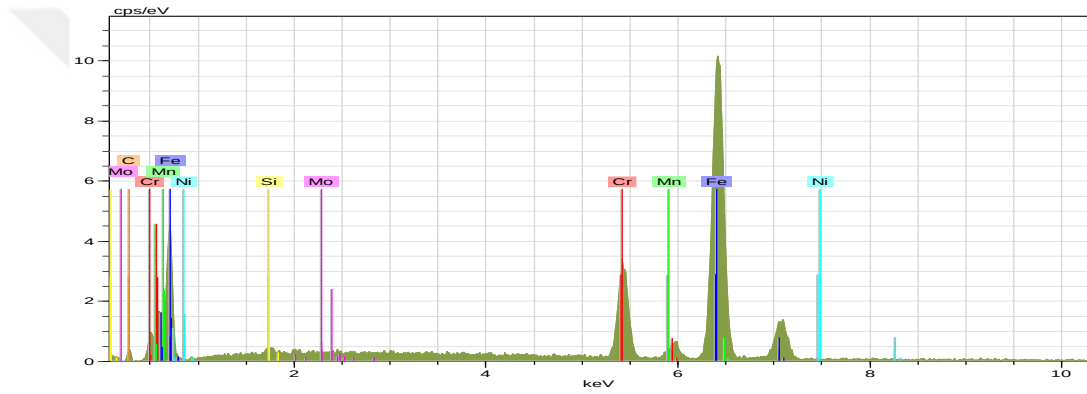
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	77.95	76.87	69.43	2.2
Cr	24	K-series	9.98	9.84	9.55	0.3
Mn	25	K-series	8.15	8.04	7.38	0.3
C	6	K-series	2.81	2.77	11.64	0.7
Ni	28	K-series	1.13	1.11	0.95	0.1
Mo	42	L-series	1.12	1.11	0.58	0.1
Si	14	K-series	0.26	0.26	0.47	0.1
Total			101.41	100.00	100.00	



Şekil 4.52 N3 numunesi sol alt bölge SEM ve 19. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.20 N3 numunesi sol alt bölge 19. nokta EDS analizi

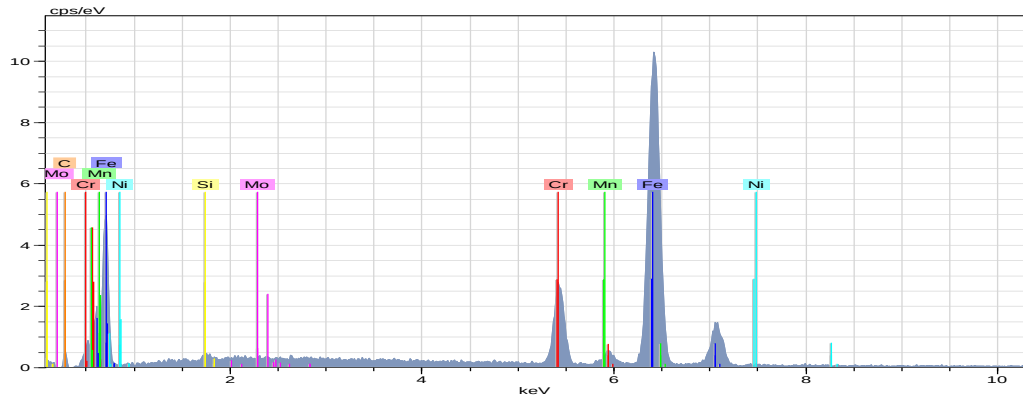
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	74.95	74.15	71.24	2.1
Cr	24	K-series	15.33	15.17	15.65	0.5
Mn	25	K-series	7.44	7.36	7.19	0.3
Mo	42	L-series	1.18	1.17	0.65	0.1
Ni	28	K-series	0.99	0.98	0.89	0.1
C	6	K-series	0.84	0.83	3.70	0.3
Si	14	K-series	0.35	0.35	0.67	0.1
Total			101.08	100.00	100.00	



Şekil 4.53 N3 numunesi sol alt bölge 20. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.21 N3 numunesi sol alt bölge 20. nokta EDS analizi

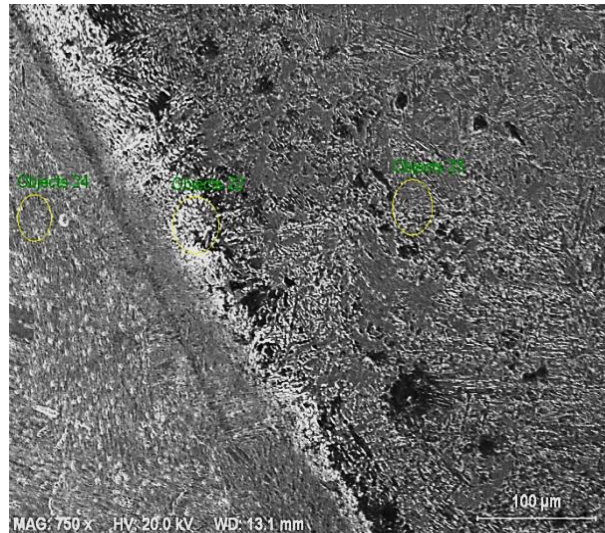
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	75.99	75.44	72.13	2.1
Cr	24	K-series	14.20	14.10	14.48	0.4
Mn	25	K-series	7.27	7.22	7.02	0.3
Ni	28	K-series	1.00	0.99	0.90	0.1
C	6	K-series	0.94	0.93	4.14	0.3
Mo	42	L-series	0.89	0.88	0.49	0.1
Si	14	K-series	0.45	0.44	0.84	0.1
Total			100.72	100.00	100.00	

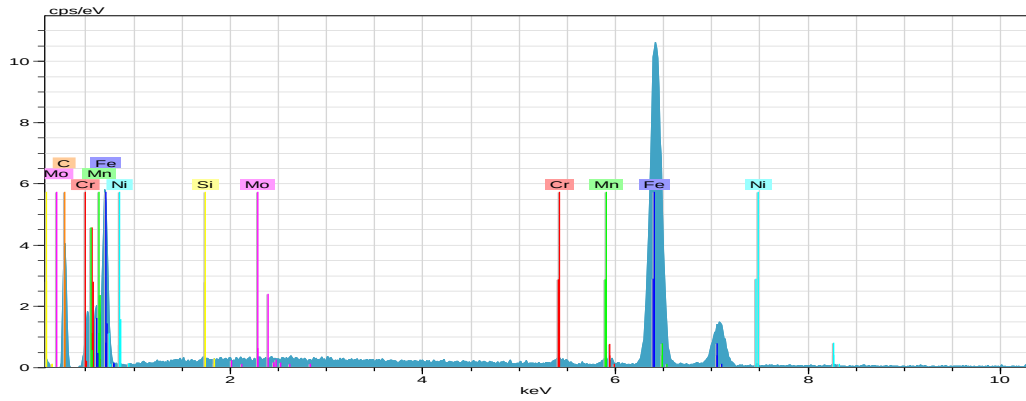


Şekil 4.54 N3 numunesi sol alt bölge 21. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.22 N3 numunesi sol alt bölge 21. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	79.80	77.17	73.79	2.2
Cr	24	K-series	11.66	11.28	11.58	0.4
Mn	25	K-series	8.10	7.84	7.62	0.3
Mo	42	L-series	1.19	1.15	0.64	0.1
Ni	28	K-series	1.15	1.11	1.01	0.1
C	6	K-series	1.05	1.02	4.53	0.4
Si	14	K-series	0.45	0.43	0.82	0.1
Total			103.41	100.00	100.00	

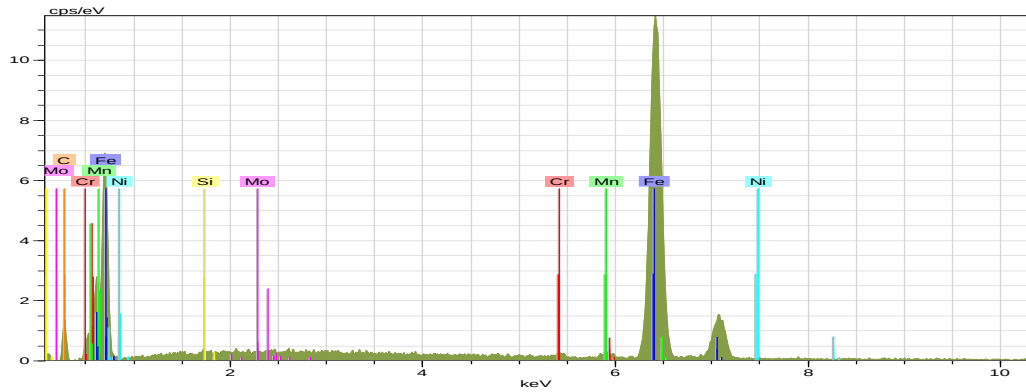




Şekil 4.55 N3 numunesi sağ alt bölge SEM ve 22. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.23 N3 numunesi sağ alt bölge 22. nokta EDS analizi

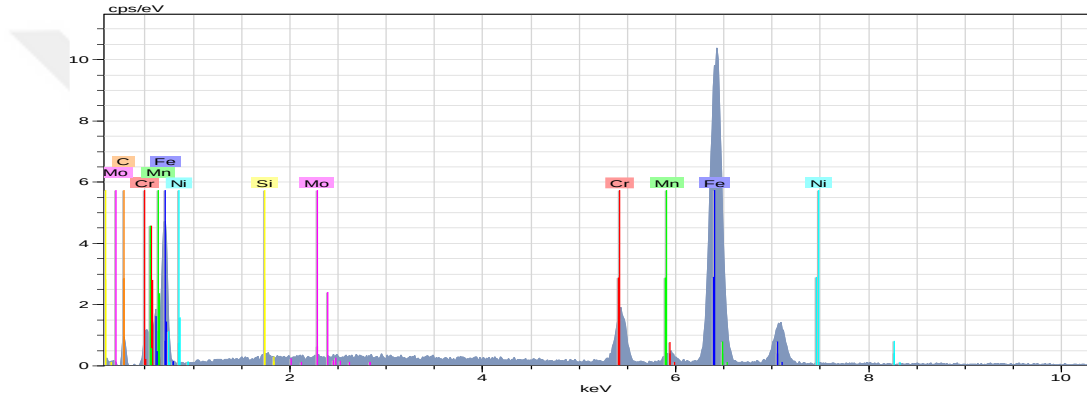
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	82.39	78.79	56.76	2.3
C	6	K-series	11.13	10.64	35.64	1.9
Mn	25	K-series	8.27	7.91	5.79	0.3
Ni	28	K-series	0.96	0.92	0.63	0.1
Cr	24	K-series	0.92	0.88	0.68	0.1
Mo	42	L-series	0.76	0.73	0.31	0.1
Si	14	K-series	0.14	0.14	0.19	0.0
Total			104.57	100.00	100.00	



Şekil 4.56 N3 numunesi sağ alt bölge 23. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.24 N3 numunesi sağ alt bölge 23. nokta EDS analizi

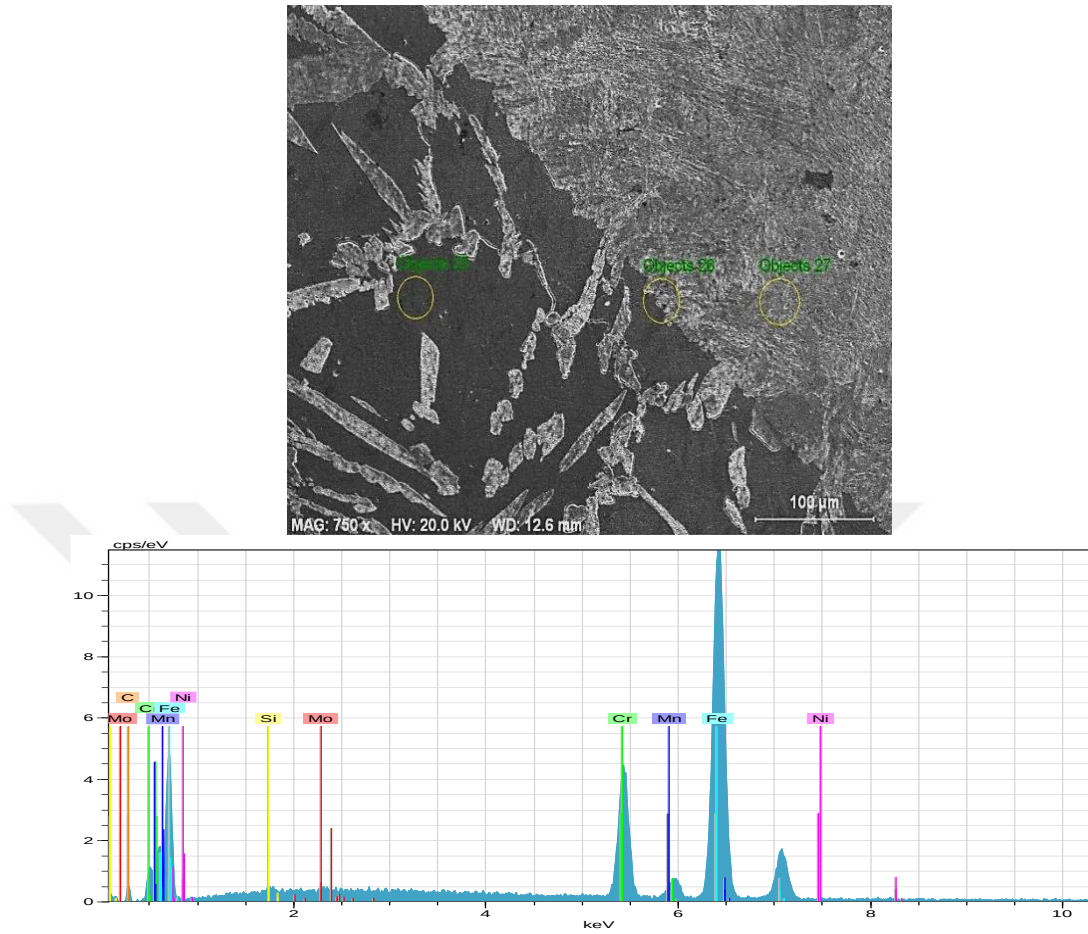
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	86.94	85.52	75.18	2.4
Mn	25	K-series	8.50	8.36	7.47	0.3
C	6	K-series	3.85	3.78	15.47	0.9
Ni	28	K-series	1.01	0.99	0.51	0.1
Cr	24	K-series	0.64	0.63	0.53	0.1
Mo	42	L-series	0.51	0.50	0.47	0.1
Si	14	K-series	0.22	0.22	0.38	0.0
Total			101.66	100.00	100.00	



Şekil 4.57 N3 numunesi sağ alt bölge 24. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.25 N3 numunesi sağ alt bölge 24. nokta EDS analizi

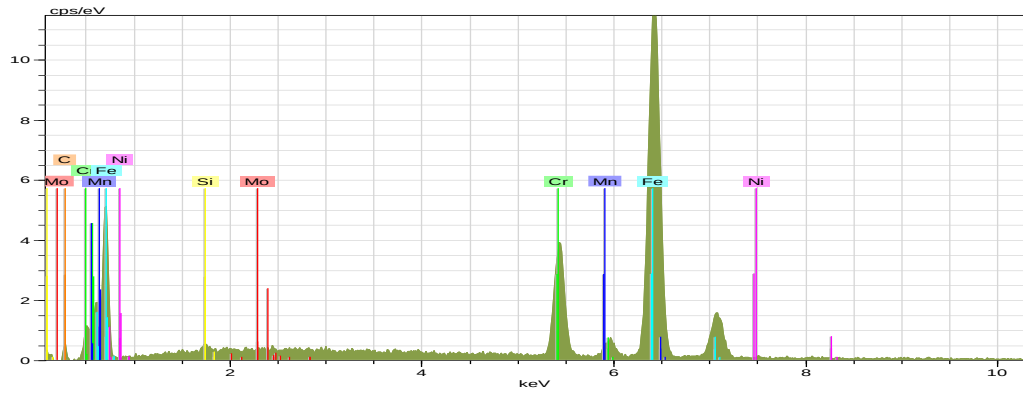
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	78.88	79.41	71.89	2.2
Mn	25	K-series	8.07	8.13	7.48	0.3
Cr	24	K-series	7.50	7.55	7.34	0.3
C	6	K-series	2.69	2.71	11.41	0.7
Ni	28	K-series	0.99	1.00	0.86	0.1
Mo	42	L-series	0.90	0.91	0.48	0.1
Si	14	K-series	0.31	0.31	0.56	0.1
Total			99.34	100.00	100.00	



Şekil 4.58 N5 numunesi sol üst bölge SEM ve 25. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.26 N5 numunesi sol üst bölge 25. nokta EDS analizi

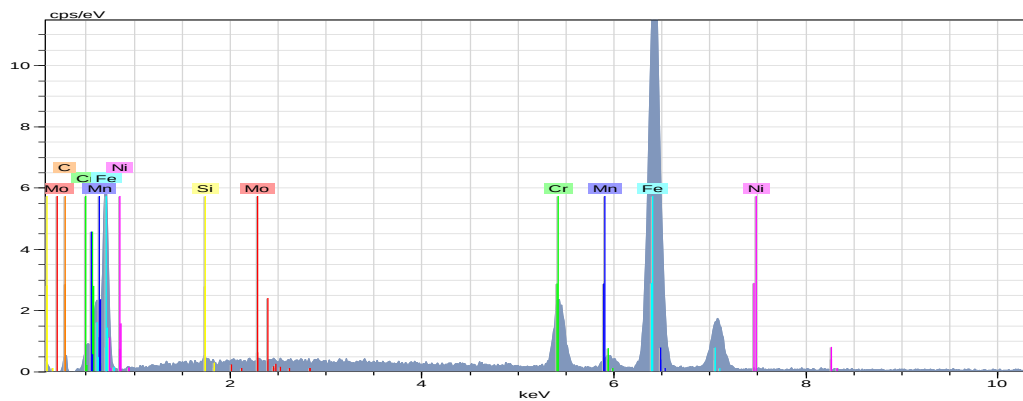
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	71.22	71.82	68.67	2.0
Cr	24	K-series	16.11	16.25	16.68	0.5
Mn	25	K-series	8.75	8.82	8.58	0.3
Ni	28	K-series	0.97	0.98	0.89	0.1
C	6	K-series	0.92	0.92	4.11	0.3
Mo	42	L-series	0.91	0.92	0.51	0.1
Si	14	K-series	0.29	0.29	0.56	0.1
Total			99.16	100.00	100.00	



Şekil 4.59 N5 numunesi sol üst bölge 26. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.27 N5 numunesi sol üst bölge 26. nokta EDS analizi

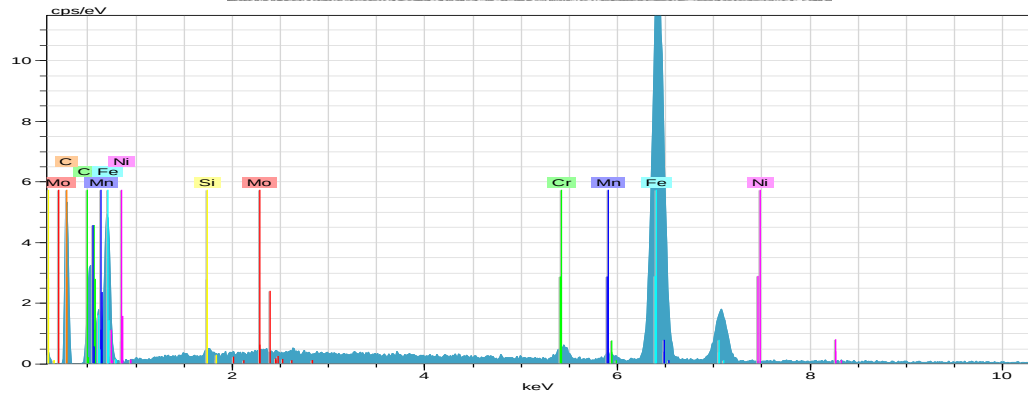
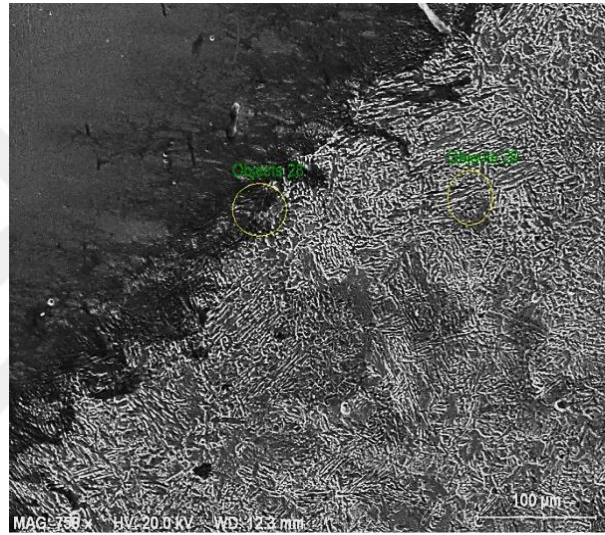
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	73.16	73.67	70.28	2.0
Cr	24	K-series	14.13	14.23	14.58	0.4
Mn	25	K-series	8.83	8.89	8.62	0.3
C	6	K-series	1.01	1.02	4.50	0.3
Ni	28	K-series	0.93	0.94	0.85	0.1
Mo	42	L-series	0.90	0.91	0.50	0.1
Si	14	K-series	0.35	0.35	0.66	0.1
Total			99.30	100.00	100.00	



Şekil 4.60 N5 numunesi sol üst bölge 27. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.28 N5 numunesi sol üst bölge 27. nokta EDS analizi

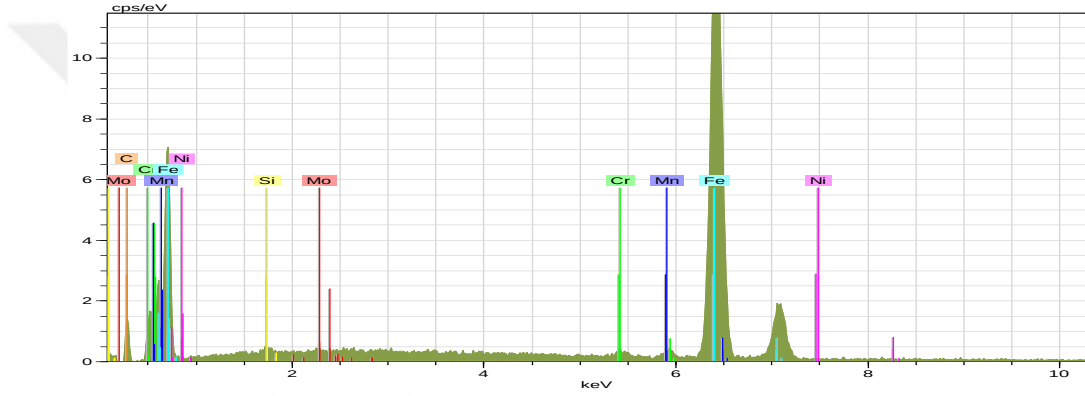
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	77.84	77.94	74.45	2.1
Mn	25	K-series	10.26	10.27	9.98	0.4
Cr	24	K-series	8.75	8.76	8.99	0.3
C	6	K-series	1.11	1.11	4.92	0.4
Mo	42	L-series	0.90	0.90	0.50	0.1
Ni	28	K-series	0.77	0.77	0.70	0.1
Total			99.87	100.00	100.00	



Şekil 4.61 N5 numunesi sağ üst bölge SEM ve 28. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.29 N5 numunesi sol üst bölge 28. nokta EDS analizi

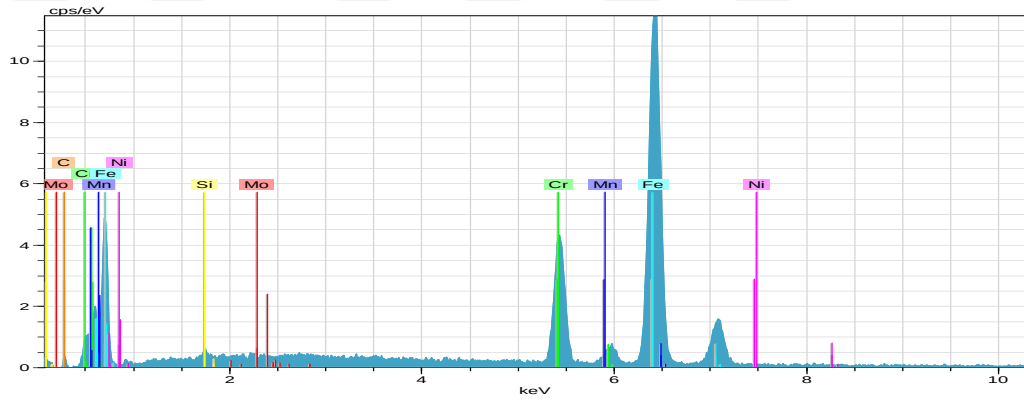
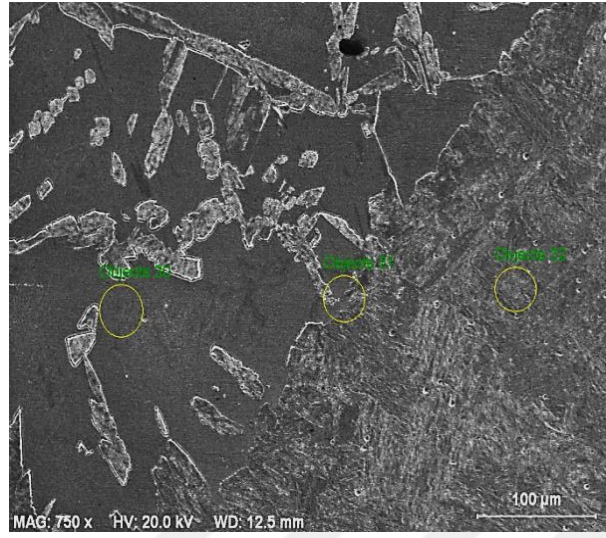
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	74.09	74.33	51.44	2.0
C	6	K-series	12.13	12.17	39.17	2.0
Mn	25	K-series	10.03	10.07	7.08	0.4
Cr	24	K-series	1.51	1.51	1.12	0.1
Ni	28	K-series	0.94	0.94	0.62	0.1
Mo	42	L-series	0.79	0.80	0.32	0.1
Si	14	K-series	0.18	0.18	0.24	0.0
Total			99.67	100.00	100.00	



Şekil 4.62 N5 numunesi sağ üst bölge 29. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.30 N5 numunesi sağ üst bölge 29. nokta EDS analizi

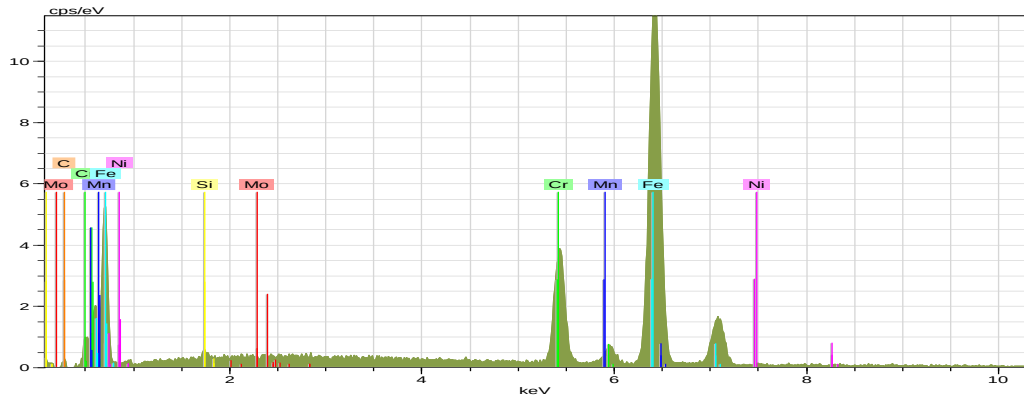
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	84.36	83.60	74.96	2.3
Mn	25	K-series	10.81	10.72	9.77	0.4
C	6	K-series	3.13	3.10	12.93	0.7
Cr	24	K-series	0.88	0.87	0.84	0.1
Mo	42	L-series	0.71	0.70	0.37	0.1
Ni	28	K-series	0.71	0.70	0.60	0.1
Si	14	K-series	0.30	0.30	0.54	0.1
Total			100.91	100.00	100.00	



Şekil 4.63 N5 numunesi sol alt bölge SEM ve 30. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.31 N5 numunesi sol alt bölge 30. nokta EDS analizi

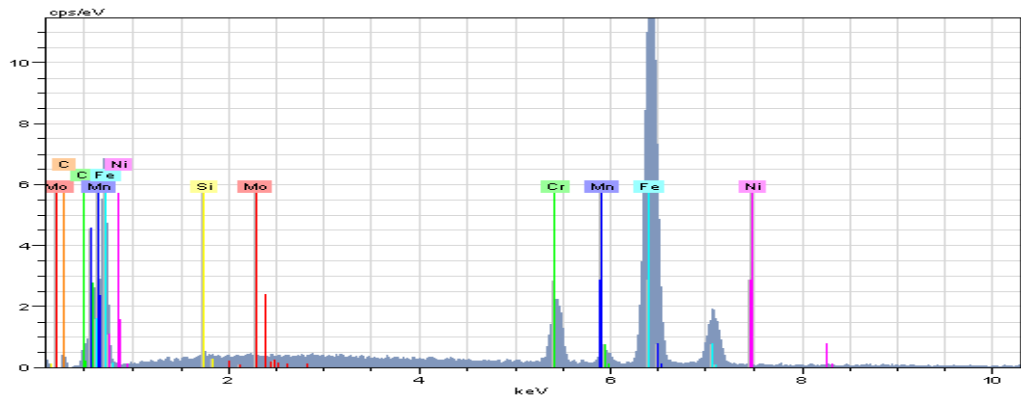
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	69.74	72.05	69.65	1.9
Cr	24	K-series	15.45	15.96	16.57	0.5
Mn	25	K-series	8.82	9.11	8.95	0.3
Ni	28	K-series	0.98	1.01	0.93	0.1
Mo	42	L-series	0.89	0.92	0.51	0.1
C	6	K-series	0.58	0.60	2.70	0.2
Si	14	K-series	0.34	0.35	0.68	0.1
Total			96.79	100.00	100.00	



Şekil 4.64 N5 numunesi sol alt bölge 31. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.32 N5 numunesi sol alt bölge 31. nokta EDS analizi

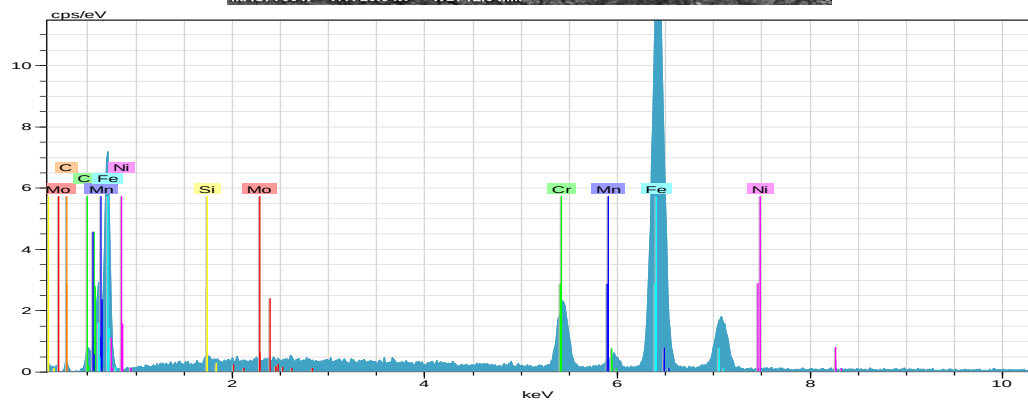
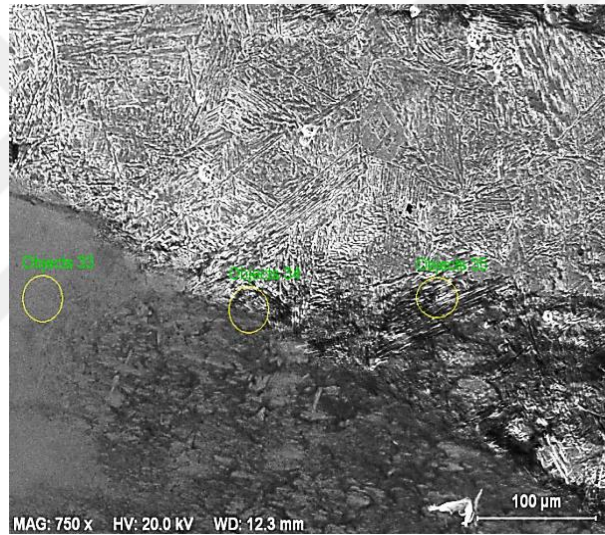
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	71.75	73.10	71.23	2.0
Cr	24	K-series	14.00	14.26	14.93	0.4
Mn	25	K-series	9.93	10.11	10.02	0.4
Ni	28	K-series	0.90	0.92	0.85	0.1
Mo	42	L-series	0.87	0.89	0.50	0.1
C	6	K-series	0.41	0.42	1.89	0.2
Si	14	K-series	0.29	0.30	0.58	0.1
Total			98.16	100.00	100.00	



Şekil 4.65 N5 numunesi sol alt bölge 32. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.33 N5 numunesi sol alt bölge 32. nokta EDS analizi

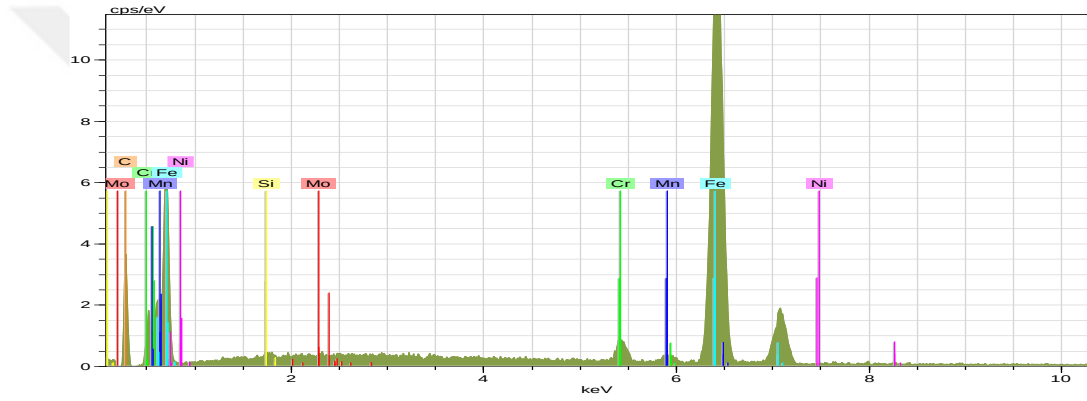
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	76.99	78.20	75.30	2.1
Mn	25	K-series	10.70	10.86	10.63	0.4
Cr	24	K-series	7.79	7.91	8.18	0.3
Mo	42	L-series	0.93	0.94	0.53	0.1
Ni	28	K-series	0.88	0.89	0.82	0.1
C	6	K-series	0.87	0.88	3.96	0.3
Si	14	K-series	0.30	0.30	0.58	0.1
Total			98.44	100.00	100.00	



