GÜÇ TRAFOLARI KAZAN İMALATINDA KULLANILAN SACLARIN MAG KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Halil GÜLTOPLAYAN

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Yakup KAYA

GÜÇ TRAFOLARI KAZAN İMALATINDA KULLANILAN SACLARIN MAG KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Halil GÜLTOPLAYAN

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Yakup KAYA

T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK
Nisan 2023

Halil GÜLTOPLAYAN tarafından hazırlanan "GÜÇ TRAFOLARI KAZAN İMALATINDA KULLANILAN SACLARIN MAG KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Yakup KAYA .....
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 24/04/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)	İmzası
Başkan : Doç. Dr. Tansel TUNÇAY (KBÜ)	.....
Üye : Doç. Dr. Ali KALYON (YÜ)	.....
Üye : Doç. Dr. Yakup KAYA (KBÜ)	.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU .....
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

"Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim."

Halil GÜLTOPLAYAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜÇ TRAFOLARI KAZAN İMALATINDA KULLANILAN SACLARIN MAG KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Halil GÜLTOPLAYAN

Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:
Doç. Dr. Yakup KAYA
Nisan 2023, 97 sayfa

Bu çalışmada, güç trafoları kazan üretiminde genellikle tercih edilen S235 ve S355 yapı çelikleri MAG kaynak yöntemi kullanılarak, kendi aralarında ve birbirleri ile üç farklı kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirmelerin kaynak bölgeleri tahribatsız ve tahribatlı muayene yöntemleri kullanılarak incelenmiştir.

Kaynak bölgesinin tahribatsız olarak, yüzeysel ve yüzey altı/kaynak kesiti incelemeleri gözle (VT), sıvı penetrant (PT) ve manyetik parçacık (MT) testleri ile gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı bölgesi mikroyapı ve mekanik özelliklerini de tahribatlı muayene yöntemlerinden optik mikroskop, mikrosertlik incelemeleri, çekme, eğme ve çentik darbe testleri ile incelenmiştir.

Kaynaklı numunelere uygulanan tahribatsız testler sonucunda; gözle muayene, sıvı penetrant ve manyetik parçacık testlerinde kaynak yüzeylerinde standart toleransı dışında herhangi bir yüzeysel hata tespit edilmemiştir.

Kaynaklı numunelere uygulanan tahribatlı testler sonrasında ise, kaynak bölgesinde tanelerin irileştiği ve tanelerin ergime çizgisinden kaynak merkezine doğru yönlendiği belirlenmiştir. Sertlik testleri sonucunda tüm kaynaklı birleştirmelerde en yüksek sertlik değeri kaynak metalinden ölçülürken onu sırasıyla ITAB'lar ve ana malzemelerin takip ettiği belirlenmiştir. Uygulanan çekme testleri sonucunda birleştirmelerin tümünde ana malzeme tarafında boyun vermiş ve yine ana malzeme tarafından sünek olarak kopma gerçekleşmiştir. Kaynaklı numunelerin kaynak bölgesinde ise herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Eğme testleri sonucunda bütün birleştirmelerde kaynak bölgesinde göz ile görülebilir herhangi bir hataya rastlanılmamıştır. Çentik darbe testleri sonucunda en yüksek darbe tokluğunu S235-S235 kaynaklı numune (1 nolu kaynak akımı) ITAB'ından elde edilirken, en düşük darbe tokluğu S355-S355 kaynaklı numune (3 nolu kaynak akımı) kaynak metalinden elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : MAG kaynağı, Yapı çeliği, Tahribatsız test, Tahribatlı test.
Bilim Kodu : 91511

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE WELDABILITY OF SHEET METALS USED IN POWER TRANSFORMERS AND BOILER MANUFACTURING BY MAG WELDING METHOD

Halil GÜLTOPLAYAN

Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:
Assoc. Prof. Dr. Yakup KAYA
April 2023, 97 pages

In this study, S235 and S355 structural steels, which are generally preferred in power transformer boiler production, were combined using MAG welding method, using three different welding currents among themselves and with each other. The weld zones of the joints were examined using non-destructive and destructive testing methods.

Non-destructive, superficial, and sub-surface/weld section examinations of the weld area were performed by visual (VT), liquid penetrant (PT) and magnetic particle (MT) tests. The macro/microstructure and mechanical properties of the welded area were also investigated by using destructive testing methods such as optical microscopy, microhardness examinations, tensile, bending and notch impact tests.

As a result of non-destructive tests applied to welded samples; In visual inspection, liquid penetrant and magnetic particle tests, no superficial defects were detected on the weld surfaces other than the standard tolerance.

After the destructive tests applied to the welded samples, it was determined that the grains got coarser in the weld area, the grains were oriented towards the weld center from the melting line. As a result of the hardness tests, it was determined that the highest hardness value was measured from the weld metal in all welded joints, followed by HAZ's and base materials, respectively. As a result of the applied tensile tests, all of the joints gave neck on the base material side and ductile rupture occurred on the base material. No damage was observed in the weld area of the welded samples. As a result of the bending tests, no visible defects were found in the weld area in all joints. As a result of the notch impact tests, the highest impact toughness was obtained from the S235-S235 welded sample (welding current no. 1), while the lowest impact toughness was obtained from the S355-S355 welded sample (welding current no. 3).

Key Word **:** MAG welding, structural steel, non- destructive testing, destructive testing.

Science Code : 91511

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, Sayın Hocam Doç. Dr. Yakup KAYA'ya

Malzeme temini, kaynak işlemleri ve testlerin gerçekleştirilmesinde desteklerini esirgemeyen ASTOR ENERJİ A.Ş.'ye ve çalışanlarına,

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL ii
ÖZET iv
ABSTRACT vi
TEŞEKKÜR viii
İÇİNDEKİLER ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xii
ÇİZELGELER DİZİNİ xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xvii

BÖLÜM 1 1
GİRİŞ 1

BÖLÜM 2 3
GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİ 3
2.1. TRANSFORMATÖR TARİHİ 3
2.2. GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİ GENEL BİLGİLERİ 3
2.3. TRANSFORMATÖR TİPLERİ 4
2.3.1. Generatör Transformatörleri 4
2.3.2. Şebeke Transformatörleri 4
2.3.3. Endüstri Transformatörleri 5
2.3.4. Özel Transformatörler 5
2.3.4.1. Fırın transformatörleri 5
2.3.4.2. Fırın reaktörleri 5
2.3.4.3. Akım doğrultucu transformatörler 6
2.3.4.4. Faz ayar transformatörleri 6
2.3.5. Şönt Reaktörler 6
2.4. TRANSFORMATÖRÜN YAPISI 6
2.4.1. Çekirdek 7

Sayfa

2.4.2. Sargılar 9
2.4.3. Gerilim Değiştiriciler 10
2.4.3.1. Boşta kademe değiştiriciler (komitatörler) 10
2.4.3.2. Yükte kademe değiştiriciler 10
2.4.4. Terminaller 10
2.4.5. Kazan, Kapak ve Genleşme Deposu 11
2.4.6. Transformatör Yağları 12
2.4.7. Soğutma Ünitesi 12
2.4.8. Donanım ve Koruma Cihazları 12

BÖLÜM 3 15
YAPI ÇELİKLERİ 15
3.1. YAPI ÇELİKLERİ GENEL ÖZELLİKLERİ 15
3.2. YAPI ÇELİKLERİNİN SINIFLANDIRILMASI 16
3.3. YAPI ÇELİKLERİNİN ÜRETİMİ VE KAYNAKLANABİLİRLİĞİ 17
3.3.1. MIG-MAG Kaynağı 18
3.3.1.1. Çalışma prensibi 19
3.3.1.2. Kaynak donanımı 20
3.3.1.3. Damla iletim mekanizmaları 20
3.3.1.4. Kaynak parametreleri 21
3.3.1.5. MIG-MAG kaynağının avantaj ve dezavantajları 21

BÖLÜM 4 23
DENEYSEL ÇALIŞMALAR 23
4.1. KULLANILAN MALZEMELER 23
4.2. MALZEMELERİN KAYNAK İŞLEMİNE HAZIRLANMASI VE BİRLEŞTİRİLMESİ 24
4.3. KAYNAK YÖNTEM SPESİSİFİKASYONLARI (WPS) 27
4.4. KAYNAKLI NUMUNELERİN TAHRİBATSIZ TESTLERİ 37
4.4.1. Gözle Muayene (VT) Testi 37
4.4.2. Sıvı Penetrant (PT) 37
4.4.3. Manyetik Parçacık Testi (RT) 38

Sayfa

4.5. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATLI TESTLERİ 39
4.5.1. Mikroyapı İncelemeleri 39
4.5.2. Sertlik Testi 40
4.5.3. Çekme Testi 41
4.5.4. Eğme Testi 42
4.5.5. Çentik Darbe Testi 43

BÖLÜM 5 45
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA 45
5.1. KAYNAKLI NUMUNELERE UYGULANAN TAHRİBATSIZ TESTLER 45
5.1.1. Gözle Muayene (VT) Testi 45
5.1.2. Sıvı Penetrant Testi (PT) 52
5.1.3. Manyetik Parçacık Testi (MT) 61
5.2. KAYNAKLI NUMUNELERE UYGULANAN TAHRİBATLI TESTLER 69
5.2.1. Mikroyapı İncelemeleri 69
5.2.2. Sertlik Testi 76
5.2.3. Çekme Testi 79
5.2.4. Eğme Testi 84
5.2.5. Çentik Darbe Testi 88

BÖLÜM 6 91
SONUÇLAR 91
KAYNAKLAR 93

ÖZGEÇMİŞ 97

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çekirdek teorik formu ve çekirdek formu 8
Şekil 2.2. Tek fazlı transformatör çekirdekleri 8
Şekil 2.3. Üç fazlı transformatör çekirdekleri 9
Şekil 2.4. Transformatör bağlantı grupları 9
Şekil 2.5. Transformatör üretim aşamaları 13
Şekil 2.6. Transformatör kazan duvar üretimi görüntüsü. 14
Şekil 3.1. MIG-MAG kaynağı prensibi 19
Şekil 3.2. MIG-MAG kaynağı teçhizatı şeması. 20
Şekil 4.1. Levhara açılan kaynak ağzı detayı. 24
Şekil 4.2. Puntalanmış numune görüntüsü. 25
Şekil 4.3. Kaynak pasoları düzenlemesi şematik görüntüsü 25
Şekil 4.4. Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak makinesi görüntüsü 27
Şekil 4.5. S235-S235 1 numaralı kaynak akımına ait WPS. 28
Şekil 4.6. S235-S235 2 numaralı kaynak akımına ait WPS 29
Şekil 4.7. S235-S235 3 numaralı kaynak akımına ait WPS. 30
Şekil 4.8. S235-S355 1 numaralı kaynak akımına ait WPS. 31
Şekil 4.9. S235-S355 2 numaralı kaynak akımına ait WPS. 32
Şekil 4.10. S235-S355 3 numaralı kaynak akımına ait WPS. 33
Şekil 4.11. S355-S355 1 numaralı kaynak akımına ait WPS. 34
Şekil 4.12. S355-S355 2 numaralı kaynak akımına ait WPS. 35
Şekil 4.13. S355-S355 3 numaralı kaynak akımına ait WPS. 36
Şekil 4.14. Sıvı penetrant muayene yönteminde kullanılan ürünlerin görseli. 38
Şekil 4.15. Manyetik parçacık testinde kullanılan cihaz ve manyetik toz görseli 38
Şekil 4.16. Zımparalama ve parlatma işlemlerinde kullanılan cihaz görseli. 39
Şekil 4.17. Mikroyapı işlemlerinde kullanılan mikroskop 40
Şekil 4.18. Sertlik ölçümlerinde kullanılan cihaz görüntüsü. 40
Şekil 4.19. Çekme testlerinde kullanılan numune şematik resmi. 41

Sayfa

Şekil 4.20. Çekme testlerinde kullanılan cihaz görüntüsü. 41
Şekil 4.21. Eğme testi numuneleri görseli. 42
Şekil 4.22. Çentik darbe test numuneleri görseli. 44
Şekil 5.1. S235-S235 1 nolu kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş levha görüntüsü. 46
Şekil 5.2. S355-S355 1 nolu kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş levha görüntüsü 47
Şekil 5.3. S235-S235 2 nolu kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş levha görüntüsü ……48
Şekil 5.4. S355-S355 2 nolu kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş levha görüntüsü ……49
Şekil 5.5. S235-S235 3 nolu kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş levha görüntüsü ……50
Şekil 5.6. S355-S355 3 nolu kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş levha görüntüsü ……51
Şekil 5.7. S235-S235 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü. 52
Şekil 5.8. S235-S235 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü. 53
Şekil 5.9. S235-S235 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü. 53
Şekil 5.10. S235-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü. 53
Şekil 5.11. S235-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü. 54
Şekil 5.12. S235-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü. 54
Şekil 5.13. S355-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü. 54
Şekil 5.14. S355-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü. 55
Şekil 5.15. S355-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü. 55
Şekil 5.16. S235-S235 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu..... 56
Şekil 5.17. S235-S235 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu..... 56
Şekil 5.18. S235-S235 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu..... 57
Şekil 5.19. S235-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu..... 57
Şekil 5.20. S235-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu..... 58
Şekil 5.21. S235-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu..... 58
Şekil 5.22. S355-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu..... 59
Şekil 5.23. S355-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu..... 59

Sayfa

Şekil 5.24. S355-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu..... 60
Şekil 5.25. S235-S235 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü …….61
Şekil 5.26. S235-S235 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü …….61
Şekil 5.27. S235-S235 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü …….62
Şekil 5.28. S235-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü …….62
Şekil 5.29. S235-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü …….62
Şekil 5.30. S235-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü …….63
Şekil 5.31. S355-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü …….63
Şekil 5.32. S355-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü …….63
Şekil 5.33. S355-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü …….64
Şekil 5.34. S235-S235 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu. 64
Şekil 5.35. S235-S235 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu. 65
Şekil 5.36. S235-S235 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu. 65
Şekil 5.37. S235-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu. 66
Şekil 5.38. S235-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu. 66
Şekil 5.39. S235-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu. 67
Şekil 5.40. S355-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu. 67
Şekil 5.41. S355-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu. 68
Şekil 5.42. S355-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu. 68
Şekil 5.43. Ana malzemelerin mikroyapı görüntüleri. 69
Şekil 5.44. S235-S235 1. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü …….70
Şekil 5.45. S235-S235 2. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü …….71

Sayfa

Şekil 5.46. S235-S235 3. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü …….71
Şekil 5.47. S235-S355 1. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü …….72
Şekil 5.48. S235-S355 2. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü …….72
Şekil 5.49. S235-S355 3. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü …….73
Şekil 5.50. S355-S355 1. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü …….73
Şekil 5.51. S355-S355 2. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü …….74
Şekil 5.52. S355-S355 3. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü …….74
Şekil 5.53. S235-S235 kaynaklı numunelerin sertlik testi grafiği. 76
Şekil 5.54. S235-S355 kaynaklı numunelerin sertlik testi grafiği. 77
Şekil 5.55. S355-S355 kaynaklı numunelerin sertlik testi grafiği. 77
Şekil 5.56. S235-S235 kaynaklı numunelere ait çekme testi grafiği. 79
Şekil 5.57. S235-S355 kaynaklı numunelere ait çekme testi grafiği. 80
Şekil 5.58. S355-S355 kaynaklı numunelere ait çekme testi grafiği. 80
Şekil 5.59. Çekme testleri sonrası kopma görüntüleri. 81
Şekil 5.60. S235-S235 kaynaklı numunelerin eğme testi sonrası görüntüleri. 85
Şekil 5.61. S235-S355 kaynaklı numunelerin eğme testi sonrası görüntüleri. 86
Şekil 5.62. S355-S355 kaynaklı numunelerin eğme testi sonrası görüntüleri. 87
Şekil 5.63. Kaynaklı numunelerin darbe tokluğu grafiği. 88
Şekil 5.64. Kaynaklı numunelerin çentik darbe testi sonrası görüntüsü. 89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. S235JR ve S355J2 çelik levhaların kimyasal bileşimi. 23

Çizelge 4.2. S235JR ve S355J2 çelik levhaların mekanik özellikleri. 24

Çizelge 4.3. İlave telin kimyasal bileşimi. 24

Çizelge 4.4. İlave telin mekanik özellikleri. 24

Çizelge 4.5. 1 numaralı kaynak akımı işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri. 26

Çizelge 4.6. 2 numaralı kaynak akımı işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri. 26

Çizelge 4.7. 3 numaralı kaynak akımı işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri. 26

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C : Karbon

CO_2 : Karbondioksit

Cr : Krom

Cu : Bakır

Fe : Demir

Ni : Nikel

Mn : Mangan

Mo : Molibden

P : Fosfor

S : Kükürt

Si : Silisyum

KISALTMALAR

AC : Alternatif Akım
AG : Alçak Gerilim
ASTM : Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu
DC : Doğru Akım
DIN : Alman Standardı
EIC : Uluslararası Elektroteknik Komitesi
EN : Avrupa Standardı
GMAW : Gaz Metal Ark Kaynağı
ISO : Uluslararası Standart Organizasyonu
ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
MAG : Metal Aktif Gaz
MIG : Metal Inert Gaz
MT : Manyetik Parçacık Testi
NDT : Tahribatsız Muayene Yöntemi
SP : Sıvı Penetrant Testi
TIG : Tungsten Inert Gaz
TS : Türk Standardı
VT : Gözle Muayene Testi
WPS : Kaynak Yöntem Şartnamesi
YG : Yüksek Gerilim

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde trafolar, yağlı transformatörler ve kuru transformatörler olmak üzere iki farklı türde üretilmektedir. Yağlı tip transformatörlerin kazanları tabaka saç ve takviyelerden oluşur. Yağ doldurma işleminde uygulanan vakuma ve transport esnasında oluşan mekanik kuvvetlerle işletmede oluşacak hidrostatik ve hidrodinamik zorlanmalara dayanacak şekilde dizayn edilirler. Taban, yan duvarlar ve takviyelerin birleştirilmesi yağ sızdırmayacak şekilde kaynak yapılırlar. Kapak ve kazan birleştirilmeleri ise cıvatalı sistemler ile veya kaynaklı olabilmektedir (Astor Enerji, 2009). Güç trafoları kazan imalatında genellikle MIG-MAG kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada da kullanılan S235 ve S355 yapı çelikleri MAG kaynağı ile birleştirilmiştir.

Günümüzde kaynak teknolojisi, önemli oranda yaygınlaşmış, bir veya daha fazla kaynak yöntemini herhangi bir atelye, fabrika, şantiyede vs. görebilmekteyiz. MIG-MAG kaynak yöntemi de ergitmeli kaynak yöntemlerinden en çok tercih edilen kaynak yöntemidir (Anık ve Vural, 1996). MIG-MAG kaynak yöntemi, maliyeti ucuzlatmış, süresini azaltmış ve kaynak kalitesine kaynakçı etkisini de minimize etmiştir. Ek olarak bu kaynak yöntemi yarı otomatik veya otomatik kaynak yöntemleri olarak isimlendirilen modern kaynak yöntemlerindendir. Gelişmiş ülkelerde sıklıkla tercih edilen MAG kaynak yöntemi (yarı otomatik) son zamanlarda ülkemizde de yaygınlaşmaktadır (Ören, 2002, Güner, 2007).

Bu çalışmada; güç trafoları kazan üretimine genellikle tercih edilen S235 ve S355 yapı çelikleri birbirleri ile ve kendi aralarında (S235-S235, S235-S355 ve S355-S355) MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirmelerin kaynak bölgesi, tahribatsız (gözle (VT), sıvı penetrant (SP) ve manyetik parçacık (MT) testleri) ve

tahribatlı (mikroyapı, mikrosertlik incelemeleri, çekme, eğme ve çentik darbe deneyleri) testlerle incelenmiştir.

BÖLÜM 2

GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİ

2.1. TRANSFORMATÖR TARİHİ

Trafo, Faraday kanunun (1831) uygulanmasıdır. Bu kanuna göre, demir bir nüveye sarılan iki ayrı sargıdan oluşan testte, bir sargıya doğru akım uygulanmış ve uygulanan bu doğru akımın kesilmesinden sonra diğer sargıda bir darbe geriliminin meydana geldiği belirlenmiştir. Bu keşfin ardından transformatörler araştırılmış ve 1400 VA, 120/72 Volt, 40 Hz'lik ilk transformatör M. Derry ve K. Zipernovsky tarafından 1884'te üretilmiştir. 3 fazlı trafo ise 1890'da üretilmiştir. Günümüzde trafolar yağlı transformatör ve kuru transformatör olarak iki ana grupta üretilmektedir. 1000 Kv-1250 MVA'ya kadar yağlı tip, 36 kV-24 MVA'ya kadar da kuru tip transformatörler üretilebilmektedir.

Trafo üzerinde araştırmalar halen devam etmektedir. Elektrik enerjisi üretiminde kimyasal enerji de kullanılabilmektedir. Günümüzde genellikle halen trafo elektrik enerjisi üretiminde tercih edilmektedir. Gelecekte ise yarı iletken teknolojisindeki gelişmelerle, bu teknoloji transformatörlerin yerini alabilir. Fakat elektronik cihazların yüksek güçlerde kullanılma olanağı bulunmadığından, yakın gelecekte bunun da gerçekleşmesi beklenmemektedir. Bu durumda gerilim değişiminde transformatörler halen tek seçenektir. Transformatörler elektrik enerjisini iletiminde, dağıtımında ve kullanılmasında çok önemli görevler yapmaktadırlar (Astor Enerji, 2009).

2.2. GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİ GENEL BİLGİLERİ

Kullanım amaçlarına göre güç transformatörleri genel olarak beş ana grupta toplanabilir.

- Şönt reaktörler,
- Özel transformatörler,
- Generatör transformatörleri,
- Endüstri transformatörleri,
- Şebeke transformatörleri.

2.3. TRANSFORMATÖR TİPLERİ

2.3.1. Generatör Transformatörleri

Yükseltici olarak görev yapan bu transformatörler, üçgen bağlantılı alçak gerilim (A.G.) sargısı ile, genellikle 10,5-36 kV arası gerilimlerdeki generatörler tarafından beslenerek, yıldız bağlantılı yüksek gerilim (Y.G.) sargıları ile iletim hatlarına bağlanırlar. Bu transformatörlerin dizaynlarında aşırı ikaz ve aşırı yüklenme şartlarına dikkat etmek gerekir. Generatör uyarmasına bağlı iniş-çıkışlar ve Y.G. nakil hatlarına bağlama veya ayrılma anlarında oluşan aşırı gerilimlerin transformatör çekirdeği üzerindeki etkileri göz önüne alınmalıdır. Ayrıca değişik çevre sıcaklıklarında meydana gelebilecek kısa/uzun süreli aşırı yüklenmelere bağlı olarak sargı ısınmalarının mümkün olduğunca düşük tutulması, soğutma ünitelerinin bu şartlarda çalışmayı sağlayacak kapasiteye sahip olmaları gerekmektedir.

2.3.2. Şebeke Transformatörleri

İki sargılı, üç sargılı veya oto transformatör şeklindeki bu transformatörler indirici olarak görev yaparlar. A.G. tarafında kullanıcıya sabit bir gerilim verebilmek amacı ile Y.G. tarafındaki sargılara boşta veya yük altında çalışan kademe değiştiriciler bağlanır. Genel olarak 3 fazlı olan şebeke transformatörleri tek faz olarak da üretilerek 3 adet tek faz birleşimi ile bank teşkil edebilirler. Bu transformatörlerin dizayn kriterlerini çevre sıcaklıkları, aşırı yük istekleri belirlemektedir (Astor Enerji, 2009).

2.3.3. Endüstri Transformatörleri

Sanayide düşürücü olarak çalışan transformatörlerdir. Ağır çalışma şartlarında çok sık kısa devreye maruz kaldıklarından, tasarımlarında özel tedbirler alınmasını gerektirir. Kapasitif ve endüktif yüklere dayanmalı, aşırı gerilim altında çalışmaya uygun olmalıdırlar. Bu sebeplerden dolayı izolasyon seviyeleri gerekenin üzerinde, düşük endüksiyon ve düşük kayıplı transformatörler tercih edilmelidir.

2.3.4. Özel Transformatörler

2.3.4.1. Fırın transformatörleri

Düşük gerilimli, yüksek akımlı bu transformatörler demir-çelik endüstrilerinde, hurda demirin potalı ocaklarda eritilmesine hizmet ederler. Potada hurda eritilmesi esnasında kısa devreler, aşırı gerilimler ve titreşimler oluştuğu için, fırın transformatörlerinde gerekli elektriksel önlemlerin yanı sıra yüksek mekanik mukavemet önlemleri de alınmış olmalıdır. Sekonder tarafında talep edilen düşük gerilimleri temin edebilmek amacı ile primer sargıda kademe şalteri ile ayar yapılır. Çok geniş ayar taleplerinde oto transformatör veya yardımcı transformatör (Booster) çözümleri kullanılabilir. Y.G. tarafına hat bağlantısı izolatörler ile sağlanmakta, A.G. tarafında ise bakır baralı veya içinden su geçirilerek soğutulan bakır borulu sistemler kullanılmaktadır. Transformatör yağının soğutulmasında ise genel olarak yağ/su soğutucuları (ısı eşanjörleri) kullanılmaktadır.

2.3.4.2. Fırın reaktörleri

Fırın transformatörlerinin primer devresine seri olarak bağlanan bu reaktörlerin görevi, titreşimlerin azaltılması için sistem reaktansını yükselterek stabil bir çalışma ortamı sağlamaktır. Yük altında veya boşta çalışan kademe değiştiriciler vasıtası ile %0-100 arası reaktans ayarı yapılabilir. Özel çalışma şartları, sağlam bir dizayn ve yüksek bir mekanik dayanım gerektirir (Astor Enerji, 2009).

2.3.4.3. Akım doğrultucu transformatörler

Doğru akımla çalışan motor kontrol ünitelerinde, kimya tesislerinde, demiryolu sistemlerinde kullanılan transformatörlerdir. D.C. akım pals sayısına bağlı olarak aktif kısım sayıları ve çekirdek yapıları farklılıklar göstermektedir. Kullanım özelliğine bağlı olarak köprü montajlı veya yıldız noktası reaktörlü tipleri bulunan akım doğrultucular 6, 12, 24 vs. palslı sistemlerde çalışmaktadırlar.

2.3.4.4. Faz ayar transformatörleri

Birbirlerine birçok noktadan bağlı şebeke sistemlerinde, enerji akış yönünün kontrol altında tutulması gerekmektedir. Klasik ayarlı transformatörler bu noktada yetersiz kalacağından dolayı faz açıları ayarlı transformatörler kullanılır. Dizayn kriterleri çalışacakları şebeke şartlarına uyum sağlamalarını gerektirdiğinden çok değişkenlik gösterir. Tek aktif kısımlı olabilecekleri gibi çok aktif kısımlı, booster ya da oto transformatörlü de olabilirler. Güçleri genellikle çok büyük olduğundan hacimleri ve ağırlıkları da yüksektir, dolayısı ile üretim kapasiteleri göz önüne alınmalıdır.

2.3.5. Şönt Reaktörler

Şönt reaktörlerin ana görevi, az yüklü enerji iletim hatlarının kapasitif yüklerini kompanze etmek ve anahtarlama esnasında ve yük düşüşlerinde oluşan aşırı gerilimleri azaltmaktır. Bacaklarda dikey dizili saç paketler arasına yerleştirilmiş porselen silindirlerle hava aralıklı çekirdek gibi özel dizayn ve malzemeler gerektiren şönt reaktörlerin gücünü ayarlamak için yükte kademe şalterleri kullanılmaktadır (Astor Enerji, 2009).

2.4. TRANSFORMATÖRÜN YAPISI

Transformatörler genel olarak aşağıdaki ana elemanlardan oluşmaktadır.

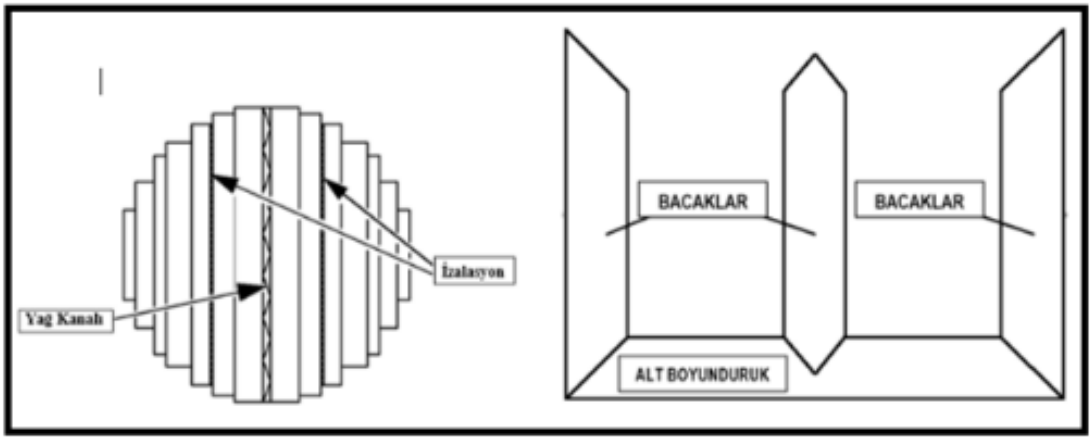
- Çekirdek,
- Sargılar,

- Gerilim ayar değiştiricileri,
- Terminaller,
- Kazan, kapak ve genleşme depose,
- Transformatör yağı,
- Soğutma ünitesi,
- Donanım ve koruma cihazları.