Şekil 4.66 N5 numunesi sağ alt bölge SEM ve 33. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.34 N5 numunesi sağ alt bölge 33. nokta EDS analizi

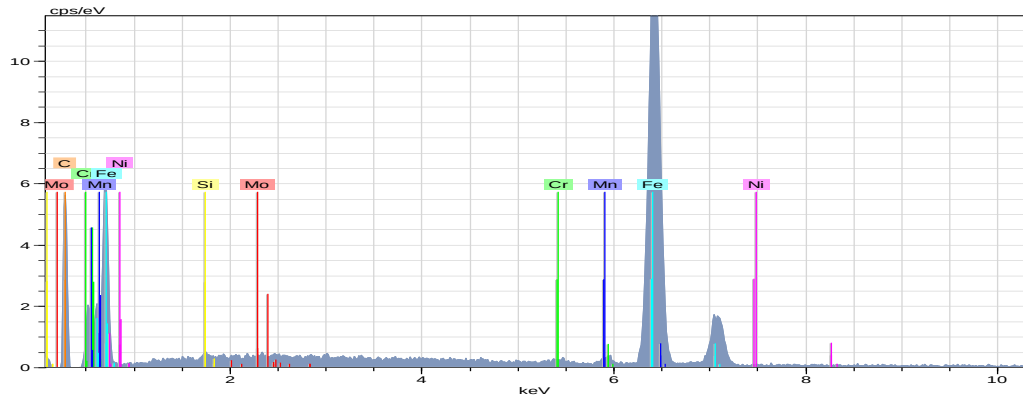
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	77.06	78.22	76.20	2.1
Mn	25	K-series	10.88	11.04	10.93	0.4
Cr	24	K-series	7.79	7.91	8.27	0.3
Mo	42	L-series	1.00	1.01	0.58	0.1
Ni	28	K-series	0.94	0.96	0.89	0.1
C	6	K-series	0.55	0.56	2.54	0.2
Si	14	K-series	0.30	0.30	0.59	0.1
Total			98.52	100.00	100.00	



Şekil 4.67 N5 numunesi sağ alt bölge 34. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.35 N5 numunesi sağ alt bölge 34. nokta EDS analizi

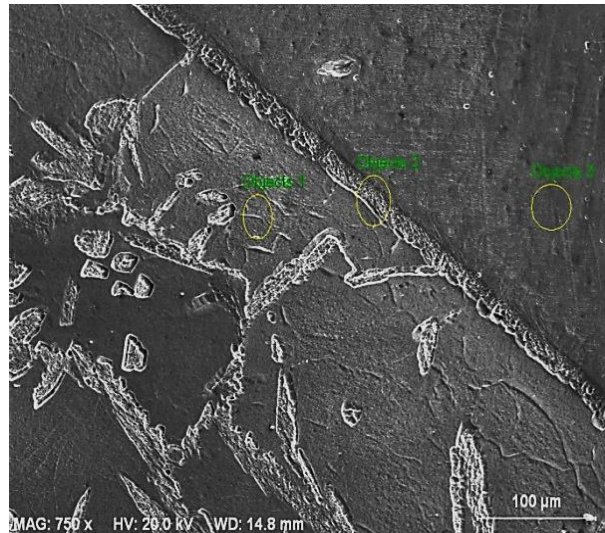
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	79.80	78.07	61.35	2.2
Mn	25	K-series	10.62	10.39	8.30	0.4
C	6	K-series	7.59	7.43	27.13	1.4
Cr	24	K-series	2.46	2.41	2.03	0.1
Ni	28	K-series	0.89	0.87	0.65	0.1
Mo	42	L-series	0.71	0.69	0.32	0.1
Si	14	K-series	0.14	0.14	0.22	0.0
Total			102.21	100.00	100.00	

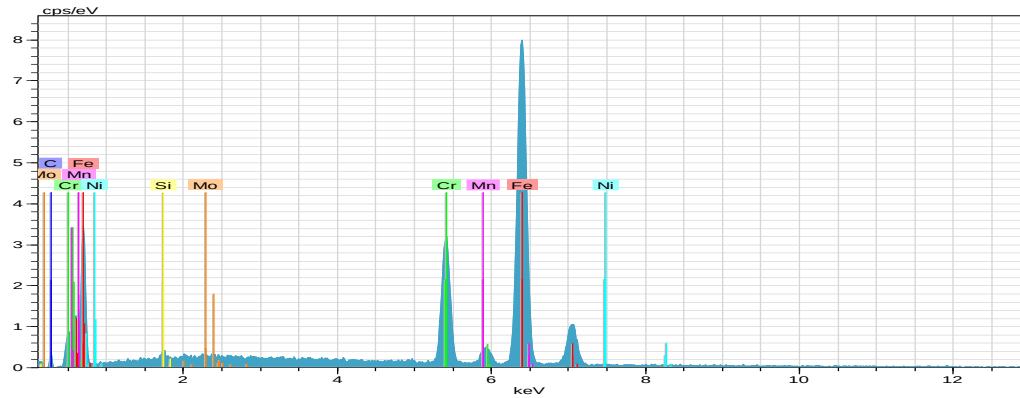


Şekil 4.68 N5 numunesi sağ alt bölge 35. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.36 N5 numunesi sağ alt bölge 35. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	76.76	74.86	50.74	2.1
C	6	K-series	13.33	13.00	40.98	2.1
Mn	25	K-series	10.39	10.13	6.98	0.4
Ni	28	K-series	0.70	0.68	0.44	0.1
Cr	24	K-series	0.62	0.60	0.44	0.1
Mo	42	L-series	0.59	0.58	0.23	0.1
Si	14	K-series	0.14	0.14	0.19	0.0
Total			102.53	100.00	100.00	

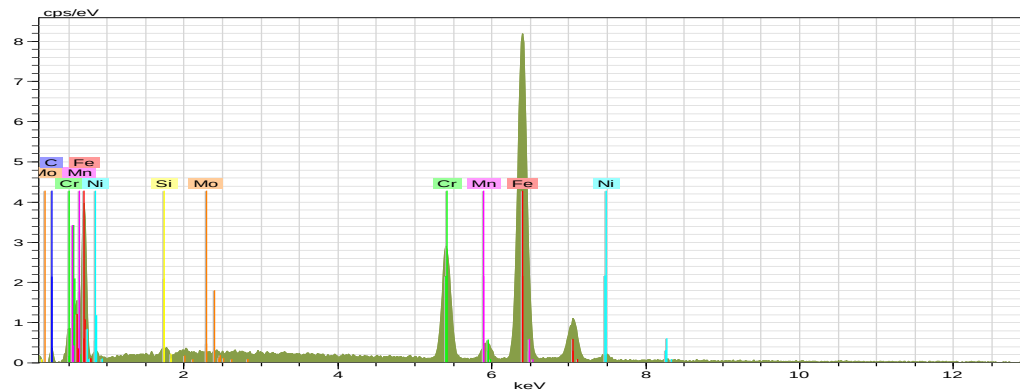




Şekil 4.69 N11 numunesi sol üst bölge SEM ve 1. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.37 N11 numunesi sol üst bölge 1. nokta EDS analizi

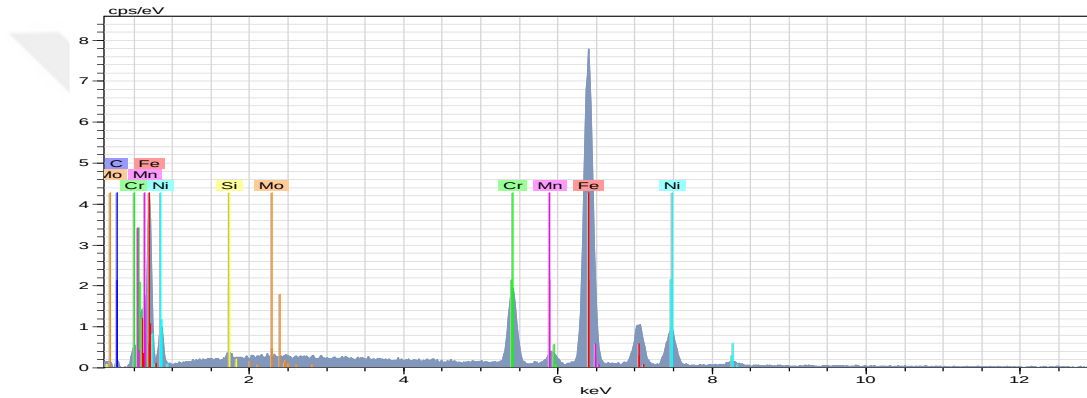
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	80.36	79.31	76.27	2.2
Cr	24	K-series	16.25	16.03	16.56	0.5
Mn	25	K-series	1.27	1.25	1.22	0.2
Mo	42	L-series	1.26	1.24	0.70	0.1
Ni	28	K-series	0.96	0.95	0.87	0.1
C	6	K-series	0.81	0.80	3.59	0.3
Si	14	K-series	0.42	0.41	0.79	0.1
Total			101.33	100.00	100.00	



Şekil 4.70 N11 numunesi sol üst bölge 2. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.38 N11 numunesi sol üst bölge 2. nokta EDS analizi

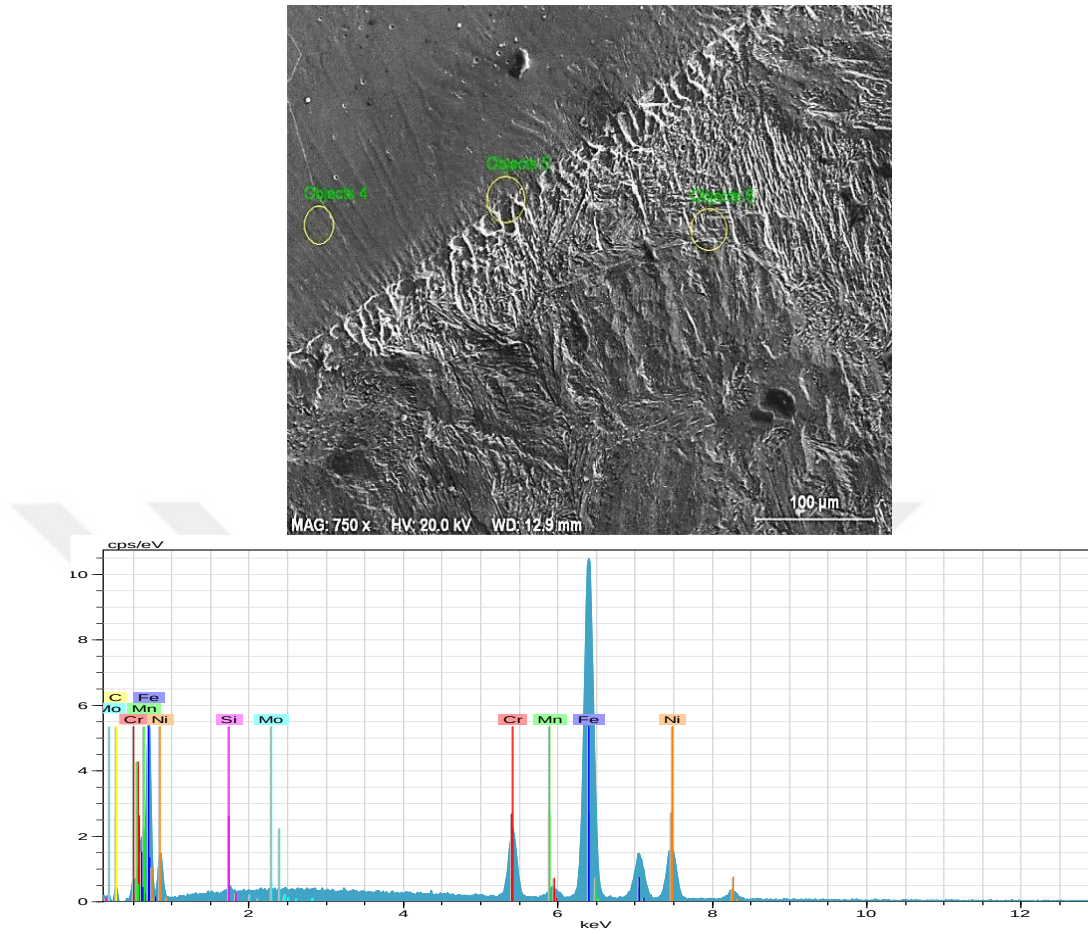
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	80.77	78.68	75.14	2.2
Cr	24	K-series	15.22	14.82	15.20	0.5
Ni	28	K-series	2.62	2.56	2.32	0.1
Mo	42	L-series	1.27	1.24	0.69	0.1
Mn	25	K-series	1.27	1.24	1.20	0.2
C	6	K-series	1.08	1.05	4.65	0.3
Si	14	K-series	0.42	0.41	0.78	0.1
Total			102.66	100.00	100.00	



Şekil 4.71 N11 numunesi sol üst bölge 3. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.39 N11 numunesi sol üst bölge 3. nokta EDS analizi

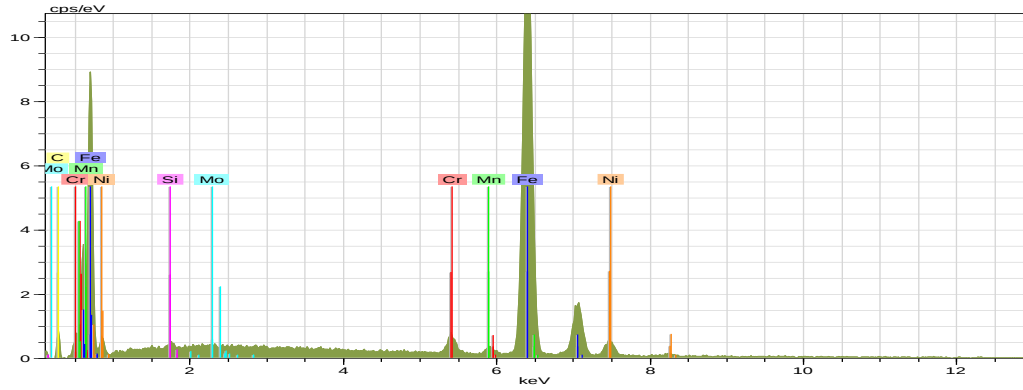
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	72.60	73.02	71.68	2.0
Ni	28	K-series	13.92	14.00	13.08	0.5
Cr	24	K-series	9.36	9.41	9.92	0.3
Mn	25	K-series	1.48	1.49	1.48	0.1
Mo	42	L-series	1.14	1.14	0.65	0.1
C	6	K-series	0.52	0.52	2.38	0.2
Si	14	K-series	0.41	0.41	0.81	0.1
Total			99.43	100.00	100.00	



Şekil 4.72 N11 numunesi sağ üst bölge SEM ve 4. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.40 N11 numunesi sağ üst bölge 4. nokta EDS analizi

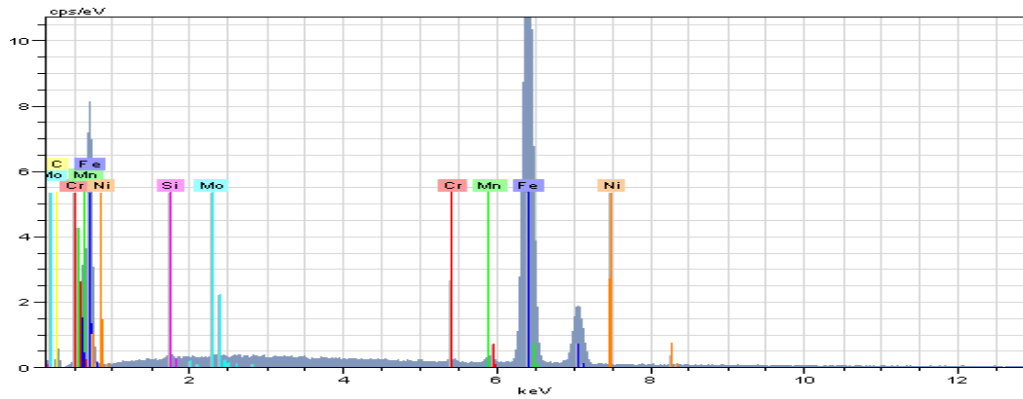
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	73.44	72.17	70.15	2.0
Ni	28	K-series	17.92	17.61	16.28	0.6
Cr	24	K-series	7.45	7.32	7.65	0.2
C	6	K-series	0.92	0.91	4.09	0.3
Mo	42	L-series	0.90	0.89	0.50	0.1
Mn	25	K-series	0.87	0.86	0.85	0.1
Si	14	K-series	0.25	0.25	0.48	0.0
Total			101.76	100.00	100.00	



Şekil 4.73 N11 numunesi sağ üst bölge 5. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.41 N11 numunesi sağ üst bölge 5. nokta EDS analizi

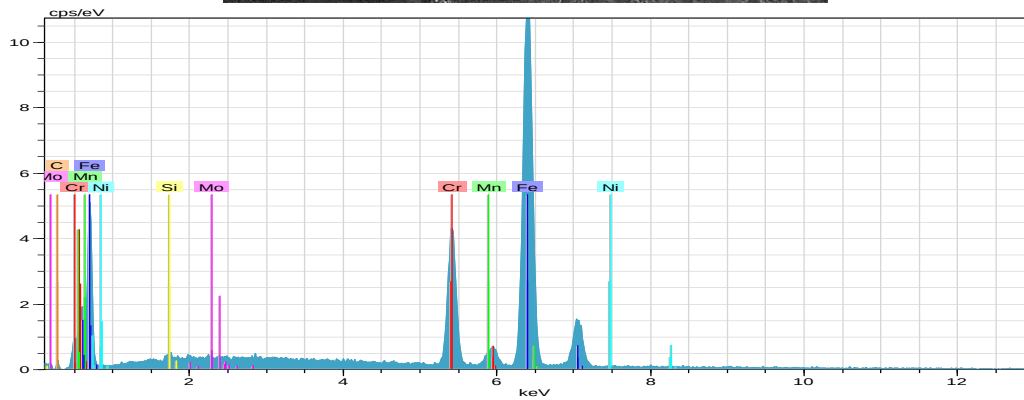
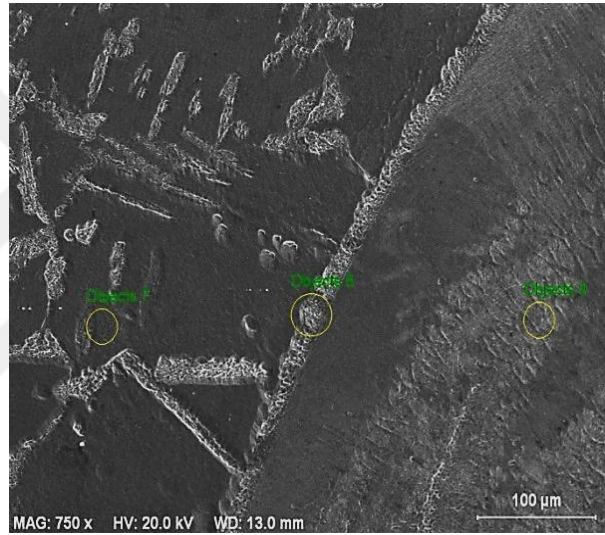
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	87.02	88.54	82.84	2.4
Ni	28	K-series	5.32	5.41	4.82	0.2
Cr	24	K-series	1.91	1.94	1.95	0.1
C	6	K-series	1.89	1.93	8.38	0.5
Mo	42	L-series	0.93	0.95	0.52	0.1
Mn	25	K-series	0.87	0.88	0.84	0.1
Si	14	K-series	0.35	0.35	0.66	0.1
Total			98.29	100.00	100.00	



Şekil 4.74 N11 numunesi sağ üst bölge 6. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.42 N11 numunesi sağ üst bölge 6. nokta EDS analizi

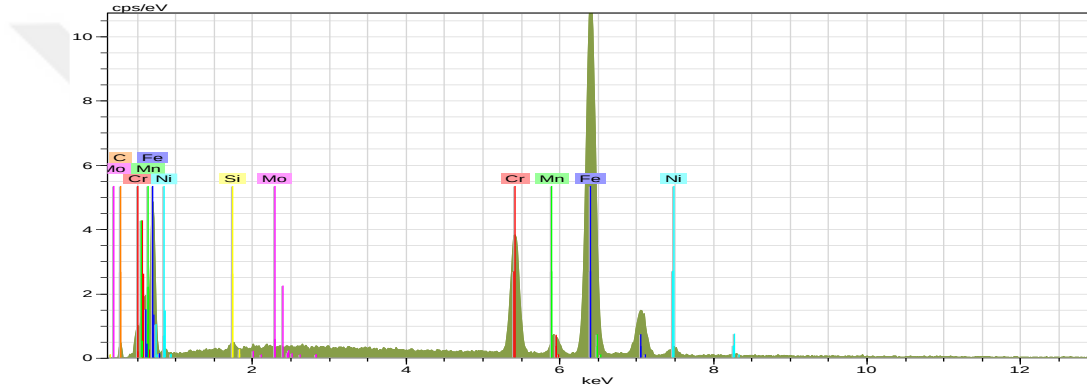
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	100.31	95.23	91.25	2.7
Mn	25	K-series	1.72	1.63	1.59	0.1
C	6	K-series	1.28	1.21	5.41	0.4
Ni	28	K-series	0.74	0.70	0.64	0.1
Mo	42	L-series	0.64	0.61	0.34	0.1
Cr	24	K-series	0.48	0.45	0.47	0.1
Si	14	K-series	0.17	0.16	0.30	0.0
Total			105.33	100.00	100.00	



Şekil 4.75 N11 numunesi sol alt bölge SEM ve 7. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.43 N11 numunesi sol alt bölge 7. nokta EDS analizi

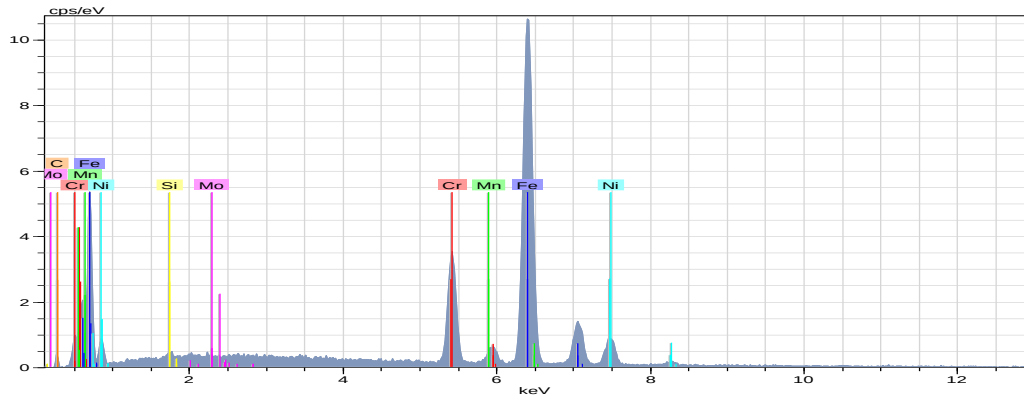
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	80.56	80.74	78.80	2.2
Cr	24	K-series	15.28	15.32	16.06	0.5
Mn	25	K-series	1.47	1.48	1.47	0.2
Ni	28	K-series	0.89	0.89	0.83	0.1
Mo	42	L-series	0.84	0.84	0.48	0.1
C	6	K-series	0.37	0.37	1.66	0.2
Si	14	K-series	0.36	0.36	0.70	0.1
Total			99.77	100.00	100.00	



Şekil 4.76 N11 numunesi sol alt bölge 8. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.44 N11 numunesi sol alt bölge 8. nokta EDS analizi

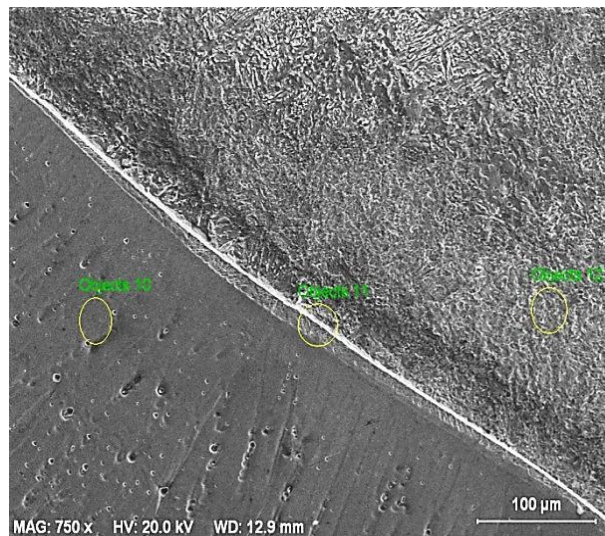
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	81.49	79.68	76.62	2.2
Cr	24	K-series	15.00	14.67	15.15	0.5
Ni	28	K-series	2.82	2.76	2.53	0.1
Mn	25	K-series	1.06	1.04	1.01	0.1
C	6	K-series	0.86	0.85	3.78	0.3
Mo	42	L-series	0.77	0.75	0.42	0.1
Si	14	K-series	0.27	0.26	0.50	0.0
Total			102.28	100.00	100.00	

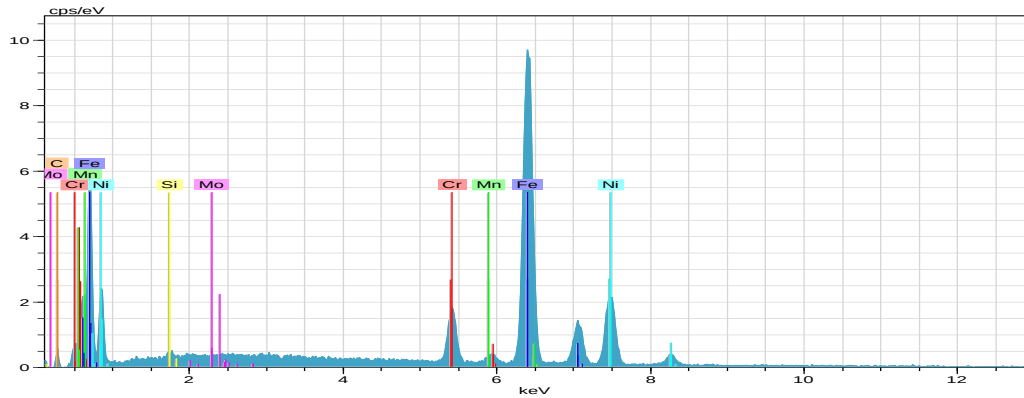


Şekil 4.77 N11 numunesi sol alt bölge 9. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.45 N11 numunesi sol alt bölge 9. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	76.01	74.52	72.21	2.1
Cr	24	K-series	12.96	12.71	13.22	0.4
Ni	28	K-series	9.66	9.47	8.73	0.3
Mn	25	K-series	1.27	1.24	1.23	0.2
Mo	42	L-series	0.99	0.97	0.55	0.1
C	6	K-series	0.77	0.76	3.41	0.3
Si	14	K-series	0.35	0.34	0.66	0.1
Total			102.00	100.00	100.00	

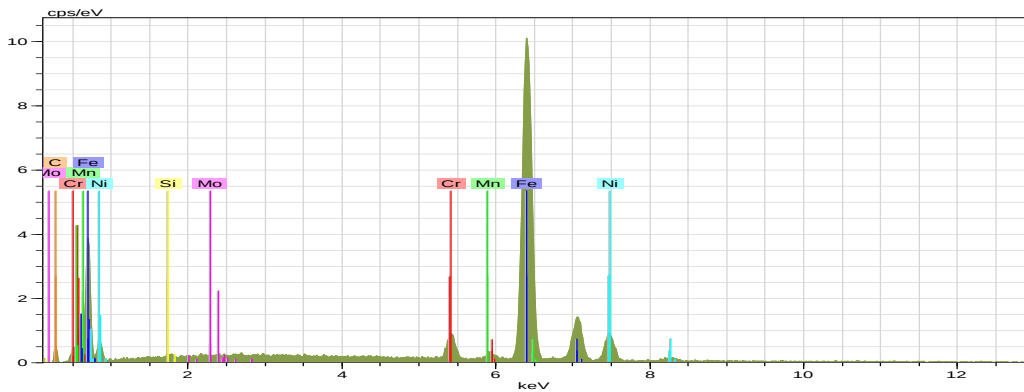




Şekil 4.78 N11 numunesi sağ alt bölge SEM ve 10. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.46 N11 numunesi sol alt bölge 10. nokta EDS analizi

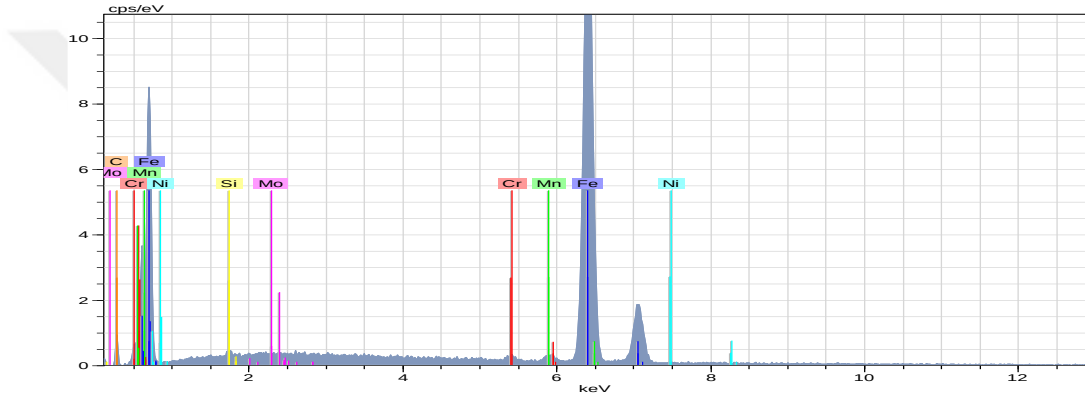
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	65.62	66.36	64.37	1.8
Cr	24	K-series	23.63	23.89	22.06	0.7
Ni	28	K-series	6.04	6.11	6.37	0.2
Mn	25	K-series	1.26	1.28	1.26	0.1
C	6	K-series	1.04	1.05	4.73	0.3
Mo	42	L-series	0.96	0.97	0.55	0.1
Si	14	K-series	0.34	0.35	0.67	0.1
Total			98.89	100.00	100.00	



Şekil 4.79 N11 numunesi sağ alt bölge 11. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.47 N11 numunesi sol alt bölge 11. nokta EDS analizi

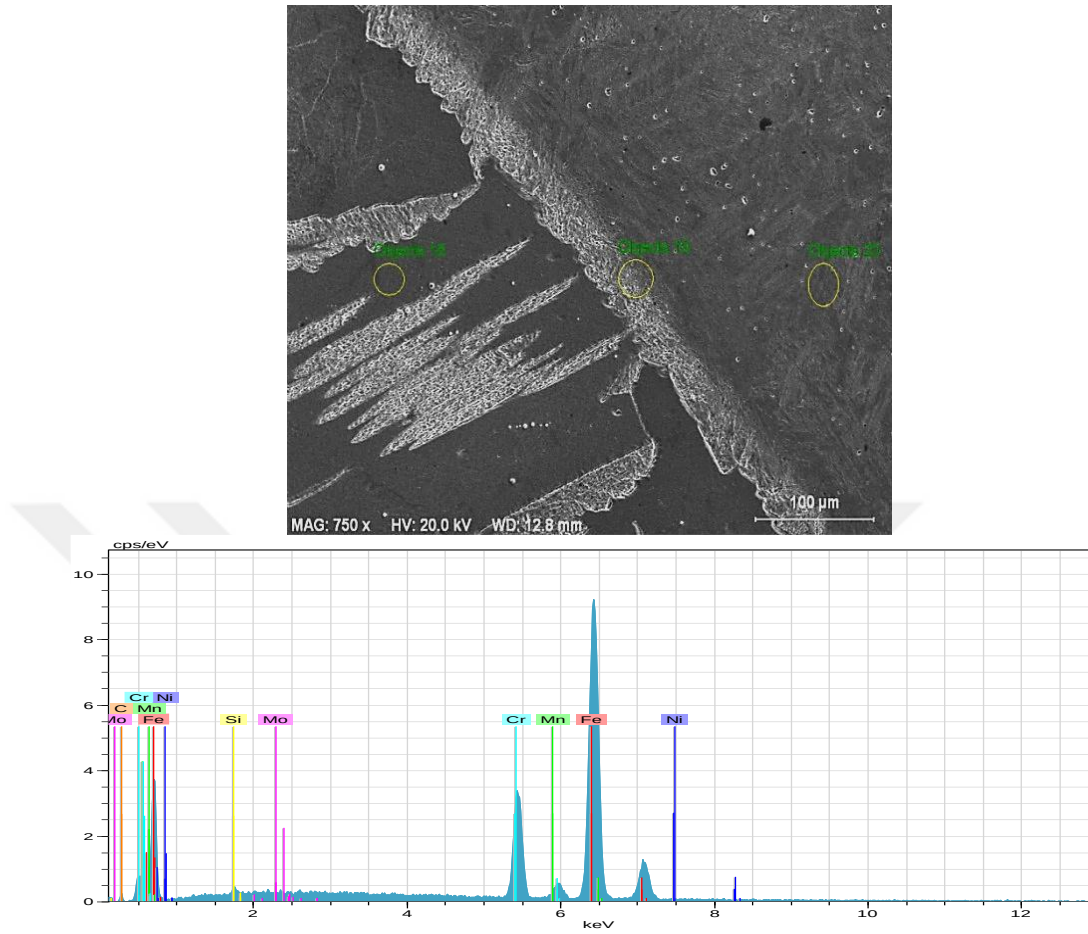
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	96.80	82.40	79.38	2.6
Cr	24	K-series	12.69	10.80	9.90	0.4
Ni	28	K-series	3.97	3.38	3.50	0.2
Mn	25	K-series	2.24	1.90	1.86	0.2
C	6	K-series	1.33	1.13	5.06	0.4
Mo	42	L-series	0.39	0.33	0.19	0.1
Si	14	K-series	0.07	0.06	0.11	0.0
Total			117.48	100.00	100.00	