2.4.1. Çekirdek

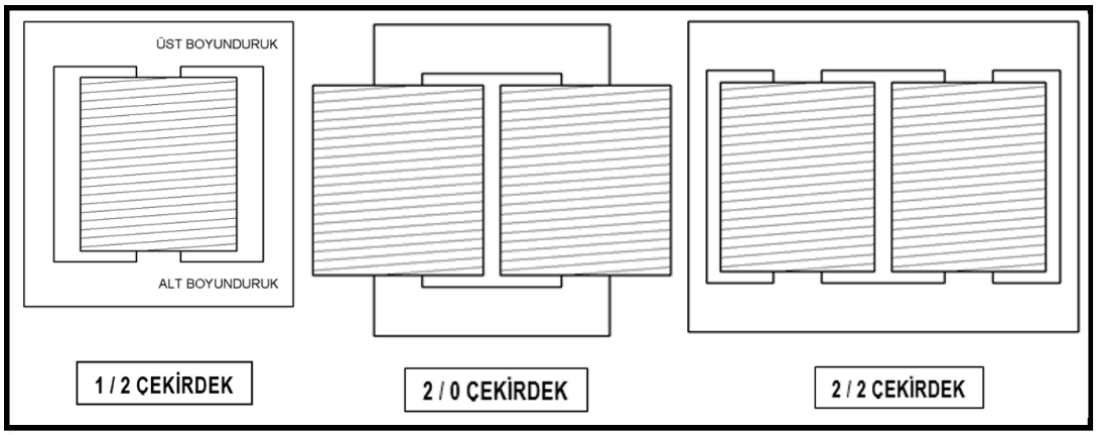
Çekirdek, trafonun manyetik devresini oluşturmaktadır. Soğuk haddeli, kristalleri yönlü, genellikle 0,3mm kalınlığında silisli M5 saçlardan meydana gelir. Lazerli ve 0,23-0,27mm kalınlığında HI-BI saclar düşük boşta kayba sahip trafolarda tercih edilmektedir. Çekirdekte kullanılan sacları seçerken akım, boşta kaybı ve gürültü düzeyine dikkat edilir. Bu saclar rulo olarak alınır ve CNC tezgahlarında kesilir. Sonrasında ise trafonun bacak ve boyunduruk boyutlarına göre diğer bir tezgahta kesilerek üretilir.

Çekirdek teorik şekli dairedir. Çap genişliğine göre farklı genişlikteki saclar, tabaka kalınlığına göre dizilerek Şekil 2.1'deki formu meydana getirilir. Çekirdekteki aşırı ısınmayı engellemek için tabakalar arasına çıtalarla yağ kanalı açılır. Ayrıca fuko akımı etkisini azaltmak için izolasyon kağıdı da kullanılır. Mekanik olarak mukavet için çekirdekler, alt ve üst boyundurukları pres demirleriyle desteklenir, çelik/fiberglas bandajlarla sabitlenir. Farklı boyutlarda kesilen saclar, dizme tezgahlarında Şekil 2.1'deki şekil meydana getirilir, çelik/fiberglas bandajlarla sabitlenerek "Ш" şekli oluşturulur. Bu şekilde üretilen çekirdek üzerine yapılan bobin montajından sonra, açık olan üst tarafa üst boyunduruk sacı dizilir ve manyetik devre tamamlanır (Astor Enerji, 2009).

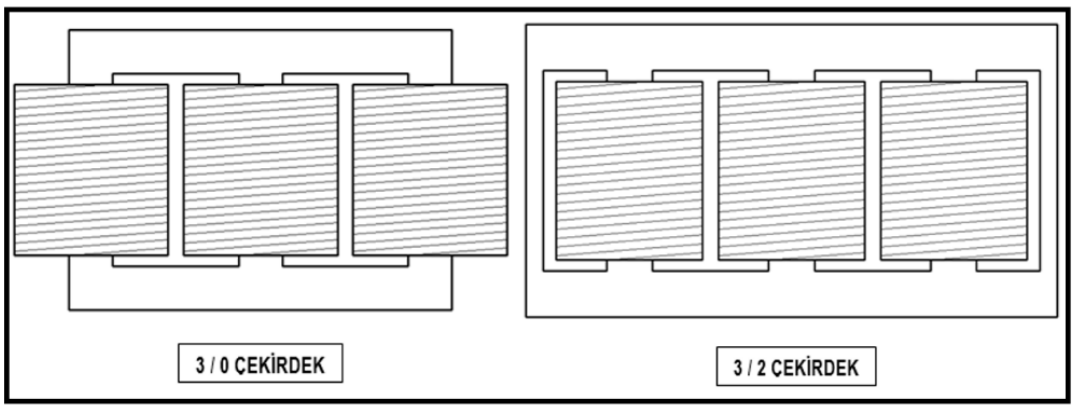


Şekil 2.1. Çekirdek teorik formu ve çekirdek formu.

Tek ve üç fazlı trafolarda farklı çeşitlerde çekirdek formları vardır. Tek fazlı 1/2, 2/2 (Şekil 2.2) ve üç fazlı 3/2 (Şekil 2.3) trafolarda geri dönüş bacaklı çekirdeklerin ana kullanım amacı, nakledilirken yüksekliğin uygun boyutlarda sınırlandırılmasıdır. Bu tip trafolarda alt ve üst boyunduruklarda geri dönüş bacakları sac genişliği, sargılı bacağın yarısı kadar olduğu için çekirdek yüksekliği diğer şekillere göre daha düşüktür.



Şekil 2.2. Tek fazlı transformatör çekirdekleri.

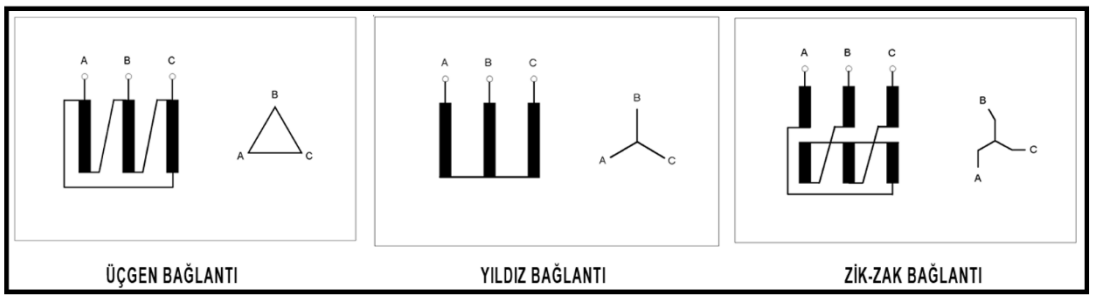


Şekil 2.3. Üç fazlı transformatör çekirdekleri.

2.4.2. Sargılar

Transformatörler sabit bir frekansta giriş gerilimini (primer gerilim) değiştirerek yeni bir değerde çıkış gerilimi (sekonder gerilim) sağlayan statik elektrik makineleridir. İşletme açısından primer geriliminin değer olarak yüksek veya alçak gerilim olması önemli değildir. Transformatörü besleyen (güç kaynağı) taraf primer, çıkış tarafı ise sekonder olarak tanımlanır. Bu gerilimleri sağlamak için kullanılan sargıların anma gerilimi küçük olanı alçak gerilim (A.G.), anma gerilimi büyük olanı yüksek gerilim (Y.G.) sargıları olarak tanımlanır.

Transformatörün bağlantı grubuna uygun olarak sargılar, üçgen, yıldız ve zik-zak bağlanabilir. Uluslararası Elektroteknik Komitesi (IEC), bir sargının bağlantısını harfler ile tanımlamıştır. Yüksek gerilim sargıları Büyük harfler ile, alçak gerilim sargıları ise Küçük harfler ile gösterilir. Örneğin D, d-Üçgen, Y, y -Yıldız, Z, z-Zik-zak bağlantıyı gösterir. Sargılar Üçgen, Yıldız veya Zik-zak bağlanarak çeşitli bağlantı grupları oluşturulur (Şekil 2.4) (Astor Enerji, 2009).



Şekil 2.4. Transformatör bağlantı grupları.

2.4.3. Gerilim Değiştiriciler

Transformatörlerin çıkış gerilimlerinin mümkün olduğunca sabit değerlerde sağlanması kullanıcılar için oldukça önemlidir. İletim hatlarında yüke de bağlı olarak oluşan gerilim dalgalanmalarının meydana getirdiği çevirme oranı değişikliklerini kompanze edebilmek amacı ile sabit bir sarım sayısına sahip ana sargılara sarım ilavesi veya eksiltmesi (ayar sargıları) yapılır. Bu sarımların devreye alınmasını sağlayan cihazlar "kademe şalteri" olarak tanımlanırlar. Transformatör kazanı içine montajlı veya ayrı bir kazanda ve transformatör kazanına montajlı olabilen bu cihazların çalışma sistemine bağlı olarak iki tipi mevcuttur.

2.4.3.1. Boşta kademe değiştiriciler (komitatörler)

Gerilim değişimlerinin fazla rastlanmadığı sistem ve işletmelerde tercih edilirler. Kademe değiştirileceği zaman transformatörün enerjisi kesilir. Çevirme mekanizması vasıtası ile istenilen konuma getirilir ve bundan sonra transformatöre tekrar enerji verilir.

2.4.3.2. Yükte kademe değiştiriciler

Sık-sık gerilim değişimi gerektiren şebeke veya işletme koşullarında kullanılan ve transformatör yük altında çalışırken otomatik olarak gerilim ayarını yapabilen cihazlardır. Kazan içine dikey olarak konulan, kapalı silindirik bir hazne içindeki ana mekanizmanın alt kısmına yerleştirilmiş kontak uçlarından aktif kısımdaki ayar sargısı uçlarına bakır iletkenlerle bağlantı yapılır. Ana mekanizmadan kazan dışına çıkarılan mil vasıtası ile kazana monte edilmiş ve gerilim ayarlaması için gereken müdahalenin yapıldığı kumanda dolabına bağlanır.

2.4.4. Terminaller

Transformatörlerin sargı uçlarının kazan dışına çıkartılması kapak üzerine yerleştirilen buşingler vasıtası ile yapılır. Buşingler bakır çıkış iletkeni ve porselen izolatörlerden oluşurlar. 45 kV ve altındaki gerilim seviyeleri için genel olarak saplama bakır

geçirilmiş DIN tipi olarak tanımlanmış izolatörler kullanılır. 45 kV'un üzerindeki gerilimlerde kondansatör tipi buşingler kullanılmaktadır. İçten dışa doğru metal boru üzerine kağıt izolasyon sarılan ve bu şekilde üst-üste geçirilerek meydana getirilen silindirik kondansatörler sayesinde, ortadan geçen iletkenle porselen izolatör arasında homojen bir gerilim dağılımı sağlanmış olur. Kondenser buşingler iletim hattının sistemine bağlı olarak yağ/hava, yağ/yağ ve yağ/SF6 tiplerinde olabilirler.

2.4.5. Kazan, Kapak ve Genleşme Deposu

Yağlı tip transformatörlerin kazanları tabaka saç ve takviyelerden oluşur. Yağ doldurma işleminde uygulanan vakuma ve transport esnasında oluşan mekanik kuvvetlerle işletmede oluşacak hidrostatik ve hidrodinamik zorlanmalara dayanacak şekilde dizayn edilirler. Taban, yan duvarlar ve takviyelerin birleştirilmesi yağ sızdırmayacak şekilde kaynak yapılırlar. Kapak ve kazan birleştirilmeleri ise cıvatalı sistemler ile veya kaynaklı olabilmektedir. Kazan ve kapak yüzeyleri kumlama, astarlama işlemlerinden sonra özel boyalarla kullanım yerindeki çevre şartlarına uygun olacak kalınlıklarda boyanırlar. Kazan-kapak birleştirmelerinde ve çeşitli flanş v.b. kısımlarda yağ sızdırmazlığını sağlamak için özel contalar kullanılır. Kazan üzerinde yağ doldurma, boşaltma, numune alma vanaları, radyatör bağlantıları için kelebek vanalar, diğer soğutucu tipleri için yağ bağlantı vanaları ile şalter kumanda, soğutucu kumanda dolapları, sıcaklık termometreleri gibi çeşitli ölçme ve koruma cihazları bulunmaktadır.

Çevre ve çalışma şartlarının değiştirdiği ısı sonucu yağ hacmindeki değişiklikleri kompanze etmek Genleşme deposunun görevidir. Kapakla genleşme deposu arasındaki bir boru düzeneği sayesinde transformatör yağı, Kazandan genleşme deposuna veya genleşme deposundan kazana dolaşır. Yağ hacminin azalması veya artmasına bağlı olarak, slikajel dolu nem alıcı üzerinden genleşme deposu içine hava girer veya çıkar. Bu hava hareketi sonucu çevrede kir, kimyasal madde v.b. depo içine girip yağla temas edebilir ve bu da yağ ömrünü azaltır. Bu durumun önlenmesi için lastik balonlar kullanılabilir (Astor Enerji, 2009).

2.4.6. Transformatör Yağları

Transformatörlerde IEC standartlarına uygun olan mineral esaslı yağlar kullanılır. Özel istek üzerine Silikon, Midel7131 veya bitkisel yağlar da kullanılır. Transformatör yağı, sargılarda oluşan ısıyı atmosfere atmak ve aynı zamanda potansiyel farkının olduğu noktalarda elektriksel izolasyonu sağlamak amacıyla kullanılır. Transformatör yağı içerisinde nem bulunmamasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde yağın dielektrik dayanımı azalacak ve aralarında potansiyel farkı bulunan iki iletken arasında kısmi deşarj veya atlama olayı oluşacaktır. Ayrıca yağın içerisindeki nem, ısının artmasıyla birlikte izolasyon malzemelerinin içine yerleşerek, izolasyon malzemelerinin ömrünü azaltır. Bu yüzden transformatör yağı içindeki nem ve yabancı maddeler, özel bir prosedür ile alınır. Bu prosedüre yağ tretmanı adı verilir. Yağın içerisindeki nem, yağın ısıtılması ve akabinde vakum altında bulunan bir hazneye doldurulması ile alınır. Isınan yağ, içindeki nemi bırakma özelliğindedir. Vakum ile bu nem atmosfere atılarak yağ 5 mikrometrelik bir filitreden geçirilerek transformatöre doldurulur. İdeal bir transformatör yağının 60 kV değerinde bir delinme dayanımına sahip olması beklenir. Transformatörün gerilim seviyesi yükselir ise bu değerin daha yüksek olması gerekmektedir.

2.4.7. Soğutma Ünitesi

Transformatörlerin işletme esnasında sargılarda oluşan ısınmalar, kazan yağının radyatör, yağ/hava, yağ/su soğutucuları gibi ekipmanlar vasıtası ile soğutulup tekrar kazana verilmesi ile izolasyon ve yağ değerlerini bozmayacak seviyelerde tutarlar.

2.4.8. Donanım ve Koruma Cihazları

İşletme anında transformatörlerde çeşitli sebeplerden dolayı oluşacak arızaların izlenmesini ve transformatörün bu olumsuzluklardan etkilenmemesini sağlayan cihazlar koruyucu cihazlar olarak adlandırılır. Bu cihazlardan bazıları alarm, bazıları trip, bazıları ise hem alarm hem trip özellikleri ile donatılmışlardır. Bu cihazların sağladığı sinyaller kontrol odasına gönderilerek görevlileri uyarırlar ve bazıları ise

otomatik olarak kesicilere bu sinyalleri aktararak transformatörün enerjisini keserler. Şekil 2.5'te transformatör üretim aşamaları verilmiştir (Astor Enerji, 2009).



Şekil 2.5. Transformatör üretim aşamaları.

Şekil 2.6'de ise MAG kaynak yöntemi ile üretilen transformatör kazan duvar görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.6. Transformatör kazan duvar üretimi görüntüsü.

BÖLÜM 3

YAPI ÇELİKLERİ

Avrupa ve İngiltere'de 1980 ve 1990 yıllarında çelik yapı, kompozit kiriş ve döşeme imalatında yapı çelikleri oldukça çok tercih edilmiştir. Ülkemizde ise 1999'da gerçekleşen Marmara depremi ardından inşaat sektöründe bir yapı malzemesi olarak adı daha çok duyulur olmuştur (Şık, 2007).

Yapı çelikleri genellikle, köprü, demiryolu, endüstriyel bina, gemi üretimi, dalgakıran, kablo direği, petrol ve offshore yapılar, ticari yapı, sosyal tesis, çatı katı vb. üretiminde kullanılmaktadır (Şık, 2006, Kaya, 2018).

3.1. YAPI ÇELİKLERİ GENEL ÖZELLİKLERİ

Yapı çelikleri genellikle çekme mukavemetlerine göre belli gruplara ayrılmıştır. Öncelikle çekme mukavemetine göre ayrılan yapı çelikleri, akma sınırının da önem arz ettiği köprü, çelik konstrüksiyon, basınçlı kap, taşıt imalatı ve makine yapımında kullanılır.

Yapı çelikleri genelde alaşımsız çelikler olarak bilinir. Mekanik özellikleri daha çok karbon oranına bağlı olarak değişmektedir. En başta azot ve fosfor elementleri de yapı çeliklerinin özellikleri için önem arz etmektedir. Ayrıca üretim şekillerinden dolayı Mn, Si, Cu ve S elementleri de yapı çelikleri için önemli elementlerdir (Najafi v.d. 2019, Kocamanoğlu, 2022).

Ülke ekonomilerinin genel göstergesi olarak demir çelik talebi referans alınır. Bir ülkenin altyapısına harcadığı yatırım, konut yatırımları ve inşaat sektörünün gelişmişlik düzeyi ülkenin ekonomisiyle doğrudan bağlantılıdır. Tüm dünya geneli referans alınacak olursa üretilen çelikler arasında en ciddi pazar payına sahip olan

çelikler yapı çelikleridir. Yapı çelikleri başka çelikler ile mukayese edildiğinde gerek fiyat gerek bulunabilirlik yüzdesi olarak çok daha avantajlı konumdadır. Genel çelik piyasasında bulunan ve kullanılan çeliklerin yaklaşık %75 ini yapı çelikleri oluşturur (Kocamanoğlu, 2022).

3.2. YAPI ÇELİKLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Yapı çelikleri kalitelerine göre sınıflandırılırlar. Yapı çeliklerinin sınıflandırılmasında bazı yeni düzenlemeler yapılmıştır ve isimleri değişmiştir.

1. Kalite: bu grupta sadece St33 çeliği mevcuttur. Bu çelikte kimyasal içerik analizi olmaz, üretim metodu ve döküm şekli serbesttir. Bu kalitedeki çeliklerin ergitilmesi zordur.

2. Kalite: Bu gruptaki çelikler, maksimum %0,05 P ve %0,05 S ihtiva eder. Bu çeliklerin kaynak kabiliyetleri iyidir ve genelde kaynaklı birleştirme içeren konstrüksiyonlarda tercih edilirler. Belli miktarlarda Si ve Mn'de içerirler. Bu kalite grubunda olan Fe 37 çeliği kaynar döküme uygundur. Ayrıca sakin döküm ya da yarı sakin döküm yapılarak da dökülebilir. Bu kalite grubuna ait Fe 44, Fe 50, Fe 60 ve Fe 70 çelikleri kaynar döküme uygun değildir, mutlaka sakin veya yarı sakin dökülmelidir.

3. Kalite: Bu gruptaki çelikler ince taneli yapısına bağlı olarak yaşlanmaya oldukça dayanıklıdır. Bu kalite grubundaki çelikler genellikle sakin döküm yöntemi ile üretilir. İçeriklerinde bulunan P ve S element miktarları yaklaşık olarak %0,04 ile sınırlıdır. Bu çelikler üretim aşamasında genellikle alüminyum ile deoksidasyon işlemiyle beraber üretilirler.

Genel yapı çeliklerinin talaşlı imalatında, genellikle normal tavlama işlemine tabii tutulmuş veya soğuk şekillendirme ile şekillendirilmiş malzemeler tercih edilir. Genel yapı çeliklerine ekstra bir tavlama işlemi uygulanmasına gerek yoktur. Genellikle tavlama ve 600-650°C'de gerilim giderme tavlanmasıyla, bu çeliklerin sorunsuz

kullanımı için yeterlidir. Bunun dışında bir ısın işlem uygulamasına gerek yoktur (Kınıkoğlu, 2001, Kocamanoğlu, 2022).

3.3. YAPI ÇELİKLERİNİN ÜRETİMİ VE KAYNAKLANABİLİRLİĞİ

Yapı çelikleri, genellikle inşaat sektöründe, alaşımsız ve normalize edilmiş düşük karbonlu haddelenmiş levhalar dahil olmak üzere oldukça büyük ve çeşitli bir kullanım alanına sahiptir. Yapı çelikleri genelde mikro alaşımlama veya tane boyutunun kontrolü ve tane boyutu yönlendirmesiyle akma ve çekme mukavemetleri değiştirilerek ve düşük sıcaklıkta tokluk özellikleriyle üretilirler ve bu şekilde kullanıma sunulurlar. Yapı çeliklerinin en önemli imalat yöntemleri soğuk ve sıcak deformasyon, kaynaklı birleştirme, talaşlı imalat yöntemidir. Bu yöntemler arasından en önemlisi şüphesiz ki kaynaklı birleştirme yöntemidir. Yapı çelikleri düşük karbon içerikleri sayesinde çok iyi kaynak özelliklerine sahiptir. Yani kaynaklanabilirlikleri çok iyidir (Çalık, 2009, Kocamanoğlu, 2022).

Yapı çelikleri; köprü, demiryolu, endüstriyel bina, alt yapı projeleri, gemi üretimi, dalgakıran, kablo direği, petrol ve offshore yapılar, sosyal tesis, ticari yapı ve çatı katı vb. üretiminde kullanılmaktadır. Bu çeliklerin birleştirme işlemlerinde genellikle MIG-MAG kaynak yöntemi kullanılması ve kullanım oranının artmasıyla kullanılan koruyucu gaz veya gaz karışımlarının geliştirilmesi ve kaynaklı birleştirme üzerine etkilerinin incelenmesine dair araştırma ve geliştirmeler yapılmaktadır. Gaz karışımları, kaynaklı birleştirmenin özelliklerini iyileştirmesi, daha ekonomik ve hızlı birleştirmeler oluşturması bakımından da oldukça önemlidir (Şık, 2006). Günümüzde sanayisi gelişmiş ülkelerde çok tercih edilen yarı otomatik bir kaynak yöntemi olan MIG-MAG, ülkemizde de her geçen gün tercih edilirliğini arttırmaktadır. Üretimi gerçekleştirilen kaynak makinası ve tel elektrodlar bunu açık olarak ifade etmektedir. Bu yöntem diğer yöntemlerle kıyaslandığında bariz üstünlükleri vardır. Bunlar kaynak hızı, verim yüksekliği, yüksek ergime kapasitesi, emek gücü, malzeme ve kalitedeki artıştır (Şık, 2007).

Endüstride üstünlükleri sebebi ile MIG-MAG kaynak metodu çok tercih edilmektedir (Ünlü, 2011). Son yıllarda sanayileşmiş ülkelerde en çok tercih edilen yarı otomatik

bu kaynak yöntemi ülkemizde de her geçen gün kullanımı artmaktadır (Ören, 2002). Günümüzde ülkemizde yaygınlaşan MIG-MAG kaynak yöntemi; özlü tel, yüksek ergime hızı, bütün pozisyonlarda kaynak edilebilirlik gibi avantajları sayesinde birçok sektörde kullanılmaktadır (Fındık, 2008). Bu yönteme uygun olan özlü tel, iyi dikiş görünümü, iyi tokluk değeri ve düşük birleştirme hatası oluşumu sebepleri ile birçok endüstri alanında tercih edilmektedir. Zor pozisyonlarda bile kaynaklı birleştirmeye sağladığı ekonomik avantajlar sebebiyle çelik yapı ve gemi üretiminde kullanımı her geçen gün artmaktadır (Gülsöz, 2000, Çelik 2013).

3.3.1. MIG-MAG Kaynağı

Kaynak için gerekli ısı, devamlı beslenen ve ergiyen bir tel elektrod ile kaynak metali arasında elde edilen arkla ve elektrod üzerinden geçirilen akımının da elektrodda meydana getirdiği direncin ısıtmasıyla oluşturulur. Elektrod çıplak bir tel olup, elektrod besleme sistemiyle kaynak bölgesine ayarlanan sabit hızda iletilir. Çıplak elektrod, kaynak metali, ark ve esas metalin kaynak bölgesine bitişik bölgeleri, atmosferin olumsuz etkilerinden nozuldan iletilen uygun bir gaz/gaz karışımıyla korunur.

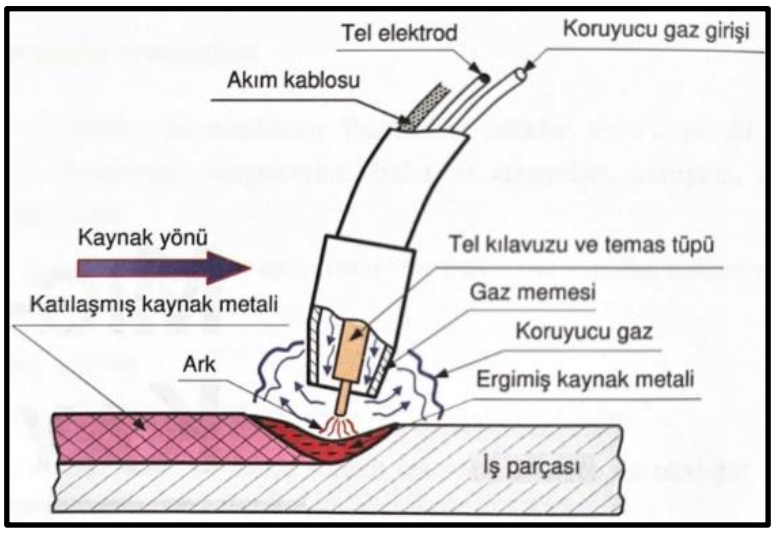
Ergiyen elektrot ve soygaz kullanılması sebebiyle metoda MIG (Metal Inert Gas) kaynağı denilir. Bu metotda düşük akım yoğunlu ve darbeli akım kullanma, farklı malzemelere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif bir gazın (CO_2) veya farklı gaz karışımlarının kullanılması gibi ilerlemeler elde edilmiştir. Bu ilerlemelerle, aktif koruyucu gaz kullanıldığında metoda MAG (Metal Active Gas) kaynağı denilmektedir. Bu isim farkı yalnız metodun ismini belirtirken problem çıkarmıştır ve bu sebeple farklı ülkeler metodu belirtirken farklı isimler kullanmaktadır. Bu metoda Amerika "GMAW-Gaz Metal Ark Kaynağı", İngiltere ve Almanya da "MIG/MAG Kaynağı" ismi verilmiştir. Ülkemizde ise, "Ergiyen Elektrodla Gazaltı veya MIG/MAG Kaynağı" isimleri ile anılmaktadır (Eryürek, 2003).

Torç kaynak makinasına, içinde tel elektrod kılavuzu, akım kablosu, koruyucu gaz hortumu ve soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını içeren metal spiral takviyeli ve kalın hortumla (torç bağlantı paketi) irtibatlanmıştır. Torç ve kablo grubunun üç görevi

vardır. Bir, koruyucu gazı ark bölgesine iletir. İki, elektrodu temas noktasına iletir. Üçüncü ve son görevi ise güç ünitesinden gelen akım kablosunu temas noktasına iletir. Kaynak torcu tetiğine basıldığında, önceden ayarlanmış debide koruyucu gaz akışı başlar, kısa bir süre sonra ark oluşur ve ark oluştuktan çok kısa bir süre sonra da tel sürme tertibatı devreye girer. Kaynağa son verilmesi halindeyse, bu sıralamanın tersi meydana gelir. Büyük güçlü makinalarda ayrıca, soğutma suyunun devreye giriş ve çıkışı da yine aynı kumanda tertibatı tarafından oluşturulmaktadır (Kahraman ve Gülenç, 2016).

3.3.1.1. Çalışma prensibi

Bu metodla dışarıdan sağlanan gaz ile korunan, otomatik olarak devamlı beslenen ve ergiyen elektrod kullanılmaktadır. Kaynak operatörünce ilk ayar yapılmasının ardından arkın elektriksel karakteristiği, iç ayar sistemi sayesinde otomatik olarak makina tarafından ayarlanır. Bu sebeple yarı otomatik kaynakta kaynak operatörünce sağlanan elle kontrol, kaynak hızı, doğrultusu ve torc pozisyonudur. Uygun donanım tercih edilip, uygun ayarlar yapıldığında ark boyu ve ark şiddeti kaynak makinasınca otomatik olarak sabitlenir (İnternet, 2011). Şekil 3.1'de kaynağın şematik görüntüsü verilmiştir (Kahraman ve Gülenç, 2016).



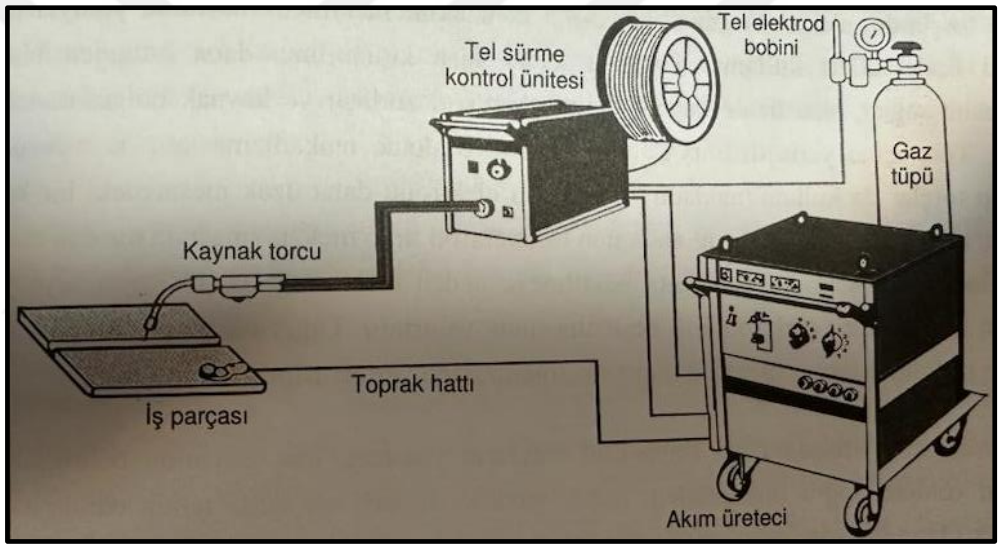
Şekil 3.1. MIG-MAG kaynağı prensibi.