Şekil 4.80 N11 numunesi sağ alt bölge 12. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.48 N11 numunesi sağ alt bölge 12. nokta EDS analizi

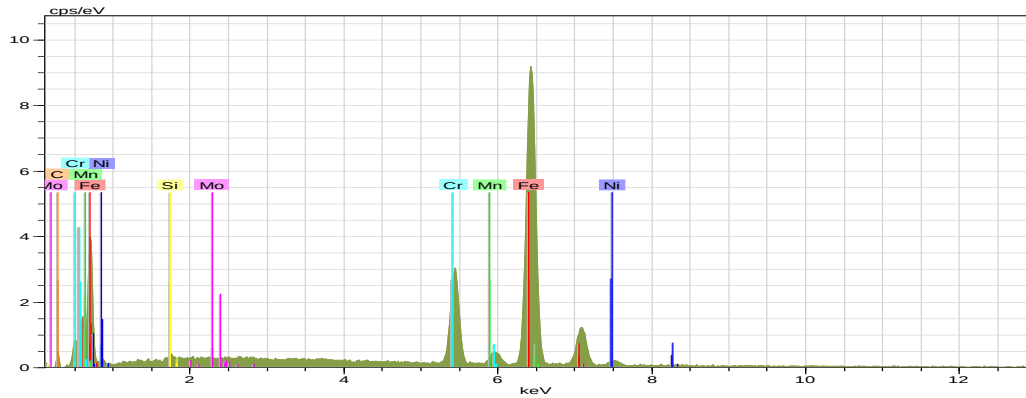
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	97.67	94.52	88.90	2.6
C	6	K-series	1.80	1.74	7.63	0.4
Mn	28	K-series	1.72	1.66	1.59	0.1
Mo	25	L-series	0.76	0.74	0.40	0.1
Ni	42	K-series	0.62	0.60	0.54	0.1
Cr	24	K-series	0.53	0.51	0.51	0.1
Si	14	K-series	0.24	0.23	0.43	0.0
Total			103.34	100.00	100.00	



Şekil 4.81 N33 numunesi sol üst bölge SEM ve 13. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.49 N33 numunesi sol üst bölge 13. nokta EDS analizi

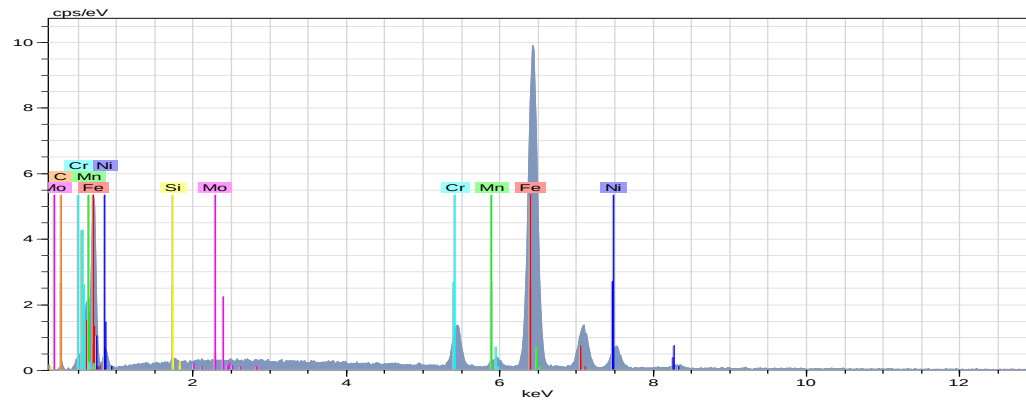
El	AN	Series	Unn. [wt. - %]	C norm. [wt. - %]	C atom. [at. - %]	C error [%]
Fe	26	K-series	64.16	64.87	62.83	1.8
Cr	24	K-series	16.40	16.58	17.25	0.5
Mn	25	K-series	15.83	16.00	15.76	0.5
Ni	28	K-series	0.97	0.98	0.91	0.1
Mo	42	L-series	0.75	0.76	0.43	0.1
C	6	K-series	0.49	0.49	2.22	0.2
Si	14	K-series	0.31	0.31	0.61	0.1
Total			98.90	100.00	100.00	



Şekil 4.82 N33 numunesi sol üst bölge 14. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.50 N33 numunesi sol üst bölge 14. nokta EDS analizi

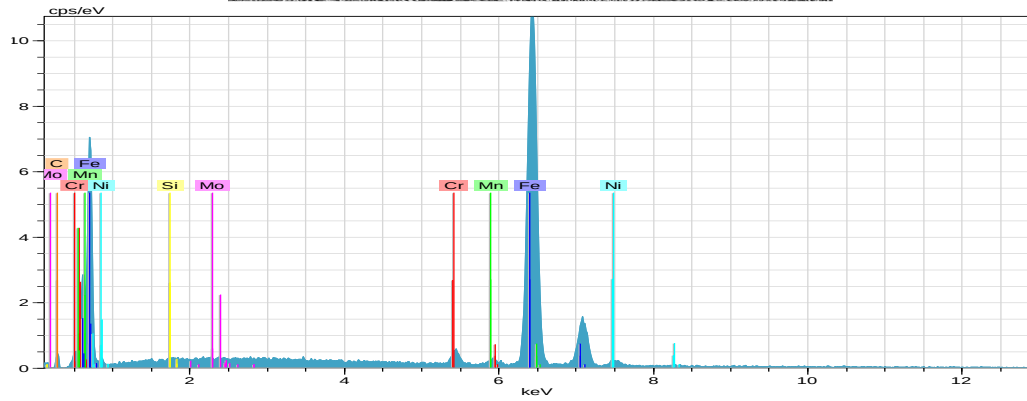
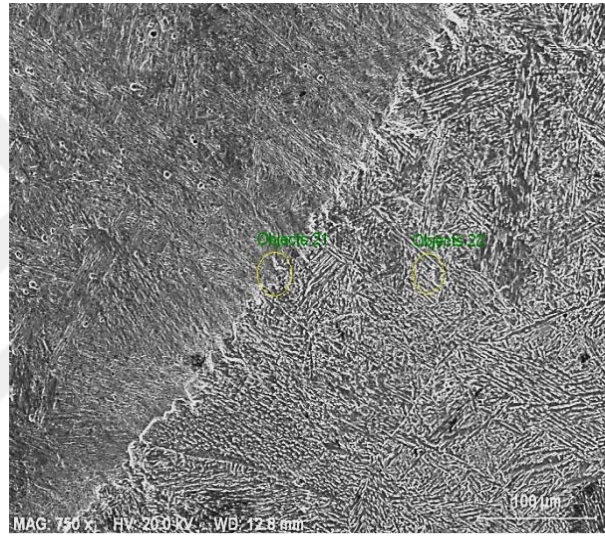
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	62.78	64.43	61.17	1.7
Mn	25	K-series	15.94	16.35	15.78	0.5
Cr	24	K-series	13.98	14.34	14.63	0.4
Ni	28	K-series	2.62	2.69	2.43	0.1
C	6	K-series	1.10	1.13	4.97	0.3
Mo	42	L-series	0.71	0.73	0.41	0.1
Si	14	K-series	0.32	0.33	0.62	0.1
Total			97.45	100.00	100.00	



Şekil 4.83 N33 numunesi sol üst bölge 15. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.51 N33 numunesi sol üst bölge 15. nokta EDS analizi

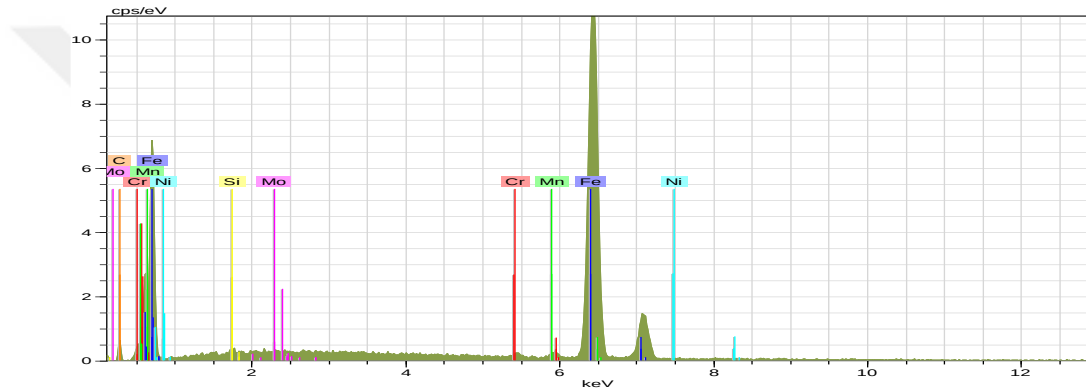
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	64.65	66.55	65.13	1.8
Mn	25	K-series	15.83	16.29	16.21	0.5
Ni	28	K-series	9.16	9.43	8.78	0.3
Cr	24	K-series	5.99	6.16	6.48	0.2
Mo	42	L-series	0.76	0.78	0.45	0.1
C	6	K-series	0.54	0.56	2.53	0.2
Si	14	K-series	0.21	0.22	0.42	0.0
Total			97.14	100.00	100.00	



Şekil 4.84 N33 numunesi sağ üst bölge SEM ve 16. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.52 N33 numunesi sağ üst bölge 16. nokta EDS analizi

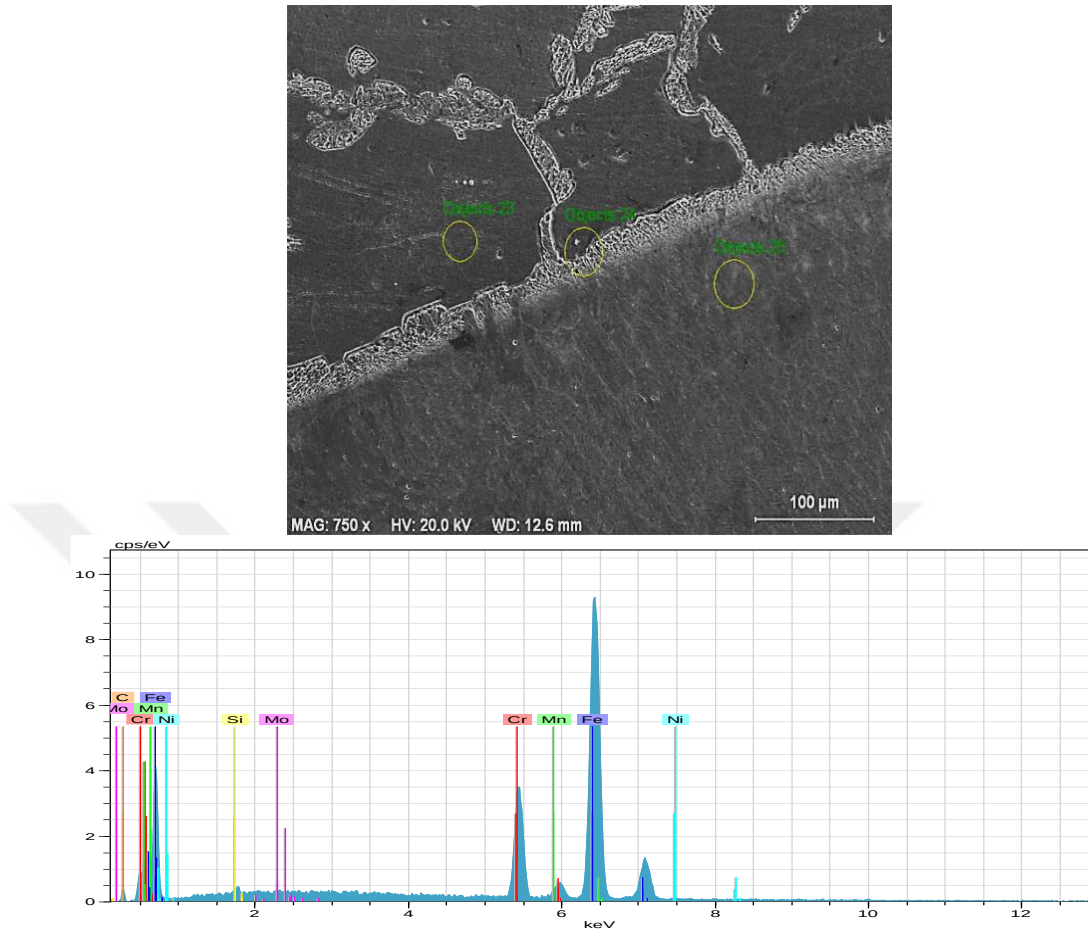
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	71.29	73.90	70.36	2.0
Mn	25	K-series	18.52	19.20	18.58	0.6
Ni	28	K-series	2.83	2.93	2.65	0.1
Cr	24	K-series	1.76	1.83	1.87	0.1
C	6	K-series	1.26	1.31	5.80	0.4
Mo	42	L-series	0.61	0.63	0.35	0.1
Si	14	K-series	0.20	0.21	0.39	0.0
Total			96.47	100.00	100.00	



Şekil 4.85 N33 numunesi sağ üst bölge 17. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.53 N33 numunesi sağ üst bölge 17. nokta EDS analizi

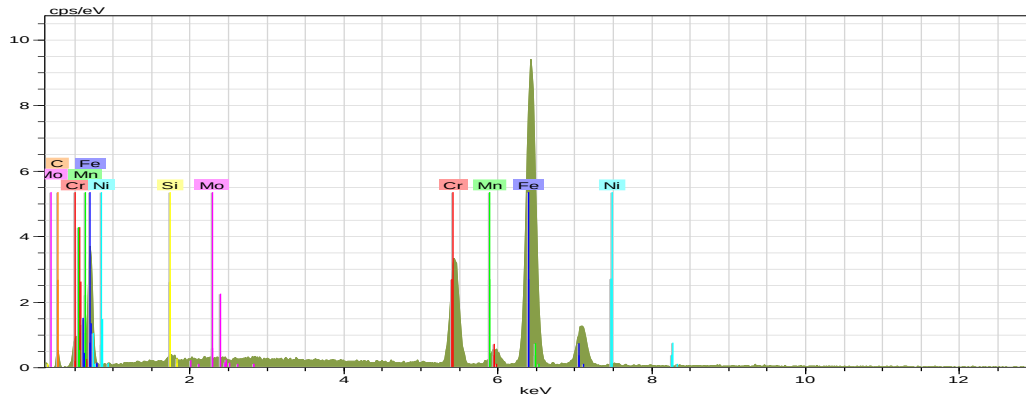
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	74.99	75.84	71.27	2.1
Mn	25	K-series	19.54	19.76	18.88	0.6
C	6	K-series	1.67	1.68	7.36	0.5
Ni	28	K-series	0.93	0.94	0.84	0.1
Mo	42	L-series	0.76	0.77	0.42	0.1
Cr	24	K-series	0.74	0.75	0.76	0.1
Si	14	K-series	0.25	0.26	0.48	0.0
Total			98.89	100.00	100.00	



Şekil 4.86 N33 numunesi sol alt bölge SEM ve 18. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.54 N33 numunesi sol alt bölge 18. nokta EDS analizi

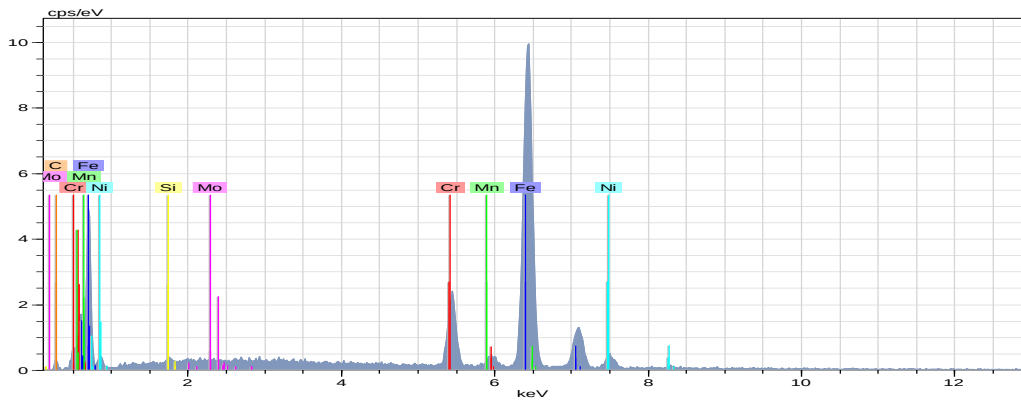
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	62.76	63.77	60.79	1.7
Mn	25	K-series	16.54	16.81	16.29	0.5
Cr	24	K-series	16.26	16.52	16.91	0.5
C	6	K-series	0.92	0.94	4.15	0.3
Ni	28	K-series	0.91	0.92	0.84	0.1
Mo	42	L-series	0.70	0.71	0.40	0.1
Si	14	K-series	0.33	0.33	0.63	0.1
Total			98.41	100.00	100.00	



Şekil 4.87 N33 numunesi sol alt bölge 19. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.55 N33 numunesi sol alt bölge 19. nokta EDS analizi

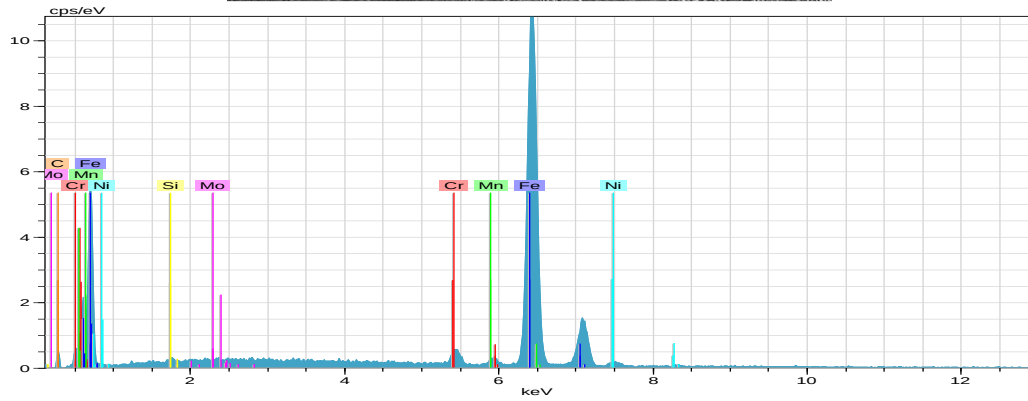
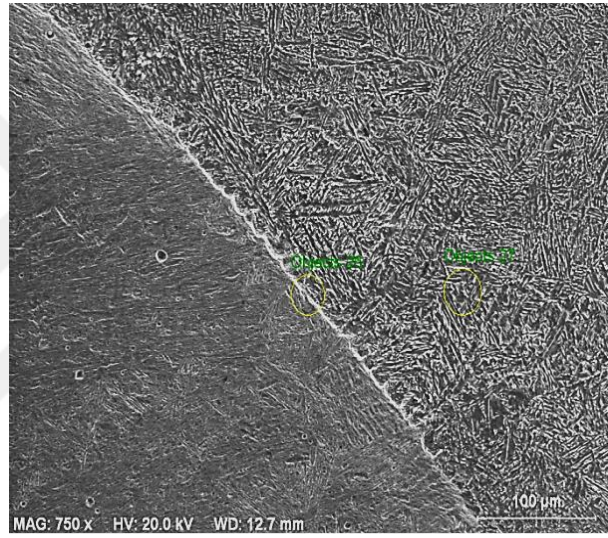
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	64.26	63.69	60.22	1.8
Mn	25	K-series	16.95	16.80	16.14	0.5
Cr	24	K-series	16.50	16.35	16.60	0.5
C	6	K-series	1.20	1.19	5.24	0.4
Ni	28	K-series	1.03	1.02	0.92	0.1
Mo	42	L-series	0.69	0.68	0.38	0.1
Si	14	K-series	0.27	0.26	0.50	0.0
Total			100.89	100.00	100.00	



Şekil 4.88 N33 numunesi sol alt bölge 20. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.56 N33 numunesi sol alt bölge 20. nokta EDS analizi

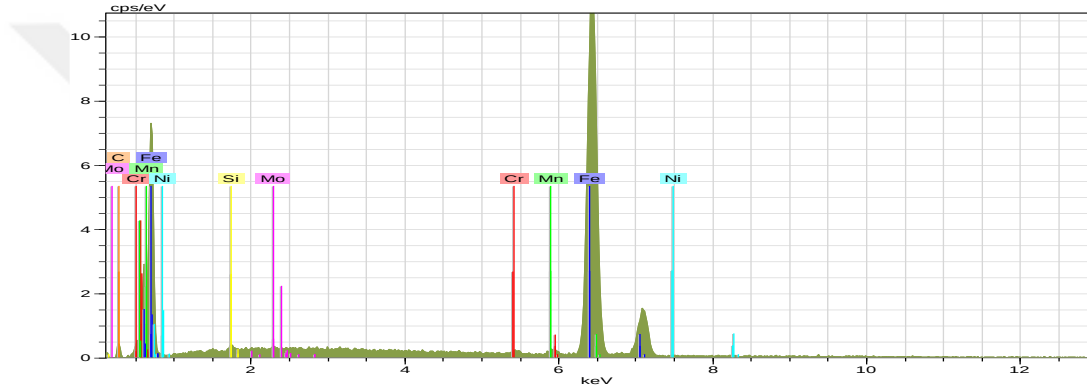
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	63.29	64.72	62.46	1.8
Mn	25	K-series	16.87	17.25	16.93	0.6
Cr	24	K-series	10.03	10.26	10.63	0.3
Ni	28	K-series	5.44	5.56	5.11	0.2
Mo	42	L-series	1.11	1.14	0.64	0.1
C	6	K-series	0.83	0.84	3.79	0.3
Si	14	K-series	0.23	0.23	0.45	0.0
Total			97.79	100.00	100.00	



Şekil 4.89 N33 numunesi sağ alt bölge SEM ve 21. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.57 N33 numunesi sağ alt bölge 21. nokta EDS analizi

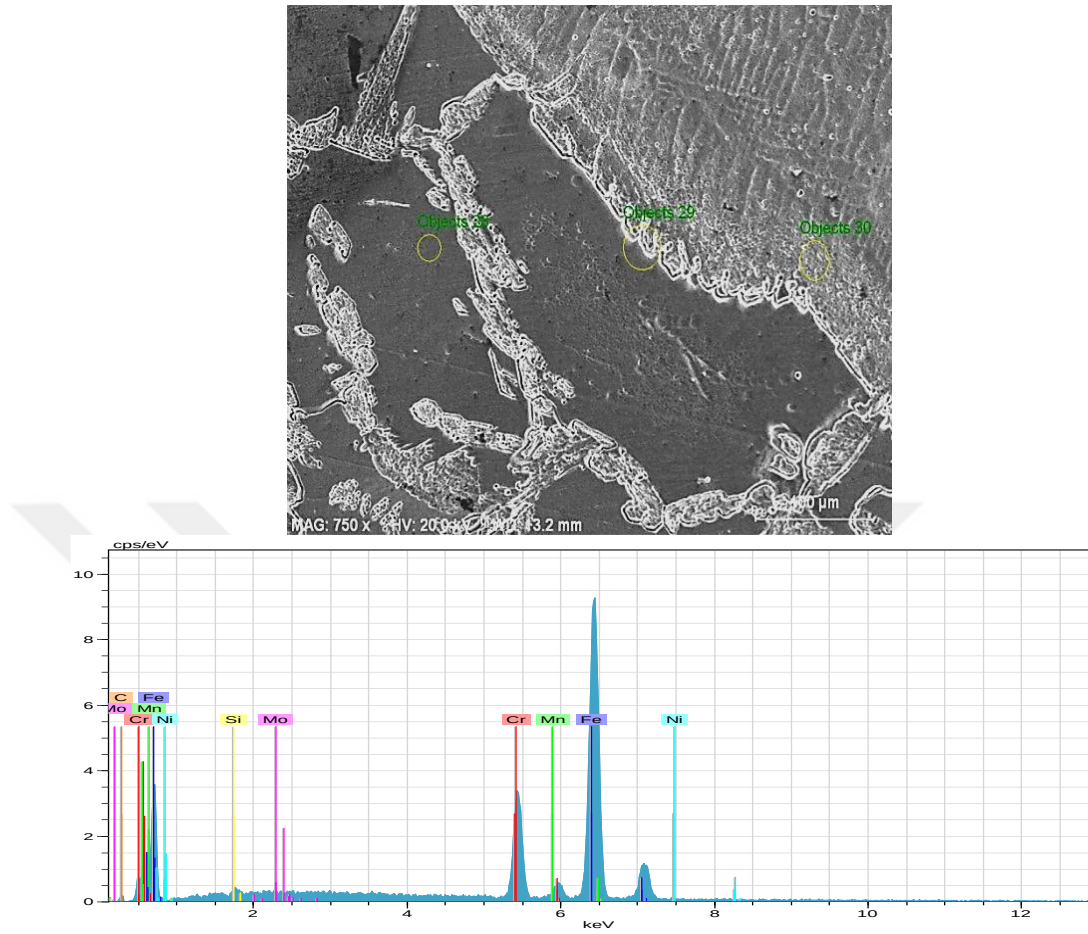
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	76.68	73.06	69.83	2.1
Mn	25	K-series	21.46	20.45	19.86	0.7
Cr	24	K-series	2.53	2.41	2.47	0.1
Ni	28	K-series	2.53	2.41	2.47	0.1
C	6	K-series	1.26	1.20	5.32	0.4
Mo	42	L-series	0.53	0.51	0.28	0.1
Si	14	K-series	0.07	0.07	0.13	0.0
Total			104.95	100.00	100.00	



Şekil 4.90 N33 numunesi sağ alt bölge 22. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.58 N33 numunesi sağ alt bölge 22. nokta EDS analizi

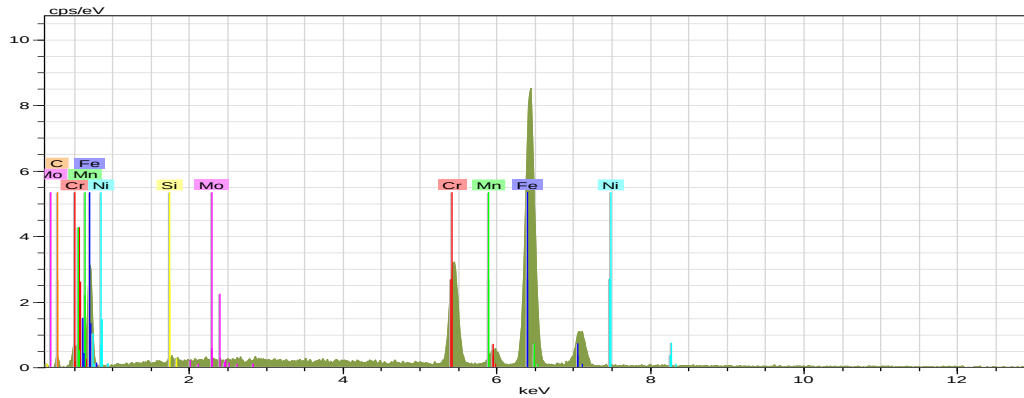
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	73.56	75.82	71.87	2.0
Mn	25	K-series	20.01	20.62	19.87	0.6
C	6	K-series	1.39	1.43	6.31	0.4
Mo	42	L-series	0.70	0.73	0.40	0.1
Ni	28	K-series	0.58	0.60	0.54	0.1
Cr	24	K-series	0.56	0.57	0.58	0.1
Si	14	K-series	0.22	0.23	0.43	0.0
Total			97.02	100.00	100.00	



Şekil 4.91 N55 numunesi sol üst bölge SEM ve 23. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.59 N55 numunesi sol üst bölge 23. nokta EDS analizi

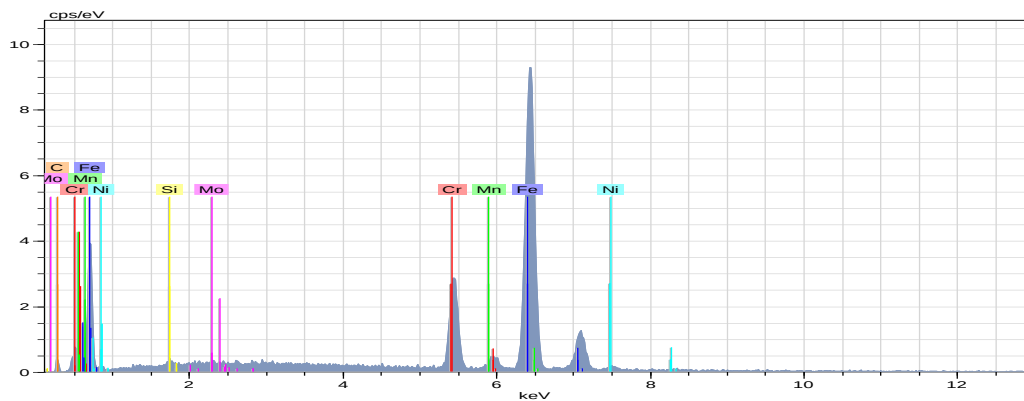
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	61.17	62.82	61.12	1.7
Mn	25	K-series	17.22	17.69	17.49	0.6
Cr	24	K-series	16.26	16.70	17.45	0.5
Ni	28	K-series	1.16	1.19	1.10	0.1
Mo	42	L-series	0.85	0.87	0.49	0.1
Si	14	K-series	0.37	0.38	0.74	0.1
C	6	K-series	0.35	0.35	1.61	0.2
Total			97.38	100.00	100.00	



Şekil 4.92 N55 numunesi sol üst bölge 24. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.60 N55 numunesi sol üst bölge 24. nokta EDS analizi

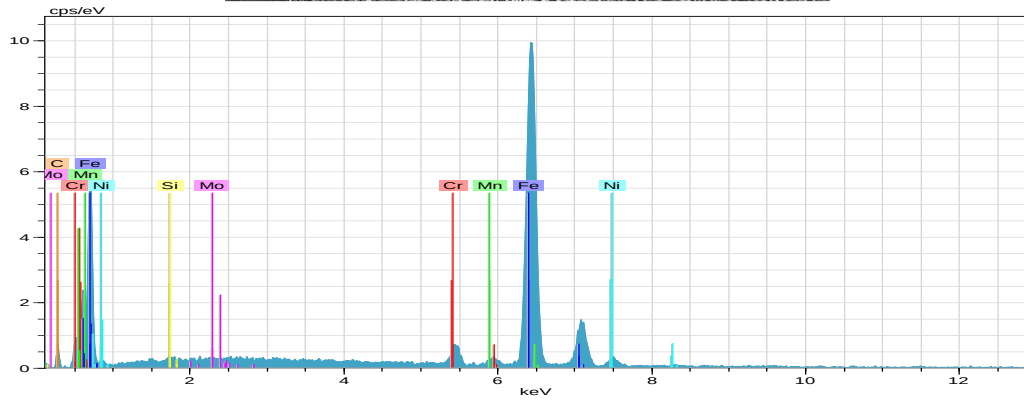
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	65.11	61.13	58.52	1.8
Mn	25	K-series	19.54	18.35	17.86	0.6
Cr	24	K-series	18.58	17.44	17.94	0.6
Ni	28	K-series	1.35	1.26	1.15	0.1
C	6	K-series	0.88	0.83	3.68	0.3
Mo	42	L-series	0.80	0.76	0.42	0.1
Si	14	K-series	0.24	0.23	0.43	0.1
Total			106.50	100.00	100.00	



Şekil 4.93 N55 numunesi sol üst bölge 25. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.61 N55 numunesi sol üst bölge 25. nokta EDS analizi

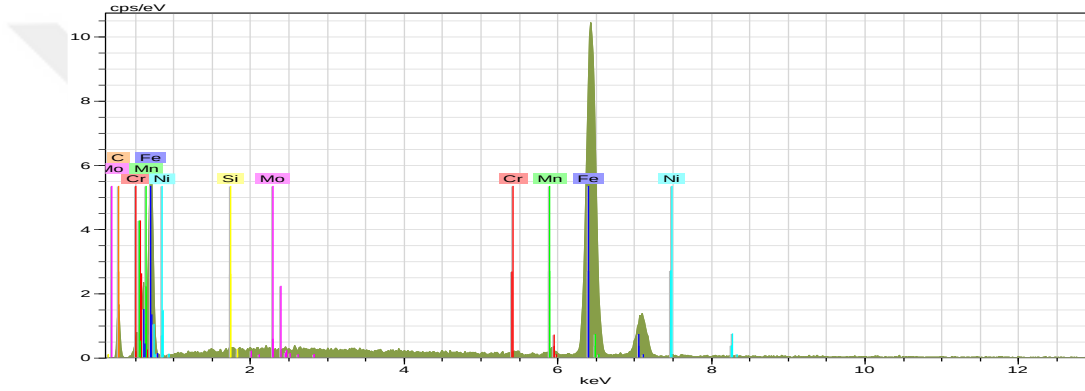
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	64.31	63.71	60.81	1.8
Mn	25	K-series	17.54	17.38	16.86	0.6
Cr	24	K-series	14.30	14.17	14.53	0.5
Ni	28	K-series	2.58	2.56	2.32	0.2
C	6	K-series	1.03	1.02	4.54	0.4
Mo	42	L-series	0.94	0.93	0.52	0.1
Si	14	K-series	0.22	0.22	0.42	0.0
Total			100.93	100.00	100.00	



Şekil 4.94 N55 numunesi sağ üst bölge SEM ve 26. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.62 N55 numunesi sağ üst bölge 26. nokta EDS analizi

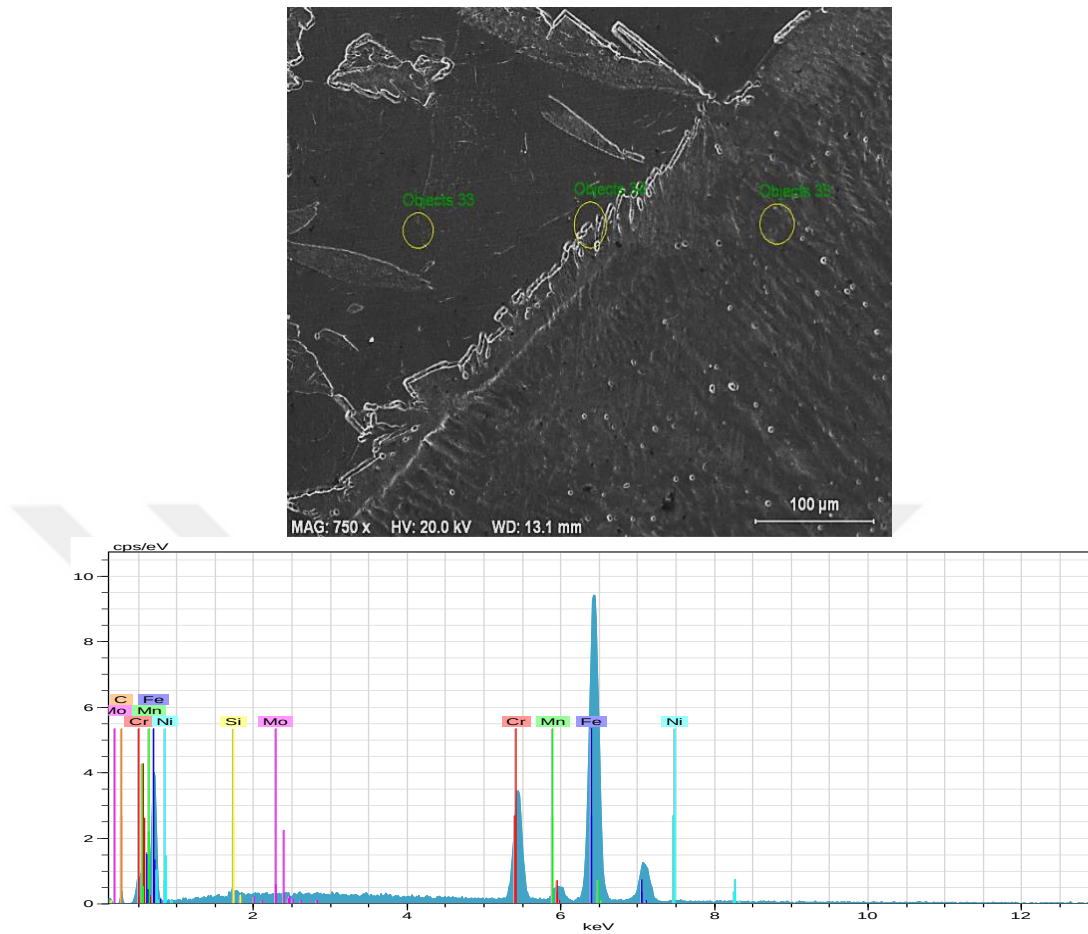
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	66.31	69.34	64.27	1.9
Mn	25	K-series	19.69	20.59	19.40	0.6
Ni	28	K-series	3.56	3.72	3.28	0.2
Cr	24	K-series	2.93	3.06	3.05	0.1
C	6	K-series	2.00	2.09	9.01	0.6
Mo	42	L-series	0.90	0.94	0.51	0.1
Si	14	K-series	0.25	0.26	0.49	0.1
Total			95.63	100.00	100.00	



Şekil 4.95 N55 numunesi sağ üst bölge 27. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.63 N55 numunesi sağ üst bölge 27. nokta EDS analizi

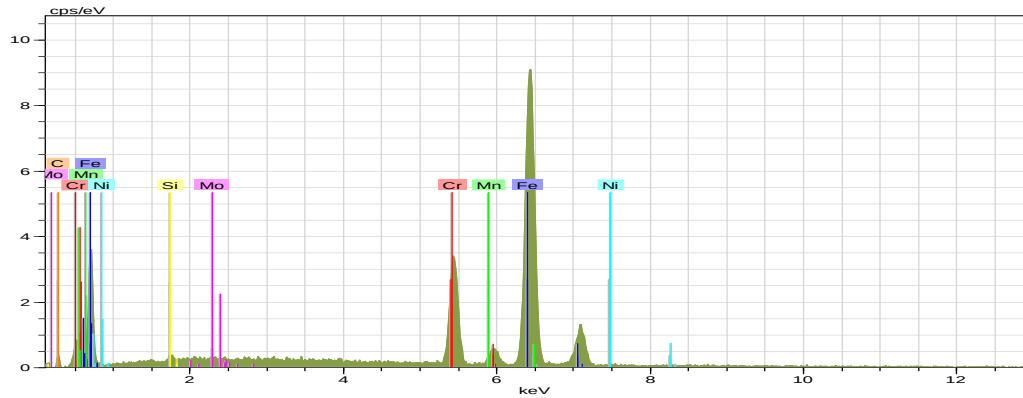
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	68.42	71.36	59.79	1.9
Mn	25	K-series	20.00	20.86	17.77	0.6
C	6	K-series	5.04	5.26	20.49	1.1
Ni	28	K-series	0.92	0.96	0.76	0.1
Mo	42	L-series	0.79	0.82	0.40	0.1
Cr	24	K-series	0.54	0.56	0.51	0.1
Si	14	K-series	0.16	0.17	0.29	0.0
Total			95.88	100.00	100.00	



Şekil 4.96 N55 numunesi sol alt bölge SEM ve 28. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.64 N55 numunesi sol alt bölge 28. nokta EDS analizi

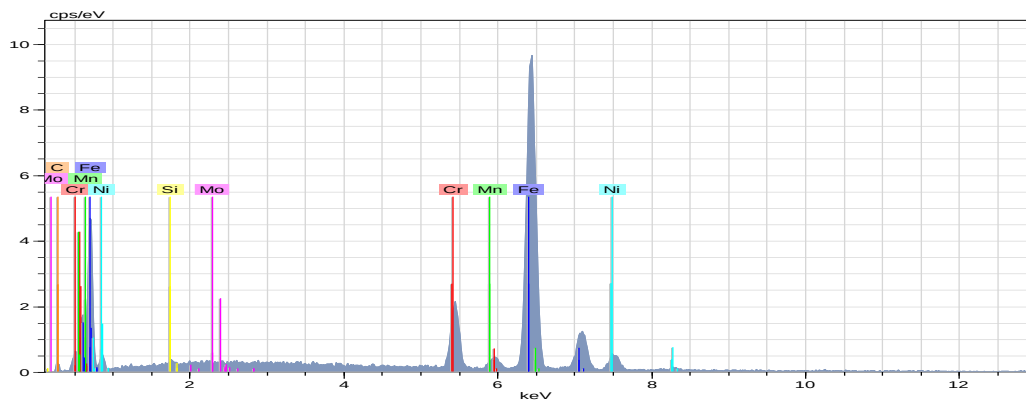
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	62.03	62.08	59.98	1.7
Mn	25	K-series	18.43	18.45	18.12	0.6
Cr	24	K-series	16.34	16.36	16.97	0.5
Ni	28	K-series	1.12	1.12	1.03	0.1
Mo	42	L-series	1.01	1.01	0.57	0.1
C	6	K-series	0.56	0.56	2.51	0.3
Si	14	K-series	0.42	0.42	0.81	0.1
Total			99.92	100.00	100.00	



Şekil 4.97 N55 numunesi sol alt bölge 29. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.65 N55 numunesi sol alt bölge 29. nokta EDS analizi

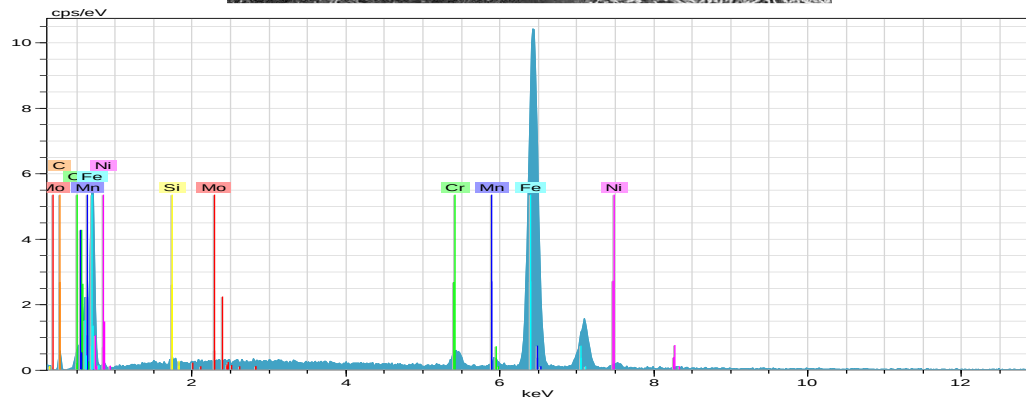
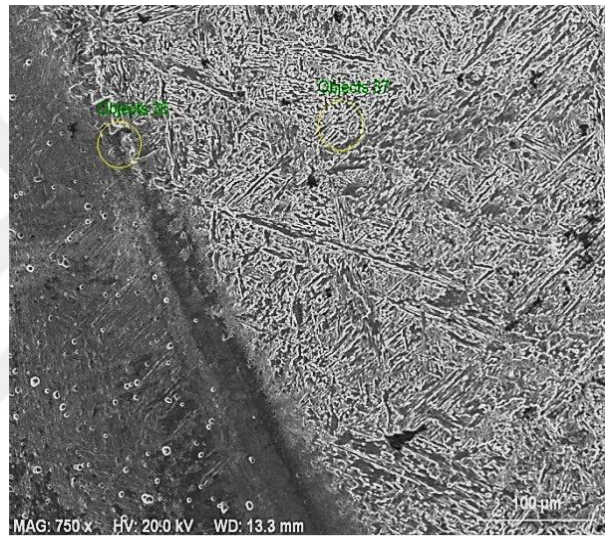
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	62.90	61.88	59.12	1.8
Mn	25	K-series	18.54	18.24	17.71	0.6
Cr	24	K-series	17.03	16.75	17.19	0.5
Ni	28	K-series	1.13	1.11	1.01	0.1
C	6	K-series	0.92	0.90	4.02	0.3
Mo	42	L-series	0.87	0.86	0.48	0.1
Si	14	K-series	0.25	0.25	0.47	0.1
Total			101.64	100.00	100.00	



Şekil 4.98 N55 numunesi sol alt bölge 30. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.66 N55 numunesi sol alt bölge 30. nokta EDS analizi

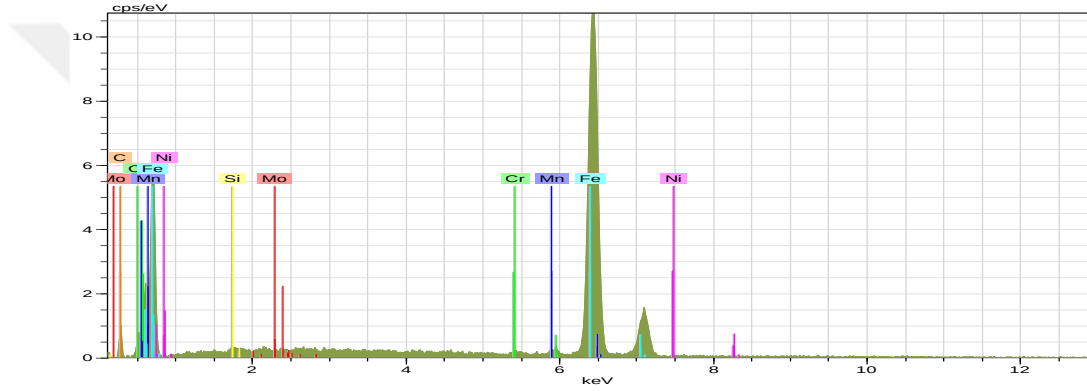
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	60.94	62.95	60.75	1.7
Mn	25	K-series	17.76	18.35	18.00	0.6
Cr	24	K-series	9.27	9.57	9.92	0.3
Ni	28	K-series	6.96	7.19	6.60	0.3
C	6	K-series	0.83	0.86	0.48	0.1
Mo	42	L-series	0.82	0.85	3.82	0.3
Si	14	K-series	0.21	0.22	0.42	0.0
Total			96.81	100.00	100.00	



Şekil 4.99 N55 numunesi sağ alt bölge SEM ve 31. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.67 N55 numunesi sağ alt bölge 31. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	69.54	70.32	66.35	1.9
Mn	25	K-series	21.50	21.74	20.85	0.7
Cr	24	K-series	2.76	2.79	2.83	0.1
Ni	28	K-series	2.47	2.50	2.24	0.2
C	6	K-series	1.53	1.55	6.79	0.5
Mo	42	L-series	0.85	0.86	0.47	0.1
Si	14	K-series	0.25	0.25	0.47	0.1
Total			98.89	100.00	100.00	



Şekil 4.100 N55 numunesi sağ alt bölge 32. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.68 N55 numunesi sağ alt bölge 32. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	74.46	72.91	66.45	2.1
Mn	25	K-series	22.63	22.15	20.53	0.7
C	6	K-series	2.63	2.58	10.91	0.7
Mo	42	L-series	0.75	0.73	0.39	0.1
Ni	28	K-series	0.74	0.72	0.63	0.1
Cr	24	K-series	0.68	0.67	0.65	0.1
Si	14	K-series	0.25	0.24	0.44	0.1
Total			102.13	100.00	100.00	

Çizelge 4.69 Ara tabakasız N1, N3 ve N5 numunelerinin % element sonuçları

Numune No	Bölge	Analiz noktaları	Elementler (% Ağırlık)						
			Fe	Cr	Mn	Mo	Ni	C	Si
N1	Sol üst	1. nokta	72.87	16.49	5.40	0.62	0.94	2.90	0.78
		2. nokta	74.47	15.29	5.74	0.68	0.90	2.19	0.72
		3. nokta	79.65	9.37	6.97	0.64	0.93	1.75	0.69
	Sağ üst	4. nokta	81.47	4.39	7.00	0.58	0.75	5.09	0.72
		5. nokta	81.76	0.64	7.38	0.46	0.64	8.74	0.37
	Sol alt	6. nokta	72.25	16.41	6.43	0.61	0.95	2.59	0.75
		7. nokta	80.31	5.44	7.25	0.68	0.80	4.78	0.75
		8. nokta	79.14	7.84	6.87	0.67	1.00	3.72	0.76
	Sağ alt	9. nokta	76.93	10.27	6.98	0.53	1.02	3.58	0.69
		10. nokta	73.39	13.76	6.95	0.64	0.80	3.68	0.78
		11. nokta	80.26	3.85	8.21	0.49	0.91	5.70	0.59
		12. nokta	83.66	1.70	7.92	0.62	0.94	4.71	0.45
N3	Sol üst	13. nokta	71.00	16.18	6.81	0.56	1.01	3.62	0.82
		14. nokta	72.62	13.80	7.52	0.64	0.86	3.74	0.82
		15. nokta	73.80	10.66	7.41	0.58	0.86	6.13	0.56
	Sağ üst	16. nokta	77.91	3.55	8.03	0.61	0.77	8.61	0.52
		17. nokta	74.48	0.62	7.76	0.52	0.69	15.49	0.44
		18. nokta	69.43	9.55	7.38	0.58	0.95	11.64	0.47
	Sol alt	19. nokta	71.24	15.65	7.19	0.65	0.89	3.70	0.67
		20. nokta	72.13	14.48	7.02	0.49	0.90	4.14	0.84
		21. nokta	73.79	11.58	7.62	0.64	1.01	4.53	0.82
	Sağ alt	22. nokta	56.76	0.68	5.79	0.31	0.63	35.64	0.19
		23. nokta	75.18	0.53	7.47	0.47	0.51	15.47	0.38
		24. nokta	71.89	7.34	7.48	0.48	0.86	11.41	0.56
N5	Sol üst	25. nokta	68.67	16.68	8.58	0.51	0.89	4.11	0.56
		26. nokta	70.28	14.58	8.62	0.50	0.85	4.50	0.66
		27. nokta	74.45	8.99	9.98	0.50	0.70	4.92	0.48
	Sağ üst	28. nokta	51.44	1.12	7.08	0.32	0.62	39.17	0.24
		29. nokta	74.96	0.84	9.77	0.37	0.60	12.93	0.54
	Sol alt	30. nokta	69.65	16.57	8.95	0.51	0.93	2.70	0.68
		31. nokta	71.23	14.93	10.02	0.50	0.85	1.89	0.58
		32. nokta	75.30	8.18	10.63	0.53	0.82	3.96	0.58
	Sağ alt	33. nokta	76.20	8.27	10.93	0.58	0.89	2.54	0.59
		34. nokta	61.35	2.03	8.30	0.32	0.65	27.13	0.22
		35. nokta	50.74	0.44	6.98	0.23	0.44	40.98	0.19

Çizelge 4.70 Ara tabakalı N11, N33 ve N55 numunelerinin % element sonuçları

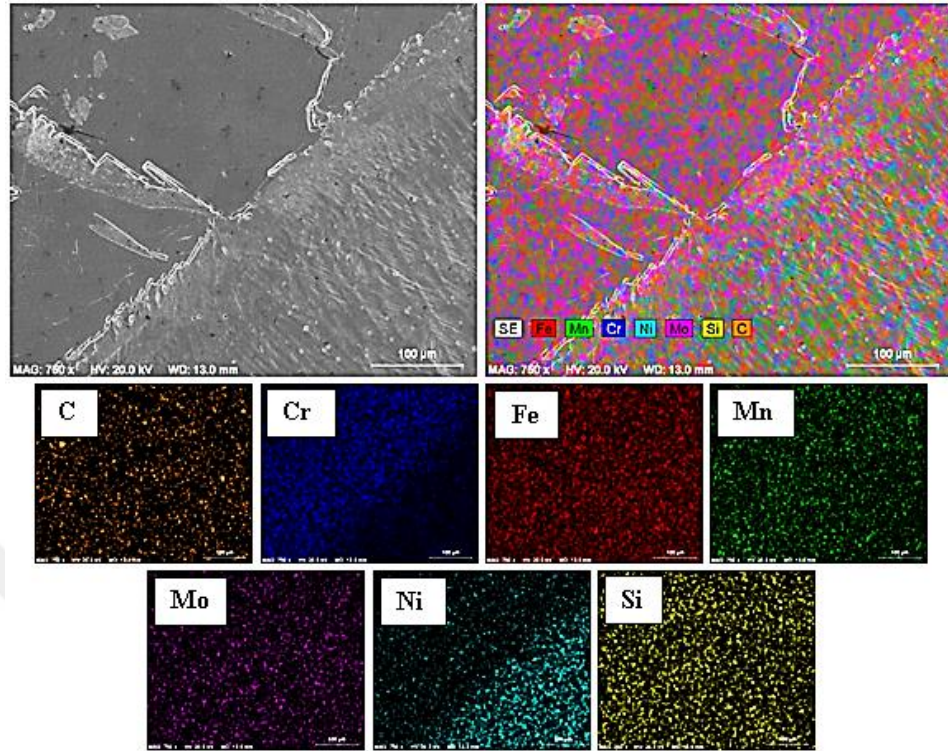
Numune No	Bölge	Analiz noktaları	Elementler (% Ağırlık)						
			Fe	Cr	Mn	Mo	Ni	C	Si
N11	Sol üst	1. nokta	76.27	16.56	1.22	0.70	0.87	3.59	0.79
		2. nokta	75.14	15.20	1.20	0.69	2.32	4.65	0.78
		3. nokta	71.68	9.92	1.48	0.65	13.08	2.38	0.81
	Sağ üst	4. nokta	70.15	7.65	0.85	0.50	16.28	4.09	0.48
		5. nokta	82.84	1.95	0.84	0.52	4.82	8.38	0.66
		6. nokta	91.25	0.47	1.59	0.34	0.64	5.41	0.30
	Sol alt	7. nokta	78.80	16.06	1.47	0.48	0.83	1.66	0.70
		8. nokta	76.62	15.15	1.01	0.42	2.53	3.78	0.50
		9. nokta	72.21	13.22	1.23	0.55	8.73	3.41	0.66
	Sağ alt	10. nokta	64.37	22.06	1.26	0.55	6.37	4.73	0.67
		11. nokta	79.38	9.90	1.86	0.19	3.50	5.06	0.11
		12. nokta	88.90	0.51	1.59	0.40	0.54	7.63	0.43
N33	Sol üst	13. nokta	62.83	17.25	15.76	0.43	0.91	2.22	0.61
		14. nokta	61.17	14.63	15.78	0.41	2.43	4.97	0.62
		15. nokta	65.13	6.48	16.21	0.45	8.78	2.53	0.42
	Sağ üst	16. nokta	70.36	1.87	18.58	0.35	2.65	5.80	0.39
		17. nokta	71.27	0.76	18.88	0.42	0.84	7.36	0.48
	Sol alt	18. nokta	60.79	16.91	16.29	0.40	0.84	4.15	0.63
		19. nokta	60.22	16.60	16.14	0.38	0.92	5.24	0.50
		20. nokta	62.46	10.63	16.93	0.64	5.11	3.79	0.45
	Sağ alt	21. nokta	69.83	2.47	19.86	0.28	2.47	5.32	0.13
		22. nokta	71.87	0.58	19.87	0.40	0.54	6.31	0.43
N55	Sol üst	23. nokta	61.12	17.45	17.49	0.49	1.10	1.61	0.74
		24. nokta	58.52	17.94	17.86	0.42	1.15	3.68	0.43
		25. nokta	60.81	14.53	16.86	0.52	2.32	4.54	0.42
	Sağ üst	26. nokta	64.27	3.05	19.40	0.51	3.28	9.01	0.49
		27. nokta	59.79	0.51	17.77	0.40	0.76	20.49	0.29
	Sol alt	28. nokta	59.98	16.97	18.12	0.57	1.03	2.51	0.81
		29. nokta	59.12	17.19	17.71	0.48	1.01	4.02	0.47
		30. nokta	60.75	9.92	18.00	3.82	6.60	0.48	0.42
	Sağ alt	31. nokta	66.35	2.83	20.85	0.47	2.24	6.79	0.47
		32. nokta	66.45	0.65	20.53	0.39	0.63	10.91	0.44

4.4. Elementel Haritalandırma (Mapping) Analiz Sonuçları

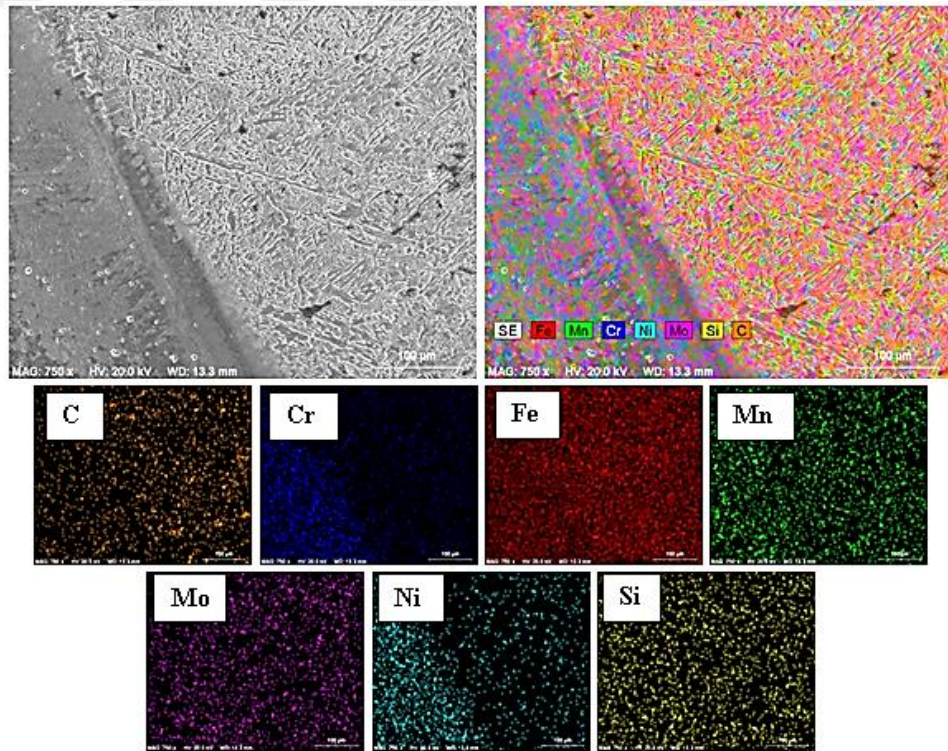
Ara tabakalı ve ara tabakasız kaynaklı birleştirme yapılan AISI 430 ile HARDOX 450 malzemesinin kaynak metali ve ITAB'daki element miktarlarının dağılımını göstermek amacıyla analiz edilen elementel haritalandırma yöntemi

sonuçları Şekil 4.101-104'te verilmiştir. Yapılan incelemelerde ara tabakalı birleştirilen N55 numunesinde AISI 430 ITAB tarafında ve kaynak metali kısmında demir, karbon, mangan, molibden ve silisyum elementlerinin homojen dağıldığı gözlenmiştir. Aynı malzemenin içerisinde olan krom elementinin esas metalde daha fazla olduğu ve kaynak metaline fazla geçmediği, nikel elementinin ise kaynak metalinde yoğunlaşıp esas metalde fazla yayılmadığı gözlenebilir. Ara tabakalı kaynaklı birleştirmenin HARDOX 450 tarafına ve kaynak metaline bakıldığında demir, karbon, mangan, molibden ve silisyum elementlerinin homojen dağılımı gözlenmiştir. Krom elementi HARDOX 450 tarafı kaynak metalinde daha fazla gözlenmiştir.

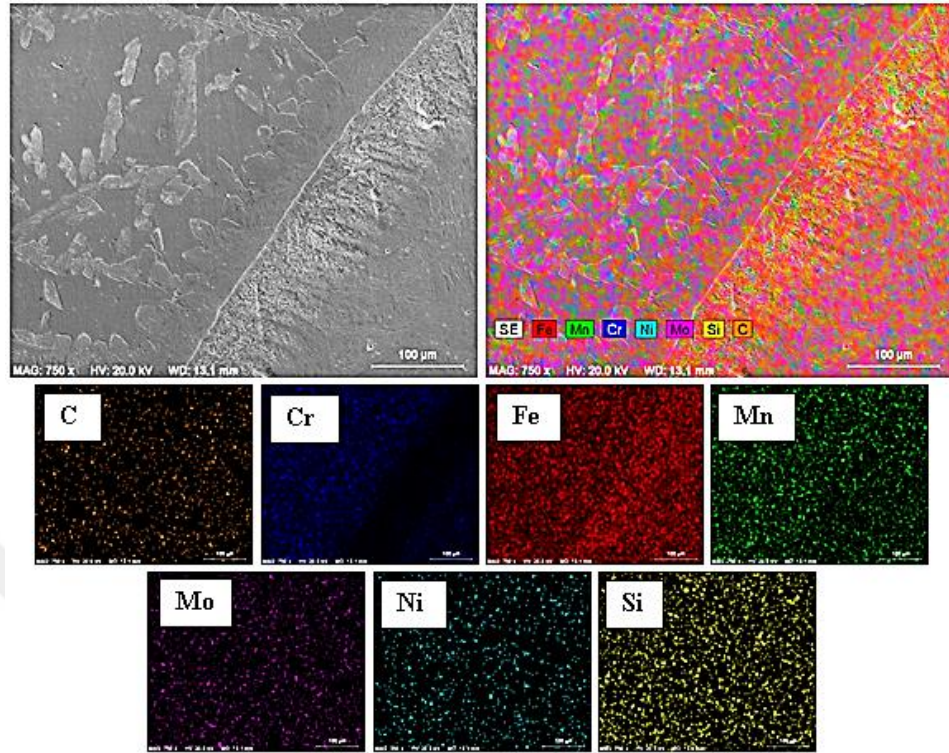
Ara tabakasız kaynaklı birleştirme numunelerinde yapılan analizlerde AISI 430 tarafında ve buna yakın kaynak metalinde demir, karbon, mangan, molibden, nikel ve silisyum elementlerinin homojen dağılımı görülebilir. Fakat krom elementi ara tabakalı birleştirmede olduğu gibi AISI 430 tarafında kaynak metalinden daha fazla görülmektedir. HARDOX 450 tarafına ve buna yakın kaynak metaline bakıldığında demir, karbon, mangan, molibden, nikel ve silisyum elementlerinin homojen dağılımı görülebilir. Fakat bu birleştirmede de ara tabakalı olduğu gibi krom elementi HARDOX 450 tarafına yakın kaynak metalinde HARDOX 450 ana metaline nispeten daha fazla görülmektedir. Element haritalandırma analiz sonucunda esas metalden kaynak metaline, kaynak metalinden esas metale artan akım şiddetine bağlı olarak artan ısıнын etkisiyle element difüzyonlarında artış görülmüştür.



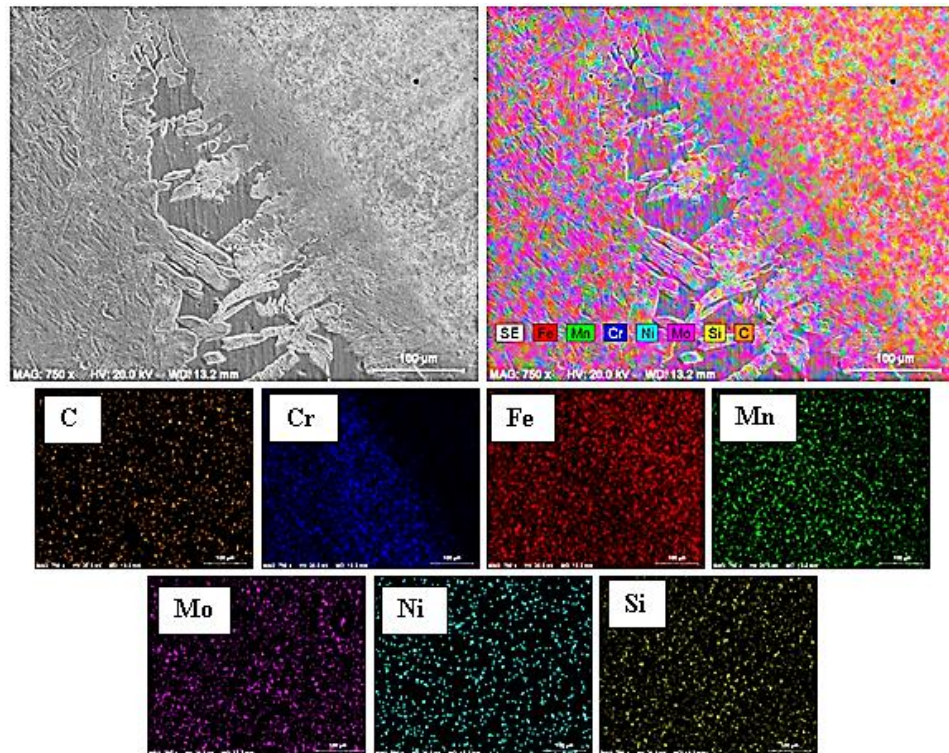
Şekil 4.101 Ara tabakalı AISI 430 numunesi Mapping analizi



Şekil 4.102 Ara tabakalı HARDOX 450 numunesi Mapping analizi



Şekil 4.103 Ara tabakasız AISI 430 numunesi Mapping analizi



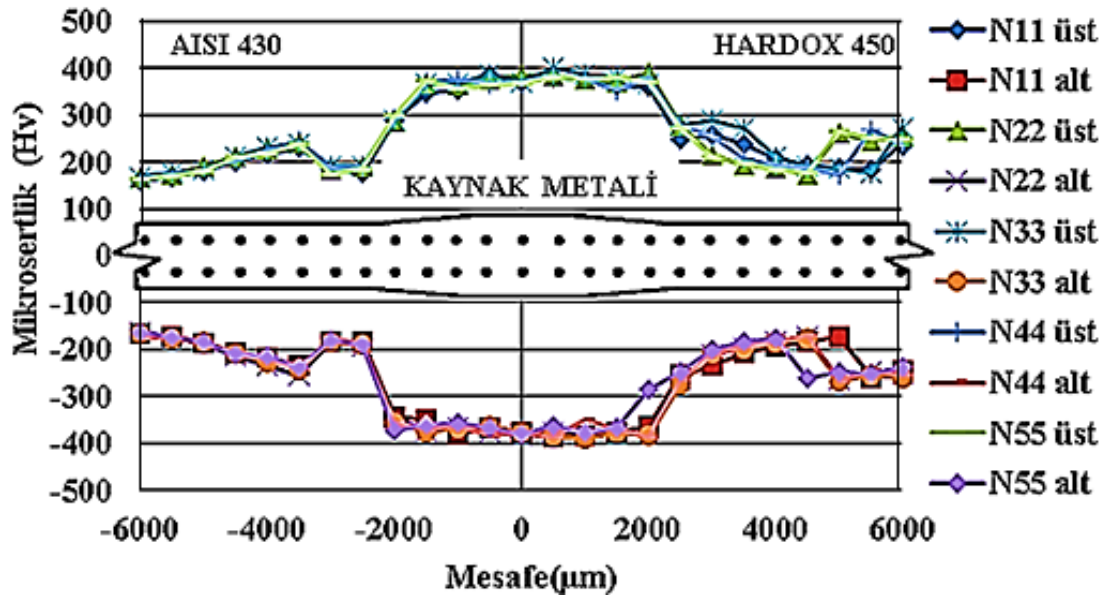
Şekil 4.104 Ara tabakasız HARDOX 450 numunesi Mapping analizi

4.5. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

TIG çift taraflı ark kaynak yöntemiyle farklı kaynak parametreleri kullanılarak ara tabakalı ve ara tabakasız birleştirilen AISI 430 çeliği ile HARDOX 450 çeliğinin sertlik ölçüm grafiği Şekil 4.105’de gösterilmiştir. Ara tabakasız numunelerin sertlik ölçüm grafiği ise Şekil 4.106’da gösterilmiştir. Yapılan sertlik ölçümleri literatüre uygun şekilde ITAB-AISI 430, kaynak metali ve ITAB-HARDOX 450’den alınmıştır. Elde edilen sertlik grafiklerinde farklı akım türlerinde yapılan birleştirmelerde benzer sertlik eğilimleri elde edilmiştir. Yapılan farklı çalışmalarda farklı akım türleri ve parametrelerindeki birleştirmelerde benzer sertlik eğrileri elde edildiği görülmüştür [55, 63]. Sertlik grafiklerine bakıldığında birleştirmelerde en yüksek sertliklerin kaynak metalinde görülmesine karşın en düşük sertlikler ısının tesiri altında kalan bölgelerde görülmüştür. Bu durum ark kaynaklarında sıklıkla görülür [59, 64].