3.3.1.2. Kaynak donanımı

Kaynak teçhizatı 4 gruptan oluşur,

a) Torc ve kablo seti
b) Akım üreteci
c) Tel sürme mekanizması
d) Koruyucu gaz sistemi

Şekil 3.2. MIG-MAG kaynağı teçhizatı şeması görülmektedir (Kahraman ve Gülenç, 2016).



Şekil 3.2. MIG-MAG kaynağı techizatı şeması.

3.3.1.3. Damla iletim mekanizmaları

MIG-MAG kaynağında metal damlalar elektrodtan iş parçasına dört temel iletim mekanizmasıyla geçer:

- Kısa devre
- İri damla
- Sprey
- Darbeli ark

3.3.1.4. Kaynak parametreleri

Kaynak nüfuziyeti, dikiş geometrisi ve kaynak kalitesini etkileyen kaynak parametreleri aşağıda verilmiştir:

- Kaynak akımı
- Ark gerilimi
- Kaynak hızı
- Serbest elektrod uzunluğu
- Elektrod açıları
- Kaynak pozisyonları
- Elektrod çapı

Kaliteli kaynak dikişi eldesi için bu parametrelerin etkilerini anlamak ve bu parametreleri kontrol etmek gerekir. Bu parametreler birbirinden bağımsız değildir. Birinin değiştirilmesi, istenen sonucun eldesi için diğerlerinin veya birkaçının değiştirilmesini gerektirir. Her bir uygulamada en uygun ayarları seçmek için, önemli ölçüde yetenek ve tecrübe gerekir. Kaynak parametrelerinin optimum değerleri aşağıdaki faktörler göz- önüne alınarak seçilir (Eryürek, 2003).

- Esas metalin tipi
- Elektrod bileşimi
- Kaynak pozisyonu
- Kaynaklı birleştirmenin kalitesiyle ilgili istekler

3.3.1.5. MIG-MAG kaynağının avantaj ve dezavantajları

Endüstriyel uygulamalarda sıklıkla tercih edilen MIG-MAG kaynak yönteminin üstünlükleri aşağıda verilmiştir.

- Yüksek erime hızı
- Derin nüfuziyet

- Bütün posizyonlarda kaynaklanabilmesi
- Aralıksız kaynak yapılması
- Demir esaslı/demir dışı metal ve alaşımlarının; uygun koruyucu gaz, elektrod ve kaynak parametrelerini seçerek kaynak yapılabilmesi
- Kolay uygulama
- Ekonomik bir yöntem olması
- Yarı otomatik olması
- Tam otomatiğe dönüşüm imkanı.

MIG-MAG kaynağının dezavantajları ise,

- MIG-MAG kaynak yöntemi ekipmanları, örtülü elektrod ark kaynak yöntemi ekipmanlarına göre daha karmaşık, pahalı ve taşınması zordur.
- MIG-MAG kaynak torcu iş parçasına yakın olması gerektiği için örtülü elektrod ark kaynak yöntemi dar alanlarda çalışmak zordur.
- Sertleşebilen çeliklerde MIG-MAG kaynak yöntemiyle yapılan birleştirmeler çatlamaya daha meyillidir. Çünkü örtülü elektrod ark kaynak yöntemindeki gibi kaynak metali soğuma hızını azaltan bir curuf katmanı yoktur.
- MIG-MAG kaynak yöntemi, koruyucu gazı kaynak bölgesinden uzaklaştırabilecek hava akımlarına karşı bir koruma tedbiri gerektirir. Bu sebeple, örtülü elektord ark kaynak yöntemine göre açık alanda kaynak yapmaya uygun değildir (Aran ve Temel, 2004).

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, güç trafoları kazan imalatında genellikle tercih edilen EN 10025-2 S235JR ve EN 10025-2 S355J2 çelikleri, S235-S235, S235-S355 ve S355-S355 grupları halinde üç farklı kaynak akımı kullanılarak, MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. MAG kaynak yönteminin farklı birleştirme grupları kaynak bölgesi üzerine etkileri tahribatsız ve tahribatlı muayene yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Kaynaklı numunelerin yüzey/yüzey altı kusurlarının belirlenmesi için tahribatsız testlerden gözle (VT), sıvı penetrant (PT) ve manyetik parçacık (MT) muayene yöntemleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlere ek olarak kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek için de tahribatlı testlerden mikrosertlik incelemeleri, çekme, eğme ve çentik darbe deneyleri uygulanmıştır. İlaveten kaynak bölgesindeki yapısal değişimleri incelemek için kaynaklı birleştirmeler üzerinde mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

4.1. KULLANILAN MALZEMELER

Çalışmalarda 500x125x10 mm boyutlarında S235JR ve S355J2 yapı çelikleri kullanılmıştır. Kullanılan çeliklerin kimyasal içerikleri Çizelge 4.1'de, Çizelge 4.2'de ise mekanik özellikleri verilmiştir. Kaynak işlemlerinde kullanılan 1.2 mm kalınlığındaki, EN 10204-3.1 ESAB özlü ilave metalin Çizelge 4.3'te kimyasal bileşimi, Çizelge 4.4'te ise mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. S235JR ve S355J2 çelik levhaların kimyasal bileşimi.

Malzeme (%$_{max}$)	**C**	**Mn**	**P**	**S**	**Si**	**Cu**	**N**	**Fe**
S235JR	0.17	1.40	0.035	0.035	0.40	0.55	0.012	Kalan
S355J2	0.24	1.60	0.035	0.035	0.55	0.55	0.012	Kalan

Çizelge 4.2. S235JR ve S355J2 çelik levhaların mekanik özellikleri.

	Akma Dayanımı (N/mm^2)	**Çekme Dayanımı** (N/mm^2)	**Uzama** (%)
S235JR	235	360-510	24
S355J2	355	470-630	20

Çizelge 4.3. İlave telin kimyasal bileşimi.

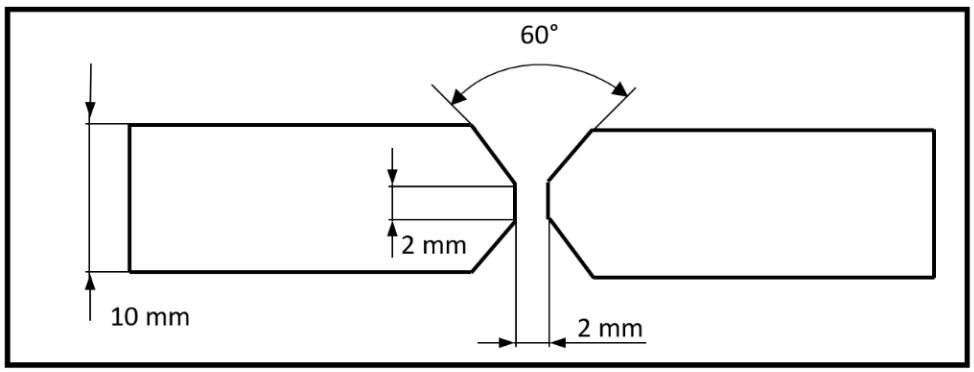
3Si1-ESAB	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Cu**	**Fe**
EN ISO 14341-A: G	0.08	0.87	1.47	0.014	0.013	0.02	0.02	0.01	0.04	Kalan

Çizelge 4.4. İlave telin mekanik özellikleri.

3Si1-ESAB	**Akma Dayanımı** (N/mm^2)	**Çekme Dayanımı** (N/mm^2)	**Uzama** (%)
EN ISO 14341-A: G	470	560-600	26

4.2. MALZEMELERİN KAYNAK İŞLEMİNE HAZIRLANMASI VE BİRLEŞTİRİLMESİ

S235JR ve S355J2 yapı çelikleri, MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmeden önce, şerit testere ile gerekli ölçülerde kesilmiş (500x1250) ve levhaların yüzeyleri oksit, pas veya yağlı atıklardan arındırılması için tel fırça ve üstübü yardımı ile temizlenmiştir. Sonrasında ise TS EN ISO 9692-1 standartlarına göre Şekil 4.1'de görülen çift taraflı V kaynak ağzı levhalara (ölçüler mm olarak verilmiştir) açılmıştır.

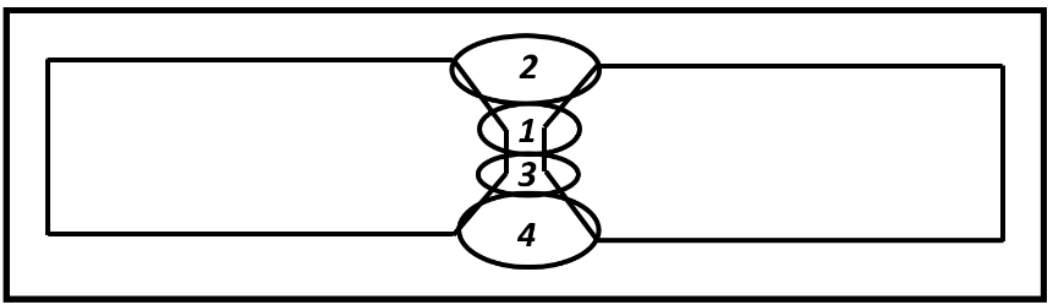


Şekil 4.1. Levhara açılan kaynak ağzı detayı.

Levhaların boyutlandırılması, kaynak ağzı açılması ve temizlik aşamalarından sonra da aralarında en az 2 mm kalacak şekilde puntalanarak sabitlenmiştir (Şekil 4.2). MAG kaynak yöntemi ile birleştirme işlemleri, 15 lt/dk %8 CO_2 + %92 Ar içeren karışım gazı kullanılarak, PA (yatay) pozisyonda ve 4'er pasoda gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3'te kaynak pasoları düzenlemesi görülmektedir.



Şekil 4.2. Kaynak için hazır hale getirilen görüntüsü.



Şekil 4.3. Kaynak pasoları düzenlemesi şematik görüntüsü.

Kaynak işlemleri, Çizelge 4.5 (1 numaralı kaynak akımı), Çizelge 4.6 (2 numaralı kaynak akımı) ve Çizelge 4.7'de (3 numaralı kaynak akımı) verilen kaynak parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinde kullanılan Fronius TPS 500'i marka MIG-MAG kaynak makinesi Şekil 4.4'te görülmektedir.

Çizelge 4.5. 1 numaralı kaynak akımı işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri.

Paso	**Akım** (A)	**Gerilim** (V)	**Akım türü**	**Tel besleme hızı** (mm/dk)	**Hız** (mm/sn)	**Isı girdisi** (KJ/mm)
1	150-170	16-17	DC (+)	4.1	120	0.017
2	220-240	23-24		8.8	70	0.050
3	150-170	16-17		4	120	0.020
4	220-240	23-24		7.3	80	0.050

Çizelge 4.6. 2 numaralı kaynak akımı işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri.

Paso	**Akım** (A)	**Gerilim** (V)	**Akım türü**	**Tel besleme hızı** (mm/dk)	**Hız** (mm/sn)	**Isı girdisi** (KJ/mm)
1	170-190	16-17	DC (+)	4.8	110	0.020
2	270-290	23-24		8.8	70	0.070
3	170-190	16-17		4.8	110	0.020
4	270-290	23-24		8.8	70	0.070

Çizelge 4.7. 3 numaralı kaynak akımı işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri.

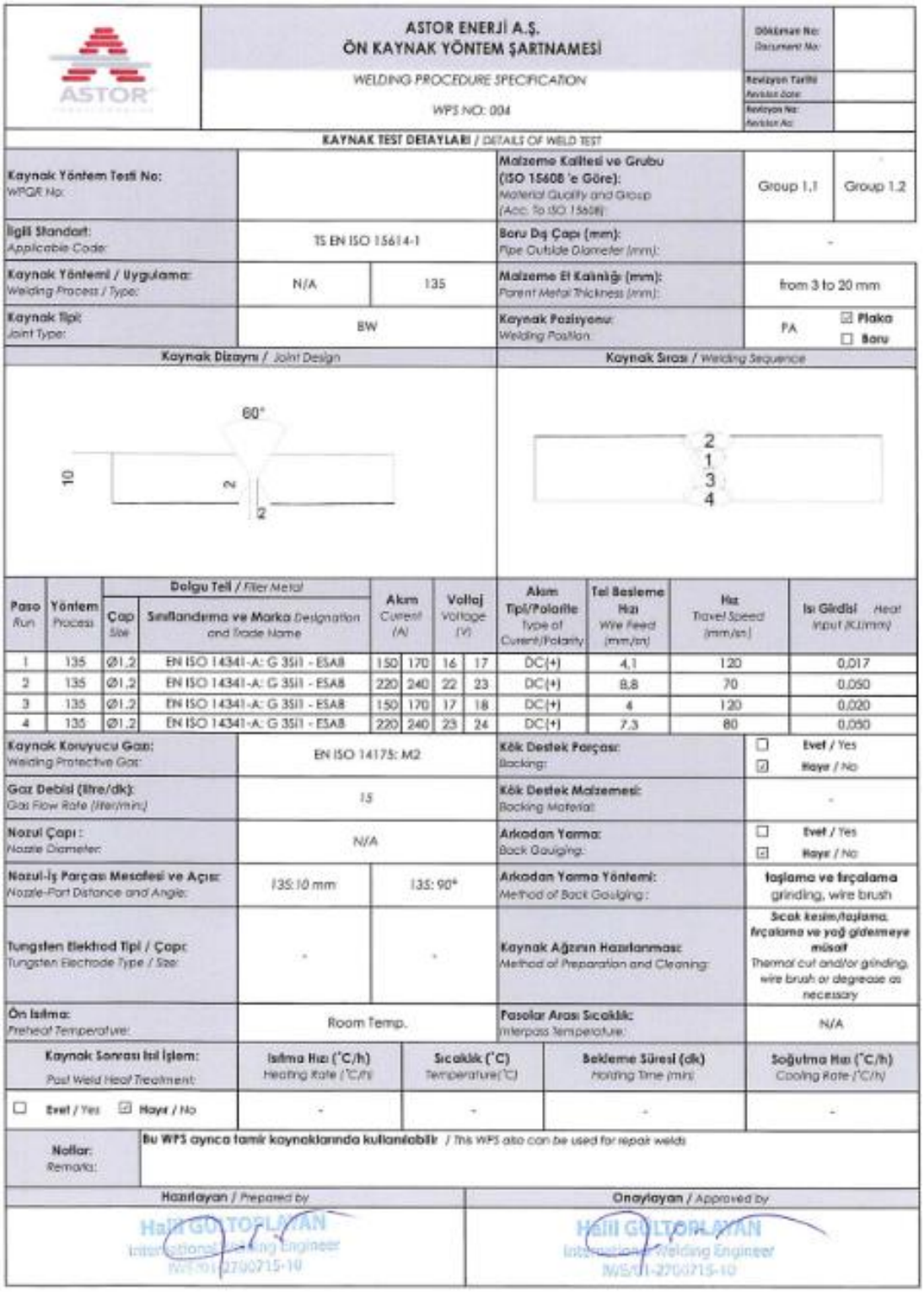
Paso	**Akım** (A)	**Gerilim** (V)	**Akım türü**	**Tel besleme hızı** (mm/dk)	**Hız** (mm/sn)	**Isı girdisi** (KJ/mm)
1	180-200	18-19	DC (+)	5.2	80	0.035
2	340-360	27-29		12.2	55	0.140
3	180-200	18-19		5.2	80	0.035
4	330-350	27-29		12.5	55	0.140



Şekil 4.4. Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak makinesi görüntüsü.

4.3. KAYNAK YÖNTEM SPESİSİFİKASYONLARI (WPS)

MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen basınçlı kap çeliği numune gruplarının WPS'leri Şekil 4.5 (S235-S235 1 numaralı kaynak akımı), Şekil 4.6 (S235-S235 2 numaralı kaynak akımı), Şekil 4.7 (S235-S235 3 numaralı kaynak akımı), Şekil 4.8 (S235-S355 1 numaralı kaynak akımı), Şekil 4.9 (S235-S355 2 numaralı kaynak akımı), Şekil 4.10 (S235-S355 3 numaralı kaynak akımı), Şekil 4.11 (S355-S355 1 numaralı kaynak akımı), Şekil 4.12 (S355-S355 2 numaralı kaynak akımı) ve Şekil 4.13'de (S355-S355 3 numaralı kaynak akımı) verilmiştir.



ASTOR ENERJİ A.Ş.
ÖN KAYNAK YÖNTEM ŞARTNAMESİ
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION
WPS NO: 004

Döküman No: / Document No:
Revizyon Tarihi / Revision Date:
Revizyon No: / Revision No:

KAYNAK TEST DETAYLARI / *DETAILS OF WELD TEST*

Kaynak Yöntem Testi No: *WPQR No:*			**Malzeme Kalitesi ve Grubu (ISO 15608 'e Göre):** *Material Quality and Group (Acc. To ISO 15608)*	Group 1.1	Group 1.2
İlgili Standart: *Applicable Code:*	TS EN ISO 15614-1		**Boru Dış Çapı (mm):** *Pipe Outside Diameter (mm):*	-	
Kaynak Yöntemi / Uygulama: *Welding Process / Type:*	N/A	135	**Malzeme Et Kalınlığı (mm):** *Parent Metal Thickness (mm):*	from 3 to 20 mm	
Kaynak Tipi: *Joint Type:*	BW		**Kaynak Pozisyonu:** *Welding Position*	PA	☑ Plaka ☐ Boru

Kaynak Dizaynı / *Joint Design*

Kaynak Sırası / *Welding Sequence*

Pass / Run	Yöntem / Process	Dolgu Teli / Filler Metal: Çap / Size	Dolgu Teli / Filler Metal: Sınıflandırma ve Marka / Designation and Trade Name	Akım / Current (A)		Voltaj / Voltage (V)		Akım Tipi/Polarite / Type of Current/Polarity	Tel Besleme Hızı / Wire Feed (mm/sn)	Hız / Travel Speed (mm/sn)	Isı Girdisi / Heat Input (KJ/mm)
1	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35 1 - ESAB	150	170	16	17	DC(+)	4,1	120	0,017
2	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35 1 - ESAB	220	240	22	23	DC(+)	8,8	70	0,050
3	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35 1 - ESAB	150	170	17	18	DC(+)	4	120	0,020
4	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35 1 - ESAB	220	240	23	24	DC(+)	7,3	80	0,050

Kaynak Koruyucu Gaz: *Welding Protective Gas:*	EN ISO 14175: M2	**Kök Destek Parçası:** *Backing:*	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Gaz Debisi (litre/dk): *Gas Flow Rate (liter/min)*	15	**Kök Destek Malzemesi:** *Backing Material:*	-
Nozul Çapı: *Nozzle Diameter:*	N/A	**Arkadan Yarma:** *Back Gouging:*	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Nozul-İş Parçası Mesafesi ve Açısı: *Nozzle-Part Distance and Angle:*	135: 10 mm / 135: 90°	**Arkadan Yarma Yöntemi:** *Method of Back Gouging:*	**taşlama ve fırçalama** *grinding, wire brush*
Tungsten Elektrod Tipi / Çapı: *Tungsten Electrode Type / Size:*	- / -	**Kaynak Ağzının Hazırlanması:** *Method of Preparation and Cleaning:*	**Sıcak kesim/taşlama, fırçalama ve yağ gidermeye müsait** *Thermal cut and/or grinding, wire brush or degrease as necessary*
Ön Isıtma: *Preheat Temperature:*	Room Temp.	**Pasolar Arası Sıcaklık:** *Interpass Temperature:*	N/A

Kaynak Sonrası Isıl İşlem: *Post Weld Heat Treatment:*	**Isıtma Hızı (°C/h)** *Heating Rate (°C/h)*	**Sıcaklık (°C)** *Temperature(°C)*	**Bekleme Süresi (dk)** *Holding Time (min)*	**Soğutma Hızı (°C/h)** *Cooling Rate (°C/h)*
☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No	-	-	-	-

Notlar: *Remarks:* **Bu WPS ayrıca tamir kaynaklarında kullanılabilir** / *This WPS also can be used for repair welds*

Hazırlayan / *Prepared by*	**Onaylayan** / *Approved by*
Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer IWE-01-270715-10	Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer IWE-01-270715-10

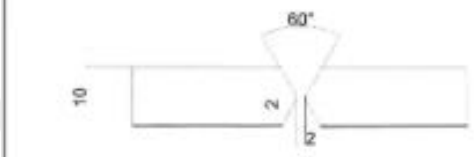
Şekil 4.5. S235-S235 1 numaralı kaynak akımına ait WPS.

	ASTOR ENERJİ A.Ş. ÖN KAYNAK YÖNTEM ŞARTNAMESİ WELDING PROCEDURE SPECIFICATION WPS NO: 007	Döküman No: Document No:	
		Revizyon Tarihi Revision Date:	
		Revizyon No: Revision No:	

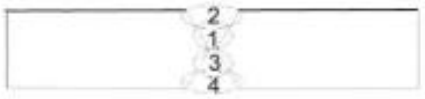
KAYNAK TEST DETAYLARI / *DETAILS OF WELD TEST*

Kaynak Yöntem Testi No: *WPQR No:*			**Malzeme Kalitesi ve Grubu (ISO 15608 'e Göre):** *Material Quality and Group (Acc. To ISO 15608):*	Group 1.1	Group 1.2
İlgili Standart: *Applicable Code:*	TS EN ISO 15614-1		**Boru Dış Çapı (mm):** *Pipe Outside Diameter (mm):*	-	
Kaynak Yöntemi / Uygulama: *Welding Process / Type:*	N/A	135	**Malzeme Et Kalınlığı (mm):** *Parent Metal Thickness (mm):*	from 3 to 20 mm	
Kaynak Tipi: *Joint Type:*	BW		**Kaynak Pozisyonu:** *Welding Position:*	PA	☑ Plaka ☐ Boru

Kaynak Dizaynı / *Joint Design*



Kaynak Sırası / *Welding Sequence*



Paso *Run*	Yöntem *Process*	Dolgu Teli / *Filler Metal* Çap *Size*	Sınıflandırma ve Marka *Designation and Trade Name*	Akım *Current (A)*		Voltaj *Voltage (V)*		Akım Tipi/Polarite *Type of Current/Polarity*	Tel Besleme Hızı *Wire Feed (mm/dk)*	Hız *Travel Speed (mm/sn)*	Isı Girdisi *Heat Input (KJ/mm)*
1	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	170	190	16	17	DC(+)	4,8	110	0,020
2	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	270	290	23	24	DC(+)	6,8	70	0,070
3	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	170	190	16	17	DC(+)	4,8	110	0,020
4	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	270	290	23	24	DC(+)	6,8	70	0,070

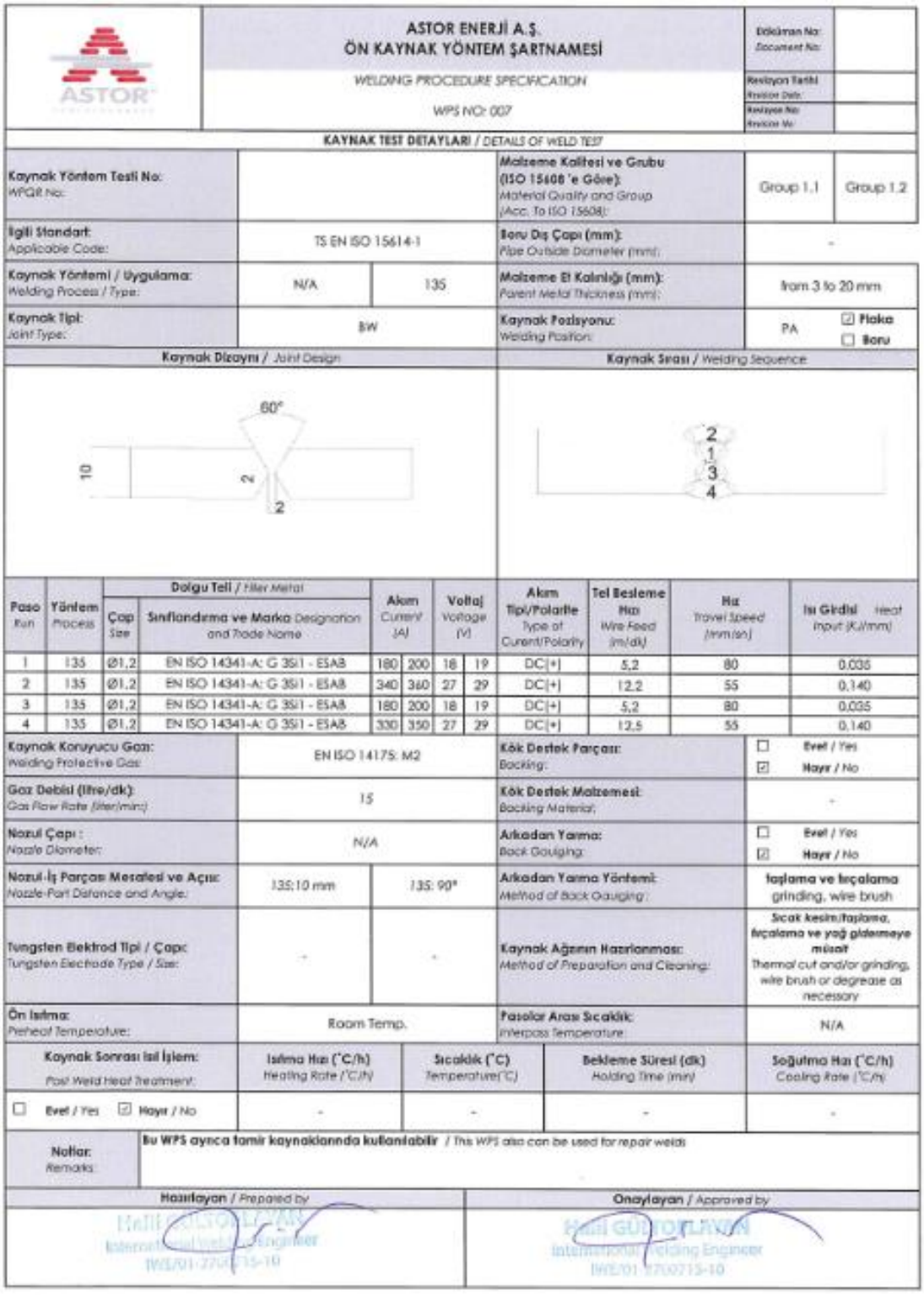
Kaynak Koruyucu Gazı: *Welding Protective Gas:*	EN ISO 14175: M2	**Kök Destek Parçası:** *Backing:*	☐ Evet / *Yes* ☑ Hayır / *No*
Gaz Debisi (litre/dk): *Gas Flow Rate (liter/min):*	15	**Kök Destek Malzemesi:** *Backing Material:*	-
Nozul Çapı : *Nozzle Diameter:*	N/A	**Arkadan Yarma:** *Back Gouging:*	☐ Evet / *Yes* ☑ Hayır / *No*
Nozul-İş Parçası Mesafesi ve Açısı: *Nozzle-Part Distance and Angle:*	135: 10 mm / 135: 90°	**Arkadan Yarma Yöntemi:** *Method of Back Gouging :*	taşlama ve fırçalama grinding, wire brush
Tungsten Elektrod Tipi / Çapı: *Tungsten Electrode Type / Size:*	- / -	**Kaynak Ağzının Hazırlanması:** *Method of Preparation and Cleaning:*	**Sıcak kesim/taşlama, fırçalama ve yağ gidermeye müsait** Thermal cut and/or grinding, wire brush or degrease as necessary
Ön Isıtma: *Preheat Temperature:*	Room Temp.	**Pasolar Arası Sıcaklık:** *Interpass Temperature:*	N/A

Kaynak Sonrası Isıl İşlem: *Post Weld Heat Treatment:*	Isıtma Hızı (°C/h) *Heating Rate (°C/h)*	Sıcaklık (°C) *Temperature(°C)*	Bekleme Süresi (dk) *Holding Time (min)*	Soğutma Hızı (°C/h) *Cooling Rate (°C/h)*
☐ Evet / *Yes* ☑ Hayır / *No*	-	-	-	-

Notlar: *Remarks:*	**Bu WPS aynca tamir kaynaklarında kullanılabilir** / *This WPS also can be used for repair welds*

Hazırlayan / *Prepared by*	Onaylayan / *Approved by*
Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer IWE/II-2700715-10	Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer IWE/II-2700715-10

Şekil 4.6. S235-S235 2 numaralı kaynak akımına ait WPS.