Ara tabakalı 430 A, 445 A, 460 A, 475 A ve 490 A akım şiddetlerinde birleştirmeleri yapılmış N11-N55 numunelerinin mikrosertlik ölçümlerine bakıldığında en yüksek sertliklerin kaynak metalinde ölçülmüştür. Ölçülen sertliklere bakıldığında en yüksek sertliğe 401 HV ile N33 numunesi üst dikişinde, aynı numunenin alt dikişinde ise 391 HV ile en yüksek ikinci sertliğe ulaşıldığı görülmektedir. Elde edilen her iki sertlik kaynaklı birleştirmenin HARDOX 450 çeliğine yakın tarafında ölçülmüştür. Yapılan sertlik ölçümleri kaynak metalllerinde hemen hemen benzer sonuçlar göstermiştir. Kaynak metalinde meydana gelen sertlik artışları yapılan incelemede dikişte sadece ferritin bulunmadığını ve yer yer martenzitik morfolojinin olabileceğine ve çökelme yoluyla oluşan krom karbürlerin kaynak metalinde yoğunlaşması ile sertliği arttıracak düşünülmemektedir [6, 46, 60]. Kaynak metali merkezinden her iki metale (AISI 430-HARDOX 450) doğru gidildikçe kaynak cıdarlarından ITAB’a geçerken sertlikte bir azalma görülmektedir. AISI 430 çeliğinde oluşan sertlikteki azalma tane büyümesine bağlı olarak ve martenzitik dönüşümün soğuma hızından dolayı ferritik yapı sınırlarında martenzit oluşamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir [42, 46]. Ara tabakalı birleştirmede bu durum ergime ile kaynak metalinden esas metallere karışan nikelin

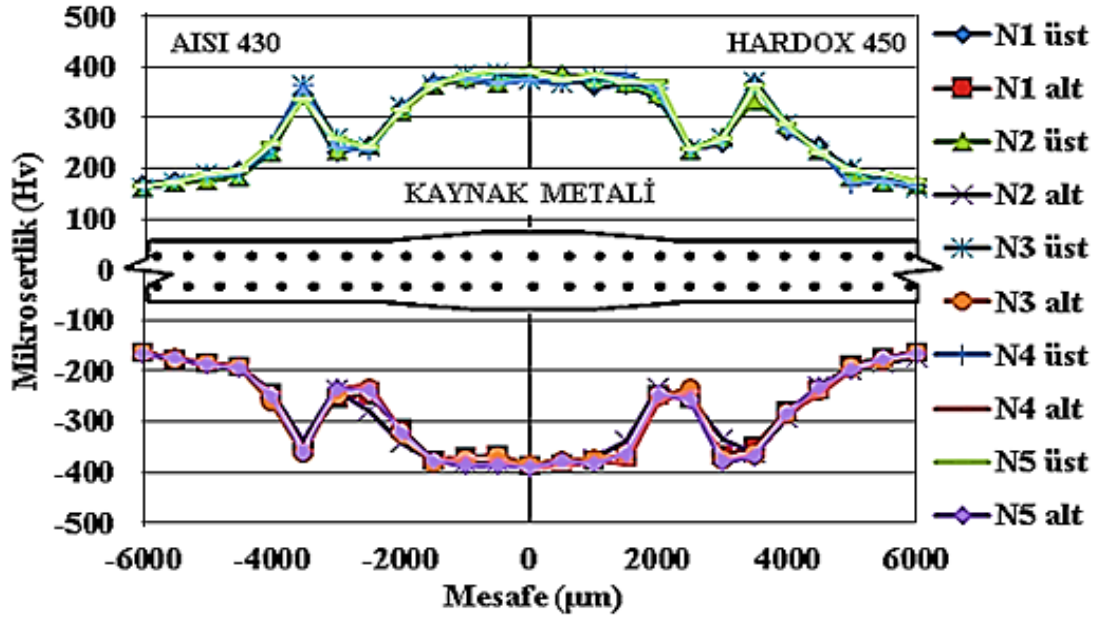
krom karbür çökeltisini önlemesine bağlanılabilir [65]. Fakat Şekil 4.105'te sertlikte hafif bir artış olduğu ama bunun ilerlemediği görülür. Bu artış orta sıcaklık ITAB'ında meydana geldiğinden, bu bölgede tane boyutunun küçülmesi ile ferrit taneleri arasına yuvalanmış martenzite bağlanabilir [46]. Aynı duruma Şekil 4.106'da ara tabakasız birleştirmedeki sertlikte meydana gelen artışın kaynak metalininkine neredeyse ulaştığı görülebilir. Kaynak metalinden HARDOX 450 tarafına gidildikçe ITAB-HARDOX 450 ergime sınırından önce azalma ve ardından sertlik artışı görülmektedir. Kaynak öncesi morfolojinin temperlenmiş martenzit olması, önceki çalışmalarda da benzer durum göstermiştir [47, 66].



Şekil 4.105 Ara tabakalı birleştirmelerin üst-alt mikrosertlik grafikleri

Ara tabakasız 415 A, 430 A, 445 A, 460 A ve 475 A akım şiddetlerinde birleştirilmiş N1-N5 numunelerinin sertlik değerlerine bakıldığında en yüksek sertlik değerlerinin kaynaklı birleştirmelerde 394 HV ile N5 numunesi üst dikişinde ve N4 numunesi alt dikişinde 394 HV olduğu görülmektedir. Kaynaklı birleştirmede yüksek sertlik değerlerinin ölçülmesi erime bölgesinde oluşan martenzit kümeleri ile krom karbür çökeltilerine bağlanabilir [6, 59]. Kaynak bölgesinin cidarlarında meydana gelen sertlik azalmaları ergitmeli kaynaklarda görülebileceği gibi yüksek ısı

girdisinden ötürü HARDOX 450 tarafından kaynak metale karbon ve AISI 430 tarafından kromun kaynak metale difüzyonu sonucu olabileceği görülmüştür [6].



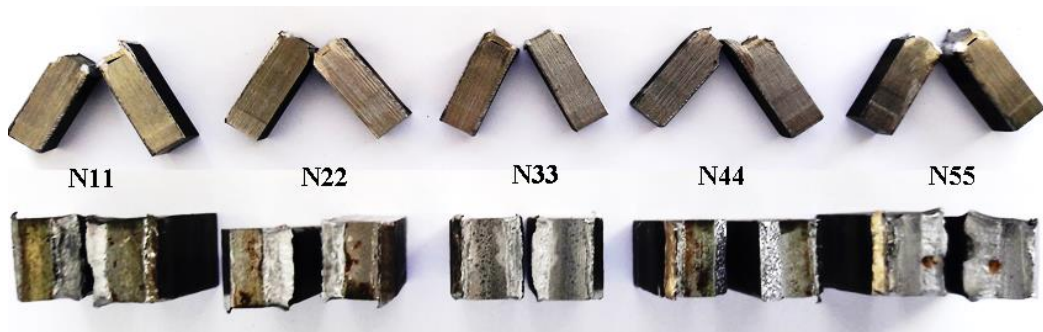
Şekil 4.106 Ara tabakasız birleştirmelerin üst-alt mikrosertlik grafikleri

4.6. Çentik Darbe Deney Sonuçları

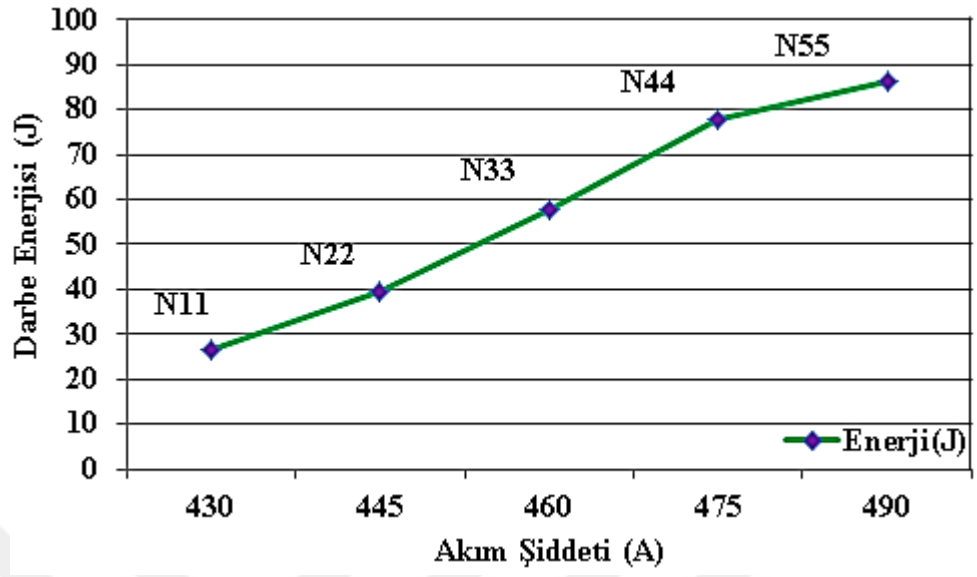
AISI 430 ile HARDOX 450 kaynaklı birleştirmelerinin TSE 269 standardına göre hazırlanıp darbe deneyi yapılan numunelerinin darbe enerjileri ara tabakasız numunelerin N1: 23.94 J, N2: 35.65 J, N3: 53.94 J, N4: 67.59 J, N5: 76.7 J ve ara tabakalı numunelerin N11: 26.75 J, N22: 39.65 J, N33: 57.65 J, N44: 77.8 J, N55: 86.18 J değerlerinde tespit edilmiştir. Şekil 4.107'de ara tabakalı birleştirmelerin makro fotoğrafı ve Şekil 4.108'de ara tabakalı birleştirmelerin darbe deneyi grafiği verilmiştir. Şekil 4.109'da ara tabakasız birleştirmelerin makro fotoğrafı ve Şekil 4.110'da ara tabakasız birleştirmelerin darbe deney grafiği verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ara tabakalı ve ara tabakasız birleştirmelerde artan akım şiddetiyle birlikte darbe direncinde doğrusal bir artış olduğu görülmektedir. Elde edilen veriler bakıldığında en fazla darbe enerjisine N55 numunesinde 86.18 J ile ulaşılmıştır. Yapılan farklı çalışmalarda ara tabaka kullanımı ile birleştirmenin darbe dayanımının

arttırıldığı görülmüştür [17, 67]. Ara tabakasız numunelerde ise en fazla darbe enerjisi 76.7 J ile N5 numunesinde elde edilmiştir. Ara tabaka metalinin tam ergidiği N44 ve N55 numunelerinde darbe enerjisinin aynı akım şiddetinde birleştirilen ara tabakasız numunelerden fazla olmasının nedeni nikel ara tabaka metalinin tampon görevi görüp darbe enerjisini arttırdığı şeklinde açıklanabilir [39]. Ayrıca düşük akım şiddetinde yapılan birleştirmelerde tam nüfuziyet sağlanamaması nedeniyle oluşan boşluklar çentik etkisi meydana getirmiştir. Bu nedenle düşük akım şiddetlerindeki birleştirmelerde yüksek akım şiddetindeki birleştirmelerden düşük darbe enerjileri ölçülmüştür. Ara tabakasız numuneler incelendiğinde numunelerin genelinde kırılmalar AISI 430 malzemesi ile kaynak metali arasındaki bölgede meydana gelmiştir. Meydana gelen bu kırılmalar tane irileşmesi, krom karbür çökmesi ve ferrit taneleri arasında oluşan martenzitlere bağlanabilir [60]. Ara tabakalı ve ara tabakasız numunelerin kırılma yüzeylerine bakıldığında ara tabakalıların sünek kırılma gösterdiği görülür.

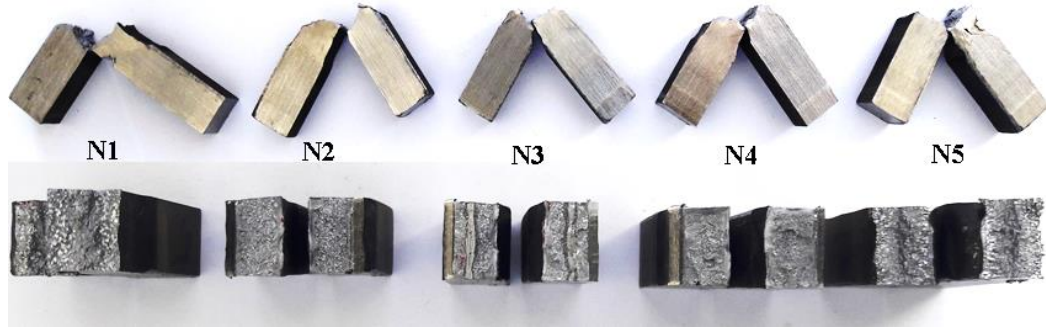
Makro fotoğraflar incelendiğinde, ara tabakalı numunelerin kırılmaları kaynak bölgesinde meydana geldiği belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmadan alınan sonuçlarda nikel ara tabaka kullanıldığında krom karbür çökmesinin azaldığı görülmüştür [65]. Bu duruma tersi bir şekilde bakıldığında nikel ara tabaka kullanılmadığında krom karbür çökmesi artacağından morfolojinin daha gevrek olabileceği söylenebilir.



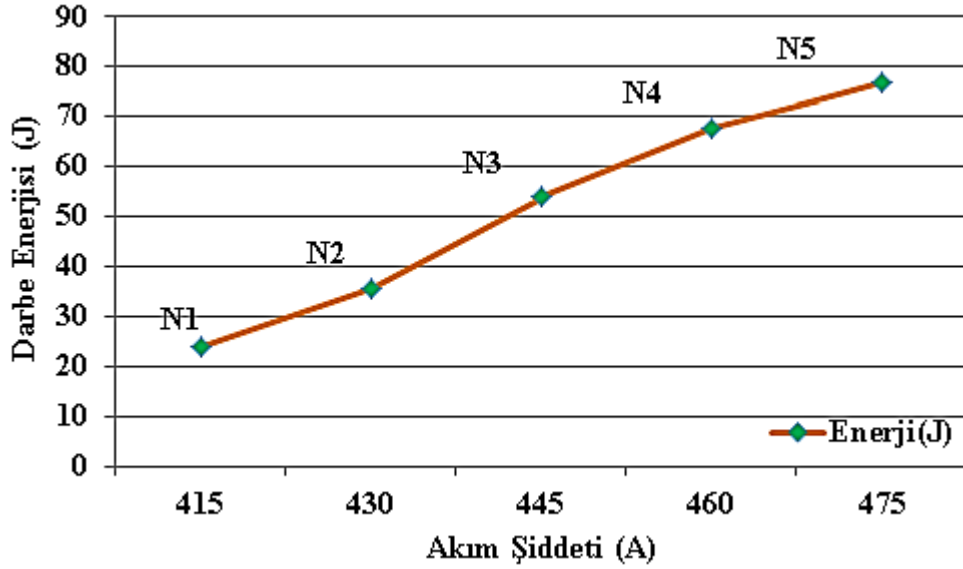
Şekil 4.107 Ara tabakalı birleştirme darbe deneyi kırık numuneler



Şekil 4.108 Ara tabakalı numunelerin darbe enerjisi grafiği



Şekil 4.109 Ara tabakasız birleştirme darbe deneyi kırık numuneler



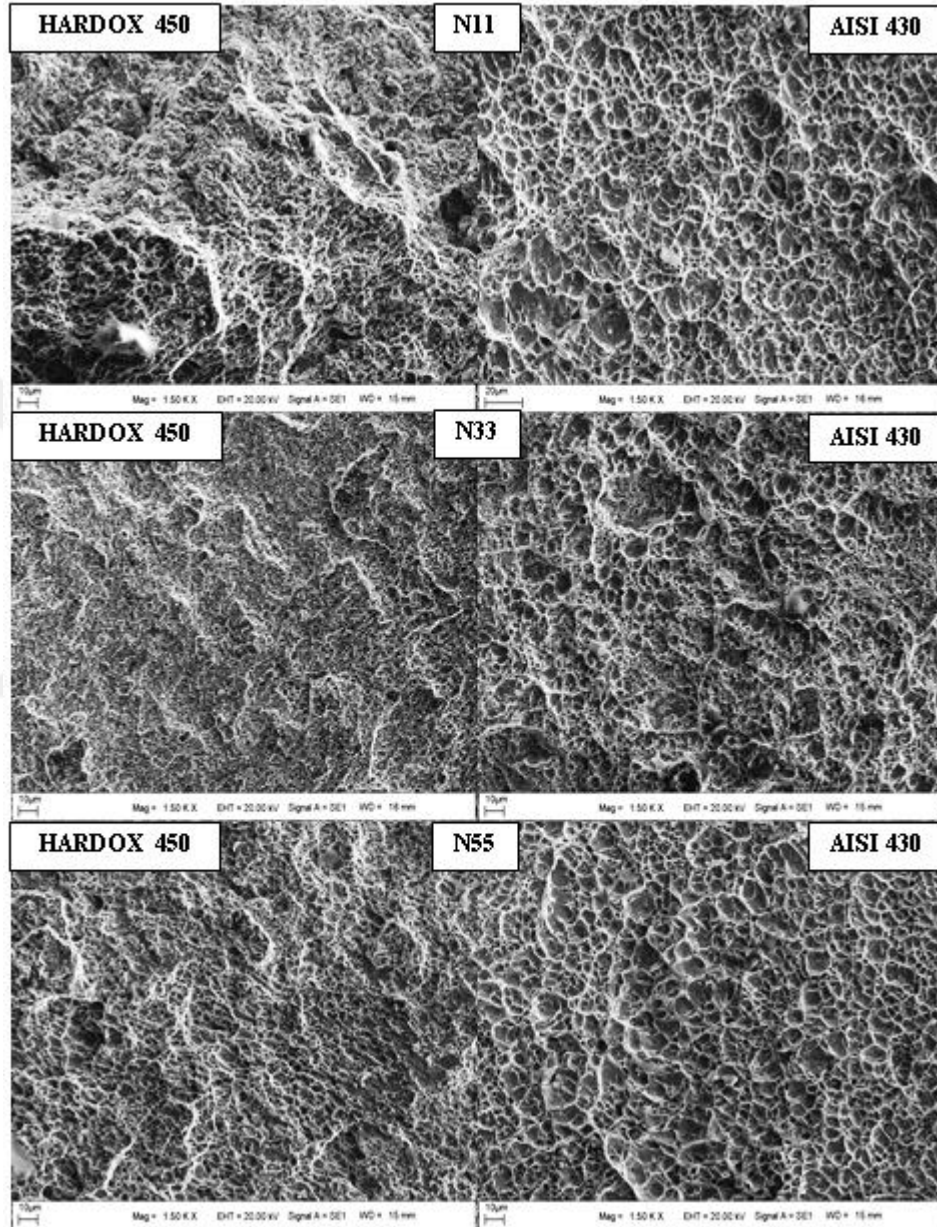
Şekil 4.110 Ara tabakasız numunelerin darbe enerjisi grafiği

4.7. Çentik Darbe Deneyleri Kırık Yüzey SEM, EDS ve Mapping Analizleri

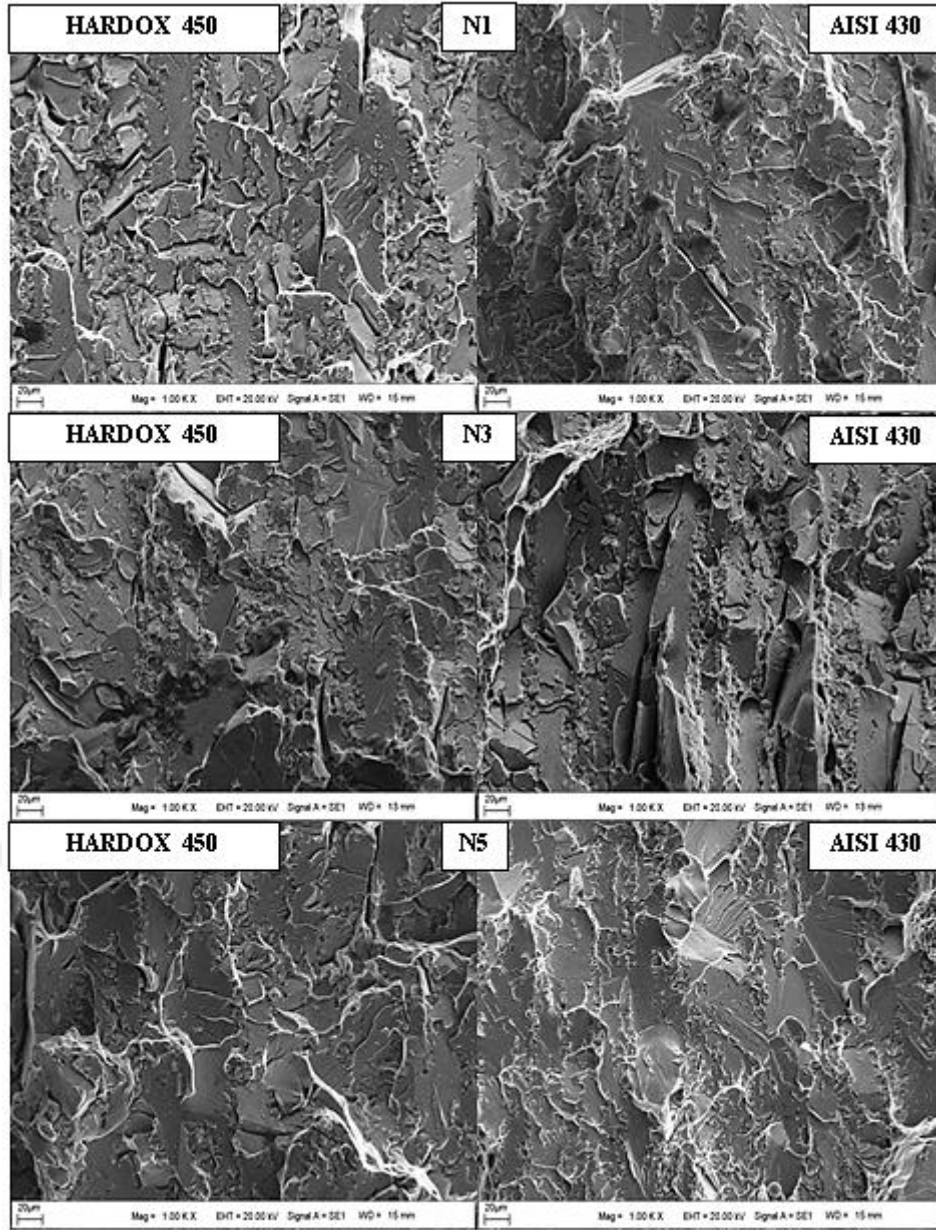
TIG çift taraflı ark kaynak yöntemiyle ve nikel ara tabaka kullanarak birleştirilen AISI 430 ve HARDOX 450 çelik çiftinin çentik darbe deneyi ile kırılan N11, N33 ve N55 numunelerinin kırık yüzeylerinden elde edilen SEM fotoğrafları Şekil 4.111’de verilmiştir. Şekilde farklı büyütme oranlarında çekilmiş fotoğrafların birleşimi görülmektedir. Kırık yüzeylerden alınan görüntüler incelendiğinde, sünek bir kırılmanın olduğu, süngerimsi bir görünüme sahip olduğu, yüzeydeki tanelerin daha net olduğu gözlenmiştir. Farklı bir çalışmada da ara tabaka metalinin sünek kırılma sağladığı belirtilmiştir [17]. Yapılan XRD analizleri sonucunda kırık yüzeylerde östenit, Cr_7C_3 , Cr_3Ni_3 ve Ni gözlenmiştir.

Şekil 4.112’de TIG çift taraflı kaynak yöntemi ile ara tabakasız birleştirilen AISI 430 ve HARDOX 450 çelik çiftlerinin çentik darbe deneyi sonucunda kırılan N1, N3 ve N5 numunelerinin kırık yüzeylerinin SEM fotoğrafları verilmiştir. Bu fotoğraflara bakıldığında kırılma yüzeylerinin girintili ve mat olduğu, tanelerin net olmadığı, gevrek bir kırılmanın meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.109’a bakıldığında kırılmaların AISI 430 malzemesi tarafından olduğu görülür. Kırılmanın

AISI 430 malzemesi yönünde gerçekleşmiş olması burada oluşan iri tane yapısı, karbürlerin çökmesi ve martenzit oluşumu ile açıklanabilir [46].



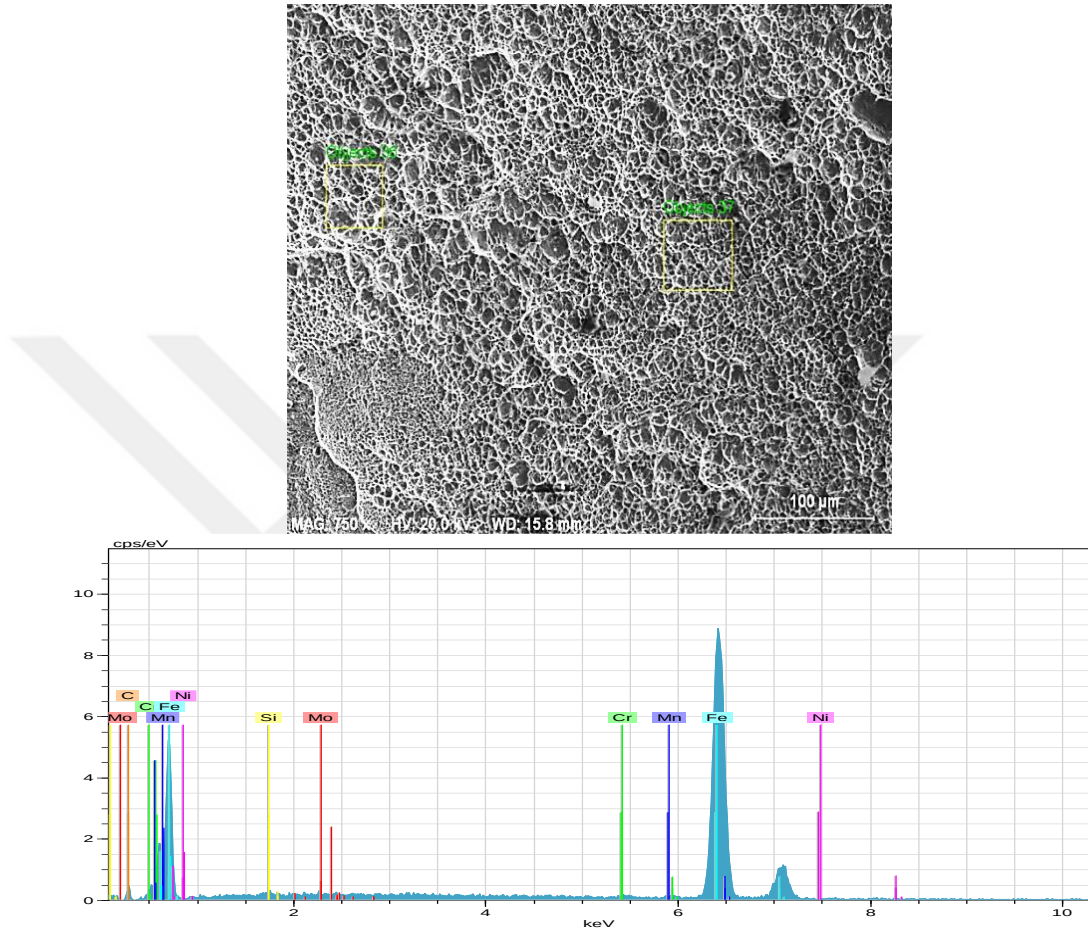
Şekil 4.111 N11, N33 ve N55 darbe numuneleri kırık yüzey SEM görüntüleri



Şekil 4.112 N1, N3 ve N5 darbe numuneleri kırık yüzey SEM görüntüleri

Kırık yüzeyi incelenen N55 numunesinin yüzeyinden alınan EDS analiz sonuçları Şekil 4.113-114'te ve Çizelge 4.71-72'de verilmiştir. % element ağırlıkları Çizelge 4.73'te verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.115'de element haritalandırma analiz sonucu görülmektedir. İncelenen numunede kırık yüzeyden alınan her iki analizde demir, karbon ve mangan oranlarının yüksek çıktığı görülmüştür. Mangan miktarının %10 civarında olduğu analiz edilmiştir. Mangan miktarının kırılma bölgesinden

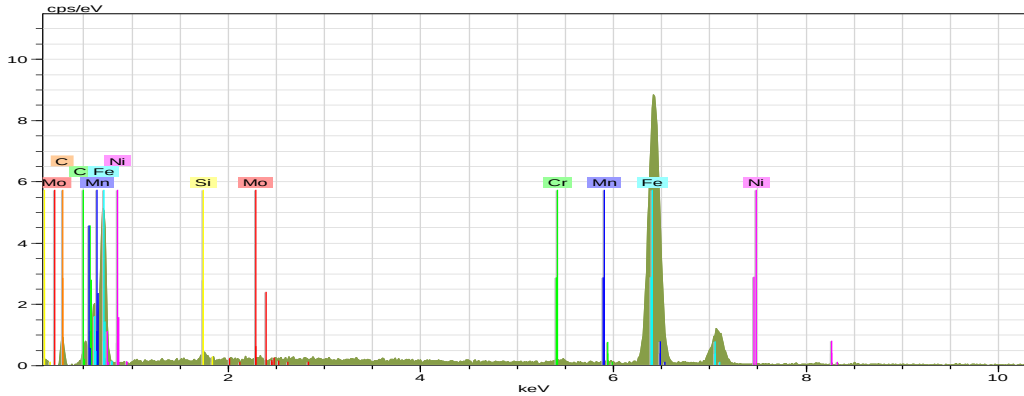
alınan analizlerde yüksek çıkması, manganın sertlik arttırıcı ve kırılma tokluğunu düşürücü etkisine bağlanabilir [68].



Şekil 4.113 Kırık N55 numunesi yüzeyi 1. nokta SEM ve EDS grafiği

Çizelge 4.71 Kırık N55 numunesi yüzeyi 1. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. - %]	C norm. [wt. - %]	C atom. [at. - %]	C error [%]
Fe	26	K-series	93.57	84.39	80.32	2.6
Mn	25	K-series	12.51	11.29	10.92	0.5
C	6	K-series	1.47	1.33	5.86	0.5
Ni	28	K-series	1.29	1.16	1.05	0.1
Mo	42	L-series	0.93	0.84	0.46	0.1
Cr	24	K-series	0.64	0.58	0.59	0.1
Si	14	K-series	0.46	0.42	0.79	0.1
Total			110.88	100.00	100.00	



Şekil 4.114 Kırık N55 numunesi yüzeyi 2. nokta EDS grafiği

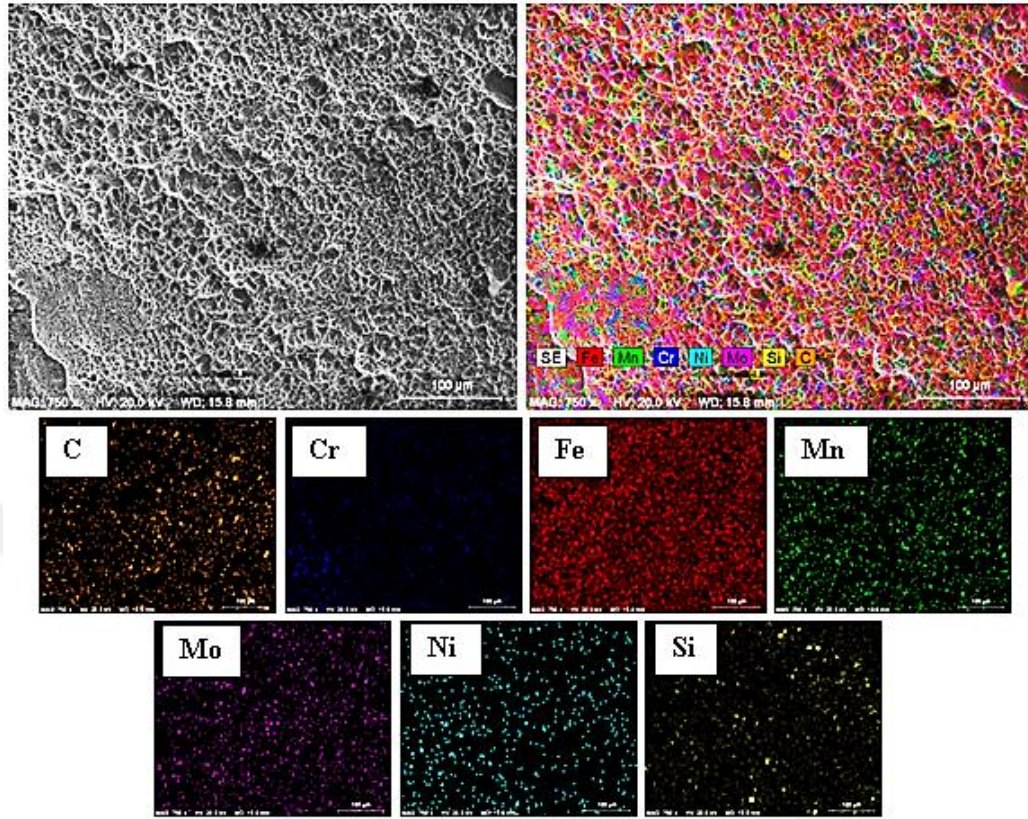
Çizelge 4.72 Kırık N55 numunesi yüzeyi 2. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	83.58	82.09	73.03	2.3
Mn	25	K-series	11.27	11.07	10.01	0.4
C	6	K-series	3.37	3.31	13.68	0.9
Ni	28	K-series	1.14	1.12	0.94	0.1
Mo	42	L-series	1.05	1.04	0.54	0.1
Cr	24	K-series	0.81	0.80	0.76	0.1
Si	14	K-series	0.59	0.58	1.03	0.1
Total			101.81	100.00	100.00	

Çizelge 4.73 Kırık N55 numunesi yüzey element % sonuçları

Numune No	Analiz noktaları	Elementler (% Ağırlık)						
		Fe	Cr	Mn	Mo	Ni	C	Si
Kırık Yüzey	1. nokta	80.32	0.59	10.92	0.46	1.05	5.86	0.79
	2. nokta	73.03	0.76	10.01	0.54	0.94	13.68	1.03

Kırık yüzeyin elementel haritalandırılmasına bakıldığında demir, mangan, molibden, karbon, krom ve silisyum elementlerinin homojen yayılımı görülebilir. Nikel elementi ise kırık yüzeyde seyrek bir yayılma göstermiştir.

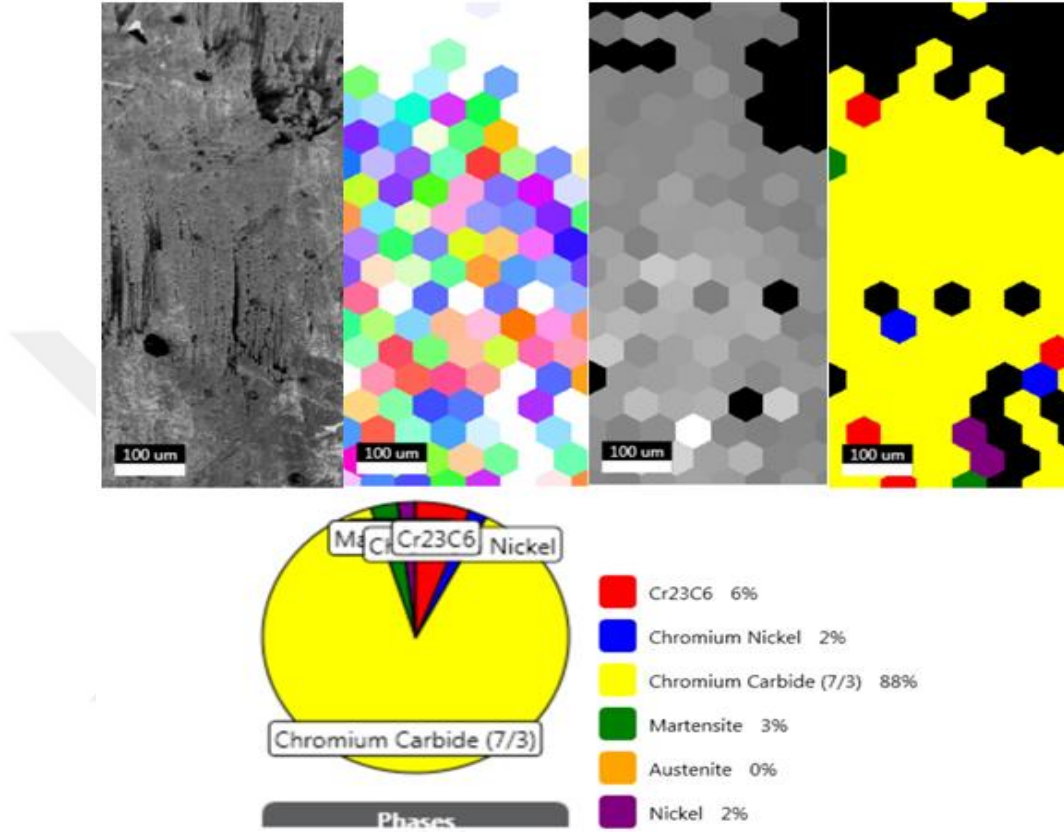


Şekil 4.115 Kırık yüzey N55 numunesi AISI 430 tarafı Mapping analizi

4.8. Elektron Geri Saçınım Difraksiyon (EBSD) Analiz Sonuçları

Nikel ara tabakalı birleştirilen N33 numunesinin AISI 430 tarafından elektron geri saçınım difraksiyonu yöntemiyle hangi fazların ve bileşiklerin nasıl bir dağılıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna göre N33 kaynaklı numunesinin EBSD analizi Şekil 4.116'da verilmiştir. Yapılan analiz incelendiğinde, N33 numunesinin AISI 430 tarafında farklı içeriklere ve kristal yapılar sahip krom-karbür fazlarının ana faz olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, Cr_7C_3 bileşiğinin en yoğun konsantrasyona (%88) sahip olduğu belirlenmiştir. Çünkü N33 numunesi, nikel ara tabakalı çift taraflı TIG kaynağı sırasında kaynak ara yüzeyi ve kaynak ara yüzeyine yakın bölgeler, A3 sıcaklığının üzerine çıkılarak bekletilmiş olup, daha sonra ani soğumaya maruz kaldığından krom-karbür bileşiklerinin oluşmasına sebebiyet vermektedir.

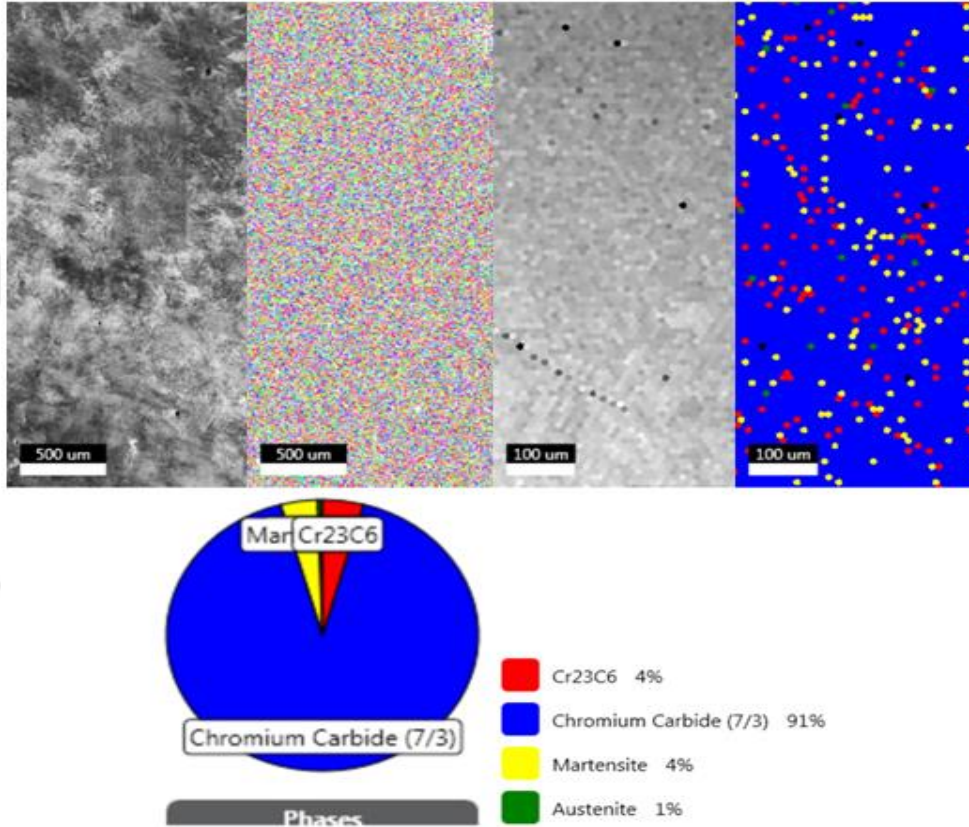
Buna ek olarak, kaynak sırasında ara tabaka olarak kullanılan nikelin varlığı EBSD analizinde nikel fazının ortaya çıkmasına neden olmuştur.



Şekil 4.116 Ara tabakalı N33 numunesi AISI 430 tarafı EBSD analizi

Ara tabakasız birleştirilen N3 numunesinin AISI 430 tarafından elektron geri saçınım difraksiyonu yöntemiyle hangi fazların ve bileşiklerin nasıl bir dağılıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna göre N3 kaynaklı numunesinin EBSD analizi Şekil 4.117’de verilmiştir. Yapılan analiz incelendiğinde, N3 numunesinin AISI 430 tarafında, nikel ara tabakalı numuneye benzer olarak farklı krom-karbür bileşiklerinin formları tespit edilmiştir. Buna göre en yüksek konsantrasyona sahip bileşik; Cr_7C_3 (%91) olarak belirlenmiştir. Krom-karbür bileşiklerinin oluşmasına sebep yine kaynak sırasında meydana gelen ısının ani soğuması gösterilebilir. Fakat N3 numunesinde nikel ara tabaka kullanılmadığından dolayı, nikel elementine ait bir fazın bulunmadığı açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca martenzit ve östenit fazlarının eser miktarda varlığı EBSD analizleri sonucu tespit edilmiştir.

Krom karbürler ferritik paslanmaz çeliklerde karşılaşılan normal bir durumdur fakat martenzite, martenzitik paslanmaz çelikler dışında pek rastlanılmasa da 430 tipi ferritik paslanmaz çeliklerde 900 °C'nin üzerindeki sıcaklıklardan oda sıcaklığına hızlı soğuma anında martenzite rastlamak mümkündür [14, 25].



Şekil 4.117 Ara tabakasız N3 numunesi AISI 430 tarafı EBSD analizi

4.9. Çekme Deney Sonuçları

TIG çift taraflı ark kaynak yöntemiyle birleştirilmiş N11, N22, N33, N44, N55 numuneleri çekme deneyi öncesi makro görünüşleri Şekil 4.118'de ve N1, N2, N3, N4, N5 numunelerinin çekme deneyi öncesi makro görüntüleri Şekil 4.119'da verilmiştir. Ara tabakalı ve ara tabakasız birleştirme çekme deneyi sonuçları da Çizelge 4.74'te verilmiştir. Çekme deneyleri sonucunda numunelerin kopma bölgelerini göstermek için Şekil 4.120'de ara tabakalı numunelerin ve Şekil 4.121'de ara tabakasız numunelerin makro görüntüleri verilmiştir.

Çizelge 4.74 Ara tabakalı ve ara tabakasız numunelerin çekme deney sonuçları

Numune	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	a(mm)	b(mm)
N11	426.12	482.89	7.40	24.64
N22	435.33	532.18	7.86	24.76
N33	452.21	595.16	7.91	24.90
N44	463.65	652.01	8.43	24.97
N55	474.87	677.99	8.52	25.06
N1	263.15	307.25	9.43	24.78
N2	278.78	363.16	9.63	24.82
N3	315.16	383.04	9.34	24.85
N4	350.83	412.71	9.63	24.87
N5	443.78	513.59	9.98	24.96

Gösterilen makro görünüşler incelendiğinde nikel ara tabakasız numunelerin tümünde AISI 430 malzemesi tarafından kopmanın olduğu ve çok az plastik deformasyonun gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu durum AISI 430 ITAB’ında krom karbür çökmesi, iğnemsî martenzit oluşumu ve sıvı fazdan direkt katı ferrit fazına geçiş olduğu için tane irileşmesine bağlı olarak gevrek bir yapının oluşmasıyla meydana gelmiştir [26, 55, 69]. Nikel ara tabakalı numunelerin makro görünüşleri incelendiğinde tümünde kırılmaların kaynaklı birleştirmenin ortasından olduğu ve çok az bir plastik deformasyon ile kopmanın gerçekleştiği söylenebilir. Nikel ara tabakasız birleştirmeye oranla kopmanın birleştirme ortasından olması nikelin intermetalik bileşik oluşumunu önlemiş olması, martenzit oluşumu ve AISI 430 çeliğinde krom karbür oluşumunu azaltmasına bağlanabilir [48, 49].



Şekil 4.118 Ara tabakalı numunelerin çekme deneyi öncesi makro görüşleri



Şekil 4.119 Ara tabakasız numunelerin çekme deneyi öncesi makro görüşleri



Şekil 4.120 Ara tabakalı numunelerin çekme deneyi sonrası makro görünüşleri



Şekil 4.121 Ara tabakasız numunelerin çekme deneyi sonrası makro görünüşleri

Çizelge 4.77’de çekme deneyi sonuçlarında oluşan akma dayanımları ile çekme dayanımları verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında en yüksek akma dayanımı 474.87 MPa ile nikel ara tabakalı N55 numunesinde, en düşük akma dayanımı ise nikel ara tabakasız N1 numunesinde 263.15 MPa ile görülmüştür. Çekme dayanımında ise yine benzer şekilde en yüksek 677.99 MPa ile nikel ara tabakalı N55 numunesinde ve en düşük ise 307.25 MPa ile nikel ara tabakasız N1 numunesinde gözlenmiştir. Nikel ara tabakalı birleştirmede akma ve çekme sonuçlarının nikel ara tabakasıza göre yüksek çıkması makro fotoğrafların yorumlanması kısmında belirtildiği gibi nikel ara tabaka ile krom karbür oluşumunun ve martenzit oluşumunun azaltılması, intermetalik bileşik oluşumunu engellemesi, sağlam dikiş bağlantılarının elde edilmesine bağlanılabilir [38, 48, 49]. Nikel ara tabaka ile mukavemetin arttığı [65], nikel ara tabaka kullanılmadığında ise mekanik özelliklerde azalma olduğu [41], farklı ara tabaka metallerinin çekme dayanımını arttırdığı söylenebilir [70]. Ayrıca çekme testi sonuçlarını artıran akım şiddeti ile nüfuziyet derinliğinin artması etkilemiştir. Çünkü düşük akım şiddetlerindeki boşluk ve bağlantısız bölgeler test sonuçlarının düşük çıkmasına neden olmuştur.

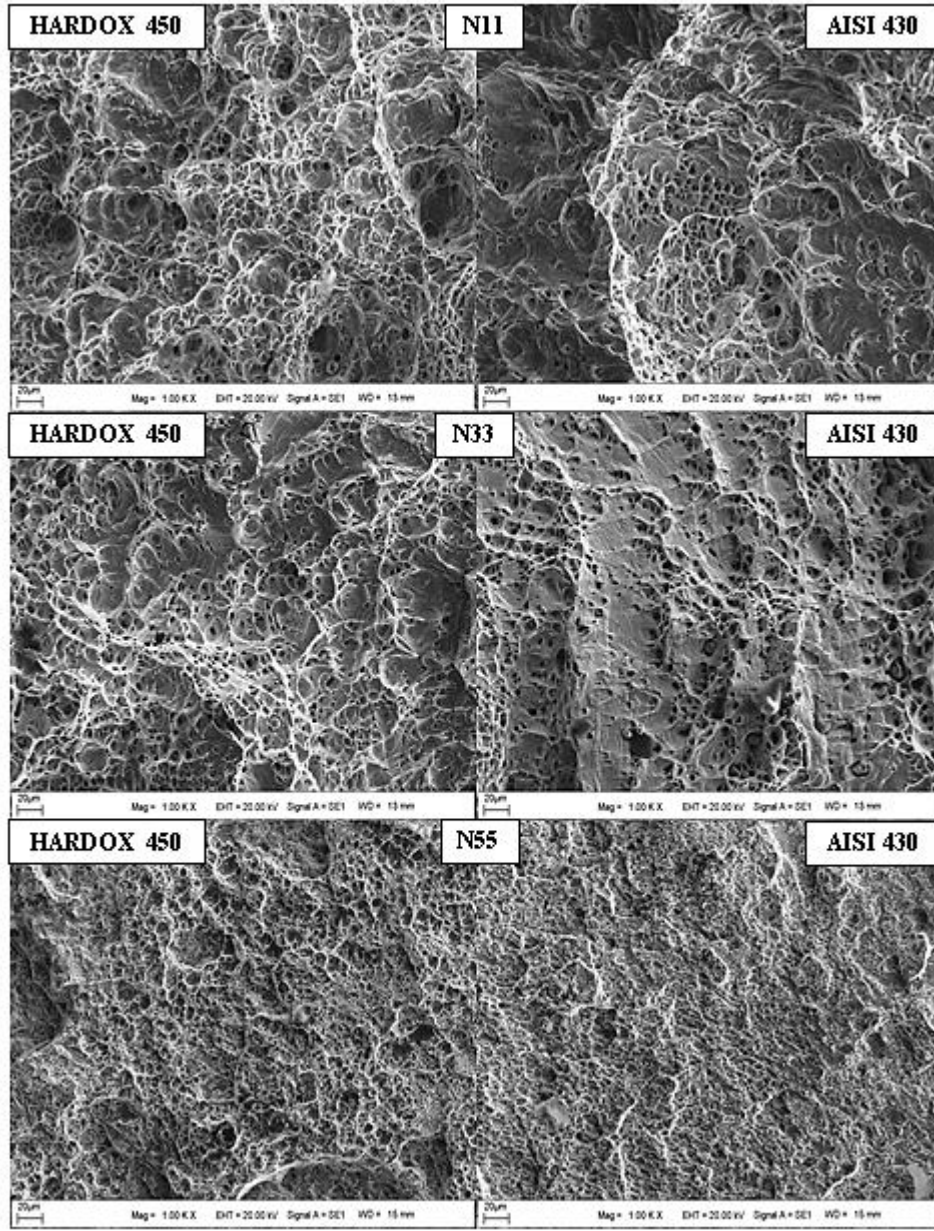
4.10. Çekme Deneyi Kopan Yüzeylerin SEM, EDS ve Mapping Analizleri

Çekme deneyleri sonucunda nikel ara tabakalı ve ara tabakasız numunelerin kopan yüzeyleri incelenmiştir. Bu incelemede SEM görüntüleri ile kopma türü, EDS ile kopan yüzeydeki element miktarı ve Mapping yöntemiyle element dağılımları tespit edilmiştir. Şekil 4.122’de ara tabakalı, Şekil 4.123’te ara tabakasız SEM görüntüleri verilmiştir. Ara tabakalı ve ara tabakasız numunelerin Şekil 4.124-4.138’de ve Çizelge 4.75-4.89’da EDS analizleri ile Çizelge 4.90’da kopan yüzey element sonuçları verilmiştir. Şekil 4.139-4.140’da mapping analizleri verilmiştir.

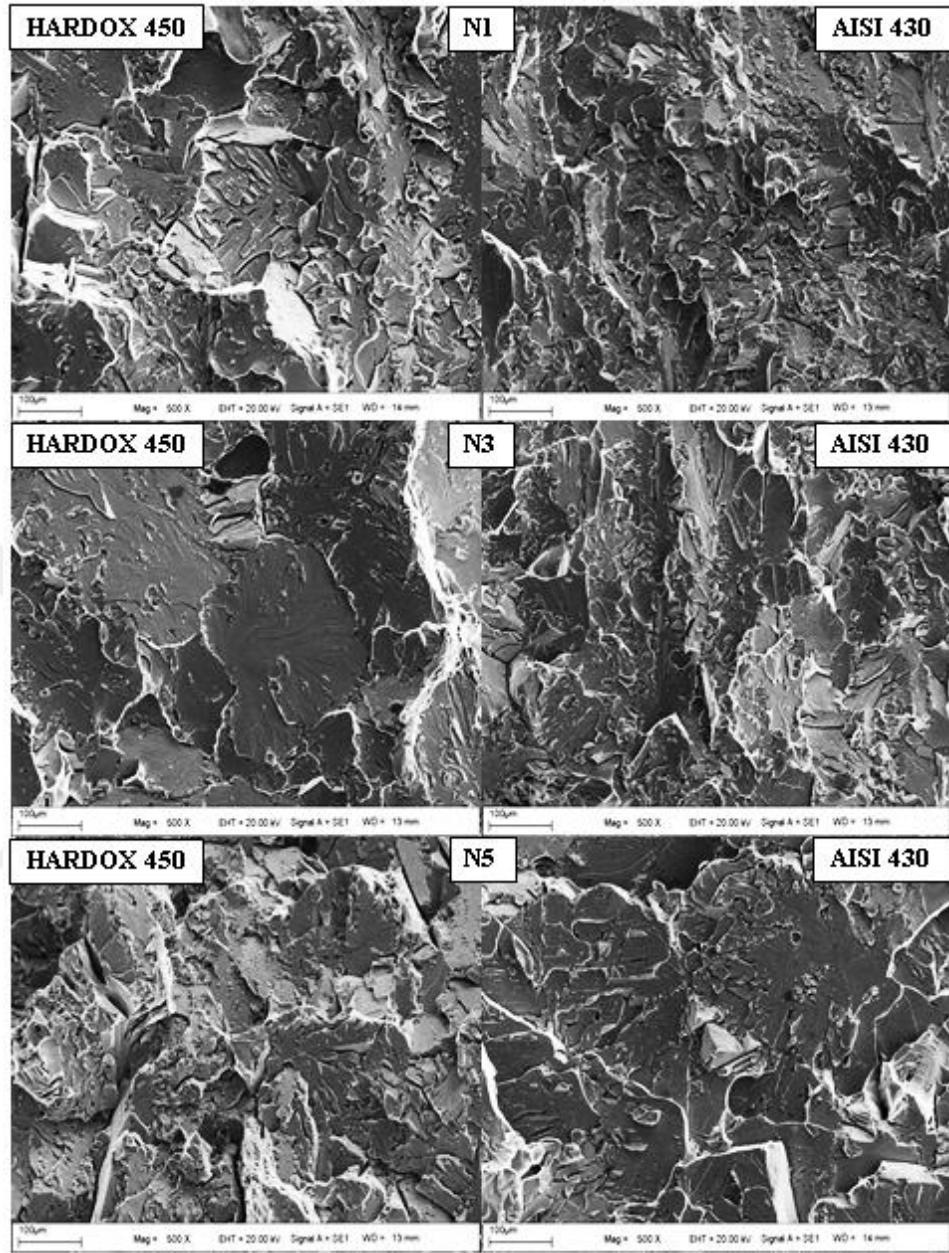
Şekil 4.122’te verilen ara tabakalı numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde sünek kopmaların gerçekleştiği ve kopan yüzeylerin süngerimsi bir yapıda olduğu ve gamzeler olduğu görülebilir. Bu durum nikel ara tabakanın sünek kırılmalara neden olan etkisinden kaynaklanmaktadır [67]. Şekil 4.123’te verilen ara tabakasız numunelerin SEM görüntülerine bakıldığında kopma yüzey görüntülerinin

gevrek kırılma sergilediği görülebilir. Ara tabakasız kırılmaların tümünün AISI 430 malzemesi ITAB'ı ile kaynak metali arasında gerçekleşmiş olması, biberimsi karbürler içeren, martenzit barındıran ve iri taneli yapıya sahip olmasına atfedilebilir. EDS analiz sonuçlarına bakıldığında alınan verilerde AISI 430 ve HARDOX 450 malzemelerinin kimyasal bileşimlerinden farklı oranlarda bir dağılım olduğu görülmektedir. Ara tabakalı birleştirmelere bakıldığında N11, N22 ve N33 numunelerinde tespit edilen noktalardaki en fazla nikel miktarlarına %66.68 ile N11 numunesinde, en az nikelin ise %47.15 ile N33 numunesinde gözlenmiştir. Bu durumda akım şiddetinin artması ile nikelin çevre bölgelere daha iyi difüze olduğunu gösterir. Karbonun numunelerde tespit edilen noktalarda hissedilir derecede yüksek olduğu görülmüştür.

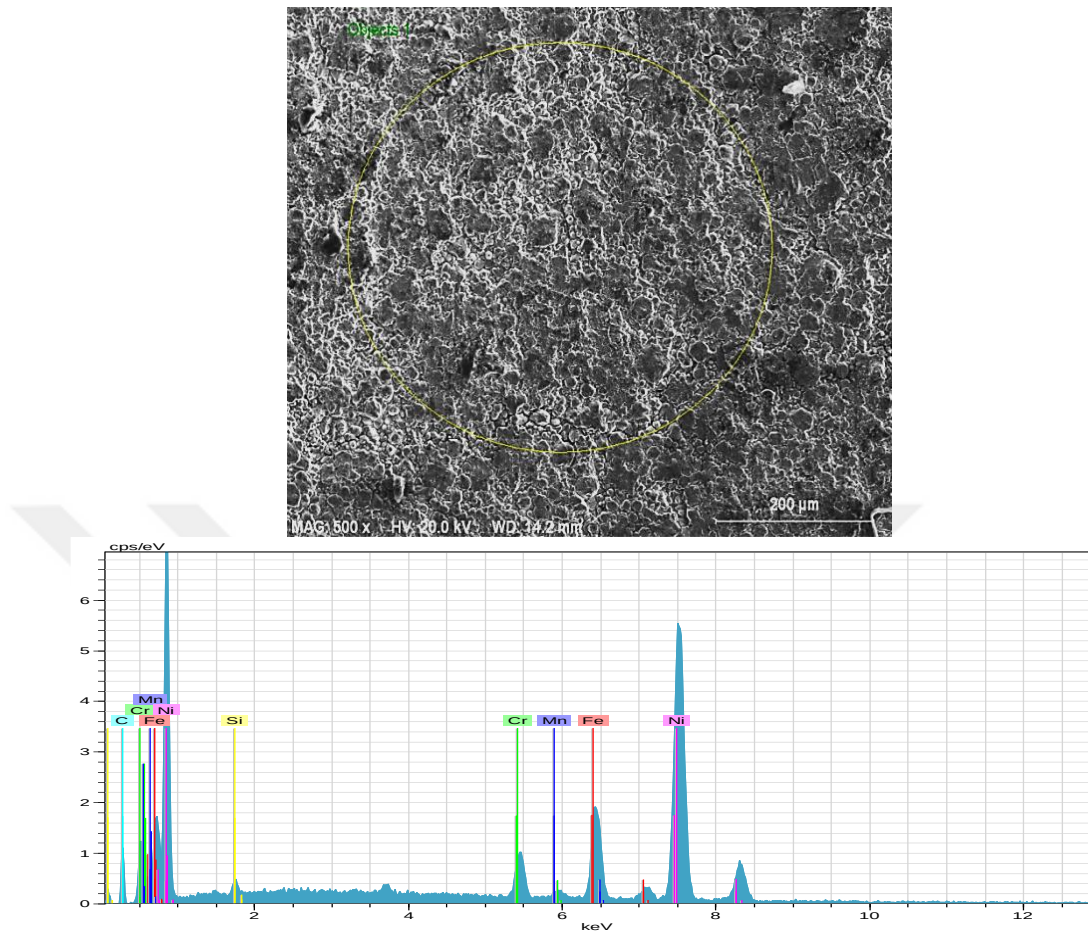
Elementel haritalandırma yöntemi ile çekme sonrası kopan yüzeylerde element taraması yapılmıştır ve N33 ara tabakalı numunesi yüzeyinde gerçekleşen sünek kırılma ile oluşan süngerimsi yapıda az miktarda silisyum metaline rastlanırken, aynı numunede benzer bir dağılım sergileyen demir, krom, karbon ve mangan ile nikel elementlerinin dağılımları da görülmektedir. Nikelin yoğun olarak bulunduğu bölgede demir elementinin az olduğu da göze çarpmaktadır. N2 ara tabakasız numunesinin gevrek kırılmanın gerçekleştiği yüzeyinde yapılan elementel haritalandırma yönteminde eser miktarda nikel gözlenirken bununla birlikte silisyum, karbon, mangan, krom ve demir elementleri de görülmektedir. Yüzeyde diğer elementlere göre daha yoğun gözükken krom elementi karbür çökeltileri halinde yapıda bulunarak gevrek kırılmaya sebebiyet vermiştir.



Şekil 4.122 N11, N33 ve N55 çekme numuneleri kopma yüzey SEM görüntüleri



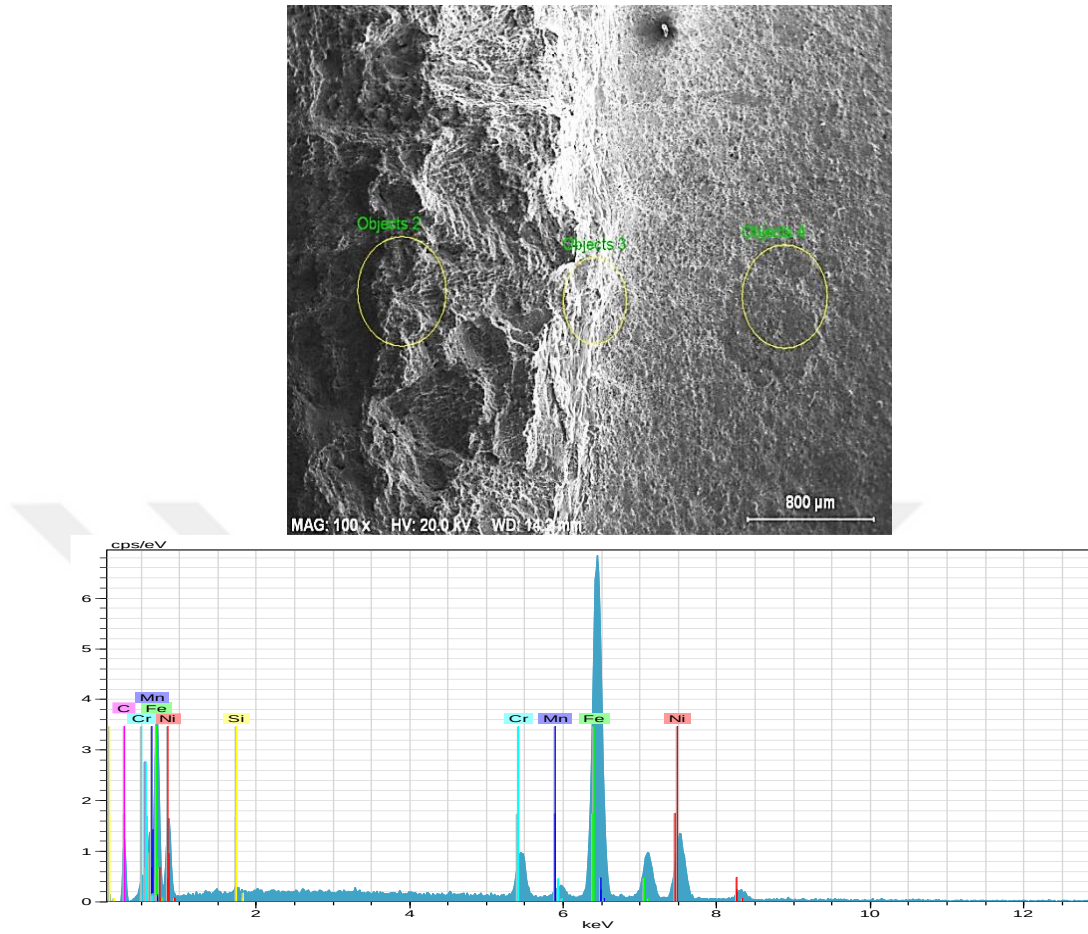
Şekil 4.123 N1, N3 ve N5 çekme numuneleri kopma yüzeyi SEM görüntüleri



Şekil 4.124 N11 numunesi kopan yüzey 1. nokta SEM ve EDS grafiği

Çizelge 4.75 N11 numunesi kopan yüzey 1. nokta EDS analizi

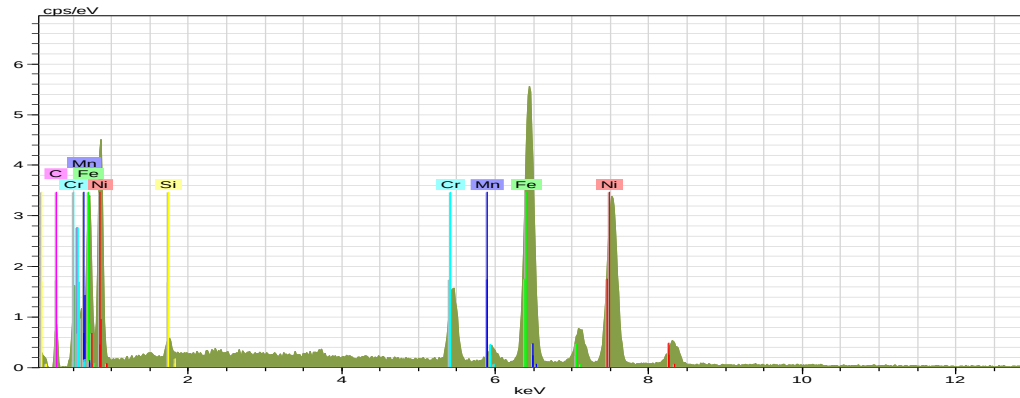
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Ni	28	K-series	77.80	77.09	66.68	2.2
Fe	26	K-series	9.07	8.99	8.17	0.3
Mn	25	K-series	5.02	4.97	4.60	0.2
Cr	24	K-series	4.93	4.88	4.77	0.2
C	6	K-series	3.52	3.49	14.76	0.8
Si	14	K-series	0.57	0.56	1.02	0.1
Total			100.91	100.00	100.00	



Şekil 4.125 N22 numunesi kopan yüzey 2. nokta SEM ve EDS grafiği

Çizelge 4.76 N22 numunesi kopan yüzey 2. nokta EDS analizi

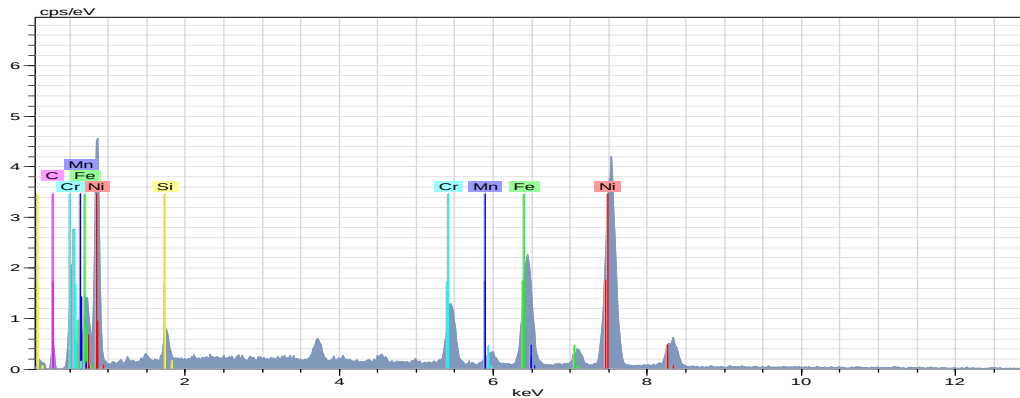
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	48.35	45.68	39.61	1.4
Mn	25	K-series	23.78	22.46	19.80	0.7
Ni	28	K-series	22.72	21.46	17.71	0.7
Cr	24	K-series	6.31	5.96	5.55	0.2
C	6	K-series	4.44	4.19	16.90	0.9
Si	14	K-series	0.26	0.25	0.43	0.0
Total			105.85	100.00	100.00	



Şekil 4.126 N22 numunesi kopan yüzey 3. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.77 N22 numunesi kopan yüzey 3. nokta EDS analizi