ASTOR ENERJİ A.Ş.
ÖN KAYNAK YÖNTEM ŞARTNAMESİ
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION
WPS NO: 007

Doküman No: / Document No:
Revizyon Tarihi / Revision Date:
Revizyon No / Revision No:

KAYNAK TEST DETAYLARI / *DETAILS OF WELD TEST*

Kaynak Yöntem Testi No: WPQR No:			**Malzeme Kalitesi ve Grubu (ISO 15608 'e Göre):** Material Quality and Group (Acc. To ISO 15608):	Group 1.1	Group 1.2
İlgili Standart: Applicable Code:	TS EN ISO 15614-1		**Boru Dış Çapı (mm):** Pipe Outside Diameter (mm):	-	
Kaynak Yöntemi / Uygulama: Welding Process / Type:	N/A	135	**Malzeme Et Kalınlığı (mm):** Parent Metal Thickness (mm):	from 3 to 20 mm	
Kaynak Tipi: Joint Type:	BW		**Kaynak Pozisyonu:** Welding Position:	PA	☑ Plaka ☐ Boru

Kaynak Dizaynı / *Joint Design*

Kaynak Sırası / *Welding Sequence*

Paso / Run	Yöntem / Process	Dolgu Teli / Filler Metal: Çap / Size	Dolgu Teli: Sınıflandırma ve Marka / Designation and Trade Name	Akım / Current (A)		Voltaj / Voltage (V)		Akım Tipi/Polarite / Type of Curent/Polarity	Tel Besleme Hızı / Wire Feed (m/dk)	Hız / Travel Speed (mm/sn)	Isı Girdisi / Heat Input (KJ/mm)
1	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35 1 - ESAB	180	200	18	19	DC(+)	5,2	80	0,035
2	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35 1 - ESAB	340	360	27	29	DC(+)	12,2	55	0,140
3	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35 1 - ESAB	180	200	18	19	DC(+)	5,2	80	0,035
4	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35 1 - ESAB	330	350	27	29	DC(+)	12,5	55	0,140

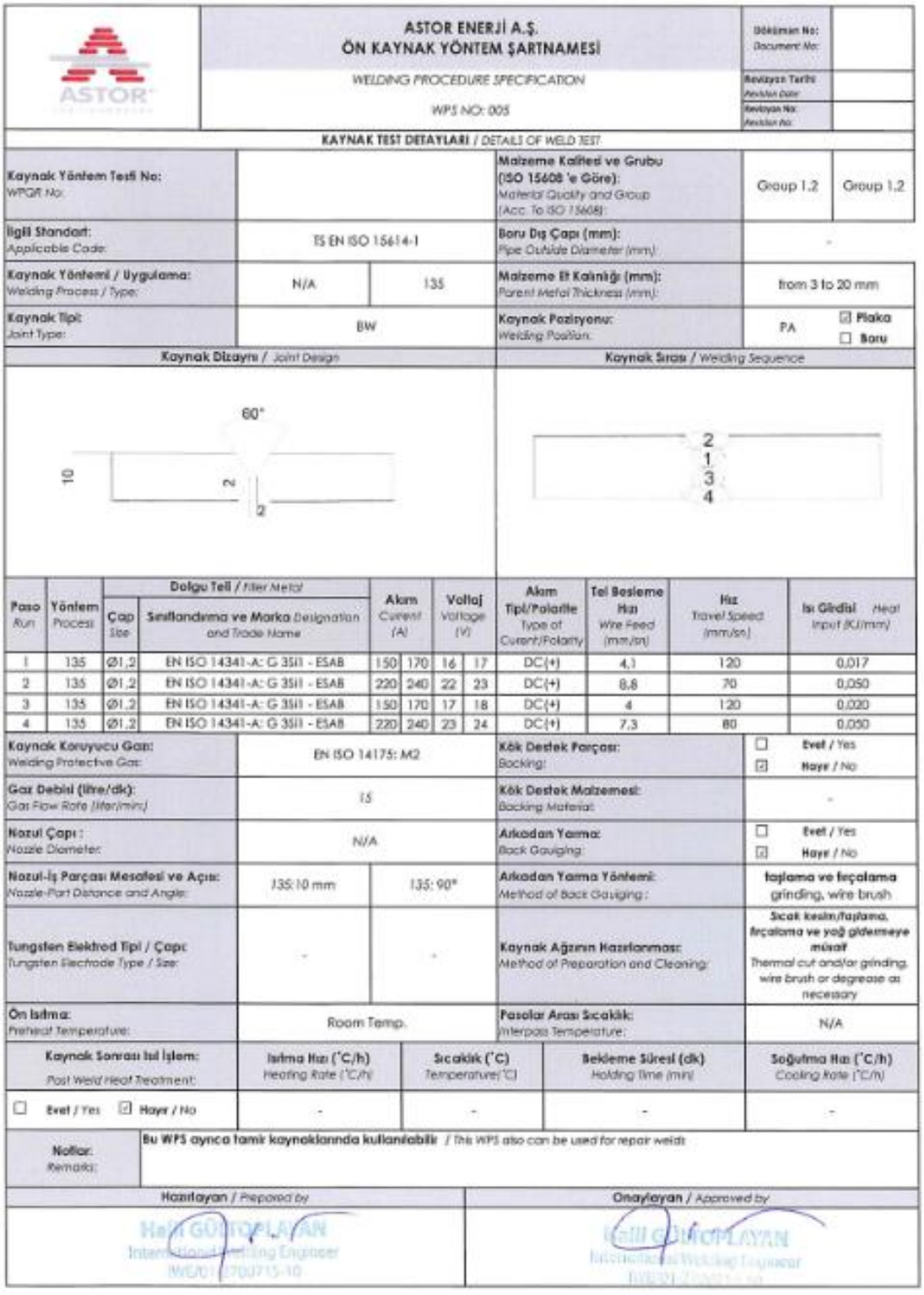
Kaynak Koruyucu Gaz: Welding Protective Gas:	EN ISO 14175: M2	**Kök Destek Parçası:** Backing:	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Gaz Debisi (litre/dk): Gas Flow Rate (liter/min):	15	**Kök Destek Malzemesi:** Backing Material:	-
Nozul Çapı : Nozzle Diameter:	N/A	**Arkadan Yarma:** Back Gouging:	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Nozul-İş Parçası Mesafesi ve Açısı: Nozzle-Part Distance and Angle:	135:10 mm / 135: 90°	**Arkadan Yarma Yöntemi:** Method of Back Gouging:	**taşlama ve fırçalama** grinding, wire brush
Tungsten Elektrod Tipi / Çapı: Tungsten Electrode Type / Size:	- / -	**Kaynak Ağzının Hazırlanması:** Method of Preparation and Cleaning:	**Sıcak kesim/taşlama, fırçalama ve yağ gidermeye müsait** Thermal cut and/or grinding, wire brush or degrease as necessary
Ön Isıtma: Preheat Temperature:	Room Temp.	**Pasolar Arası Sıcaklık:** Interpass Temperature:	N/A

Kaynak Sonrası Isıl İşlem: Post Weld Heat Treatment:	Isıtma Hızı (°C/h) Heating Rate (°C/h)	Sıcaklık (°C) Temperature(°C)	Bekleme Süresi (dk) Holding Time (min)	Soğutma Hızı (°C/h) Cooling Rate (°C/h)
☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No	-	-	-	-

Notlar: Remarks: **Bu WPS aynıca tamir kaynaklarında kullanılabilir** / *This WPS also can be used for repair welds*

Hazırlayan / Prepared by	Onaylayan / Approved by
Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer IWE/01-27U0715-10	Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer IWE/01-27U0715-10

Şekil 4.7. S235-S235 3 numaralı kaynak akımına ait WPS.



ASTOR ENERJİ A.Ş.
ÖN KAYNAK YÖNTEM ŞARTNAMESİ
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION
WPS NO: 005

Döküman No: / Document No:
Revizyon Tarihi / Revision Date:
Revizyon No: / Revision No:

KAYNAK TEST DETAYLARI / *DETAILS OF WELD TEST*

Kaynak Yöntem Testi No: WPQR No:			**Malzeme Kalitesi ve Grubu (ISO 15608 'e Göre):** Material Quality and Group (Acc. To ISO 15608):	Group 1.2	Group 1.2
İlgili Standart: Applicable Code:	TS EN ISO 15614-1		**Boru Dış Çapı (mm):** Pipe Outside Diameter (mm):	-	
Kaynak Yöntemi / Uygulama: Welding Process / Type:	N/A	135	**Malzeme Et Kalınlığı (mm):** Parent Metal Thickness (mm):	from 3 to 20 mm	
Kaynak Tipi: Joint Type:	BW		**Kaynak Pozisyonu:** Welding Position:	PA	☑ Plaka ☐ Boru

Kaynak Dizaynı / *Joint Design*

Kaynak Sırası / *Welding Sequence*

Paso *Run*	Yöntem *Process*	Dolgu Tel / *Filler Metal* Çap *Size*	Sınıflandırma ve Marka *Designation and Trade Name*	Akım *Current (A)*		Voltaj *Voltage (V)*		Akım Tipi/Polarite *Type of Current/Polarity*	Tel Besleme Hızı *Wire Feed (mm/sn)*	Hız *Travel Speed (mm/sn)*	Isı Girdisi *Heat Input (kJ/mm)*
1	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	150	170	16	17	DC(+)	4,1	120	0,017
2	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	220	240	22	23	DC(+)	8,8	70	0,050
3	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	150	170	17	18	DC(+)	4	120	0,020
4	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	220	240	23	24	DC(+)	7,3	80	0,050

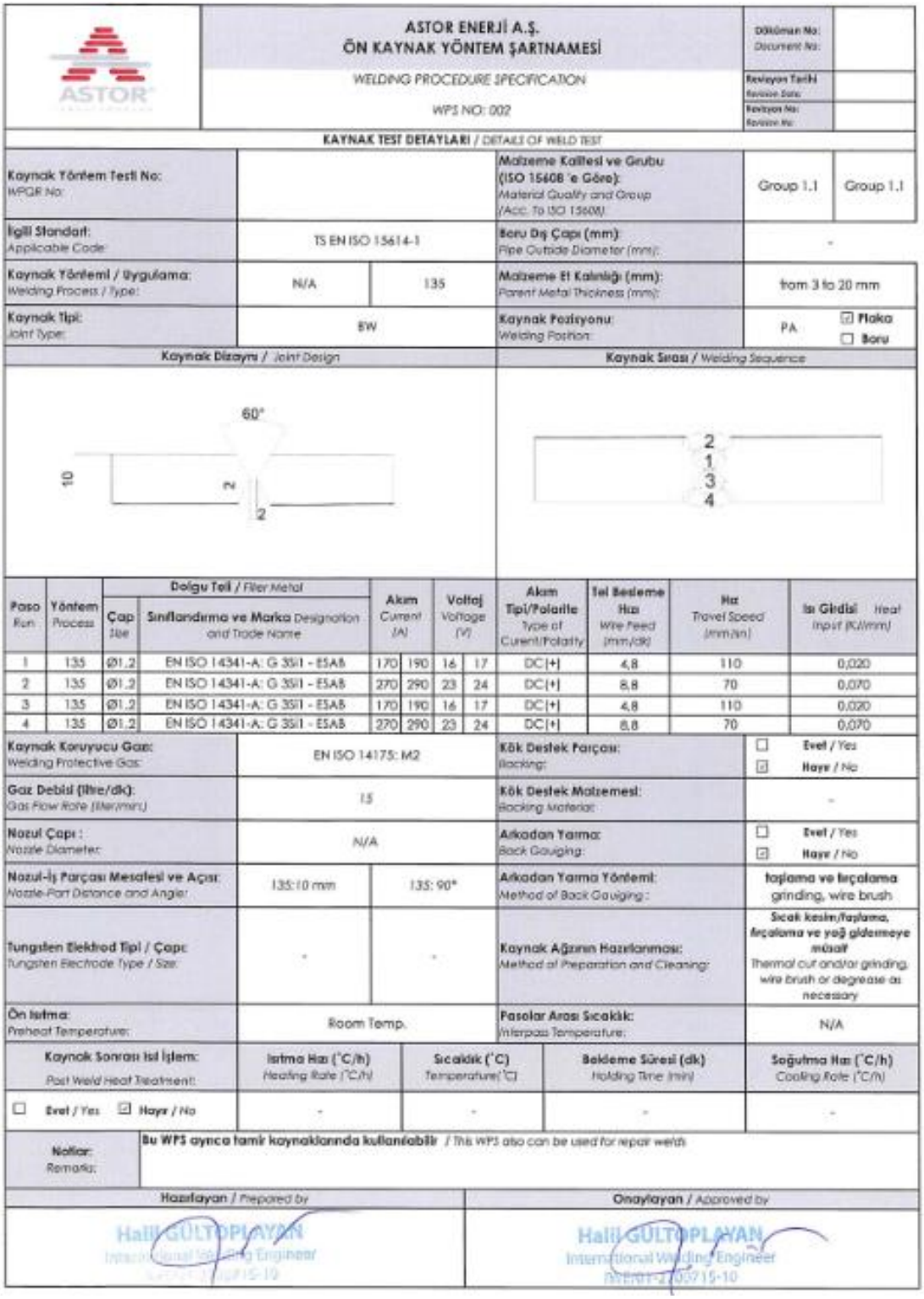
Kaynak Koruyucu Gaz: Welding Protective Gas:	EN ISO 14175: M2	**Kök Destek Parçası:** Backing:	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Gaz Debisi (litre/dk): Gas Flow Rate (liter/min):	15	**Kök Destek Malzemesi:** Backing Material:	-
Nozul Çapı : Nozzle Diameter:	N/A	**Arkadan Yarma:** Back Gouging:	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Nozul-İş Parçası Mesafesi ve Açısı: Nozzle-Part Distance and Angle:	135: 10 mm / 135: 90°	**Arkadan Yarma Yöntemi:** Method of Back Gouging:	taşlama ve fırçalama grinding, wire brush
Tungsten Elektrod Tipi / Çapı: Tungsten Electrode Type / Size:	- / -	**Kaynak Ağzının Hazırlanması:** Method of Preparation and Cleaning:	**Sıcak kesim/taşlama, fırçalama ve yağ gidermeye müsait** Thermal cut and/or grinding, wire brush or degrease as necessary
Ön Isıtma: Preheat Temperature:	Room Temp.	**Pasolar Arası Sıcaklık:** Interpass Temperature:	N/A

Kaynak Sonrası Isıl İşlem: *Post Weld Heat Treatment:*	**Isıtma Hızı (°C/h)** *Heating Rate (°C/h)*	**Sıcaklık (°C)** *Temperature(°C)*	**Bekleme Süresi (dk)** *Holding Time (min)*	**Soğutma Hızı (°C/h)** *Cooling Rate (°C/h)*
☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No	-	-	-	-

Notlar: *Remarks:* **Bu WPS aynca tamir kaynaklarında kullanılabilir** / *This WPS also can be used for repair welds*

Hazırlayan / *Prepared by*	**Onaylayan** / *Approved by*
Halil GÜRCAN	Halil GÜRCAN

Şekil 4.8. S235-S355 1 numaralı kaynak akımına ait WPS.



ASTOR ENERJİ A.Ş.
ÖN KAYNAK YÖNTEM ŞARTNAMESİ
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION
WPS NO: 002

Döküman No: / Document No:
Revizyon Tarihi / Revision Date:
Revizyon No: / Revision No:

KAYNAK TEST DETAYLARI / DETAILS OF WELD TEST

Kaynak Yöntem Testi No: WPQR No:			Malzeme Kalitesi ve Grubu (ISO 15608 'e Göre): Material Quality and Group (Acc. To ISO 15608)	Group 1.1	Group 1.1
İlgili Standart: Applicable Code:	TS EN ISO 15614-1		Boru Dış Çapı (mm): Pipe Outside Diameter (mm):	-	
Kaynak Yöntemi / Uygulama: Welding Process / Type:	N/A	135	Malzeme Et Kalınlığı (mm): Parent Metal Thickness (mm):	from 3 to 20 mm	
Kaynak Tipi: Joint Type:	BW		Kaynak Pozisyonu: Welding Position:	PA	☑ Plaka ☐ Boru

Kaynak Dizaynı / Joint Design

Kaynak Sırası / Welding Sequence

Paso Run	Yöntem Process	Dolgu Teli / Filler Metal: Çap Size	Sınıflandırma ve Marka Designation and Trade Name	Akım Current (A)		Voltaj Voltage (V)		Akım Tipi/Polarite Type of Current/Polarity	Tel Besleme Hızı Wire Feed (mm/dk)	Hız Travel Speed (mm/dk)	Isı Girdisi Heat Input (KJ/mm)
1	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35/1 - ESAB	170	190	16	17	DC(+)	4,8	110	0,020
2	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35/1 - ESAB	270	290	23	24	DC(+)	8,8	70	0,070
3	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35/1 - ESAB	170	190	16	17	DC(+)	4,8	110	0,020
4	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35/1 - ESAB	270	290	23	24	DC(+)	8,8	70	0,070

Kaynak Koruyucu Gaz: Welding Protective Gas:	EN ISO 14175: M2	Kök Destek Parçası: Backing:	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Gaz Debisi (litre/dk): Gas Flow Rate (liter/min):	15	Kök Destek Malzemesi: Backing Material:	-
Nozul Çapı: Nozzle Diameter:	N/A	Arkadan Yarma: Back Gouging:	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Nozul-İş Parçası Mesafesi ve Açısı: Nozzle-Part Distance and Angle:	135: 10 mm / 135: 90°	Arkadan Yarma Yöntemi: Method of Back Gouging:	taşlama ve fırçalama grinding, wire brush
Tungsten Elektrod Tipi / Çapı: Tungsten Electrode Type / Size:	- / -	Kaynak Ağzının Hazırlanması: Method of Preparation and Cleaning:	Sıcak kesim/taşlama, fırçalama ve yağ gidermeye müsait Thermal cut and/or grinding, wire brush or degrease as necessary
Ön Isıtma: Preheat Temperature:	Room Temp.	Pasolar Arası Sıcaklık: Interpass Temperature:	N/A

Kaynak Sonrası Isıl İşlem: Post Weld Heat Treatment:	Isıtma Hızı (°C/h) Heating Rate (°C/h)	Sıcaklık (°C) Temperature(°C)	Bekleme Süresi (dk) Holding Time (min)	Soğutma Hızı (°C/h) Cooling Rate (°C/h)
☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No	-	-	-	-

Notlar: Remarks: Bu WPS aynca tamir kaynaklarında kullanılabilir / This WPS also can be used for repair welds

Hazırlayan / Prepared by	Onaylayan / Approved by
Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer	Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer

Şekil 4.9. S235-S355 2 numaralı kaynak akımına ait WPS.

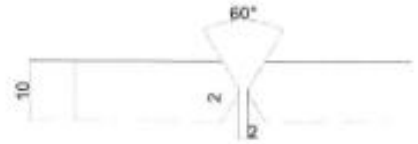
ASTOR ENERJİ A.Ş.
ÖN KAYNAK YÖNTEM ŞARTNAMESİ
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION
WPS NO: 008

Döküman No: / Document No:
Revizyon Tarihi / Revision Date:
Revizyon No: / Revision No:

KAYNAK TEST DETAYLARI / *DETAILS OF WELD TEST*

Kaynak Yöntem Testi No: WPQR No:			**Malzeme Kalitesi ve Grubu (ISO 15608 'e Göre):** Material Quality and Group (Acc. To ISO 15608):	Group 1.2	Group 1.2
İlgili Standart: Applicable Code:	TS EN ISO 15614-1		**Boru Dış Çapı (mm):** Pipe Outside Diameter (mm):	-	
Kaynak Yöntemi / Uygulama: Welding Process / Type:	N/A	135	**Malzeme Et Kalınlığı (mm):** Parent Metal Thickness (mm):	from 3 to 20 mm	
Kaynak Tipi: Joint Type:	BW		**Kaynak Pozisyonu:** Welding Position:	PA	☑ Plaka ☐ Boru

Kaynak Dizaynı / *Joint Design*



Kaynak Sırası / *Welding Sequence*



Paso / Run	Yöntem / Process	Dolgu Teli / Filler Metal: Çap / Size	Dolgu Teli: Sınıflandırma ve Marka / Designation and Trade Name	Akım / Current (A)		Voltaj / Voltage (V)		Akım Tipi/Polarite / Type of Current/Polarity	Tel Besleme Hızı / Wire Feed (m/dk)	Hız / Travel Speed (mm/dk)	Isı Girdisi / Heat Input (KJ/mm)
1	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	180	200	18	19	DC(+)	5,2	80	0,035
2	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	340	360	27	29	DC(+)	12,2	55	0,140
3	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	180	200	18	19	DC(+)	5,2	80	0,035
4	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	330	350	27	29	DC(+)	12,5	55	0,140

Kaynak Koruyucu Gaz: Welding Protective Gas:	EN ISO 14175: M2	**Kök Destek Parçası:** Backing:	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Gaz Debisi (litre/dk): Gas Flow Rate (liter/min):	15	**Kök Destek Malzemesi:** Backing Material:	-
Nozul Çapı: Nozzle Diameter:	N/A	**Arkadan Yarma:** Back Gauging:	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Nozul-İş Parçası Mesafesi ve Açısı: Nozzle-Part Distance and Angle:	135:10 mm	135: 90°	**Arkadan Yarma Yöntemi:** Method of Back Gauging:	taşlama ve fırçalama grinding, wire brush
Tungsten Elektrod Tipi / Çapı: Tungsten Electrode Type / Size:	-	-	**Kaynak Ağzının Hazırlanması:** Method of Preparation and Cleaning:	Sıcak kesim/taşlama, fırçalama ve yağ gidermeye müsait Thermal cut and/or grinding, wire brush or degrease as necessary
Ön Isıtma: Preheat Temperature:	Room Temp.		**Pasolar Arası Sıcaklık:** Interpass Temperature:	N/A

Kaynak Sonrası Isıl İşlem: Post Weld Heat Treatment:	Isıtma Hızı (°C/h) Heating Rate (°C/h)	Sıcaklık (°C) Temperature (°C)	Bekleme Süresi (dk) Holding Time (min)	Soğutma Hızı (°C/h) Cooling Rate (°C/h)
☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No	-	-	-	-

Notlar: Remarks: **Bu WPS ayrıca tamir kaynaklarında kullanılabilir** / *This WPS also can be used for repair welds*

Hazırlayan / Prepared by	Onaylayan / Approved by
Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer IWE/01-2200715-10	Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer IWE/01-2200715-10

Şekil 4.10. S235-S355 3 numaralı kaynak akımına ait WPS.

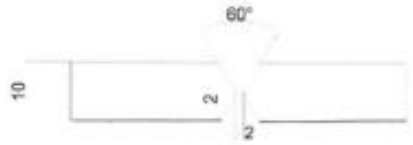
ASTOR ENERJİ A.Ş.
ÖN KAYNAK YÖNTEM ŞARTNAMESİ
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION
WPS NO: 006

Döküman No: / Document No:
Revizyon Tarihi / Revision Date:
Revizyon No: / Revision No:

KAYNAK TEST DETAYLARI / *DETAILS OF WELD TEST*

Kaynak Yöntem Testi No: *WPQR No:*			**Malzeme Kalitesi ve Grubu (ISO 15608 'e Göre):** *Material Quality and Group (Acc. To ISO 15608):*	Group 1.1	Group 1.1
İlgili Standart: *Applicable Code:*	TS EN ISO 15614-1		**Boru Dış Çapı (mm):** *Pipe Outside Diameter (mm):*	-	
Kaynak Yöntemi / Uygulama: *Welding Process / Type:*	N/A	135	**Malzeme Et Kalınlığı (mm):** *Parent Metal Thickness (mm):*	from 3 to 20 mm	
Kaynak Tipi: *Joint Type:*	BW		**Kaynak Pozisyonu:** *Welding Position:*	PA	☑ Plaka ☐ Boru

Kaynak Dizaynı / *Joint Design*



Kaynak Sırası / *Welding Sequence*



Paso *Run*	Yöntem *Process*	Dolgu Teli / *Filler Metal* Çap *Size*	Sınıflandırma ve Marka *Designation and Trade Name*	Akım *Current (A)*		Voltaj *Voltage (V)*		Akım Tipi/Polarite *Type of Current/Polarity*	Tel Besleme Hızı *Wire feed (mm/sn)*	Hız *Travel Speed (mm/sn.)*	Isı Girdisi *Heat Input (KJ/mm)*
1	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35I1 - ESAB	150	170	16	17	DC(+)	4,1	120	0,017
2	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35I1 - ESAB	220	240	22	23	DC(+)	8,8	70	0,050
3	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35I1 - ESAB	150	170	17	18	DC(+)	4	120	0,020
4	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 35I1 - ESAB	220	240	23	24	DC(+)	7,3	80	0,050

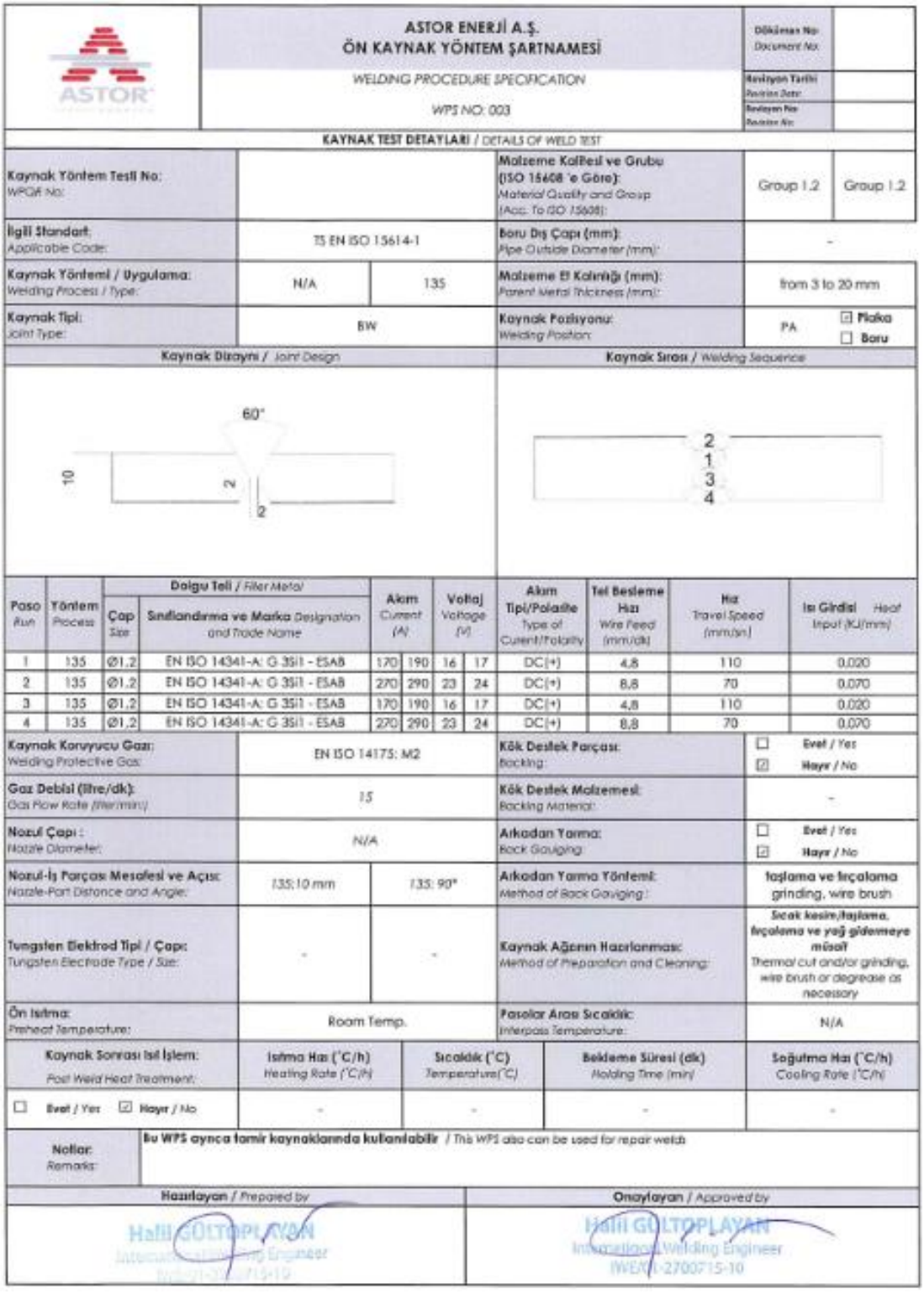
Koruyucu Gaz: *Welding Protective Gas:*	EN ISO 14175: M2	**Kök Destek Parçası:** *Backing:*	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Gaz Debisi (litre/dk): *Gas Flow Rate (liter/min):*	15	**Kök Destek Malzemesi:** *Backing Material:*	-
Nozul Çapı: *Nozzle Diameter:*	N/A	**Arkadan Yarma:** *Back Gauging:*	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Nozul-İş Parçası Mesafesi ve Açısı: *Nozzle-Part Distance and Angle:*	135:10 mm	135: 90°	**Arkadan Yarma Yöntemi:** *Method of Back Gauging:*	**Taşlama ve fırçalama** grinding, wire brush
Tungsten Elektrod Tipi / Çapı: *Tungsten Electrode Type / Size:*	-	-	**Kaynak Ağzının Hazırlanması:** *Method of Preparation and Cleaning:*	**Sıcak kesim/taşlama, fırçalama ve yağ gidermeye müsait** *Thermal cut and/or grinding, wire brush or degrease as necessary*
Ön Isıtma: *Preheat Temperature:*	Room Temp.		**Pasolar Arası Sıcaklık:** *Interpass Temperature:*	N/A

Kaynak Sonrası Isıl İşlem: *Post Weld Heat Treatment:*	Isıtma Hızı (°C/h) *Heating Rate (°C/h)*	Sıcaklık (°C) *Temperature(°C)*	Bekleme Süresi (dk) *Holding Time (min)*	Soğutma Hızı (°C/h) *Cooling Rate (°C/h)*
☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No	-	-	-	-

Notlar: *Remarks:* **Bu WPS aynca tamir kaynaklarında kullanılabilir** / *This WPS also can be used for repair welds*

Hazırlayan / *Prepared by*	Onaylayan / *Approved by*
Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer IWE/01-2700715-10	Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer IWE/01-2700715-10

Şekil 4.11. S355-S355 1 numaralı kaynak akımına ait WPS.



ASTOR ENERJİ A.Ş.
ÖN KAYNAK YÖNTEM ŞARTNAMESİ
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION
WPS NO: 003

Döküman No / Document No:
Revizyon Tarihi / Revision Date:
Revizyon No / Revision No:

KAYNAK TEST DETAYLARI / *DETAILS OF WELD TEST*

Kaynak Yöntem Testi No: WPQR No:			**Malzeme Kalitesi ve Grubu (ISO 15608 'e Göre):** *Material Quality and Group (Acc. To ISO 15608):*	Group 1.2	Group 1.2
İlgili Standart: *Applicable Code:*	TS EN ISO 15614-1		**Boru Dış Çapı (mm):** *Pipe Outside Diameter (mm):*	-	
Kaynak Yöntemi / Uygulama: *Welding Process / Type:*	N/A	135	**Malzeme Et Kalınlığı (mm):** *Parent Metal Thickness (mm):*	from 3 to 20 mm	
Kaynak Tipi: *Joint Type:*	BW		**Kaynak Pozisyonu:** *Welding Position:*	PA	☑ Plaka ☐ Boru

Kaynak Dizaynı / *Joint Design*

Kaynak Sırası / *Welding Sequence*

Paso *Run*	Yöntem *Process*	Dolgu Teli / *Filler Metal* Çap *Size*	Sınıflandırma ve Marka *Designation and Trade Name*	Akım *Current (A)*		Voltaj *Voltage (V)*		Akım Tipi/Polarite *Type of Current/Polarity*	Tel Besleme Hızı *Wire Feed (mm/dk)*	Hız *Travel Speed (mm/sn)*	Isı Girdisi *Heat Input (KJ/mm)*
1	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	170	190	16	17	DC(+)	4,8	110	0,020
2	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	270	290	23	24	DC(+)	8,8	70	0,070
3	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	170	190	16	17	DC(+)	4,8	110	0,020
4	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	270	290	23	24	DC(+)	8,8	70	0,070

Kaynak Koruyucu Gaz: *Welding Protective Gas:*	EN ISO 14175: M2	**Kök Destek Parçası:** *Backing:*	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Gaz Debisi (litre/dk): *Gas Flow Rate (liter/min):*	15	**Kök Destek Malzemesi:** *Backing Material:*	-
Nozul Çapı : *Nozzle Diameter:*	N/A	**Arkadan Yarma:** *Back Gouging:*	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Nozul-İş Parçası Mesafesi ve Açısı: *Nozzle-Part Distance and Angle:*	135: 10 mm / 135: 90°	**Arkadan Yarma Yöntemi:** *Method of Back Gouging:*	taşlama ve fırçalama grinding, wire brush
Tungsten Elektrod Tipi / Çapı: *Tungsten Electrode Type / Size:*	- / -	**Kaynak Ağzının Hazırlanması:** *Method of Preparation and Cleaning:*	Sıcak kesim/taşlama, fırçalama ve yağ gidermeye misal / Thermal cut and/or grinding, wire brush or degrease as necessary
Ön Isıtma: *Preheat Temperature:*	Room Temp.	**Pasolar Arası Sıcaklık:** *Interpass Temperature:*	N/A

Kaynak Sonrası Isıl İşlem: *Post Weld Heat Treatment:*	Isıtma Hızı (°C/h) *Heating Rate (°C/h)*	Sıcaklık (°C) *Temperature(°C)*	Bekleme Süresi (dk) *Holding Time (min)*	Soğutma Hızı (°C/h) *Cooling Rate (°C/h)*
☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No	-	-	-	-

Notlar: *Remarks:* **Bu WPS aynca tamir kaynaklarında kullanılabilir** / *This WPS also can be used for repair welds*

Hazırlayan / *Prepared by*	**Onaylayan** / *Approved by*
Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer IWE/01-2700715-10	Halil GÜLTOPLAYAN International Welding Engineer IWE/01-2700715-10

Şekil 4.12. S355-S355 2 numaralı kaynak akımına ait WPS.

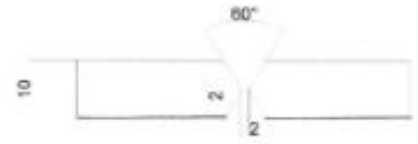
ASTOR ENERJİ A.Ş.
ÖN KAYNAK YÖNTEM ŞARTNAMESİ
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION
WPS NO: 009

Döküman No / Document No:
Revizyon Tarihi / Revision Date:
Revizyon No / Revision No:

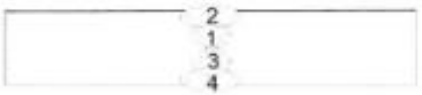
KAYNAK TEST DETAYLARI / *DETAILS OF WELD TEST*

Kaynak Yöntem Testi No: WPQR No:			**Malzeme Kalitesi ve Grubu (ISO 15608 'e Göre):** Material Quality and Group (Acc. To ISO 15608):	Group 1.1	Group 1.1
İlgili Standart: Applicable Code:	TS EN ISO 15614-1		**Boru Dış Çapı (mm):** Pipe Outside Diameter (mm):	-	
Kaynak Yöntemi / Uygulama: Welding Process / Type:	N/A	135	**Malzeme Et Kalınlığı (mm):** Parent Metal Thickness (mm):	from 3 to 20 mm	
Kaynak Tipi: Joint Type:	BW		**Kaynak Pozisyonu:** Welding Position:	PA	☑ Plaka ☐ Boru

Kaynak Dizaynı / *Joint Design*



Kaynak Sırası / *Welding Sequence*



Paso / Run	Yöntem / Process	Dolgu Teli / Filler Metal: Çap / Size	Sınıflandırma ve Marka / Designation and Trade Name	Akım / Current (A)		Voltaj / Voltage (V)		Akım Tipi/Polarite / Type of Current/Polarity	Tel Besleme Hızı / Wire Feed (m/dk)	Hız / Travel Speed (mm/sn)	Isı Girdisi / Heat Input (KJ/mm)
1	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	180	200	18	19	DC(+)	5,2	80	0,035
2	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	340	360	27	29	DC(+)	12,2	55	0,140
3	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	180	200	18	19	DC(+)	5,2	80	0,035
4	135	Ø1,2	EN ISO 14341-A: G 3Si1 - ESAB	330	350	27	29	DC(+)	12,5	55	0,140

Kaynak Koruyucu Gaz: Welding Protective Gas:	EN ISO 14175: M2	**Kök Destek Parçası:** Backing:	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Gaz Debisi (litre/dk): Gas Flow Rate (liter/min):	15	**Kök Destek Malzemesi:** Backing Material:	-
Nozul Çapı: Nozzle Diameter:	N/A	**Arkadan Yarma:** Back Gouging:	☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No
Nozul-İş Parçası Mesafesi ve Açısı: Nozzle-Part Distance and Angle:	135: 10 mm / 135: 90°	**Arkadan Yarma Yöntemi:** Method of Back Gouging:	taşlama ve fırçalama grinding, wire brush
Tungsten Elektrod Tipi / Çapı: Tungsten Electrode Type / Size:	- / -	**Kaynak Ağzının Hazırlanması:** Method of Preparation and Cleaning:	**Sıcak kesim/taşlama, fırçalama ve yağ gidermeye müsait** Thermal cut and/or grinding, wire brush or degrease as necessary
Ön Isıtma: Preheat Temperature:	Room Temp.	**Pasolar Arası Sıcaklık:** Interpass Temperature:	N/A

Kaynak Sonrası Isıl İşlem: Post Weld Heat Treatment:	Isıtma Hızı (°C/h) Heating Rate (°C/h)	Sıcaklık (°C) Temperature (°C)	Bekleme Süresi (dk) Holding Time (min)	Soğutma Hızı (°C/h) Cooling Rate (°C/h)
☐ Evet / Yes ☑ Hayır / No	-	-	-	-

Notlar: Remarks: **Bu WPS ayrıca tamir kaynaklarında kullanılabilir** / *This WPS also can be used for repair welds*

Hazırlayan / Prepared by	Onaylayan / Approved by
Halil GÜLTOPLAN International Welding Engineer IWE-01-2700715-10	Halil GÜLTOPLAN International Welding Engineer IWE-01-2700715-10

Şekil 4.13. S355-S355 3 numaralı kaynak akımına ait WPS.

4.4. KAYNAKLI NUMUNELERİN TAHRİBATSIZ TESTLERİ

MAG kaynak yöntemi birleştirilen basınçlı kap çelikleri öncelikle kaynak mühendisi tarafından genel kontrolü yapılmıştır. Sonrasında ise basınçlı kap çelik numuneler, gözle (VT), sıvı penetrant (PT) ve manyetik parçacık (MT) muayene testleri uygulanmıştır.

4.4.1. Gözle Muayene (VT) Testi

Kaynaklı numunelerin gözle muayene testinde yüzeysel süreksizlikler belirli şartlar altında gözle tespit edilmesidir. Yeterli miktarda ışık altında (en az 350 lüx, tavsiye edilen 500 lüx) ve belirli mesafeden belirli açıyla (60 cm mesafe, 30°'den büyük açı) çıplak gözle ve/veya büyüteç kullanılarak kontrol edilmesini içermektedir. Gözle muayene kaynak sonrası ilk muayene yöntemi olması, diğer yöntemlere kıyasla maliyetinin az olması ve hızlı sonuçlandırılması açısından oldukça önemli bir muayene yöntemidir. Diğer tahribatsız muayene yöntemlerinin gerekli olup olmadığına ve hangi yöntemin kullanılmasına karar verilmesinde etkilidir.

Bu teknik metal veya metal olmayan malzemeler için kullanılabilmektedir. Kontrol edilecek malzeme yüzeyine gözle ulaşım mümkün değilse yardımcı endoskopik aletlerde (ayna, kamera, videoskop, fiberoskop vb.) kullanılabilir. Bu muayene ile yüzeysel kaynak hatalarından; yüzey çatlağı, yanma oluğu, gözenek, krater, başla/bitiş hatası, dikiş geometrisi hatası, nüfuziyet azlığı/fazlalığı, eksenel kaçıklık vb. tespit edilebilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı ise inspektörün muayene kalitesine göre sonuç vermesidir.

4.4.2. Sıvı Penetrant (PT)

Kaynaklı numunelerin PT testinde, MARKER MR 311-R penetrant, MR 70 developer ve MR 85 cleaner (Şekil 4.14) uygulanmıştır. 15 dakika bekleme süresi, 15 dakika gelişme süresi kullanılmış ve yüzey temizleme üstübüyle yapılmıştır. Testler uzman (NDT Level 2) PT operatörü tarafından yapılmış ve raporlanmıştır.



Şekil 4.14. PT yönteminde kullanılan ürünlerin görseli.

4.4.3. Manyetik Parçacık Testi (RT)

Kaynaklı numunelerin RT testi, MARKER MR 51 manyetik parçacık test cihazı, MR 72 beyaz arka fon boya ve MR 76 S manyetik toz süspansiyon (Şekil 4.15) kullanılarak, uzman (NDT Level 2) RT operatörü tarafından yapılmıştır ve raporlanmıştır.



Şekil 4.15. RT yönteminde kullanılan cihaz ve manyetik toz görseli.

4.5. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATLI TESTLERİ

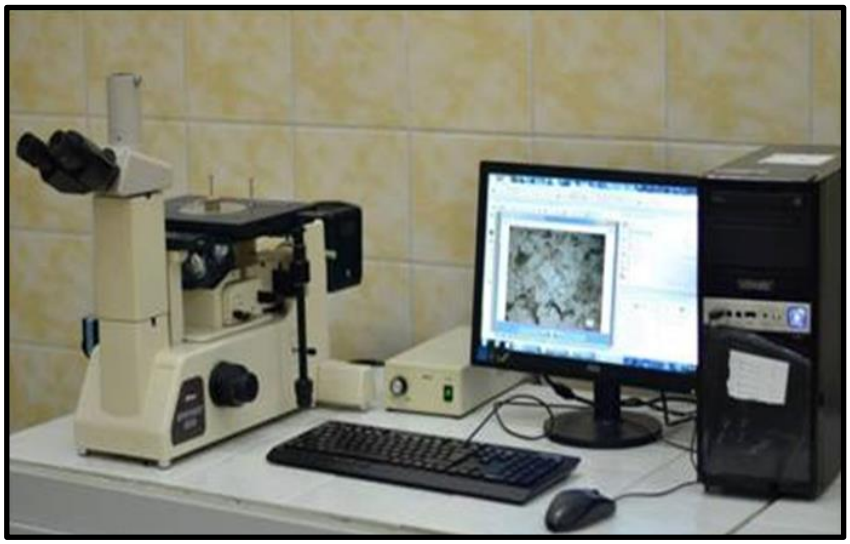
Tahribatsız testlerde kullanılan numuneler, testler sonrasında tahribatlı testlerde de kullanılmıştır. Kaynaklı numunelere tahribatlı testlerden mikro, sertlik, çekme, eğme ve çentik darbe testleri uygulanmıştır.

4.5.1. Mikroyapı İncelemeleri

Kaynaklı levhaların mikroyapı incelemeleri için numuneler çıkarılmıştır. Numuneler standart metalografik numune hazırlama aşamalarından geçirilmiştir (zımparalama). Sonrasında parlatma işlemine tabi tutulmuş ve dağlama aşaması için hazı hale getirilmiştir. Zımparalama ve parlatma işlemlerinde Şekil 4.16'da görülen Prest Megapol P262 model cihaz kullanılmıştır. %2 Nital (%98 saf su + %2 Nitrik Asit) karışımı ile dağlanan numuneler Şekil 4.17'de görülen optik mikroskop (Nikon Epiphot 200) ile tane yapısı incelenmiştir.



Şekil 4.16. Zımparalama ve parlatma işlemlerinde kullanılan cihaz görseli.



Şekil 4.17. Mikroyapı işlemlerinde kullanılan mikroskop.

4.5.2. Sertlik Testi

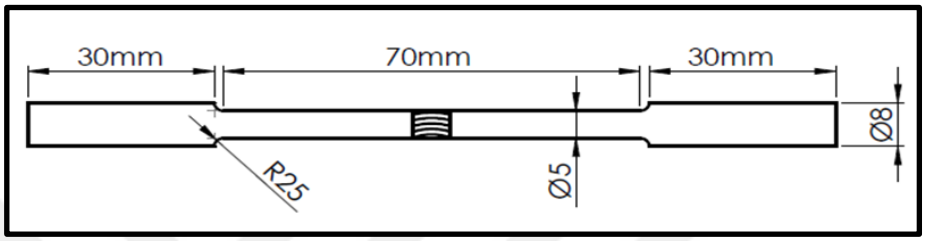
Kaynaklı numunelerin sertlik ölçümleri ana malzeme, ITAB ve kaynak metalinden 3'er adet noktadan gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri vickers yöntemi ile 500 gr yük uygulanarak, Şekil 4.18'de görseli verilen Shimadzu HMV cihaz kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.18. Sertlik ölçümlerinde kullanılan cihaz görüntüsü.

4.5.3. Çekme Testi

Çekme testlerinde kullanılan numune ölçülendirmeleri Şekil 4.19'da verilmiştir. Çekme testleri TS EN ISO 4136 standartlarına göre Şekil 4.20'de görseli verilen 5 ton kapasiteli Shimadzu Ag-Sı marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 5 mm/dk çekme hızı kullanılan testler, her kaynaklı birleştirmeden 3'er adet numuneye uygulanmış ve sonuçların ortalaması tespit edilmiştir.



Şekil 4.19. Çekme testlerinde kullanılan numune şematik resmi.



Şekil 4.20. Çekme testlerinde kullanılan cihaz görüntüsü.

4.5.4. Eğme Testi

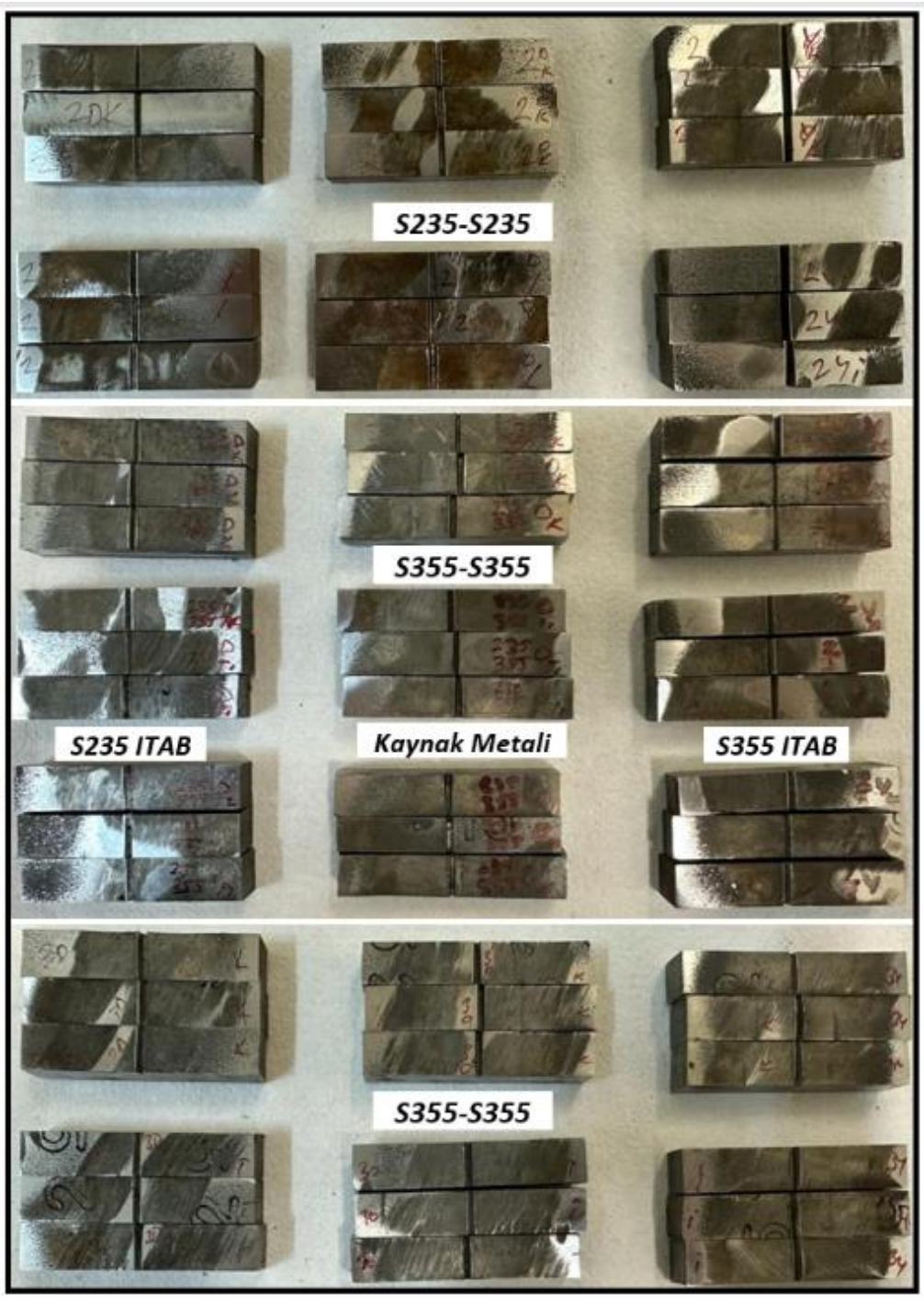
Eğme testleri TS EN ISO 5173 standardına uygun olarak kaynak kep ve kökü freze tezgahında alınan 120x20x10 mm boyutlarındaki (Şekil 4.21) numunelere uygulanmıştır. Her bir kaynaklı birleştirme için 3 adet eğme testi yapılmıştır.



Şekil 4.21. Eğme testi numuneleri görseli.

4.5.5. Çentik Darbe Testi

Çentik darbe testleri ITAB'lar ve kaynak metalinden alınan 3'er adet numuneye uygulanmıştır. 55x10x10 mm boyutlarında hazırlanan numune görseli Şekil 4.22'de verilmiştir. Çentik darbe testleri Şekil 4.23'te görseli verilen cihaz kullanılarak oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 4.22. Çentik darbe test numuneleri görseli.



Şekil 4.23. Çentik darbe test cihazı görseli.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

5.1. KAYNAKLI NUMUNELERE UYGULANAN TAHRİBATSIZ TESTLER

5.1.1. Gözle Muayene (VT) Testi

Kaynaklı numunelerin yüzeysel kusurlarını tespit etmek için gözle muayene testi uygulanmıştır. Gözle muayene uygulanan kaynaklı numunelere Şekil 5.1-5.9'da verilmiştir. Gözle muayene testleri gerekli şartlarda (ışık, mesafe ve açı) tahribatsız muayene uzmanı (NDT Level 2) tarafından yapılmış ve yorumlanmıştır.

Kaynaklı numunelerin gözle muayene testi sonrasında, kaynak yüzeylerinde standart toleransı dışında herhangi bir yüzeysel hata (gözenek, mikro/makro çatlak, yanma oluğu, boşluk vb.) olmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş S235-S235, S235-S355 ve S355-S355 basınçlı kap çeliği numunelerin yüzeysel olarak uygun olduğu herhangi bir yüzeysel hata içermediği anlaşılmıştır.

Akay (2012) X60, X65 ve X70 çeliklerinin tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilmesi ve kaynak bölgesi etidü konulu yüksek lisans tezinde ve Akay vd. (2013) benzer konulu araştırmalarında kaynaklı birleştirmelere uygulanan gözle muayene testleri sonrasında kaynaklı numunelerde standart toleransı dışında herhangi bir yüzeysel kusura (yüzeysel çatlak, nüfuziyet azlığı/fazlalığı, yanma oluğu vb.) rastlanmadığı ve kaynakların standart toleransları dahilinde kabul edilebilir olduğu bildirilmiştir.



Şekil 5.1. S235-S235 1 nolu kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş levha görüntüsü.



Şekil 5.2. S355-S355 1 nolu kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş levha görüntüsü.



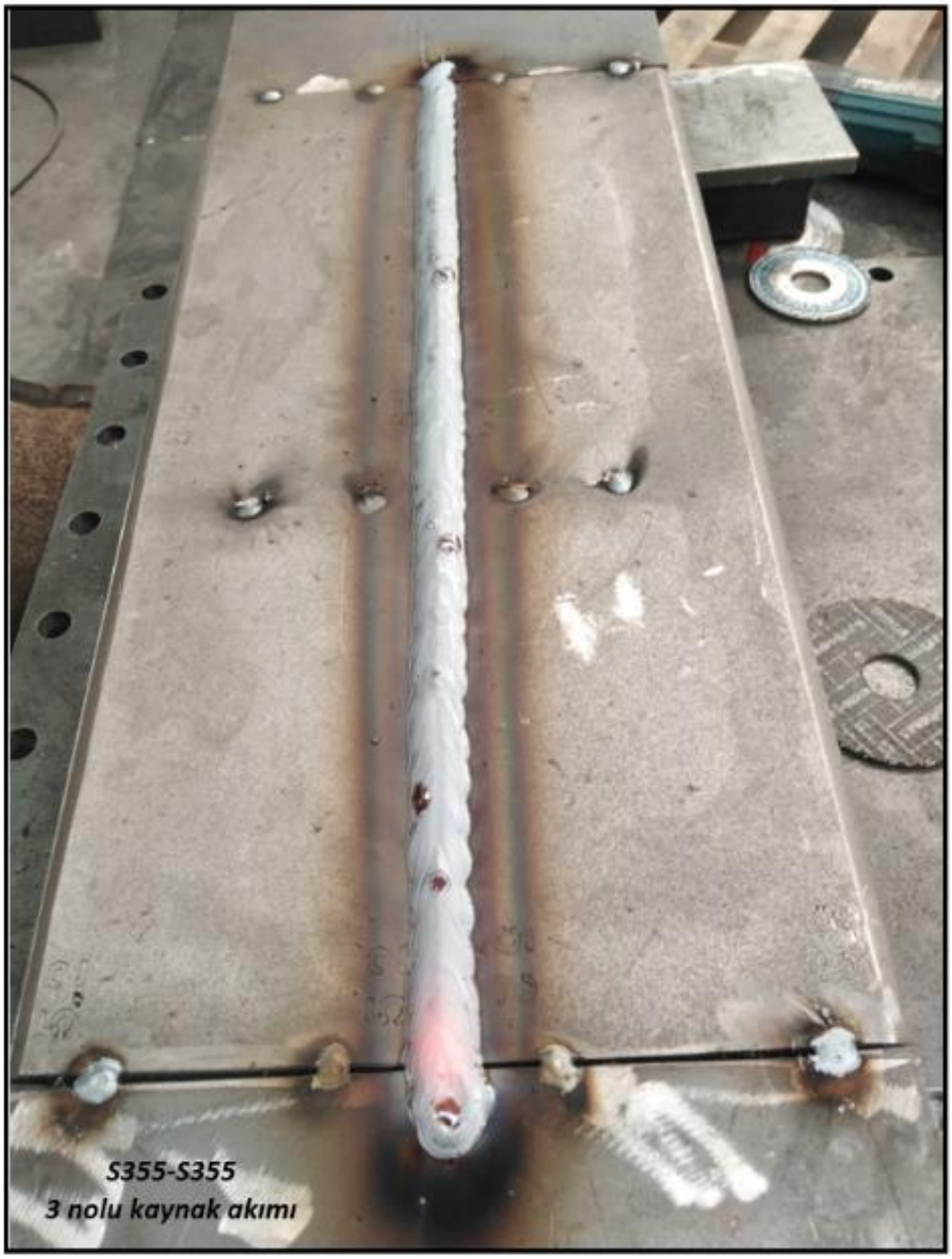
Şekil 5.3. S235-S235 2 nolu kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş levha görüntüsü.



Şekil 5.4. S355-S355 2 nolu kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş levha görüntüsü.



Şekil 5.5. S235-S235 3 nolu kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş levha görüntüsü.



Şekil 5.6. S355-S355 3 nolu kaynak akımı kullanılarak birleştirilmiş levha görüntüsü.

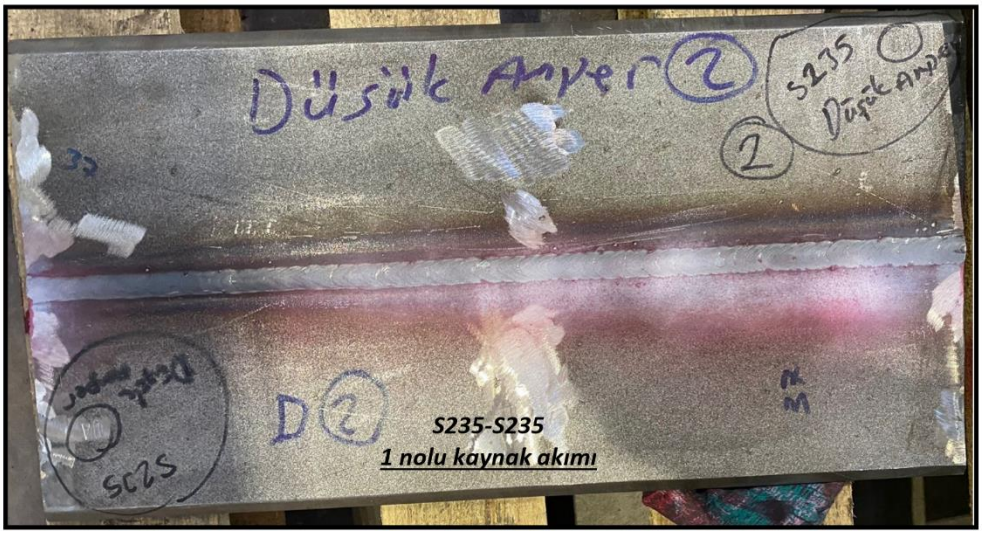
Çolak (2018) sualtı kaynak yöntemiyle birleştirilmiş düşük karbonlu çeliklerin tahribatsız/tahribatlı testleri konulu yüksek lisans tez çalışmasında kaynaklı birleştirmelere uygulanan gözle muayene testi sonucunda atmosferik şartlarda yapılan birleştirmelerde yüzeysel hatalardan kaynak kepi azlığı/fazlalığı, eksen kaçıklığı, yüzeysel çatlak, yanma oluğu, açısal çarpılma vb. kaynak hatasına rastlanılmadığı bazı

kaynaklarda ise başlama/bitiş hatası tespit edildiği rapor edilmiştir. Sualtı kaynaklarında (4 m, 8 m ve 16 m) ise yanma oluğu kaynak hatası tespit edildiği bildirilmiştir.

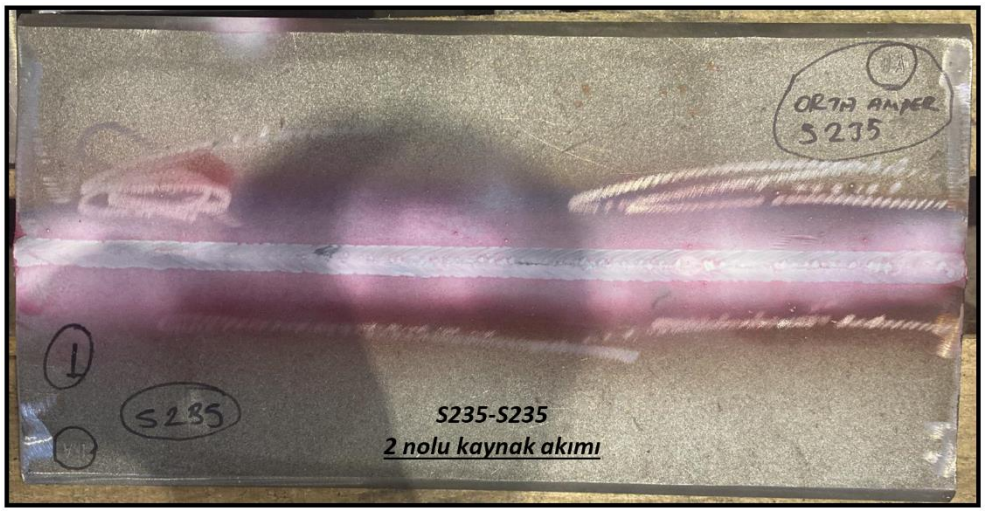
Yalçın (2023) basınçlı kap çeliklerinin MAG kaynak yöntemiyle birleştirilmesi ve tahribatsız/tahribatlı testleri konulu yüksek lisans tezinde kaynaklı birleştirmelere uygulanan gözle muayene testi sonucunda kaynak yüzeylerinde herhangi bir kaynak hatasına rastlanılmadığı rapor edilmiştir.

5.1.2. Sıvı Penetrant Testi (PT)

Kaynaklı numunelerin PT testi tahribatsız test uzmanınca (NDT Level 2) gerçekleştirilmiş ve TS EN ISO 23277 standardına göre raporlanmıştır. Şekil 5.7-5.15'te deneysel çalışmaların görseli verilmiştir.