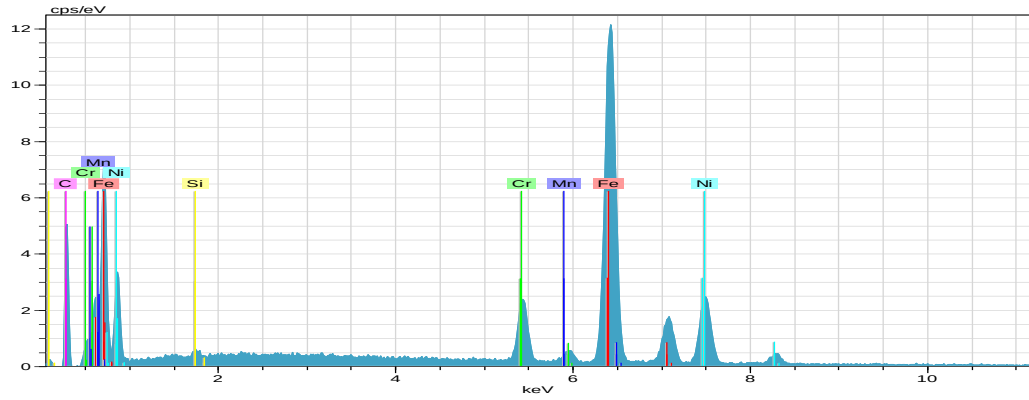
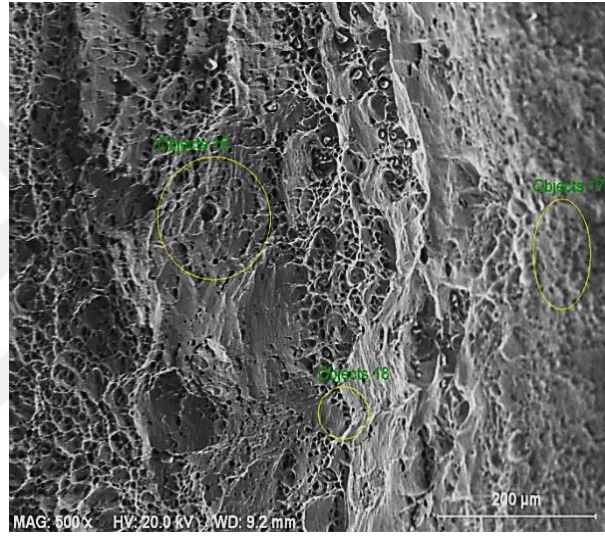
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Ni	28	K-series	45.01	46.28	40.73	1.3
Fe	26	K-series	27.43	28.21	26.09	0.8
Mn	25	K-series	14.18	14.58	13.71	0.4
Cr	24	K-series	7.58	7.79	7.74	0.3
C	6	K-series	2.35	2.42	10.40	0.6
Si	14	K-series	0.71	0.73	1.34	0.1
Total			97.26	100.00	100.00	



Şekil 4.127 N22 numunesi kopan yüzey 4. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.78 N22 numunesi kopan yüzey 4. nokta EDS analizi

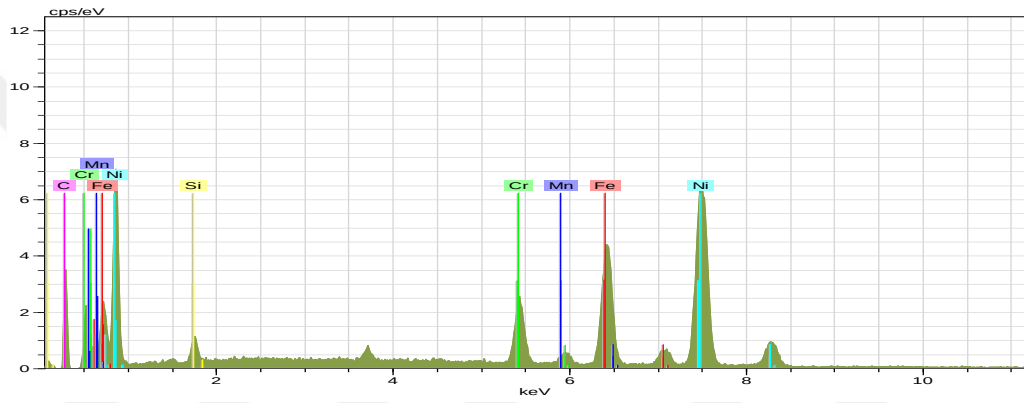
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Ni	28	K-series	64.39	66.69	59.41	1.8
Fe	26	K-series	12.95	13.41	12.56	0.4
Cr	24	K-series	8.02	8.30	8.35	0.3
Mn	25	K-series	7.35	7.61	7.24	0.3
C	6	K-series	1.95	2.02	8.78	0.5
Si	14	K-series	1.90	1.97	3.66	0.1
Total			96.55	100.00	100.00	



Şekil 4.128 N33 numunesi kopan yüzey 16. nokta SEM ve EDS grafiği

Çizelge 4.79 N33 numunesi kopan yüzey 16. nokta EDS analizi

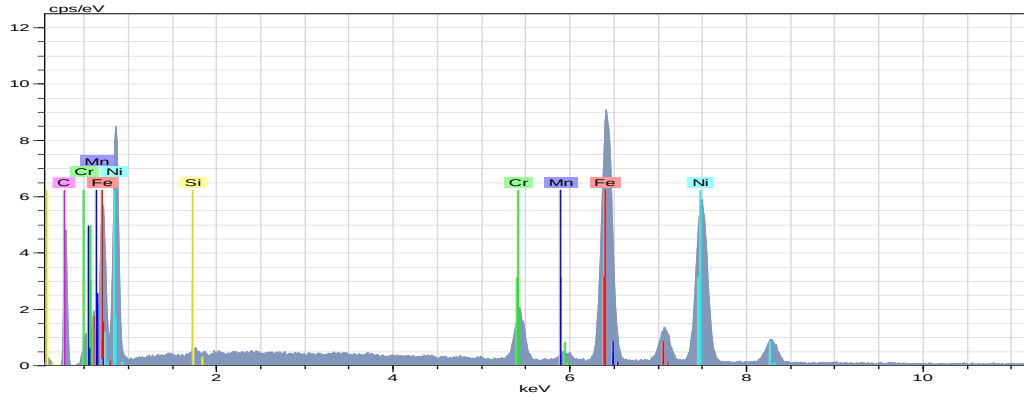
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	62.61	60.31	44.93	1.7
Ni	28	K-series	62.61	60.31	44.93	1.7
C	6	K-series	9.82	9.46	32.78	1.5
Cr	24	K-series	6.53	6.29	5.03	0.2
Mn	25	K-series	3.21	3.09	2.34	0.2
Si	14	K-series	0.18	0.17	0.25	0.0
Total			103.82	100.00	100.00	



Şekil 4.129 N33 numunesi kopan yüzey 17. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.80 N33 numunesi kopan yüzey 17. nokta EDS analizi

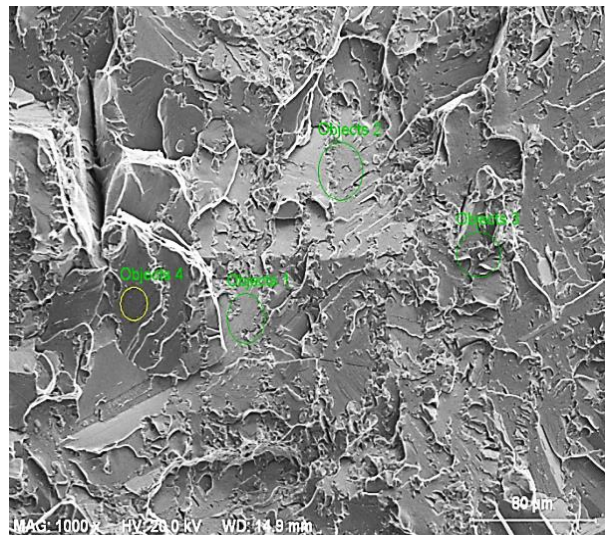
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Ni	28	K-series	64.64	60.72	47.15	1.8
Fe	26	K-series	23.44	22.02	17.97	0.7
Cr	24	K-series	8.37	7.86	6.89	0.3
C	6	K-series	6.92	6.50	24.66	1.1
Mn	25	K-series	1.84	1.73	1.43	0.1
Si	14	K-series	1.25	1.17	1.90	0.1
Total			106.45	100.00	100.00	

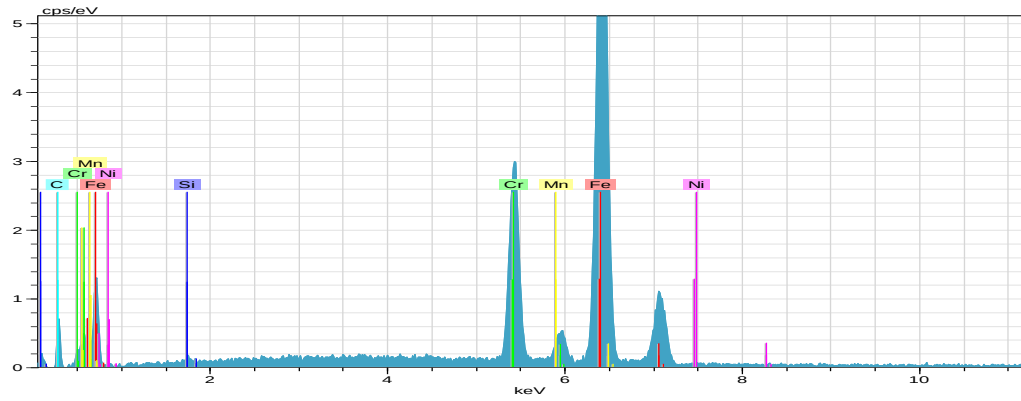


Şekil 4.130 N33 numunesi kopan yüzey 18. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.81 N33 numunesi kopan yüzey 18. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Ni	28	K-series	46.93	45.64	34.65	1.3
Fe	26	K-series	40.81	39.68	31.67	1.1
C	6	K-series	7.58	7.37	27.36	1.2
Cr	24	K-series	5.04	4.90	4.20	0.2
Mn	25	K-series	2.26	2.20	1.78	0.1
Si	14	K-series	0.22	0.21	0.33	0.0
Total			102.85	100.00	100.00	

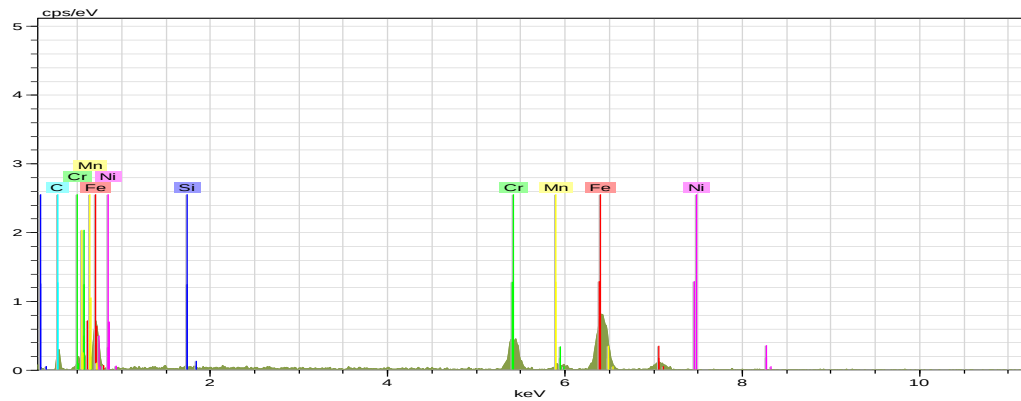




Şekil 4.131 N1 numunesi kopan yüzey 1. nokta SEM ve EDS grafiği

Çizelge 4.82 N1 numunesi kopan yüzey 1. nokta EDS analizi

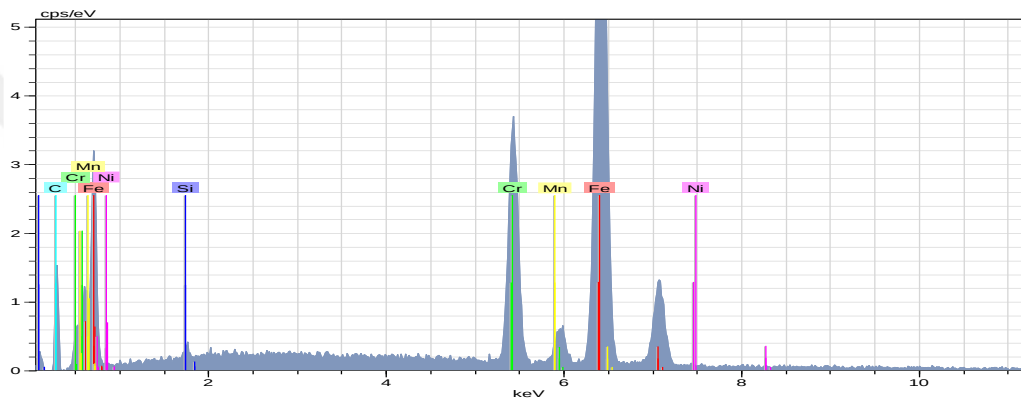
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	113.07	78.49	73.97	3.1
Cr	24	K-series	22.45	15.59	15.77	0.7
Mn	25	K-series	5.06	3.51	3.36	0.3
C	6	K-series	1.96	1.36	5.95	0.5
Ni	28	K-series	1.51	1.05	0.94	0.1
Si	14	K-series	0.01	0.00	0.01	0.0
Total			144.05	100.00	100.00	



Şekil 4.132 N1 numunesi kopan yüzey 2. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.83 N1 numunesi kopan yüzey 2. nokta EDS analizi

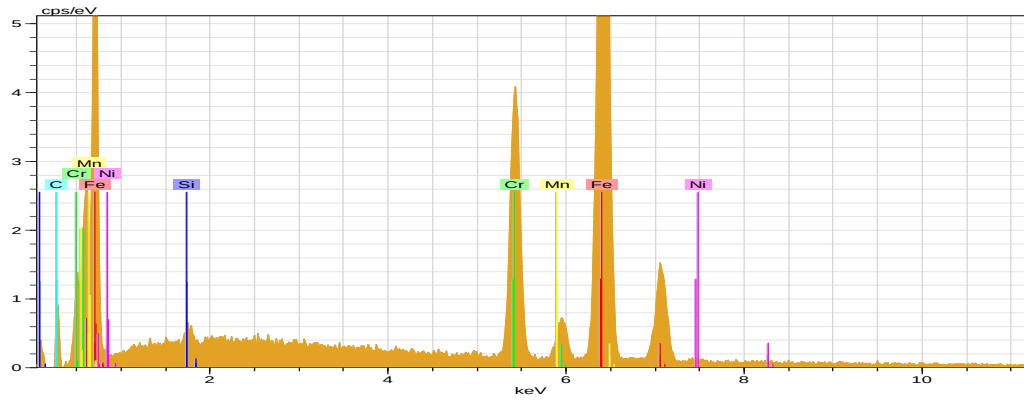
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	65.35	65.43	50.74	2.1
Cr	24	K-series	20.18	20.20	16.83	0.8
C	6	K-series	7.23	7.24	26.10	2.3
Mn	25	K-series	4.10	4.10	3.23	0.5
Ni	28	K-series	1.94	1.94	1.43	0.3
Si	14	K-series	1.08	1.08	1.67	0.1
Total			99.87	100.00	100.00	



Şekil 4.133 N1 numunesi kopan yüzey 2. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.84 N1 numunesi kopan yüzey 2. nokta EDS analizi

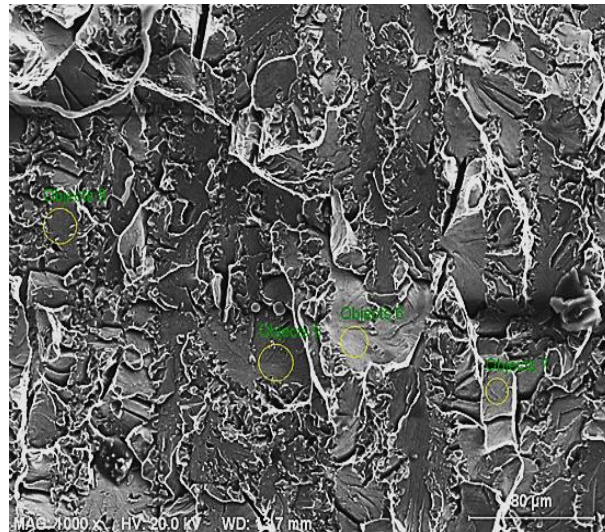
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	87.35	77.15	67.55	2.4
Cr	24	K-series	18.04	15.93	14.98	0.5
C	6	K-series	4.00	3.53	14.37	0.8
Mn	25	K-series	2.74	2.42	2.16	0.2
Ni	28	K-series	0.93	0.82	0.68	0.1
Si	14	K-series	0.17	0.15	0.26	0.0
Total			113.22	100.00	100.00	

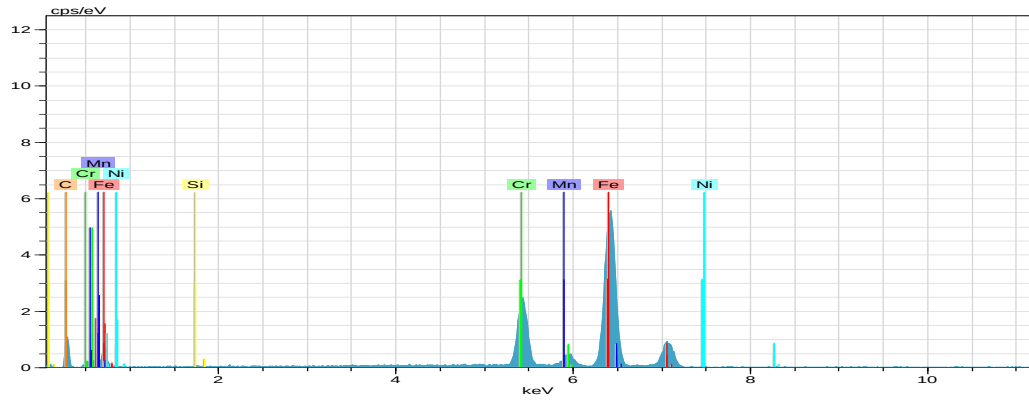


Şekil 4.134 N1 numunesi kopan yüzey 4. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.85 N1 numunesi kopan yüzey 4. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	71.59	78.16	70.18	2.0
Cr	24	K-series	14.80	16.16	15.58	0.4
C	6	K-series	2.36	2.57	10.74	0.6
Mn	25	K-series	1.46	1.59	1.45	0.1
Si	14	K-series	0.74	0.81	1.44	0.1
Ni	28	K-series	0.65	0.71	0.61	0.1
Total			91.59	100.00	100.00	

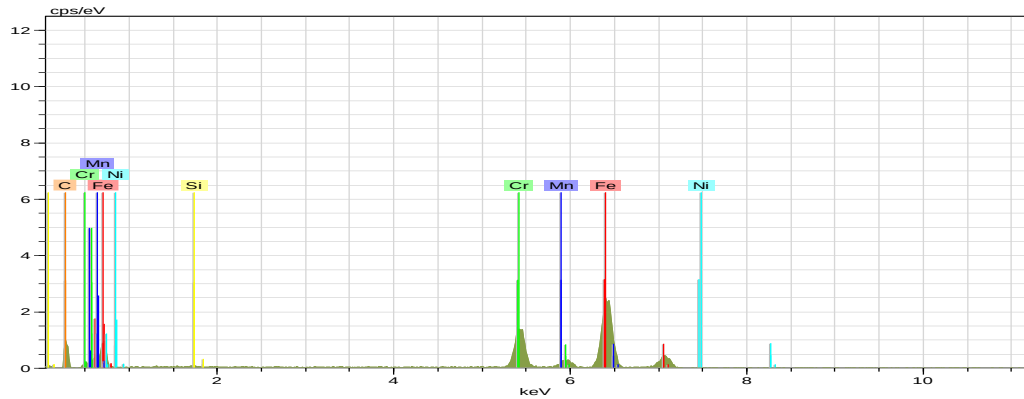




Şekil 4.135 N2 numunesi kopan yüzey 5. nokta SEM ve EDS grafiği

Çizelge 4.86 N2 numunesi kopan yüzey 5. nokta EDS analizi

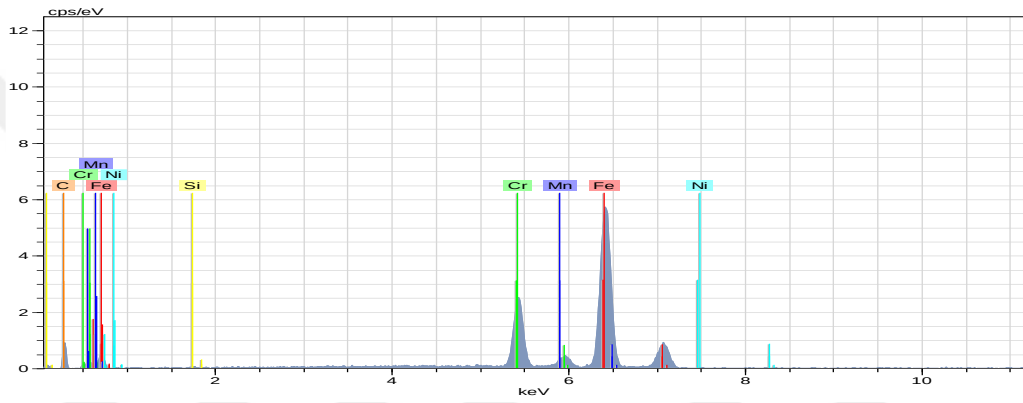
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	71.59	78.16	70.18	2.0
Cr	24	K-series	14.80	16.16	15.58	0.4
C	6	K-series	2.36	2.57	10.74	0.6
Mn	25	K-series	1.46	1.59	1.45	0.1
Si	14	K-series	0.74	0.81	1.44	0.1
Ni	28	K-series	0.65	0.71	0.61	0.1
Total			91.59	100.00	100.00	



Şekil 4.136 N2 numunesi kopan yüzey 6. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.87 N2 numunesi kopan yüzey 6. nokta EDS analizi

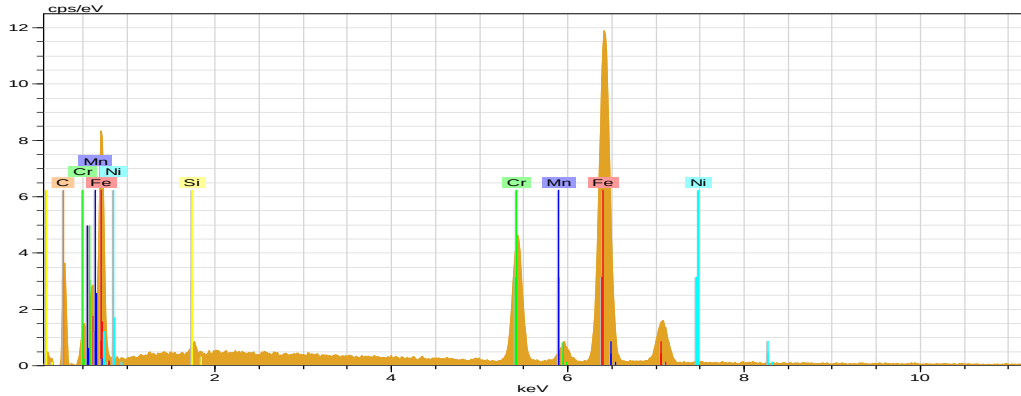
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	112.78	67.53	55.66	3.2
Cr	24	K-series	36.56	21.89	19.38	1.2
C	6	K-series	8.86	5.31	20.34	1.8
Mn	25	K-series	7.39	4.42	3.71	0.4
Ni	28	K-series	0.91	0.54	0.43	0.1
Si	14	K-series	0.50	0.30	0.49	0.1
Total			166.99	100.00	100.00	



Şekil 4.137 N2 numunesi kopan yüzey 7. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.88 N2 numunesi kopan yüzey 7. nokta EDS analizi

El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	140.95	75.38	69.57	3.9
Cr	24	K-series	32.70	17.48	17.33	1.0
Mn	25	K-series	8.42	4.50	4.23	0.4
C	6	K-series	3.59	1.92	8.24	0.8
Ni	28	K-series	1.33	0.71	0.63	0.1
Si	14	K-series	0.01	0.00	0.01	0.0
Total			166.99	100.00	100.00	



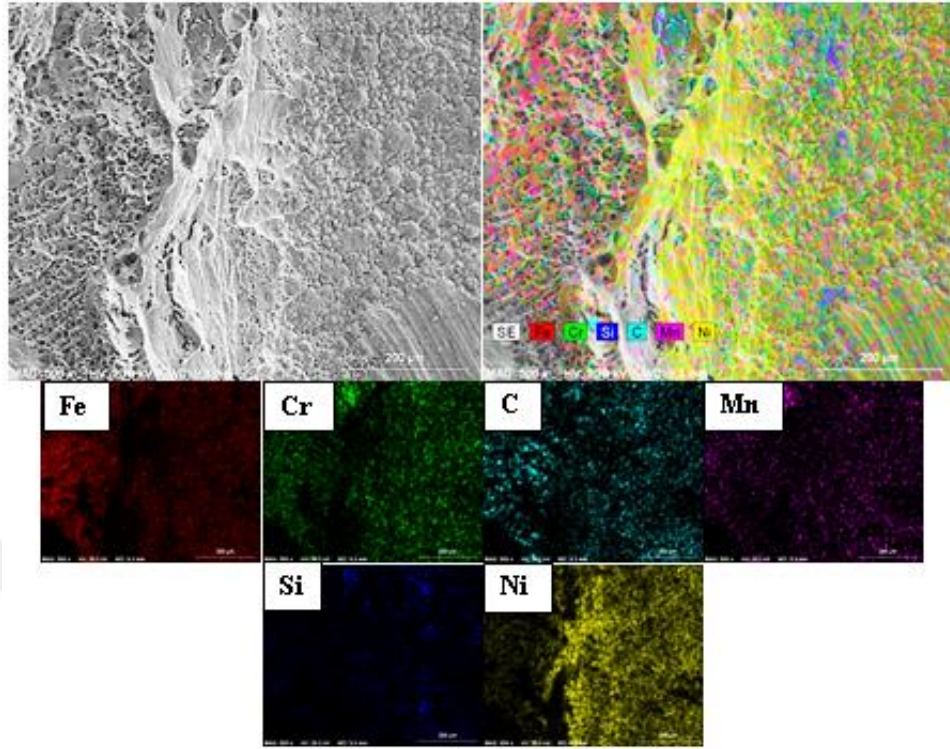
Şekil 4.138 N2 numunesi kopan yüzey 8. nokta EDS grafiği

Çizelge 4.89 N2 numunesi kopan yüzey 8. nokta EDS analizi

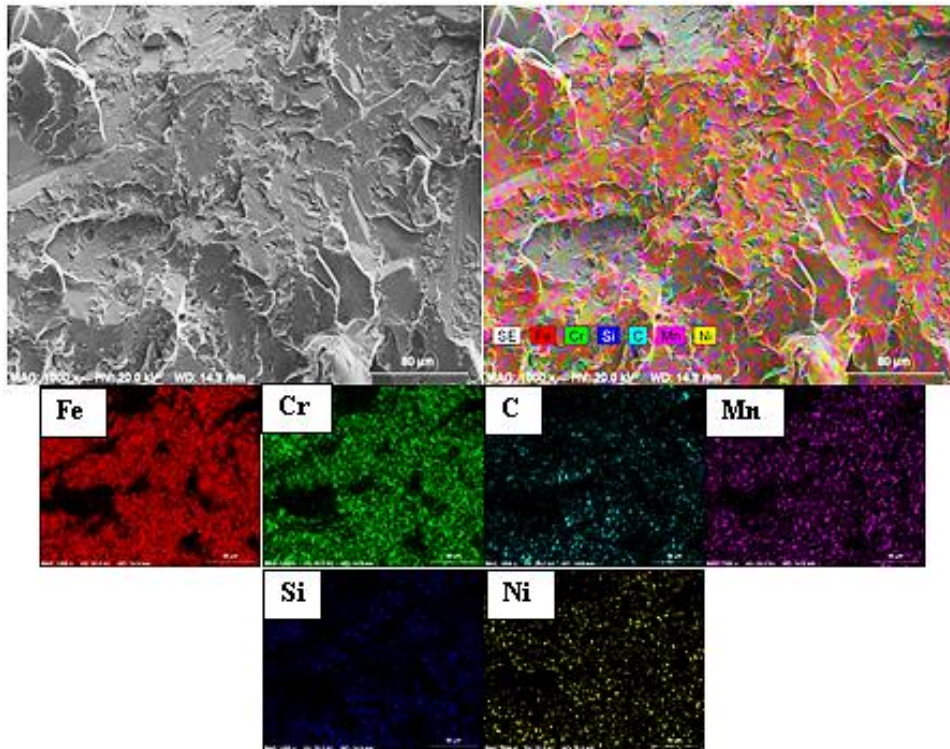
El	AN	Series	Unn. [wt. -%]	C norm. [wt. -%]	C atom. [at. -%]	C error [%]
Fe	26	K-series	67.57	72.45	53.58	1.8
Cr	24	K-series	13.84	14.84	11.79	0.4
C	6	K-series	8.54	9.16	31.49	1.4
Mn	25	K-series	1.95	2.09	1.57	0.1
Ni	28	K-series	0.70	0.76	0.53	0.1
Si	14	K-series	0.66	0.71	1.04	0.1
Total			93.27	100.00	100.00	

Çizelge 4.90 Kopma yüzeyleri element % sonuçları

Numune No	Analiz noktaları	Elementler (% Ağırlık)					
		Fe	Cr	Mn	Ni	C	Si
N11	1. nokta	8.17	4.77	4.60	66.68	14.76	1.02
N22	2. nokta	39.61	5.55	19.80	17.71	16.90	0.43
	3. nokta	26.09	7.74	13.71	40.73	10.40	1.34
	4. nokta	12.56	8.35	7.24	59.41	8.78	3.66
N33	16. nokta	44.93	5.03	2.34	44.93	32.78	0.25
	17. nokta	17.79	6.89	1.43	47.15	24.66	1.90
	18. nokta	31.67	4.20	1.78	34.65	27.36	0.33
N1	1. nokta	73.97	15.77	3.36	0.94	5.95	0.01
	2. nokta	50.74	16.83	3.23	1.43	26.10	1.67
	3. nokta	67.55	14.98	2.16	0.68	14.37	0.26
	4. nokta	70.18	15.58	1.45	0.61	10.74	1.44
N2	5. nokta	70.18	15.58	1.45	0.61	10.74	1.44
	6. nokta	55.66	19.38	3.71	0.43	20.34	0.49
	7. nokta	69.57	17.33	4.23	0.63	8.24	0.01
	8. nokta	53.58	11.79	1.57	0.53	31.49	1.04



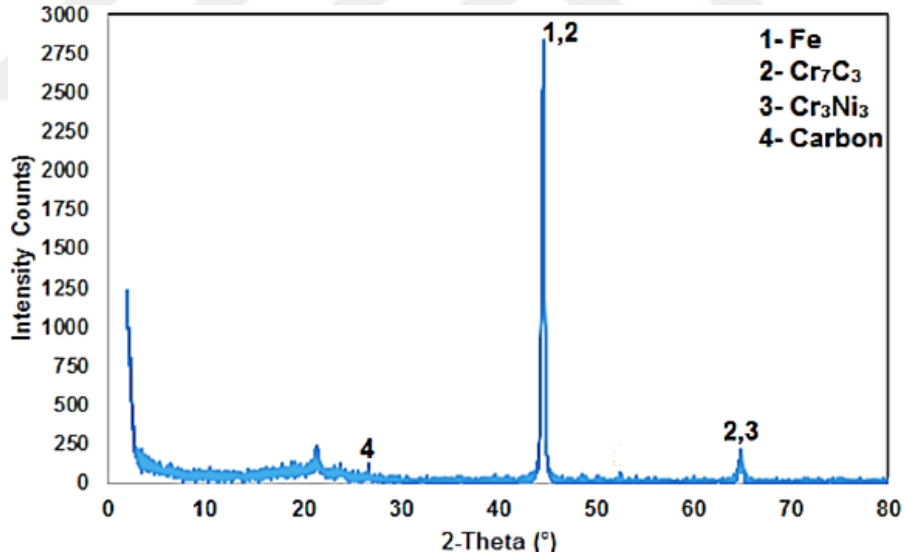
Şekil 4.139 N33 numunesi kopma yüzeyi Mapping analizi



Şekil 4.140 N2 numunesi kopma yüzeyi Mapping analizi

4.11. XRD Test Sonuçları

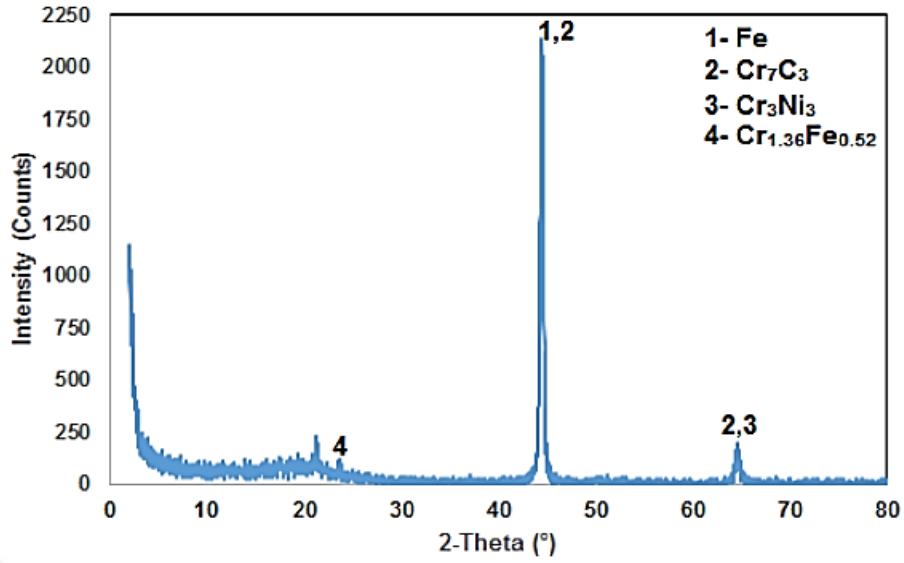
Kaynak sonucunda malzemelerin morfolojilerinde meydana gelen faz ve bileşikleri belirlemek amacıyla x-ışını kırınımı yöntemi ile N1, N3 ve N5 numuneleri ile N11, N33 ve N55 numuneleri test edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Şekil 4.141-146'da ve Çizelge 4.91-96'da verilmiştir. Verilen sonuçlara bakıldığında ara tabakasız birleştirmelerde Fe, Cr_7C_3 , Cr_3Ni_3 , C, $\text{Cr}_{1.36}\text{Fe}_{0.52}$; ara tabakalı birleştirmede Östenit, Cr_7C_3 , Cr_3Ni_3 , Ni faz ve bileşikleri ile bazı metaller tespit edilmiştir. Meydana gelen faz ve bileşikler incelendiğinde genellikle sert ve kırılgan oldukları görülür. Fakat nikel ara tabakalı birleştirmede yüzey merkezli kübik kristal yapıda ve yüksek tokluğa sahip [16] östenit oluşmuştur. Oluşan östenit fazı nikelin oda sıcaklığında da morfolojide östenit oluşturmaya bağlı olup, mekanik özellikleri doğrudan etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 4.141 N1 numunesi XRD analiz grafiği