Şekil 5.7. S235-S235 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü.



Şekil 5.8. S235-S235 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü.



Şekil 5.9. S235-S235 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü.



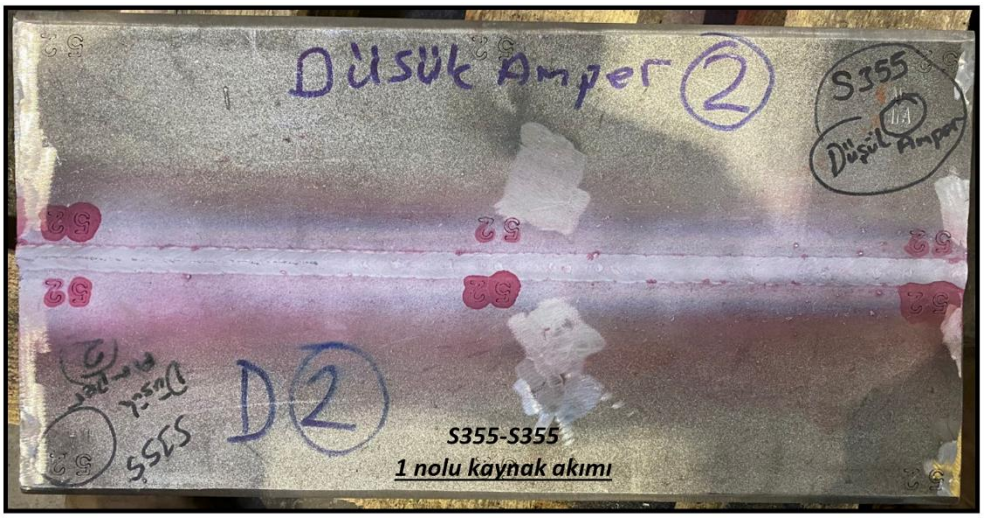
Şekil 5.10. S235-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü.



Şekil 5.11. S235-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü.



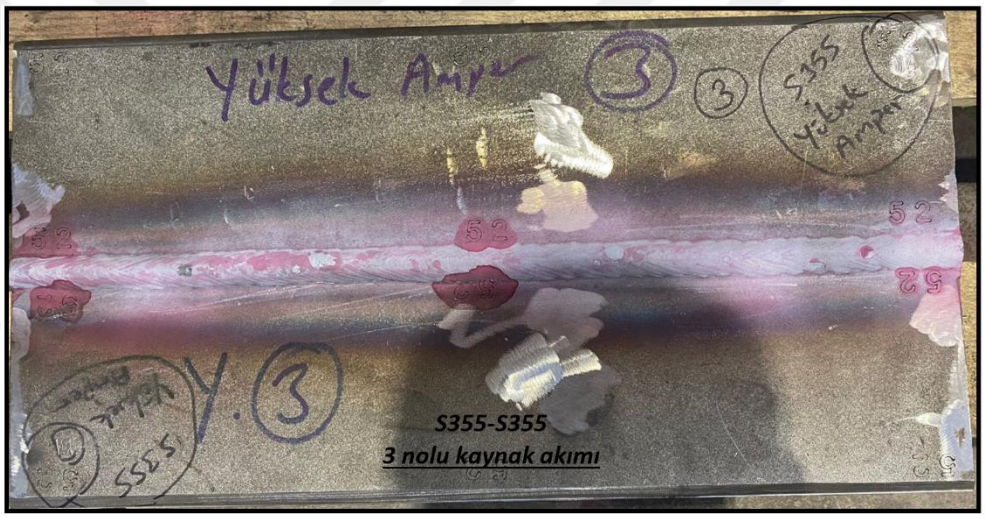
Şekil 5.12. S235-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü.



Şekil 5.13. S355-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü.

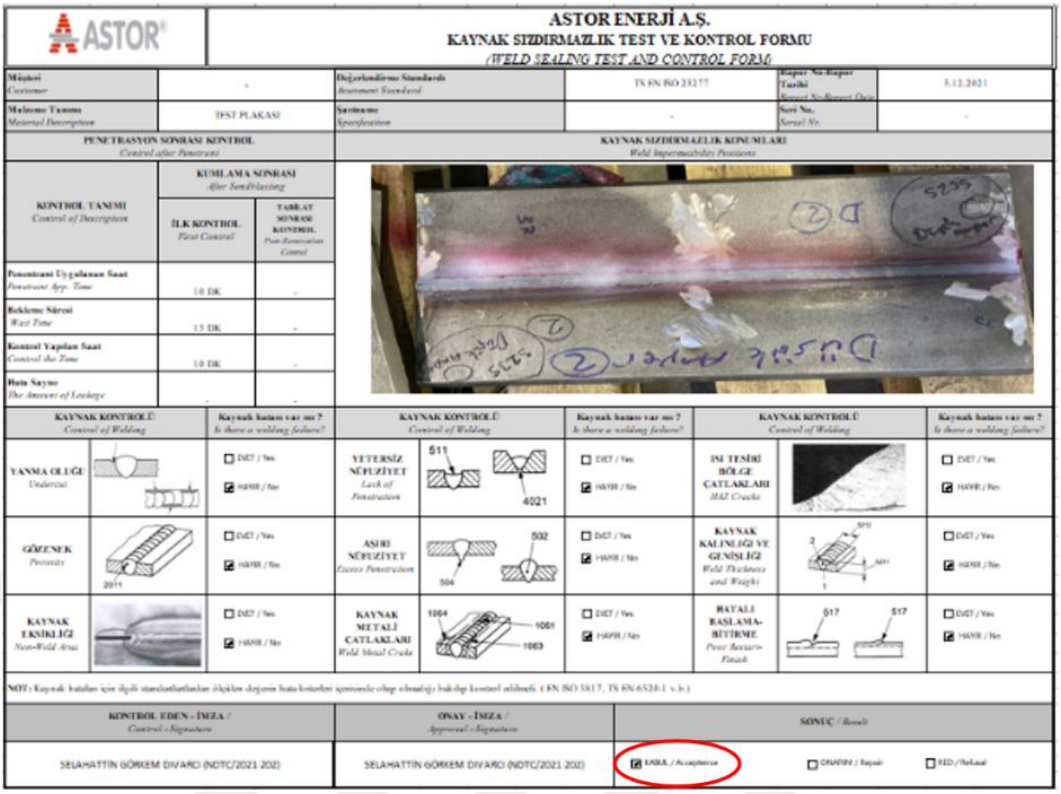


Şekil 5.14. S355-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü.



Şekil 5.15. S355-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT görüntüsü.

PT sonrası tahribatsız test uzmanınca onaylanan raporlar Şekil 5.16-5.24'te görülmektedir.



ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK SIZDIRMAZLIK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD SEALING TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / Customer	-	Değerlendirme Standardı / Assessment Standard	TS EN ISO 23277	Rapor No-Raporr Tarihi / Report No-Report Date	3.12.2021
Malzeme Tanımı / Material Description	TEST PLAKASI	Şartname / Specification	-	Seri No. / Serial No.	-

PENETRASYON SONRASI KONTROL / Control after Penetrant

KONTROL TANIMI / Control of Description	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: İLK KONTROL / First Control	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: TAMİRAT SONRASI KONTROL / Post-Renovation Control
Penetrant Uygulanan Saat / Penetrant App. Time	10 DK	-
Bekleme Süresi / Wait Time	15 DK	-
Kontrol Yapılan Saat / Control the Time	10 DK	-
Hata Sayısı / The Amount of Leakage	-	-

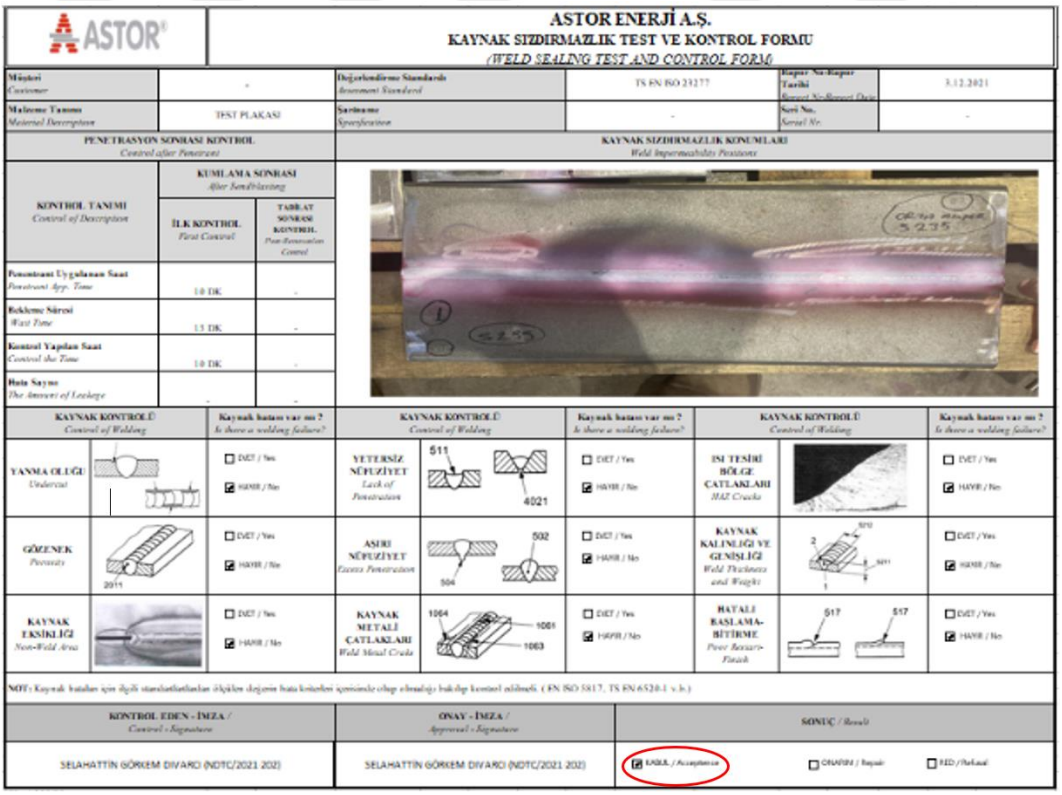
KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / Weld Impermeability Positions

KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?
YANMA OLUĞU / Undercut	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / Lack of Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / HAZ Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / Porosity	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / Excess Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / Weld Thickness and Weight	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / Non-Weld Area	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / Weld Metal Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / Poor Restart-Finish	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlarındaki ilişkiler doğrum hata kriterleri içerisinde olup elemeliği bakılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / Control - Signature	ONAY - İMZA / Approval - Signature	SONUÇ / Result
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDT/C/2021 202)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDT/C/2021 202)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.16. S235-S235 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu.



ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK SIZDIRMAZLIK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD SEALING TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / Customer	-	Değerlendirme Standardı / Assessment Standard	TS EN ISO 23277	Rapor No-Raporr Tarihi / Report No-Report Date	3.12.2021
Malzeme Tanımı / Material Description	TEST PLAKASI	Şartname / Specification	-	Seri No. / Serial No.	-

PENETRASYON SONRASI KONTROL / Control after Penetrant

KONTROL TANIMI / Control of Description	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: İLK KONTROL / First Control	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: TAMİRAT SONRASI KONTROL / Post-Renovation Control
Penetrant Uygulanan Saat / Penetrant App. Time	10 DK	-
Bekleme Süresi / Wait Time	15 DK	-
Kontrol Yapılan Saat / Control the Time	10 DK	-
Hata Sayısı / The Amount of Leakage	-	-

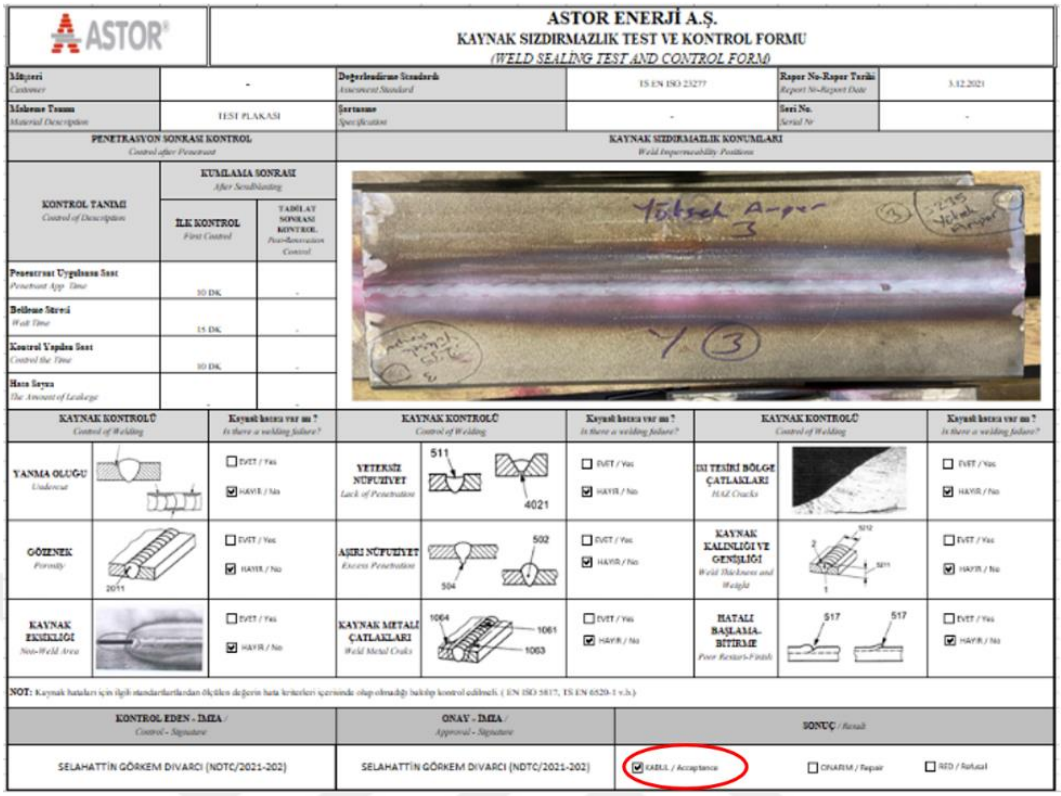
KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / Weld Impermeability Positions

KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?
YANMA OLUĞU / Undercut	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / Lack of Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / HAZ Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / Porosity	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / Excess Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / Weld Thickness and Weight	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / Non-Weld Area	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / Weld Metal Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / Poor Restart-Finish	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlarındaki ilişkiler doğrum hata kriterleri içerisinde olup elemeliği bakılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / Control - Signature	ONAY - İMZA / Approval - Signature	SONUÇ / Result
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDT/C/2021 202)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDT/C/2021 202)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.17. S235-S235 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.

KAYNAK SIZDIRMAZLIK TEST VE KONTROL FORMU

(WELD SEALING TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / *Customer*	-	Değerlendirme Standardı / *Assessment Standard*	TS EN ISO 23277	Rapor No-Rapor Tarihi / *Report No-Report Date*	3.12.2021
Malzeme Tanımı / *Material Description*	TEST PLAKASI	Şartname / *Specification*	-	Seri No. / *Serial Nr*	-

PENETRASYON SONRASI KONTROL / *Control after Penetrant*

KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / *Weld Impermeability Positions*

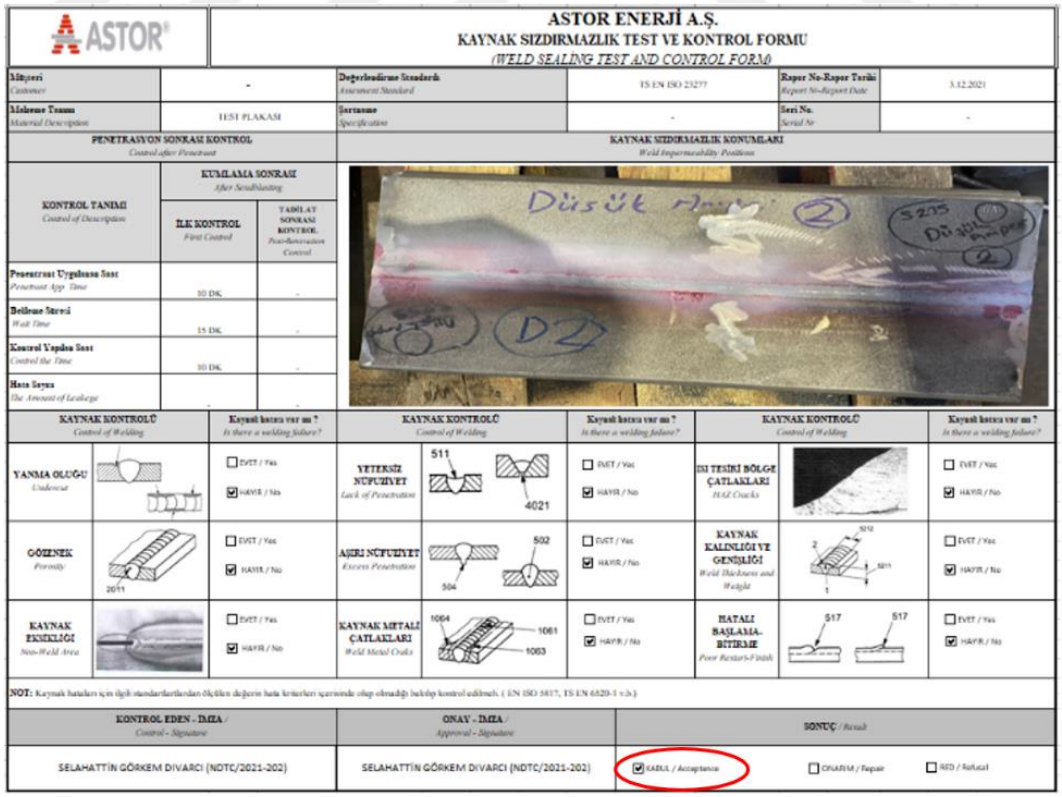
KONTROL TANIMI / *Control of Description*	KUMLAMA SONRASI / *After Sandblasting*	
	İLK KONTROL / *First Control*	TADİLAT SONRASI KONTROL / *Post-Renovation Control*
Penetrant Uygulama Süresi / *Penetrant App. Time*	30 DK.	-
Bekleme Süresi / *Wait Time*	15 DK.	-
Kontrol Yapılma Süresi / *Control the Time*	10 DK.	-
Hata Sayısı / *The Amount of Leakage*	-	-

KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*
YANMA OLUĞU / *Undercut*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / *Lack of Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / *HAZ Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / *Porosity*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / *Excess Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / *Weld Thickness and Weight*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / *Non-Weld Area*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / *Weld Metal Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / *Poor Restart-Finish*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı baktılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / *Control - Signature*	ONAY - İMZA / *Approval - Signature*	SONUÇ / *Result*
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.18. S235-S235 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.

KAYNAK SIZDIRMAZLIK TEST VE KONTROL FORMU

(WELD SEALING TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / *Customer*	-	Değerlendirme Standardı / *Assessment Standard*	TS EN ISO 23277	Rapor No-Rapor Tarihi / *Report No-Report Date*	3.12.2021
Malzeme Tanımı / *Material Description*	TEST PLAKASI	Şartname / *Specification*	-	Seri No. / *Serial Nr*	-

PENETRASYON SONRASI KONTROL / *Control after Penetrant*

KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / *Weld Impermeability Positions*

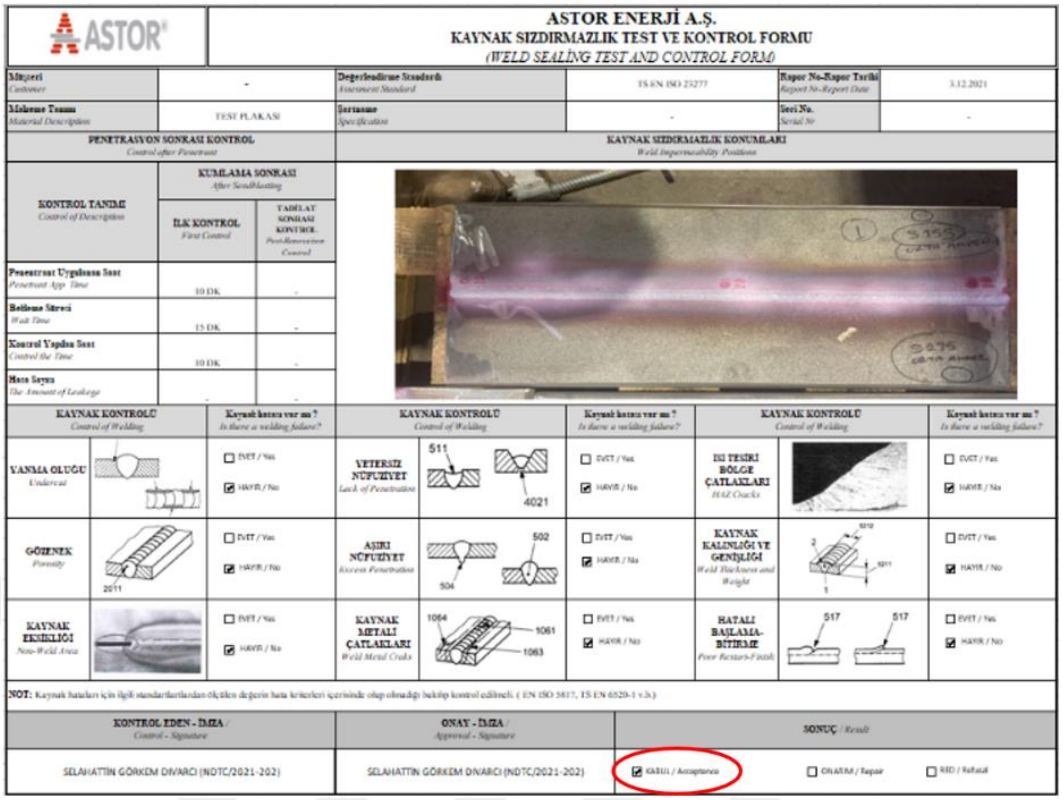
KONTROL TANIMI / *Control of Description*	KUMLAMA SONRASI / *After Sandblasting*	
	İLK KONTROL / *First Control*	TADİLAT SONRASI KONTROL / *Post-Renovation Control*
Penetrant Uygulama Süresi / *Penetrant App. Time*	30 DK.	-
Bekleme Süresi / *Wait Time*	15 DK.	-
Kontrol Yapılma Süresi / *Control the Time*	10 DK.	-
Hata Sayısı / *The Amount of Leakage*	-	-

KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*
YANMA OLUĞU / *Undercut*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / *Lack of Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / *HAZ Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / *Porosity*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / *Excess Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / *Weld Thickness and Weight*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / *Non-Weld Area*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / *Weld Metal Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / *Poor Restart-Finish*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı baktılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / *Control - Signature*	ONAY - İMZA / *Approval - Signature*	SONUÇ / *Result*
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.19. S235-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu.



ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK SIZDIRMAZLIK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD SEALİNG TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / Customer	-	Değerlendirme Standardı / Assessment Standard	TS EN ISO 23277	Rapor No-Rapor Tarihi / Report No-Report Date	3.12.2021
Malzeme Tanımı / Material Description	TEST PLAKASI	Şartname / Specification	-	Seri No. / Serial No	-

PENETRASYON SONRASI KONTROL / Control after Penetrant

KONTROL TANIMI / Control of Description	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: İLK KONTROL / First Control	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: TADİLAT SONRASI KONTROL / Post-Renovation Control
Penetrant Uygulama Süre / Penetrant App. Time	10 DK.	-
Bekleme Süresi / Wait Time	15 DK.	-
Kontrol Yapılma Süre / Control the Time	10 DK.	-
Hata Sayısı / The Amount of Leakage	-	-

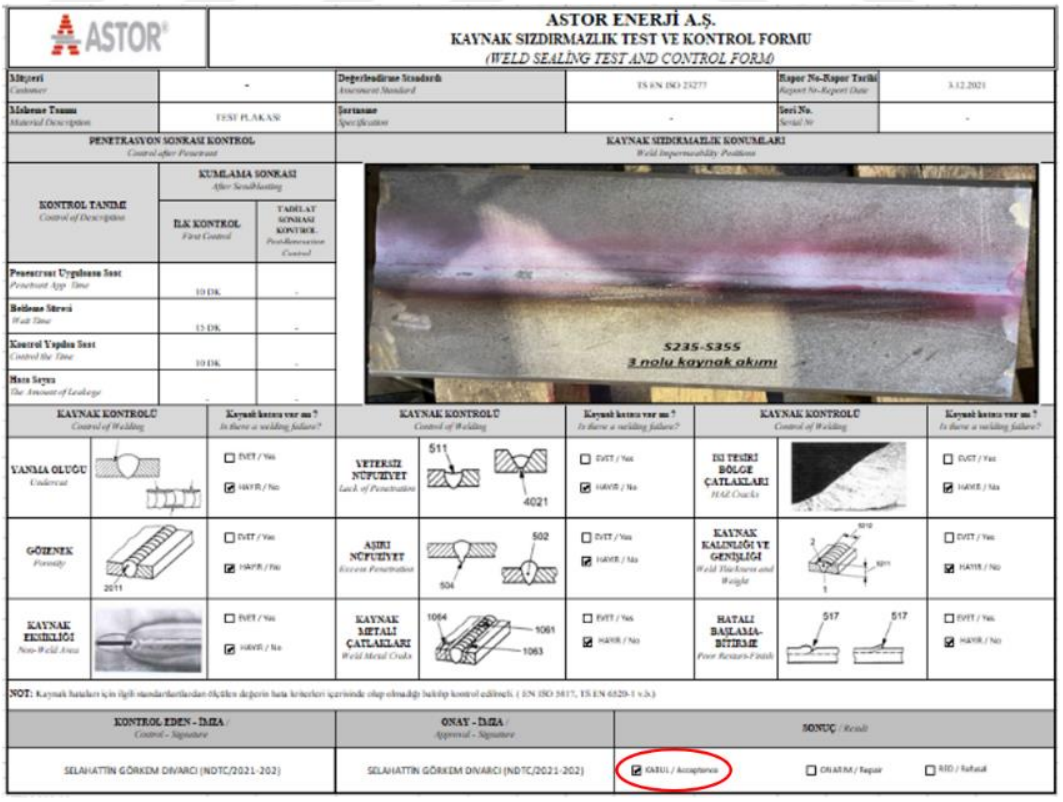
KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / Weld Impermeability Positions

KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?
YANMA OLUĞU / Undercut	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	VETERSİZ NÜFUZİYET / Lack of Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / HAZ Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / Porosity	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / Excess Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / Weld Thickness and Weight	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / Non-Weld Area	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / Weld Metal Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / Poor Restarts-Finish	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı baktılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / Control - Signature	ONAY - İMZA / Approval - Signature	SONUÇ / Result
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.20. S235-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu.



ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK SIZDIRMAZLIK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD SEALİNG TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / Customer	-	Değerlendirme Standardı / Assessment Standard	TS EN ISO 23277	Rapor No-Rapor Tarihi / Report No-Report Date	3.12.2021
Malzeme Tanımı / Material Description	TEST PLAKASI	Şartname / Specification	-	Seri No. / Serial No	-

PENETRASYON SONRASI KONTROL / Control after Penetrant

KONTROL TANIMI / Control of Description	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: İLK KONTROL / First Control	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: TADİLAT SONRASI KONTROL / Post-Renovation Control
Penetrant Uygulama Süre / Penetrant App. Time	10 DK.	-
Bekleme Süresi / Wait Time	15 DK.	-
Kontrol Yapılma Süre / Control the Time	10 DK.	-
Hata Sayısı / The Amount of Leakage	-	-

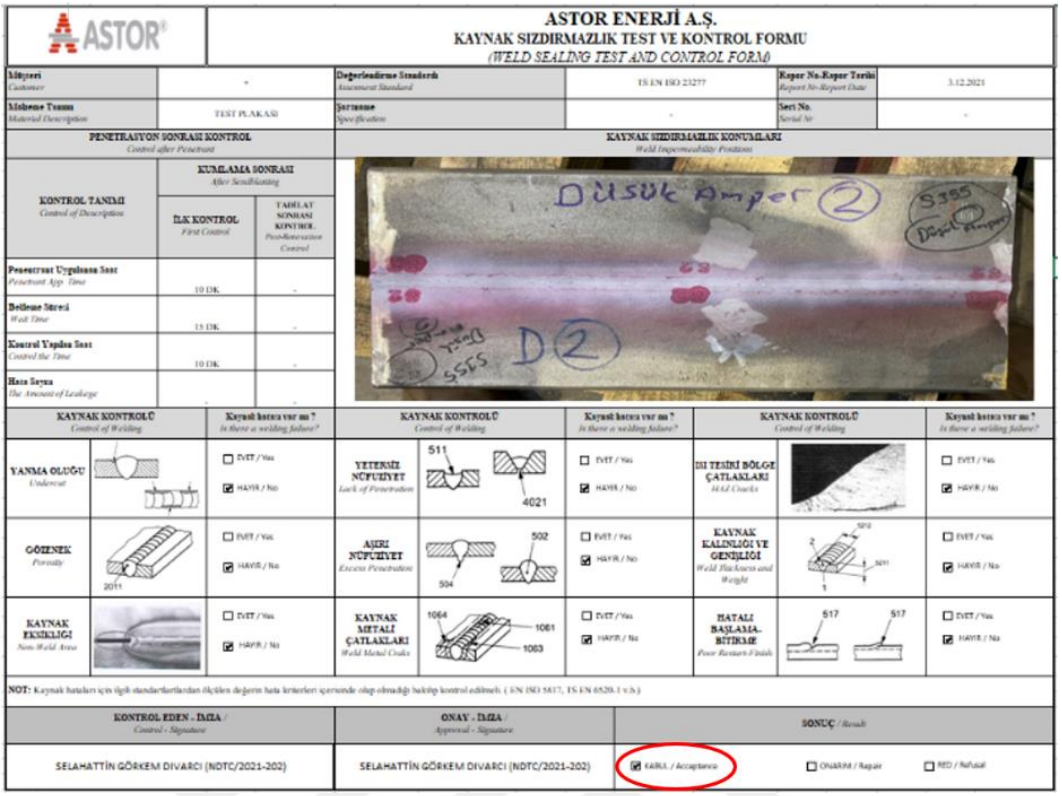
KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / Weld Impermeability Positions

KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?
YANMA OLUĞU / Undercut	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	VETERSİZ NÜFUZİYET / Lack of Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / HAZ Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / Porosity	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / Excess Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / Weld Thickness and Weight	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / Non-Weld Area	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / Weld Metal Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / Poor Restarts-Finish	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı baktılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / Control - Signature	ONAY - İMZA / Approval - Signature	SONUÇ / Result
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.21. S235-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK SIZDIRMAZLIK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD SEALING TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / Customer	-	Değerlendirme Standardı / Assessment Standard	TS EN ISO 23277	Rapor No-Rapor Tarihi / Report No-Report Date	3.12.2021
Malzeme Tanımı / Material Description	TEST PLAKASI	Şartname / Specification	-	Seri No. / Serial No	-

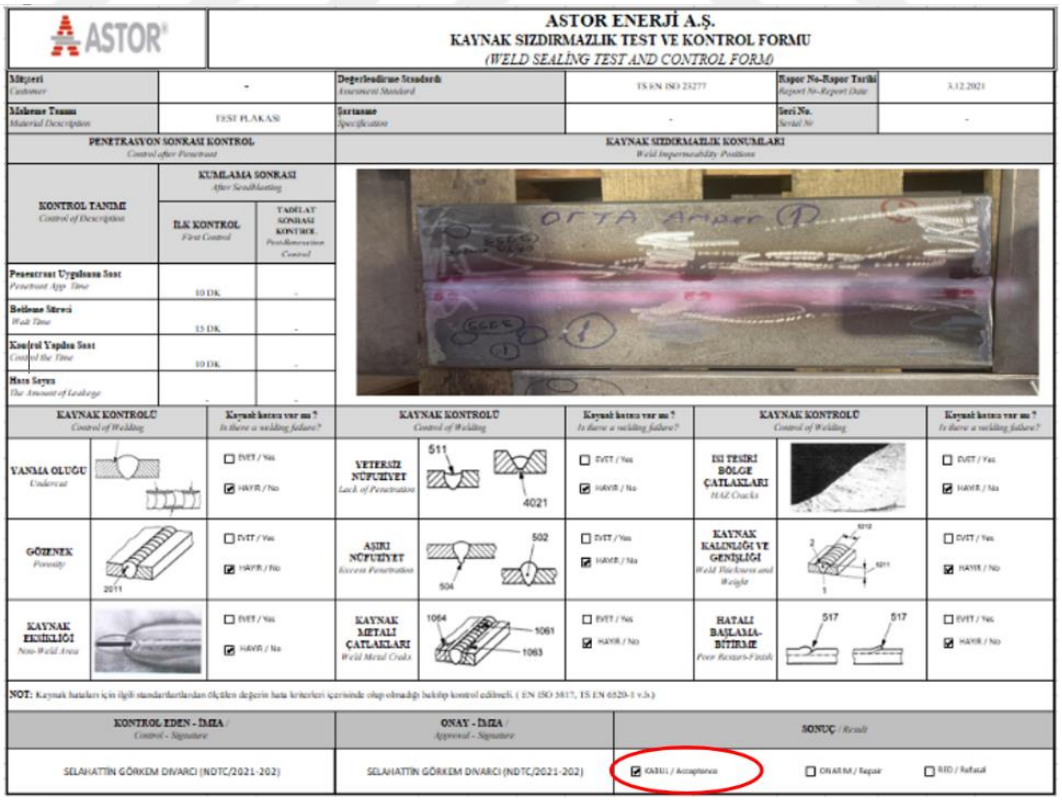
PENETRASYON SONRASI KONTROL / Control after Penetrant			KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / Weld Impermeability Positions
KONTROL TANIMI / Control of Description	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: İLK KONTROL / First Control	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: TADİLAT SONRASI KONTROL / Post-Renovation Control	
Penetrant Uygulama Süre / Penetrant App. Time	10 DK.	-	
Bekleme Süresi / Wait Time	15 DK.	-	
Kontrol Yapılan Süre / Control the Time	10 DK.	-	
Hata Sayısı / The Amount of Leakage	-	-	

KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?
YANMA OLUĞU / Undercut	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / Lack of Penetration (511, 4021)	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / HAZ Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / Porosity (2011)	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / Excess Penetration (502, 504)	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / Weld Thickness and Weight (5012, 5011)	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / Non-Weld Area	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / Weld Metal Cracks (1064, 1061, 1063)	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / Poor Restart-Finish (517, 517)	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı bakılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / Control - Signature	ONAY - İMZA / Approval - Signature	SONUÇ / Result
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.22. S355-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK SIZDIRMAZLIK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD SEALING TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / Customer	-	Değerlendirme Standardı / Assessment Standard	TS EN ISO 23277	Rapor No-Rapor Tarihi / Report No-Report Date	3.12.2021
Malzeme Tanımı / Material Description	TEST PLAKASI	Şartname / Specification	-	Seri No. / Serial No	-

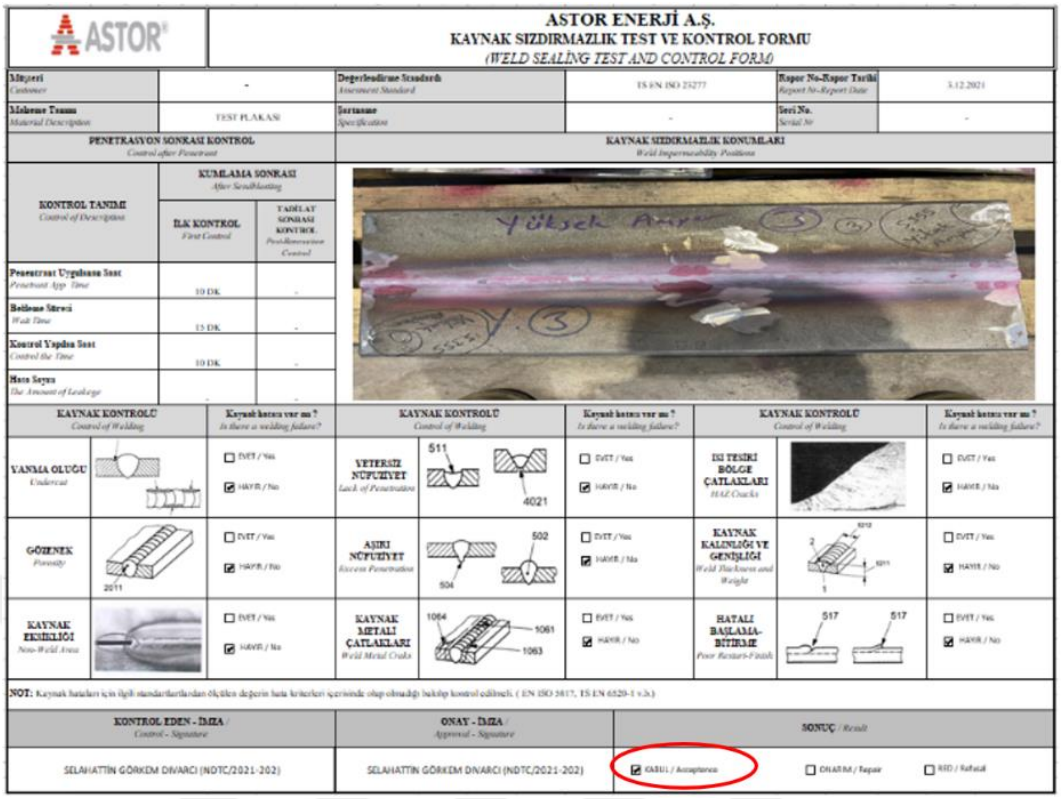
PENETRASYON SONRASI KONTROL / Control after Penetrant			KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / Weld Impermeability Positions
KONTROL TANIMI / Control of Description	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: İLK KONTROL / First Control	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: TADİLAT SONRASI KONTROL / Post-Renovation Control	
Penetrant Uygulama Süre / Penetrant App. Time	10 DK.	-	
Bekleme Süresi / Wait Time	15 DK.	-	
Kontrol Yapılan Süre / Control the Time	10 DK.	-	
Hata Sayısı / The Amount of Leakage	-	-	

KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?
YANMA OLUĞU / Undercut	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / Lack of Penetration (511, 4021)	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / HAZ Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / Porosity (2011)	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / Excess Penetration (502, 504)	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / Weld Thickness and Weight (5012, 5011)	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / Non-Weld Area	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / Weld Metal Cracks (1064, 1061, 1063)	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / Poor Restart-Finish (517, 517)	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı bakılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / Control - Signature	ONAY - İMZA / Approval - Signature	SONUÇ / Result
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.23. S355-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu.



ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK SIZDIRMAZLIK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD SEALİNG TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / Customer	-	Değerlendirme Standardı / Assessment Standard	TS EN ISO 23277	Rapor No-Rapor Tarihi / Report No-Report Date	3.12.2021
Malzeme Tanımı / Material Description	TEST PLAKASI	Şartname / Specification	-	Seri No. / Serial No	-

PENETRASYON SONRASI KONTROL / Control after Penetrant

KONTROL TANIMI / Control of Description	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: İLK KONTROL / First Control	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting: TADİLAT SONRASI KONTROL / Post-Renovation Control
Penetrant Uygulama Süre / Penetrant App. Time	10 DK.	-
Bekleme Süresi / Wait Time	15 DK.	-
Kontrol Yapılan Süre / Control the Time	10 DK.	-
Hata Sayısı / The Amount of Leakage	-	-

KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / Weld Impermeability Positions

KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?
YANMA OLUĞU / Undercut	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / Lack of Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / HAZ Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / Porosity	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / Excess Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / Weld Thickness and Weight	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / Non-Weld Area	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / Weld Metal Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / Poor Restart-Finish	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı baktılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 vb.)

KONTROL EDEN - İMZA / Control - Signature	ONAY - İMZA / Approval - Signature	SONUÇ / Result
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-202)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.24. S355-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune PT raporu.

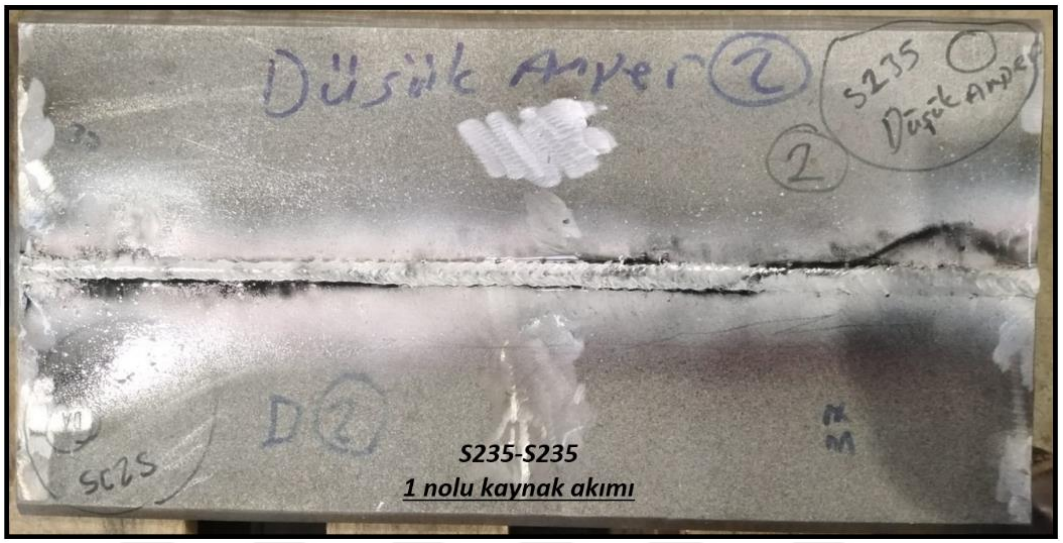
PT sonrası kaynaklı numuneler incelendiğinde, kaynak yüzeyinde boşluk, çatlak, yanma oluğu ve gözenek vb. yüzey kusurları tespit edilmemiştir. Uzman raporunda da bütün kaynaklı birleştirme (S235-S235, S235-S355 ve S355-S355) ve kaynak akımlarında da (1, 2 ve 3 nolu kaynak akımlarında) yüzeysel hata görülmediği ve kaynaklı birleştirmelerin standartlara uygun olduğu bildirilmiştir.

Özkan (2019) yapı çeliklerinin kaynak sonrası tahribatlı/tahribatsız testleri konulu yüksek lisans tezinde PT sonucunda kaynak yüzeyinde herhangi bir süreksizlik görülmediği bildirilmiştir.

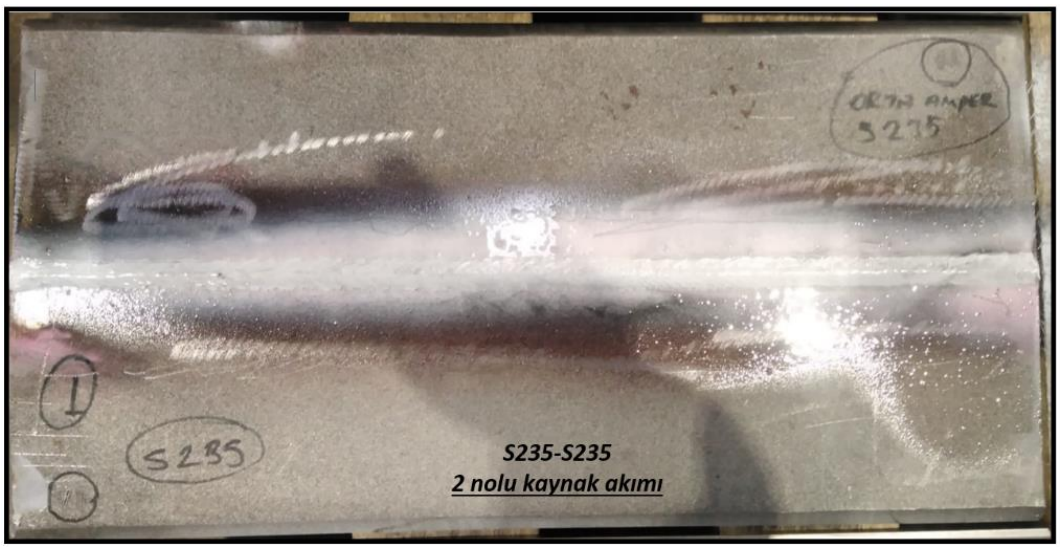
Atılgan (2022) tozaltı ark kaynak yöntemi ile depolama tankı imalatı ve kaynak bölgesinin incelenmesi konulu yüksek lisans tezinde PT sonucunda kaynak yüzeyinde herhangi bir kaynak hatası görülmediğini rapor etmiştir.

5.1.3. Manyetik Parçacık Testi (MT)

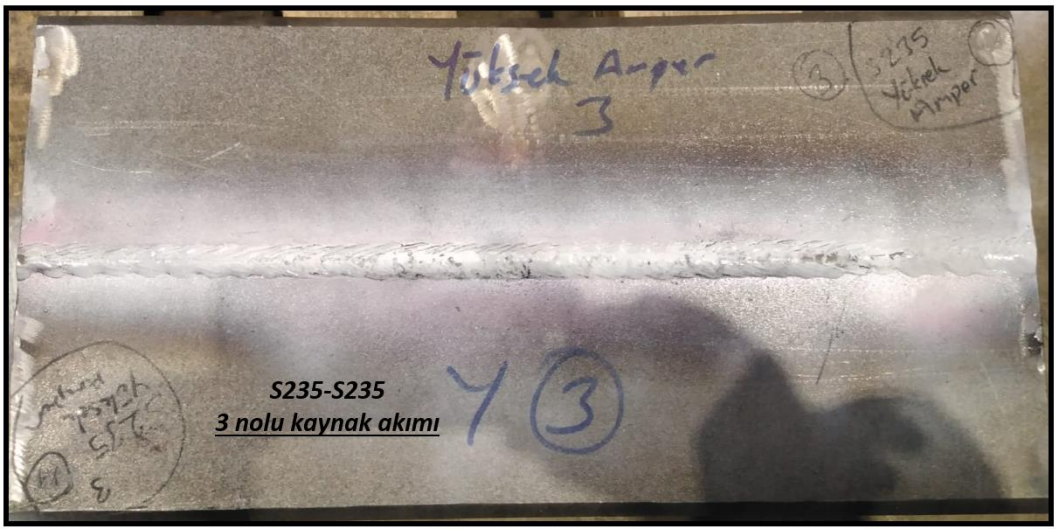
Kaynaklı numunelerin MT tahribatsız testler uzmanınca (NDT Level 2) TS EN ISO 9934 standardına göre gerçekleştirilmiş ve raporlanmıştır. Deneysel çalışmaların görseli Şekil 5.25-5.32'de verilmiştir.



Şekil 5.25. S235-S235 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü.



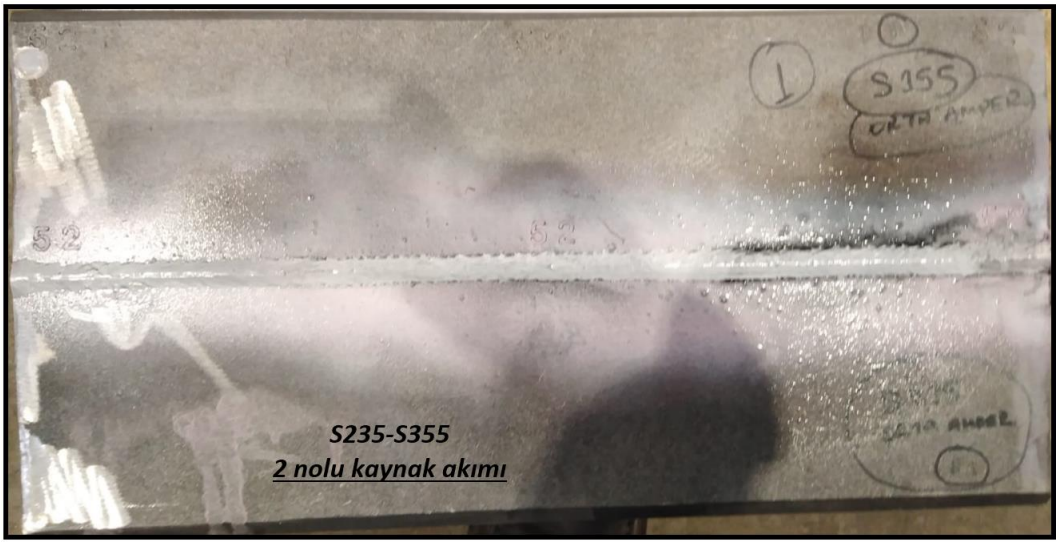
Şekil 5.26. S235-S235 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü.



Şekil 5.27. S235-S235 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü.



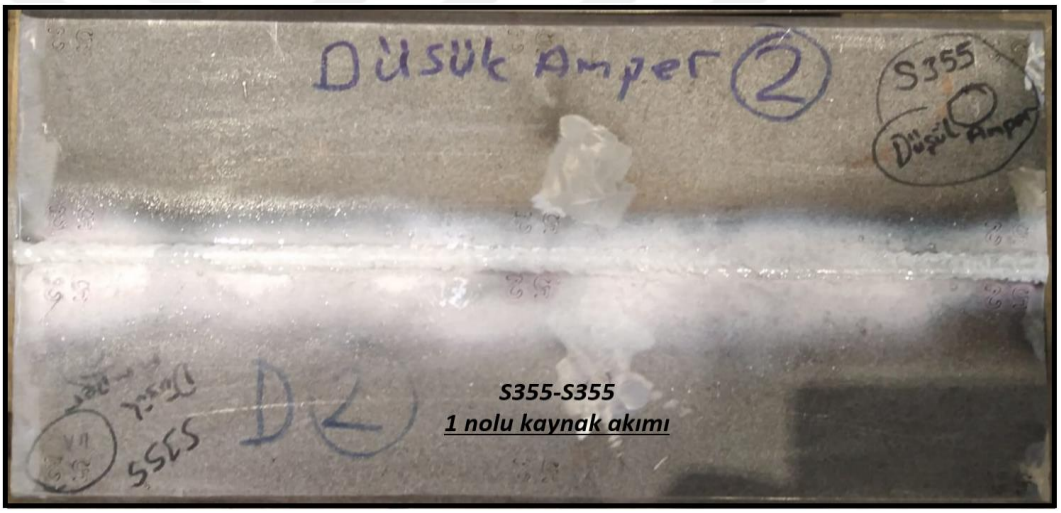
Şekil 5.28. S235-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü.



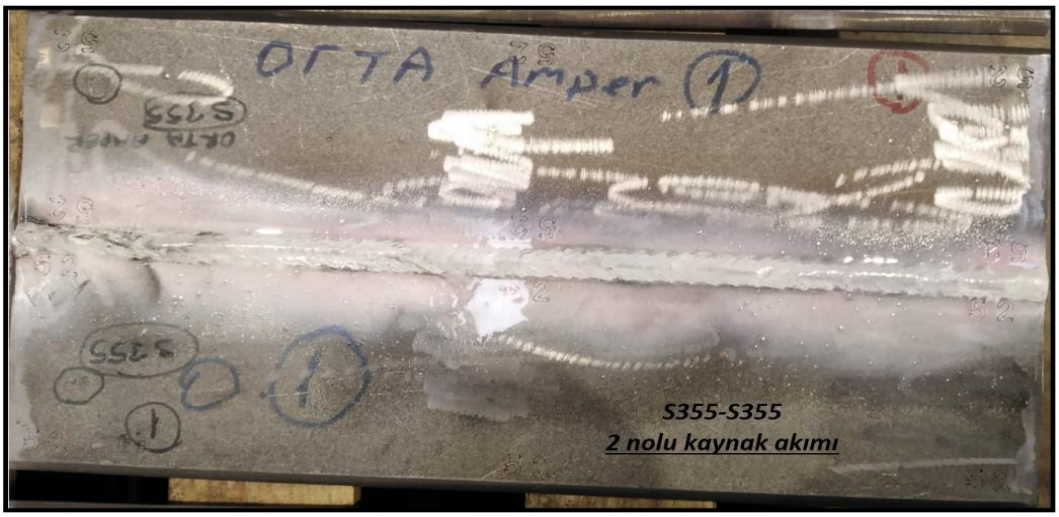
Şekil 5.29. S235-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü.



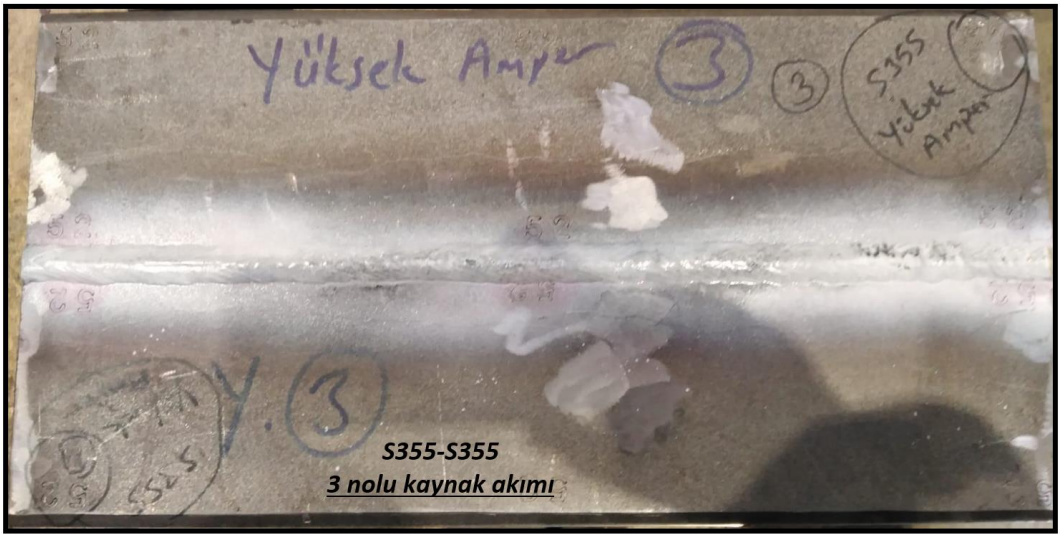
Şekil 5.30. S235-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü.



Şekil 5.31. S355-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü.

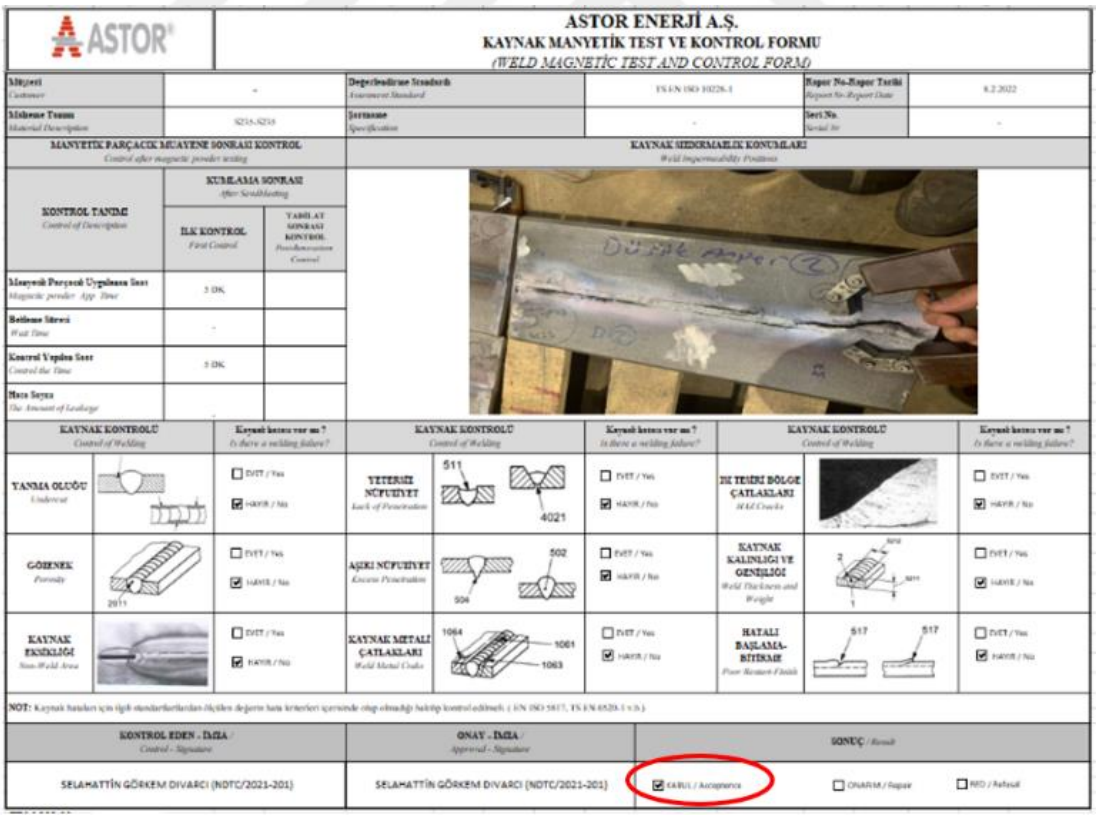


Şekil 5.32. S355-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü.



Şekil 5.33. S355-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT görüntüsü.