Çizelge 4.91 N1 numunesi XRD analiz sonuçları

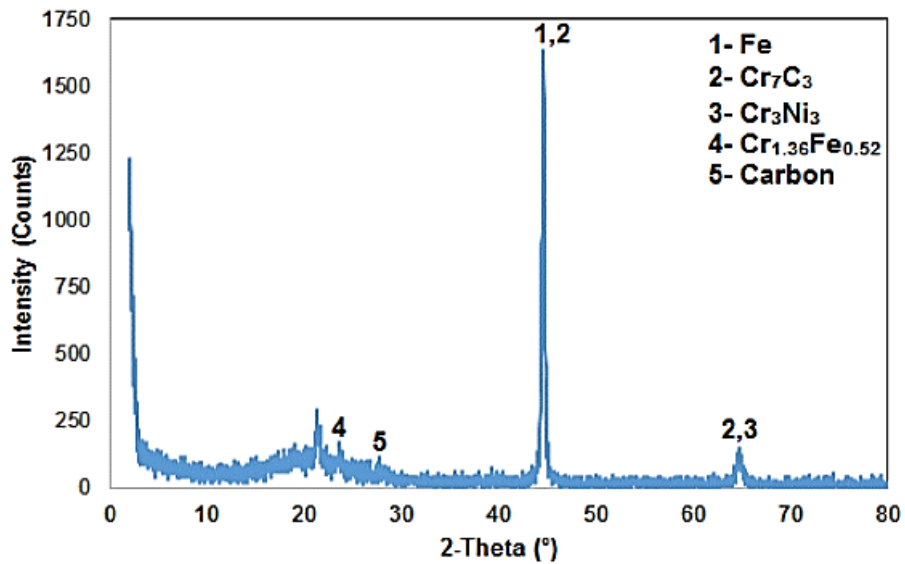
X-Ray Değeri			
2 Theta (°)	d (Å°)	Yoğunluk (I/I ₁)	Faz
26.780	3.3262	3.7	Karbon
44.679	2.0266	100.0	Fe- Cr_7C_3
64.958	1.4344	6.3	Cr_7C_3 - Cr_3Ni_3



Şekil 4.142 N3 numunesi XRD analiz grafiği

Çizelge 4.92 N3 numunesi XRD analiz sonuçları

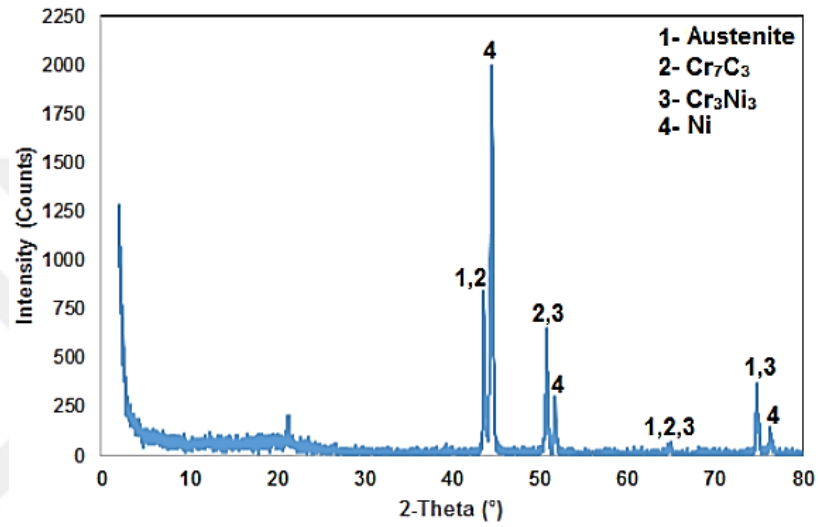
X-Ray Değeri			
2 Theta (°)	d (Å°)	Yoğunluk (I/I ₁)	Faz
22.466	3.9542	4.4	Cr _{1.36} Fe _{0.52}
44.520	2.0334	100.0	Fe-Cr ₇ C ₃
64.641	1.4407	8.1	Cr ₇ C ₃ -Cr ₃ Ni ₃



Şekil 4.143 N5 numunesi XRD analiz grafiği

Çizelge 4.93 N5 numunesi XRD analiz sonuçları

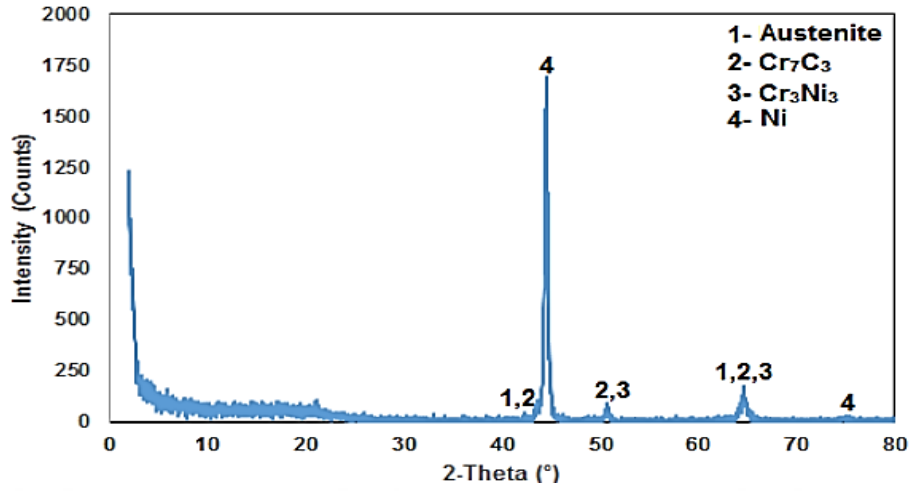
X-Ray Değeri			
2 Theta (°)	d (Å)	Yoğunluk (I/I ₁)	Faz
23.660	3.7573	10.2	Cr _{1.36} Fe _{0.52}
27.702	3.2176	5.7	Carbon
43.538	2.0770	4.5	Fe-Cr ₇ C ₃
64.680	1.4399	7.7	Cr ₇ C ₃ -Cr ₃ Ni ₃



Şekil 4.144 N11 numunesi XRD analiz grafiği

Çizelge 4.94 N11 numunesi XRD analiz sonuçları

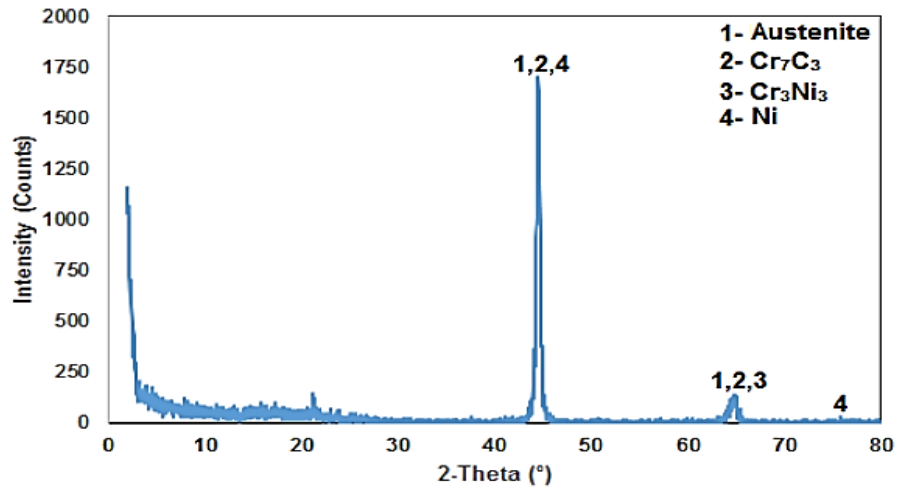
X-Ray Değeri			
2 Theta (°)	d (Å)	Yoğunluk (I/I ₁)	Faz
43.642	2.0723	41.7	Austenite-Cr ₇ C ₃
44.540	2.0325	100.0	Ni
50.799	1.7958	31.4	Cr ₇ C ₃ -Cr ₃ Ni ₃
51.759	1.7647	13.7	Ni
65.047	1.4327	2.8	Austenite-Cr ₇ C ₃ -Cr ₃ Ni ₃
74.761	1.2688	18.3	Austenite-Cr ₃ Ni ₃
76.300	1.2470	5.7	Ni



Şekil 4.145 N33 numunesi XRD analiz grafiği

Çizelge 4.95 N33 numunesi XRD analiz sonuçları

X-Ray Değeri			
2 Theta (°)	d (Å)	Yoğunluk (I/I ₁)	Faz
43.641	2.0723	5.3	Austenite-Cr ₇ C ₃
44.560	2.0317	100.0	Ni
50.780	1.7965	4.4	Cr ₇ C ₃ -Cr ₃ Ni ₃
64.699	1.4396	7.6	Austenite-Cr ₇ C ₃ -Cr ₃ Ni ₃



Şekil 4.146 N55 numunesi XRD analiz grafiği

Çizelge 4.96 N55 numunesi XRD analiz sonuçları

X-Ray Değeri			
2 Theta (°)	d (Å)	Yoğunluk (I/I ₁)	Faz
44.541	2.0325	100.0	Austenite-Cr ₇ C ₃ -Ni
64.859	1.4364	7.5	Austenite-Cr ₇ C ₃ -Cr ₃ Ni ₃

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

TIG çift taraflı ark kaynak yöntemiyle uygun kaynak parametrelerinde (Amper, Gaz Debisi, İlerleme Hızı, Voltaj ve Nozul Çapı) nikel ara tabakalı ve nikel ara tabakasız AISI 430 ve HARDOX 450 çelik çiftlerinin birleştirme işlemi yapılmıştır. Kaynaklı birleştirmenin mikroyapı ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiş ve maddelerdeki verilere ulaşılmıştır.

1. Benzer olmayan kimyasal ve mekanik özelliklere sahip 10 mm kalınlıktaki AISI 430 ve HARDOX 450 çelik çiftleri, nikel ara tabakalı ve nikel ara tabakasız olarak kaynak ağzı açılmaksızın tek pasoda ilave tel kullanılmadan, uygun kaynak parametrelerinde TIG kaynak yöntemiyle başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.
2. Küt-ek kaynağı ile çift taraflı yapılan birleştirme sonucunda artan akım şiddeti ile malzemelerde nüfuziyetin arttığı ve kum saati görünüşünün elde edildiği görülmüştür. Makro ara kesit incelemesinde nikel ara tabakasız numunelerden N1: 1.4 mm, N2: 0.6 mm ve N3: 0.2 mm boşluk görülürken bu durum akım şiddetindeki artış ile azaldığı ve N4 ile N5 numunelerinde çift taraflı kaynak profili görülmüştür. Nikel ara tabakalı numunelerden N11: 2.4 mm, N22: 2 mm ve N33: 0.3 mm ergimeyen ara tabaka varsa da artan akım şiddeti ile N44 ve N55 numunelerinde ara tabaka metali tamamen eriyerek kaynak metaline karışmış, kaynak ara kesiti kum saati görüntüsünü almıştır.
3. Kaynaklı birleştirmelerden alınan mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde literatüre uygun olarak adlandırılmıştır. Bunlar ITAB-AISI 430'de yüksek sıcaklık ITAB (A4), orta sıcaklık ITAB (A3), düşük sıcaklık ITAB (A2) ve esas metal (A1); ITAB-HARDOX 450'de iri taneli bölge (H4), ince taneli bölge (H3), kısmen dönüşmüş bölge (H2) ve içyapısında dönüşüm olmamış bölge (H1) olarak adlandırılmıştır. Birleştirme ara yüzeylerinden alınan mikro inceleme numunelerinde ITAB-AISI 430 ve ITAB-HARDOX 450'de çatlak ve boşluk görülmezken, ITAB-AISI 430'da biberimsi krom karbürler ve tane sınırı karbürler, ITAB-HARDOX 450'de ise asiküler ferrit, widmanstatten ferrit ve martenzit görülmüştür. Ara tabakasız numunelerde artan akım şiddeti ile birlikte

ITAB-AISI 430'da iğnemsiliği artan krom karbürler görülürken, ITAB-HARDOX 450'de ise daha geniş bir ITAB olduğu ve bunun martenzit oluşturduğu görülmüştür.

4. Ara tabakalı numunelerde yapılan mikro incelemede ITAB-AISI 430 tarafında kaynak metali ile esas metal arasında ağ şeklinde bir yapının olduğu görülmektedir. Oluşan bu ağın nikel ara tabaka metalinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
5. Schaeffler diyagramı üzerinde yapılan hesaplama ile kaynak metalinde $\%Cr_{es}=16.87$ ve $\%Ni_{es}=1.96$ değerlerinde olduğu görülmüş olup, ferrit ve martenzitin meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıca buna ek olarak Kaltenhauser ferrit faktörü ile ergime bölgesindeki martenzit oluşumu hesaplanmıştır. Bu faktöre göre yapılan hesaplamada $14.704 < 17$ çıkmasından dolayı martenzit oluşumunun görüleceği hesaplanmıştır.
6. Kaynaklı birleştirmelere yapılan EDS analizlerinde ara tabakasız birleştirmelerin kaynak metalllerinde mangan elementinin yoğun olarak yayıldığı görülür. Ara tabakalı birleştirmede nikel elementinin yayılması incelenmiş olup, birleştirmede AISI 430 malzemesi tarafına HARDOX 450'den daha fazla yayıldığı görülmüştür. Bu durum yapılan ortalama atom ağırlığı hesaplaması ile açıklanmıştır.
7. Kaynaklı birleştirmelere yapılan elementel haritalandırma analizi ile malzeme içyapısının bileşiminde bulunan demir, krom, mangan, molibden, nikel, karbon ve silisyum elementlerinin dağılımları tespit edilmiştir. Analizde genel olarak elementlerin dağılımı homojendir.
8. Kaynaklı birleştirmelere yapılan mikrosertlik ölçümlerinde ara tabakasız birleştirmelerde en yüksek sertlik değerleri N5 numunesi kaynak metalinde 394 HV ile üst dikişinde elde edilmiştir. Kaynak metalinden AISI 430 ve HARDOX 450 tarafına gidildikçe sertlikte bir azalma görülse de sonra ani bir artış olmakta ve sertlik yine azalmaktadır. Ara tabakalı birleştirmede en yüksek sertlik N33 numunesinde 401 HV ile üst dikişinin kaynak metalinde görülse de kaynak metalinden AISI 430 ile HARDOX 450 tarafına gidildikçe sertlik azalmakta ve

ani bir artış göstermemekle birlikte AISI 430 tarafında az bir sertlik artışı olmaktadır.

9. Kaynaklı birleştirmelerin çentik darbe deney sonuçlarına bakıldığında artan akım şiddeti ile birlikte kırılma enerjisinin de arttığı ara tabakalı ve ara tabakasız kaynaklarda görülebilir. Darbe enerji miktarına bakıldığında en fazla N55 numunesinde 86.18 J olduğu görülür. Ara tabakasız numunelerde ise en fazla N5 numunesinde 76.7 J darbe enerjisi elde edilmiştir. Ayrıca SEM ile yapılan kırık yüzey incelemesinde ara tabakalı malzemelerin sünek kırılma sergiledikleri, ara tabakasız numunelerin ise gevrek kırıldığı görülmüştür.
10. Kaynaklı birleştirme ara yüzeyine yapılan EBSD analizine göre ara tabakalı N33 numunesinde %88 krom karbür, %6 Cr_{23}C_6 , %3 martenzit, %2 krom nikel, %2 nikel görülürken, ara tabakasız N3 numunesinde %91 krom karbür, %4 martenzit, %4 Cr_{23}C_6 , %1 östenit fazına rastlanmıştır.
11. Yapılan çekme deneyleri sonucunda ara tabakasız numunelerin tamamı AISI 430 malzemesi tarafından kopmuştur. Yapılan SEM yüzey incelemesinde kopmaların gevrek gerçekleştiği de görülmüştür. Çekme sonuçlarına bakıldığında, ara tabakasız numunelerde, en yüksek çekme dayanımının N5 numunesinde 513.59 MPa olduğu ölçülmüştür. Ara tabakalı numunelerdeki kopmalara bakıldığında tümünün kaynaklı birleştirme ortasından gerçekleştiği ve en yüksek çekme dayanımının N55 numunesinde 677.99 MPa olduğu ölçülmüştür. Ayrıca ara tabakalı numunelere yapılan SEM kırık yüzey incelemesinde kopmaların sünek gerçekleştiği yüzeyde bulunan gamzelerden anlaşılmaktadır. Çekme numunelerinin tümü incelendiğinde akım şiddetinin artması ile birlikte çekme dayanımlarının da arttığı tespit edilmiştir.
12. Kaynaklı birleştirmelerden alınan XRD analizleri sonucunda nikel ara tabakasız numunelerde Fe, Cr_7C_3 , Cr_3Ni_3 , C, $\text{Cr}_{1.36}\text{Fe}_{0.52}$; nikel ara tabakalı birleştirmelerde Östenit, Cr_7C_3 , Cr_3Ni_3 ve Ni faz ve bileşikler tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] S. Anık, K. Tülbentçi ve E. Kaluç, *Örtülü Elektrod İle Ark Kaynağı*. İstanbul: Gedik Holding, 1991.
- [2] M. P. Groover, *Modern İmalatın Prensipleri*. İstanbul: Nobel, 2015.
- [3] S. Anık, A. Dikicioğlu ve M. Vural, *İmal Usulleri*. İstanbul: Birsen, 2006.
- [4] S. Kou, *Welding Metallurgy*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [5] N. Kahraman ve B. Gülenç, *Modern Kaynak Teknolojisi*. Ankara: 2016.
- [6] T. Teker, “AISI 430/ AISI 1040 çelik çiftinin anahtar deliği plazma kaynak yöntemi ile birleştirilmesi, mikroyapı ve mekanik özelliklerin araştırılması” Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, 2010.
- [7] T. Teker ve N. Özdemir, “The effect of nozzle orifice diameter on penetration deep and mechanical properties of AISI 430/ AISI 1040 steel couple joined by keyhole PTA welding process”, *Kovove Materialy, Metallic Materials*, vol. 51, no. 4, pp. 241-249, 2013.
- [8] M.T. Liao ve W.J. Chen, “The effect of shielding-gas compositions on the microstructure and mechanical properties of stainless steel weldments”, *Materials Chemistry and Physics*, vol. 55, no. 2, pp.145-151, 1998.
- [9] “Gazaltı ark kaynağı”, [gedikegitimvakfi.org.tr](http://gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2013/12/library_1.pdf), [http:// www.gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2013/12/library_1.pdf](http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2013/12/library_1.pdf). [Erişim tarihi: 25-Ekim-2019].
- [10] O. Şahin, “Koruyucu gaz kaynağında birim dikiş enerjisi-ısı etkisi altındaki alan ilişkisinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2008.
- [11] T. Mert, “Koruyucu gaz kaynağında karışım oranları ve gaz yönlendirme türlerinin kaynak dikişinde ortaya çıkardığı farklılıkların araştırılması”, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2012.
- [12] H. Acar, “Bakır ve paslanmaz çeliğin TIG kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, 2014.
- [13] “TIG kaynağı”, askaynak.com.tr, [https://www.askaynak.com.tr/urunler/tamir-bakim-kaynagi-\(kobatek\)/argon-\(tig\)-kaynak-telleri/kobatek-tig-91](https://www.askaynak.com.tr/urunler/tamir-bakim-kaynagi-(kobatek)/argon-(tig)-kaynak-telleri/kobatek-tig-91), [Erişim tarihi: 08-Temmuz-2019].

- [14] M. Erdoğan, *Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*. Ankara: Nobel, 2000.
- [15] “Farklı kesitlerde paslanmaz çelikler”, metalurjik.net, <https://www.metalurjik.net/tag/paslanmaz-celik-nedir>. [Erişim tarihi: 05-Temmuz-2019].
- [16] T. Savaşkan, *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*. Trabzon: Celepler, 2012.
- [17] T. Teker, “The effect of austenitic interlayer on microstructure and mechanical behaviors in keyhole plasma transfer arc welding of ferritic stainless steel couple”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 69, pp. 1833–1840, 2013.
- [18] E. Taban, E. Deleu, A. Dhooge ve E. Kaluc, “Laser welding of modified 12% Cr stainless steel: Strength, fatigue, toughness, microstructure and corrosion properties”, *Materials and Design*, vol. 30, no. 4, pp. 1193–1200, 2009.
- [19] M. Y. Çimen, “AISI 1050, AISI 304 ve AISI 430 tip çeliklerin yakma alın kaynak yöntemiyle kaynatılması ve mekanik özelliklerin incelenmesi” Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, 2015.
- [20] “HES türbini”, globalpiyasa.com, <https://www.globalpiyasa.com/tr/urun/hes-turbin-imalati-turbin-carki-marbeyaz-makina-san-a-s/210310>. [Erişim tarihi: 05 Temmuz-2019].
- [21] A. A. Guimarães ve P. R. Mei, “Precipitation of carbides and sigma phase in AISI type 446 stainless steel under working conditions”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 155–156, pp. 1681–1689, 2004.
- [22] V. T. L. Buono, B. M. Gonzalez ve M. S. Andrade, “Strain aging of AISI 430 ferritic stainless steel”, *Scripta Materialia*, vol. 38, no. 2, pp. 185-190, 1998.
- [23] R. Anand, C. Sudha, T. Karthikeyan, A. L. E. Terrance, S. Saroja ve M. Vijayalakshmi, “Effectiveness of Ni-based diffusion barriers in preventing hard zone formation in ferritic steel joints”, *Journal of Material Science*, vol. 44, no. 1, pp. 257–265, 2009.
- [24] İ. B. Eryürek ve C. Odabaş, *Çelikler İçin Örtülü Elektrod Seçimi, Gazaltı Kaynağı, Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı*. İstanbul: Askaynak, 2006.

- [25] A. K. Lakshminarayanan, K. Shanmugam ve V. Balasubramanian, “Effect of autogenous arc welding processes on tensile and impact properties of ferritic stainless steel joints”, *Journal of Iron and Steel Research International*, vol. 16, no. 1, pp. 62-68, 2009.
- [26] T. Mohandasa, G. M. Reddy ve M. Naveed, “A comparative evaluation of gas tungsten and shielded metal arc welds of a ‘ferritic’ stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 94, no. 2-3, pp. 133-140, 1999.
- [27] A. K. Gür, T. Yıldız, U. Çalığülü, Ç. Özay ve F.A. Bilen, “AISI 304 / HARDOX 400 çelik çiftlerinin PTA kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde kaynak gücünün etkisi”, *The Internatinonal Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology*, İzmir, 2018, pp. 250-256.
- [28] R. Kaçar, H. E. Emre, A.Ü. İşineri ve A. Najafigharehtapeh, “Farklı çelik çiftinin birleştirilmesinde kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere etkisi”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 33, no. 1, pp. 255-265, 2018.
- [29] M. E. Uluocak, “HARDOX 450 çeliklerinin MAG kaynak bölgesi mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, 2008.
- [30] “HARDOX resmi”, ssab.com, <https://www.ssab.com/company/newsroom/mediaarchive/2019/04/03/14/45/how-wimmer-international-helped-create-hardox-450>, [Erişim tarihi: 03-Temmuz-2019].
- [31] M. Toprak, “Katı borlamanın HARDOX 450 ve HARDOX hituf çeliklerin yüzey özelliklerine etkisi” Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi, 2019.
- [32] Y. F. Ivanov, S. V. Konovalov, V. E. Kormyshev, V. E. Gromov, A. D. Teresov ve O. A. Semina, “Structure and properties of HARDOX 450 steel with arc welded coatings” *Proceedings of the International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures*, (AMHS’17), 2017, pp. 020073-1-4.
- [33] D. Kapciska-Popowska, A. Pertek-Owsianna, A. Bartkowska, D. Bartkowski ve D. Przystacki, “Influence of diffusion boriding and laser boriding on corrosion

- resistance HARDOX 450 steel”, *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, vol. 59, no. 2, pp. 40-45, 2014.
- [34] “HARDOX damper”, altinordu.com.tr, <http://www.altinordu.com.tr/urunler/damper-grubu/hardox-damper/>. [Erişim tarihi: 03-Temmuz-2019].
- [35] “Dünyada ve Türkiye’de Nikel”, mta.gov.tr, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/nikel.pdf>. [Erişim tarihi: 25-Ekim-2019].
- [36] Z. Cheng, J. Huang, Z. Ye, J. Yang ve S. Chen, “Butt brazing of titanium alloys/stainless steel plates by MIG-TIG double-sided arc welding process with copper filler metal,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 1566–1570, 2019.
- [37] J. Xiong, S. Liu ve G. Zhang, “Thermal cycle and microstructure of backing weld in double-sided TIG arc horizontal welding of high-strength steel thick plate”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 81, no. 9-12, pp.1939–1947, 2015.
- [38] P. He, J. Zhang, ve X. Li, “Diffusion bonding technology of a titanium alloy to a stainless steel web with an Ni interlayer”, *Materials Characterization*, vol. 43, no. 5, pp. 287-292, 1999.
- [39] G. M. Reddy ve P. V. Ramana, “Role of nickel as an interlayer in dissimilar metal friction welding of maraging steel to low alloy steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, no. 1, pp.66–77, 2012.
- [40] T. Wang, B. Zhang, G. Chen, J. Feng ve Q. Tang, “Electron beam welding of Ti-15-3 titanium alloy to 304 stainless steel with copper interlayer sheet”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 20, no. 10, pp. 1829-1834, 2010.
- [41] G. Song ve Ch. Shan, “Microstructures of laser–tungsten inert gas hybrid welding of dissimilar AZ31 Mg alloy and Q235 steel with Ni as interlayer”, *Materials Research Innovations*, vol. 15, no. 2, pp. 145-149, 2011.
- [42] A. Yıldız, Y. Kaya ve N. Kahraman, “Joint properties and microstructure of diffusion bonded grade 2 titanium to AISI 430 ferritic stainless steel using pure Ni interlayer”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 86, pp. 1287–1298, 2016.

- [43] T. Teker ve N. Özdemir “Weldability and joining characteristic of AISI 430/ AISI 1040 steel using keyhole plasma arc welding”, *International Journal of Advanced and Manufacturing Technology*, vol. 63, no. 1-4, pp. 117-128, 2012.
- [44] K. S. Ramesh, K. S. Akhilendar, S. Sandeep ve P. Aravind, “Investigation on microstructural behavior and mechanical properties of plasma arc welded dissimilar butt joint of austenitic- ferritic stainless steels”, *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 2, pp. 8008–8015, 2018.
- [45] Z. Zhong, H. Jung, T. Hinoki ve A. Kohyama, “Effect of joining temperature on the microstructure and strength of tungsten/ferritic steel joints diffusion bonded with a nickel interlayer”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 210, no. 13, pp. 1805–1810, 2010.
- [46] M. Alizadeh-Sh, S. P. H. Marashi ve M. Pouranvari, “Resistance spot welding of AISI 430 ferritic stainless steel: Phase transformations and mechanical properties”, *Materials and Design*, vol. 56, pp. 258-263, 2014.
- [47] S. Frydman, L. Konat ve G. Pekalski, “Structure and Hardness Changes İn Welded Joints of Hardox Steels”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 15-27, 2008.
- [48] C. H. Muralimohan, M. Ashfaq, R. Ashiri, V. Muthupandi, ve K. Sivaprasad, “Analysis and characterization of the role of Ni interlayer in the friction welding of titanium and 304 austenitic stainless steel”, *Metallurgical and Materials Transactions*, vol. 47A, no. 1, pp. 347-359, 2016.
- [49] T. Teker ve E. M. Karakurt, “Examination of mechanical properties of high chromium white cast iron/AISI 1030 steel welded by friction welding with nickel interlayer”, *Science and Technology of welding and Joining*, vol. 25, no. 2, pp. 150-156, 2020.
- [50] W. M. Elthalabawy ve T. I. Khan, “Microstructural development of diffusion-brazed austenitic stainless steel to magnesium alloy using a nickel interlayer”, *Materials Characterization*, vol. 61, no. 7, pp.703-712, 2010.
- [51] M. Jiang, “Double-sided arc welding process”, Doktora tezi, University of Kentucky, 2003.

- [52] T. Teker, E. M. Karakurt ve F. Demir, “Mechanical property effects of symmetrical hour glass shapes formed during double sided TIG keyhole arc welding of AISI 1040 joints”, *Materials Testing*, vol. 59, no. 6, pp. 524-529, 2017.
- [53] Y. Xie, Y. Cai, X. Zhang ve Z. Luo, “Characterization of keyhole gas tungsten arc welded AISI 430 steel and joint performance optimization”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 99, no. 1-4, pp. 347-361, 2018.
- [54] İ. Ertürk, T. Durukan ve B. Şentürk, “Çeliklerin kaynağında ısıdan etkilenen bölgenin mikroyapı ve özelliklerinin tahmini”, *X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Ankara, 2017, pp. 1-14.
- [55] P. Sathiya, S. Aravindan ve A. N. Haq, “Effect of friction welding parameters on mechanical and metallurgical properties of ferritic stainless steel”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 31, no. 11-12, pp. 1076-1082, 2007.
- [56] H. H. Cho, H. N. Han, S. T. Hong, J. H. Park, Y. J. Kwon, S. H. Kim ve R. J. Steel, “Microstructural analysis of friction stir welded ferritic stainless steel”, *Materials Science and Engineering: A*, vol. 528, no. 6, pp. 2889-2894, 2011.
- [57] R. A. Ricks, P. R. Howell ve G. S. Barritte, “The nature of acicular ferrite in HSLA steel weld metals”, *Journal of Materials Science*, vol. 17, no. 3, pp. 732-740, 1982.
- [58] A. Ali ve H. K. D. H. Bhandeshia, “Microstructure of high strength steel refined with intragranularly nucleated Widmanstätten ferrite”, *Materials Science and Technology*, vol. 7, no. 10, pp. 895-903, 1991.
- [59] K. D. Ramkumara, A. Chandrasekhara, A. K. Singha, S. Ahujaa, A. Agarwala, N. Arivazhagana ve A. M. Rabel, “Comparative studies on the weldability, microstructure and tensile properties of autogeneous TIG welded AISI 430 ferritic stainless steel with and without flux”, *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 20, no. 1, pp. 54-69, 2015.

- [60] A. G. L. Azevedo, V. A. Ferraresi ve J. P. Farias, “Ferritic stainless steel welding with the A-TIG process”, *Welding International*, vol. 24, no. 8, pp. 571-578, 2010.
- [61] H. Ada, S. Aksöz, T. Fındık, C. Çetinkaya ve M. Gülsün, “Tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilen petrol ve doğalgaz borularının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, vol. 19, no. 3, pp. 275-282, 2016.
- [62] “Atom ağırlıkları”, [derenkimya.com/tr, https://www.derenkimya.com/ tr/ elementlerin-atom-agirliklari](https://www.derenkimya.com/tr/elementlerin-atom-agirliklari). [Erişim tarihi: 17-Temmuz-2019].
- [63] Y. Huang, Z. Luo, Y. Lei, S. Ao, H. Shan ve Y. Zhang, “Dissimilar joining of AISI 304/Q345 steels in keyhole tungsten inert gas welding process”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 96, no. 9-12, pp. 4041–4049, 2018.
- [64] A. Kumar, G. Sharma ve D. K. Dwivedi, “TIG spot weld bonding of 409 L ferritic stainless steel”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 84, pp. 350–359, 2018.
- [65] J. A. James ve R. Sudhish, “Study on effect of interlayer in friction welding for dissimilar steels: SS 304 and AISI 1040”, *Procedia Technology*, vol. 25, pp. 1191– 1198, 2016.
- [66] Ł. Konat, B. Białobrzaska ve P. Białek, “Effect of welding process on microstructural and mechanical characteristics of HARDOX 600 steel”, *Metals*, vol. 7, no. 9, pp. 1-18, 2017.
- [67] B. Kurt, N. Orhan, I. Somunkıran ve M. Kaya, “The effect of austenitic interface layer on microstructure of AISI 420 martensitic stainless steel joined by keyhole PTA welding process”, *Materials and Design*, vol. 30, no. 3, pp. 661–664, 2009.
- [68] İ. Uygur, “Fe-Cu-C çeliklerine mangan ilavesinin mekanik özelliklere etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 22, no. 3, pp. 325-330, 2007.
- [69] R. S. Vidyarthi, D. K. Dwivedi, ve M. Vasudevan, “Influence of M-TIG and A-TIG welding process on microstructure and mechanical behavior of 409

ferritic stainless steel'', *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 26, no. 3, pp.1391-1403, 2017.

- [70] S. D. Meshram ve G. M. Reddy, ‘‘Friction welding of AA 6061 to AISI 4340 using silver interlayer’’, *Defence Technology*, vol. 11, no. 3, pp. 292-298, 2015.



KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Denizer GENÇDOĞAN
Doğum Yeri : Sürmene
Doğum Tarihi : 21/02/1991
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : denizergencdogan@gmail.com

Eğitim Durumu

Derece	Alan	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Adıyaman Üniversitesi	2020.
2. Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Karadeniz Teknik Üniversitesi	Devam ediyor.
1. Lisans (Bölüm Birincisi, Fakülte Üçüncüsü)	Metal Öğretmenliği	Gazi Üniversitesi	2014.
Lise (Okul Birincisi)	Metal Teknolojisi/Kaynakçılık	Sürmene Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	2009.

İş Durumu

Milli Eğitim Bakanlığı/ Teknik Öğretmen.
Sürmene Dövme Bıçak Fabrikası (SÜRDÖVBISA)/ Isıl İşlem/ 2008-2015.