Şekil 5.34-5.42'de MT sonrası tahribatsız testler uzmanınca onaylanan raporlar verilmiştir.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK MANYETİK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD MAGNETIC TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / *Customer*	-	Değerlendirme Standardı / *Assessment Standard*	TS EN ISO 10228-1	Rapor No-Rapor Tarihi / *Report No-Report Date*	8.2.2022
Malzeme Tanımı / *Material Description*	S235-S235	Şartname / *Specification*	-	Seri No. / *Serial No*	-

MANYETİK PARÇACIK MUAYENE SONRASI KONTROL / *Control after magnetic powder testing*

KONTROL TANIMI / *Control of Description*	KUMLAMA SONRASI / *After Sandblasting*	
	İLK KONTROL / *First Control*	TAMİLAT SONRASI KONTROL / *Postdemagnetization Control*
Manyetik Parçacık Uygulama Süresi / *Magnetic powder App. Time*	5 DK.	
Bekleme Süresi / *Wait Time*	-	
Kontrol Yapılma Süresi / *Control the Time*	5 DK.	
Hata Sayısı / *The Amount of Leakage*	-	

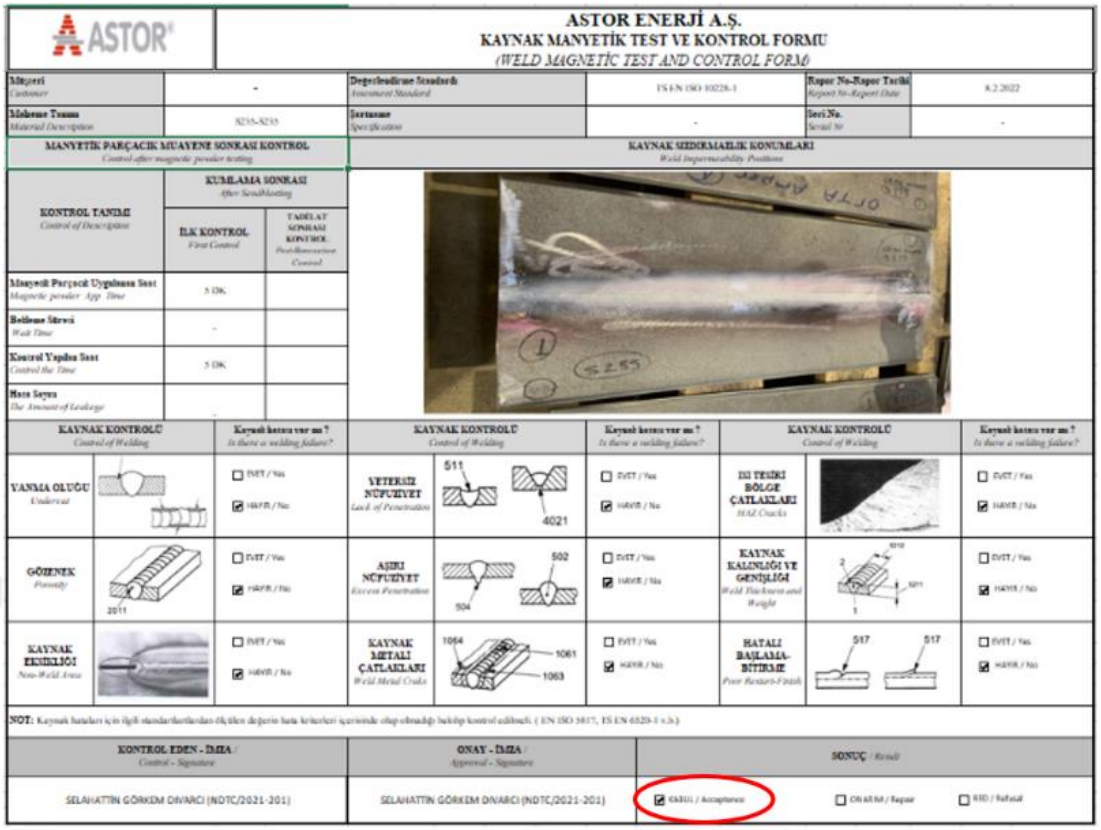
KAYNAK MEKANİZMALIK KONUMLARI / *Weld Impermeability Positions*

KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı? / *Is there a welding failure?*
YANMA OLUĞU / *Undercut*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / *Lack of Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	İLK TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / *HAZ Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / *Porosity*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / *Excess Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / *Weld Thickness and Weight*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / *Non-Weld Area*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / *Weld Metal Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / *Poor Restart-Finish*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ilgilileri değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı hakkında kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / *Control - Signature*	ONAY - İMZA / *Approval - Signature*	SONUÇ / *Result*
SELAHATTİN GÖRKEM DIVARCI (NDTC/2021-201)	SELAHATTİN GÖRKEM DIVARCI (NDTC/2021-201)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.34. S235-S235 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK MANYETİK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD MAGNETİC TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri *Customer*	-	Değerlendirme Standardı *Assessment Standard*	TS EN ISO 10228-1	Rapor No-Rapor Tarihi *Report No-Report Date*	8.2.2022
Malzeme Tanımı *Material Description*	S235-S235	Şartname *Specification*	-	Seri No. *Serial No*	-

MANYETİK PARÇACIK MUAYENE SONRASI KONTROL *Control after magnetic powder testing*

KONTROL TANIMI *Control of Description*	KUMLAMA SONRASI *After Sandblasting*	
	İLK KONTROL *First Control*	TAMİLAT SONRASI KONTROL *Post-Rectification Control*
Manyetik Parçacık Uygulama Süresi *Magnetic powder App. Time*	5 DK	
Bekleme Süresi *Wait Time*	-	
Kontrol Yapılma Süresi *Control the Time*	5 DK	
Hata Sayısı *The Amount of Leakage*	-	

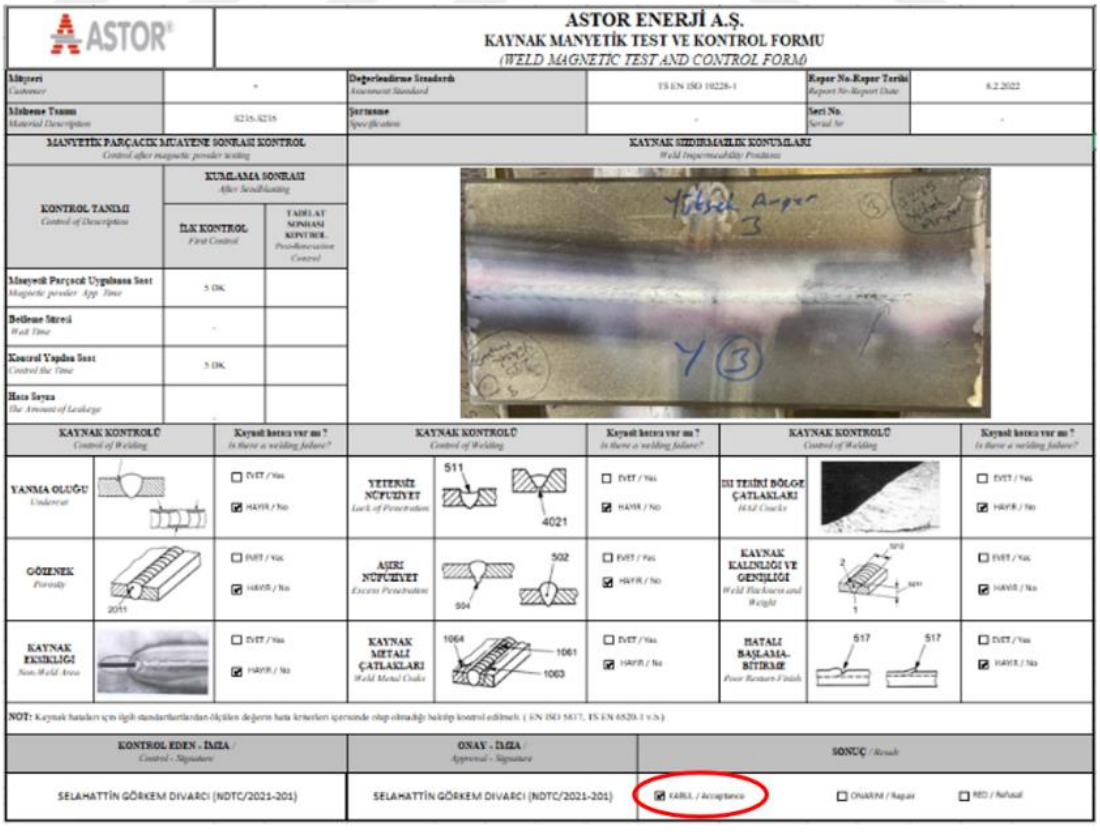
KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI *Weld Impermeability Positions*

KAYNAK KONTROLÜ *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? *Is there a welding failure?*
YANMA OLUĞU *Undercut*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET *Lack of Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI *HAZ Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK *Porosity*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET *Excess Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ *Weld Thickness and Weight*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ *Non-Weld Area*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI *Weld Metal Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME *Poor Restart-Finish*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı bakılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / *Control - Signature*	ONAY - İMZA / *Approval - Signature*	SONUÇ / *Result*
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-201)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-201)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.35. S235-S235 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK MANYETİK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD MAGNETİC TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri *Customer*	-	Değerlendirme Standardı *Assessment Standard*	TS EN ISO 10228-1	Rapor No-Rapor Tarihi *Report No-Report Date*	8.2.2022
Malzeme Tanımı *Material Description*	S235-S235	Şartname *Specification*	-	Seri No. *Serial No*	-

MANYETİK PARÇACIK MUAYENE SONRASI KONTROL *Control after magnetic powder testing*

KONTROL TANIMI *Control of Description*	KUMLAMA SONRASI *After Sandblasting*	
	İLK KONTROL *First Control*	TAMİLAT SONRASI KONTROL *Post-Rectification Control*
Manyetik Parçacık Uygulama Süresi *Magnetic powder App. Time*	5 DK	
Bekleme Süresi *Wait Time*	-	
Kontrol Yapılma Süresi *Control the Time*	5 DK	
Hata Sayısı *The Amount of Leakage*	-	

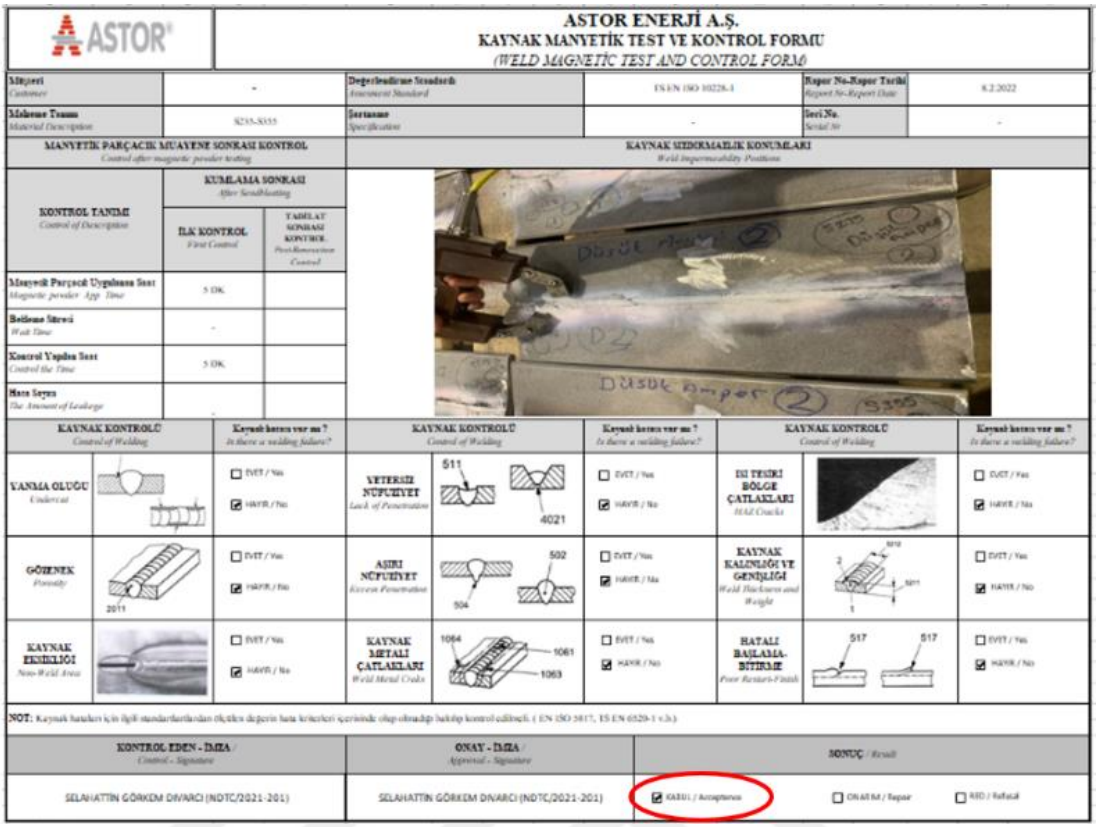
KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI *Weld Impermeability Positions*

KAYNAK KONTROLÜ *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? *Is there a welding failure?*
YANMA OLUĞU *Undercut*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET *Lack of Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI *HAZ Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK *Porosity*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET *Excess Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ *Weld Thickness and Weight*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ *Non-Weld Area*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI *Weld Metal Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME *Poor Restart-Finish*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı bakılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / *Control - Signature*	ONAY - İMZA / *Approval - Signature*	SONUÇ / *Result*
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-201)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-201)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.36. S235-S235 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK MANYETİK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD MAGNETİC TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / Customer	-	Değerlendirme Standardı / Assessment Standard	TS EN ISO 10228-1	Rapor No-Rapor Tarihi / Report No-Report Date	8.2.2022
Malzeme Tanımı / Material Description	S235-S355	Şartname / Specification	-	Seri No. / Serial No	-

MANYETİK PARÇACIK MUAYENE SONRASI KONTROL / *Control after magnetic powder testing*

KAYNAK HİDRMAKLİK KONUMLARI / *Weld Impermeability Positions*

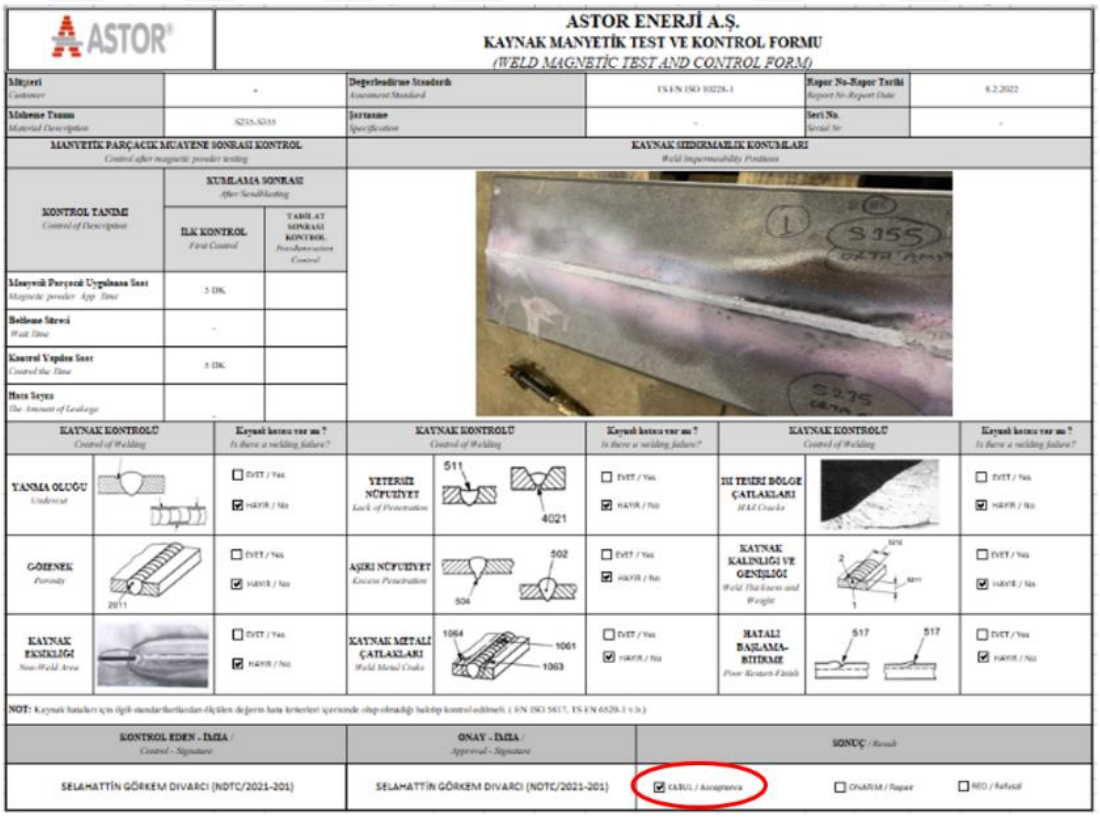
KONTROL TANIMI / Control of Description	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting	
	İLK KONTROL / First Control	TAMİLAT SONRASI KONTROL / Post-Renovation Control
Manyetik Parçacık Uygulama Süresi / Magnetic powder App. Time	5 DK.	
Bekleme Süresi / Wait Time	-	
Kontrol Yapılan Süre / Control the Time	5 DK.	
Hata Sayısı / The Amount of Leakage	-	

KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?
YANMA OLUĞU / Undercut	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / Lack of Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / HAZ Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / Porosity	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / Excess Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / Weld Thickness and Weight	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / Non-Weld Area	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / Weld Metal Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / Poor Restart-Finish	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı baktılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / Control - Signature	ONAY - İMZA / Approval - Signature	SONUÇ / Result
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-201)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-201)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.37. S235-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK MANYETİK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD MAGNETİC TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / Customer	-	Değerlendirme Standardı / Assessment Standard	TS EN ISO 10228-1	Rapor No-Rapor Tarihi / Report No-Report Date	8.2.2022
Malzeme Tanımı / Material Description	S235-S355	Şartname / Specification	-	Seri No. / Serial No	-

MANYETİK PARÇACIK MUAYENE SONRASI KONTROL / *Control after magnetic powder testing*

KAYNAK HİDRMAKLİK KONUMLARI / *Weld Impermeability Positions*

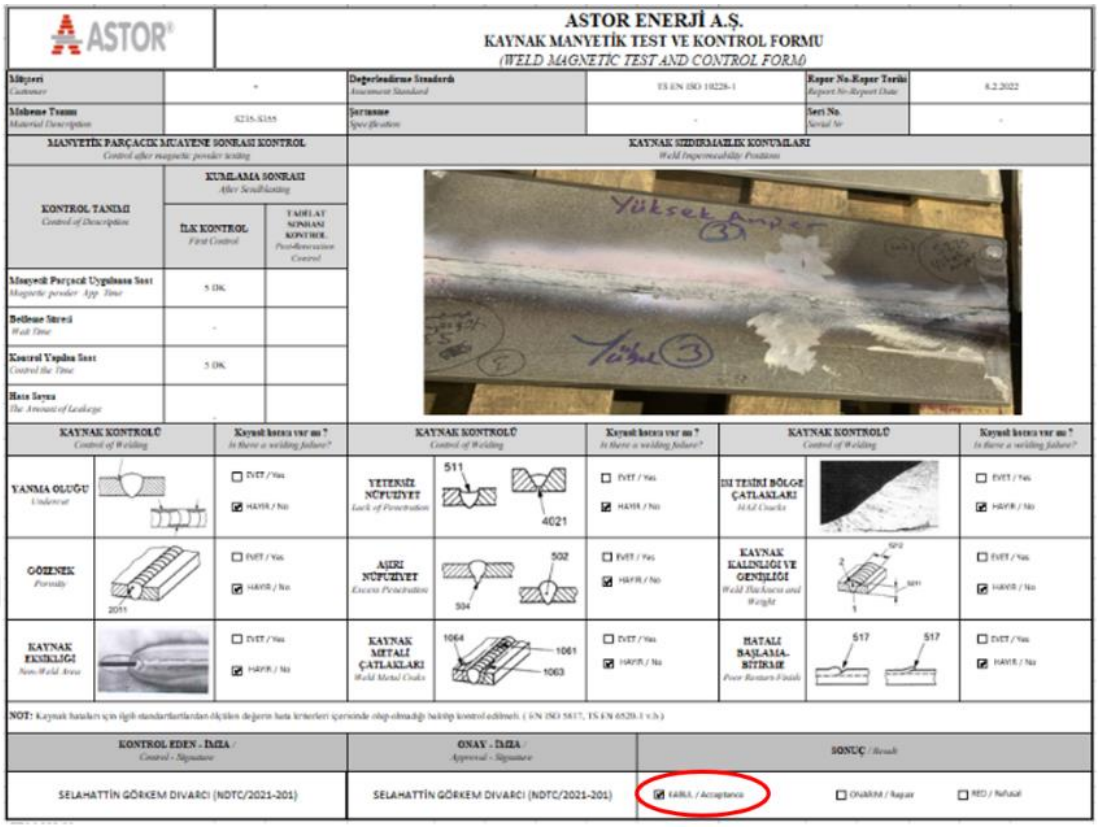
KONTROL TANIMI / Control of Description	KUMLAMA SONRASI / After Sandblasting	
	İLK KONTROL / First Control	TAMİLAT SONRASI KONTROL / Post-Renovation Control
Manyetik Parçacık Uygulama Süresi / Magnetic powder App. Time	5 DK.	
Bekleme Süresi / Wait Time	-	
Kontrol Yapılan Süre / Control the Time	5 DK.	
Hata Sayısı / The Amount of Leakage	-	

KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?	KAYNAK KONTROLÜ / Control of Welding	Kaynak hatası var mı? / Is there a welding failure?
YANMA OLUĞU / Undercut	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / Lack of Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / HAZ Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / Porosity	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / Excess Penetration	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / Weld Thickness and Weight	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / Non-Weld Area	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / Weld Metal Cracks	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / Poor Restart-Finish	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı baktılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / Control - Signature	ONAY - İMZA / Approval - Signature	SONUÇ / Result
SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-201)	SELAHATTİN GÖRKEM DİVARCI (NDTC/2021-201)	☑ KABUL / Acceptance ☐ ONARIM / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.38. S235-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK MANYETİK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD MAGNETIC TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / *Customer*	-	Değerlendirme Standardı / *Assessment Standard*	TS EN ISO 10228-1	Rapor No.-Rapor Tarihi / *Report No-Report Date*	8.2.2022
Malzeme Tanımı / *Material Description*	S235-S355	Şartname / *Specification*	-	Seri No. / *Serial No*	-

MANYETİK PARÇACIK MUAYENE SONRASI KONTROL / *Control after magnetic powder testing*

KONTROL TANIMI / *Control of Description*	KUMLAMA SONRASI / *After Sandblasting*	
	İLK KONTROL / *First Control*	TAMİRAT SONRASI KONTROL / *Post-Renovation Control*
Manyetik Parçacık Uygulama Süresi / *Magnetic powder App. Time*	5 DK	
Bekleme Süresi / *Wait Time*	-	
Kontrol Yapılma Süresi / *Control the Time*	5 DK	
Hata Sayısı / *The Amount of Leakage*		

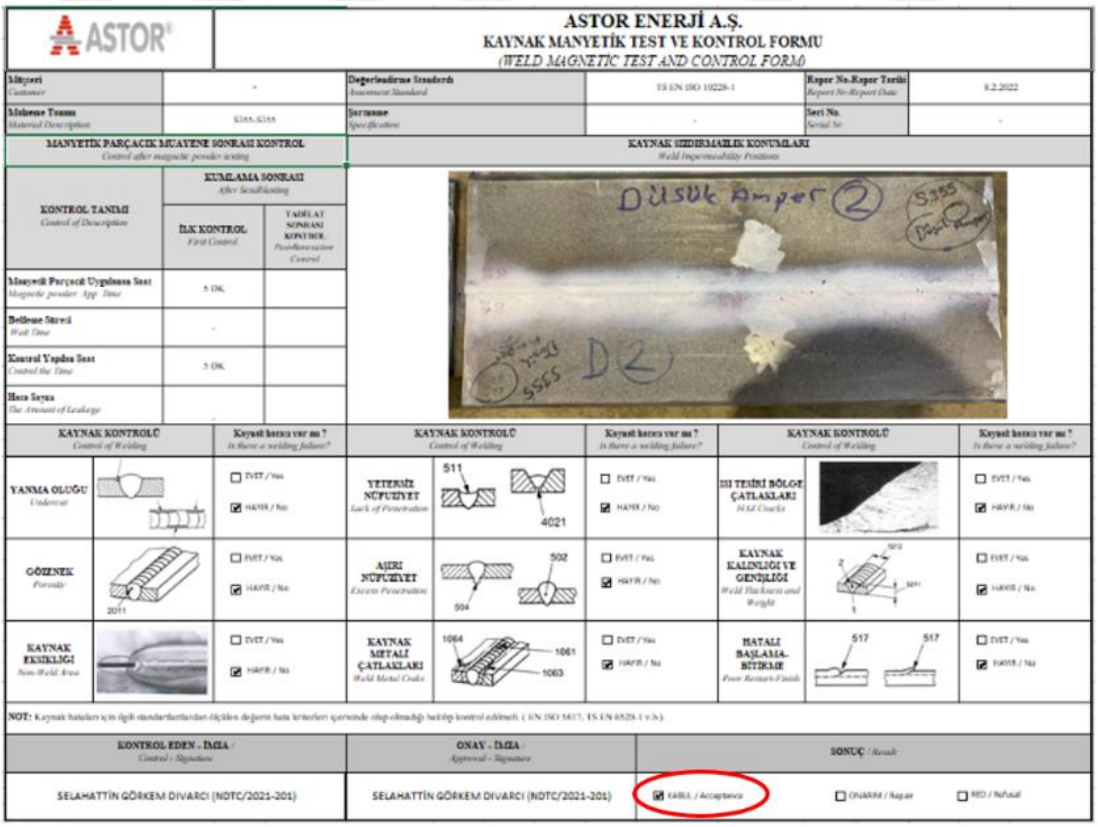
KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / *Weld Impermeability Positions*

KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*
YANMA OLUĞU / *Undercut*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / *Lack of Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / *HAZ Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / *Porosity*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / *Excess Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / *Weld Thickness and Weight*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / *Non-Weld Area*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / *Weld Metal Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / *Poor Restart-Finish*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup-olmadığı hakkında kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / *Control - Signature*	ONAY - İMZA / *Approval - Signature*	SONUÇ / *Result*
SELAHATTİN GÖRKEM DIVARCI (NDTC/2021-201)	SELAHATTİN GÖRKEM DIVARCI (NDTC/2021-201)	☑ KABUL / Acceptance ☐ Onarım / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.39. S235-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK MANYETİK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD MAGNETIC TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / *Customer*	-	Değerlendirme Standardı / *Assessment Standard*	TS EN ISO 10228-1	Rapor No.-Rapor Tarihi / *Report No-Report Date*	8.2.2022
Malzeme Tanımı / *Material Description*	S355-S355	Şartname / *Specification*	-	Seri No. / *Serial No*	-

MANYETİK PARÇACIK MUAYENE SONRASI KONTROL / *Control after magnetic powder testing*

KONTROL TANIMI / *Control of Description*	KUMLAMA SONRASI / *After Sandblasting*	
	İLK KONTROL / *First Control*	TAMİRAT SONRASI KONTROL / *Post-Renovation Control*
Manyetik Parçacık Uygulama Süresi / *Magnetic powder App. Time*	5 DK	
Bekleme Süresi / *Wait Time*	-	
Kontrol Yapılma Süresi / *Control the Time*	5 DK	
Hata Sayısı / *The Amount of Leakage*		

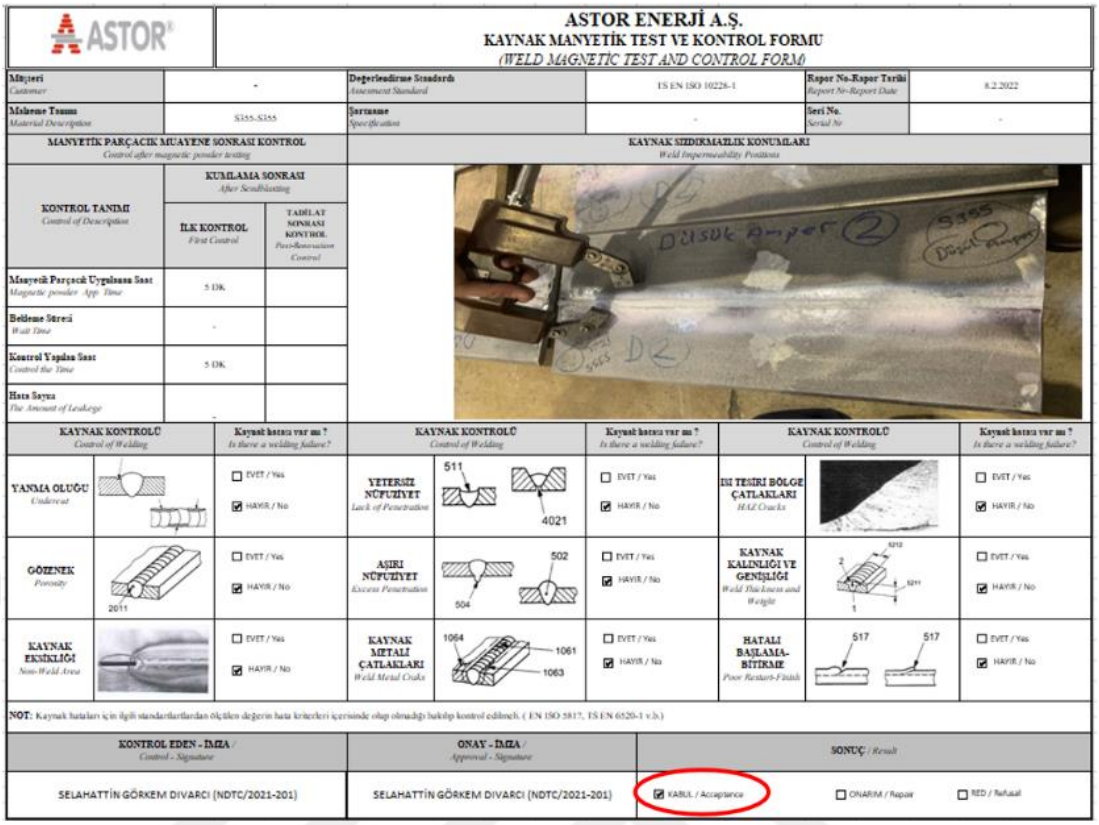
KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / *Weld Impermeability Positions*

KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*	Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*
YANMA OLUĞU / *Undercut*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / *Lack of Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / *HAZ Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / *Porosity*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / *Excess Penetration*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / *Weld Thickness and Weight*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / *Non-Weld Area*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / *Weld Metal Cracks*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / *Poor Restart-Finish*	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup-olmadığı hakkında kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / *Control - Signature*	ONAY - İMZA / *Approval - Signature*	SONUÇ / *Result*
SELAHATTİN GÖRKEM DIVARCI (NDTC/2021-201)	SELAHATTİN GÖRKEM DIVARCI (NDTC/2021-201)	☑ KABUL / Acceptance ☐ Onarım / Repair ☐ RED / Refusal

Şekil 5.40. S355-S355 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK MANYETİK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD MAGNETIC TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / *Customer*	-	Değerlendirme Standardı / *Assessment Standard*	TS EN ISO 10228-1	Rapor No-Rapor Tarihi / *Report No-Report Date*	8.2.2022
Malzeme Tanımı / *Material Description*	S355-S355	Şartname / *Specification*	-	Seri No. / *Serial Nr*	-

MANYETİK PARÇACIK MUAYENE SONRASI KONTROL / *Control after magnetic powder testing*

KONTROL TANIMI / *Control of Description*	KUMLAMA SONRASI / *After Sandblasting*	
	İLK KONTROL / *First Control*	TADİLAT SONRASI KONTROL / *Post-Renovation Control*
Manyetik Parçacık Uygulama Süre / *Magnetic powder App. Time*	5 DK.	
Bekleme Süresi / *Wait Time*	-	
Kontrol Yapılan Süre / *Control the Time*	5 DK.	
Hata Sayısı / *The Amount of Leakage*	-	

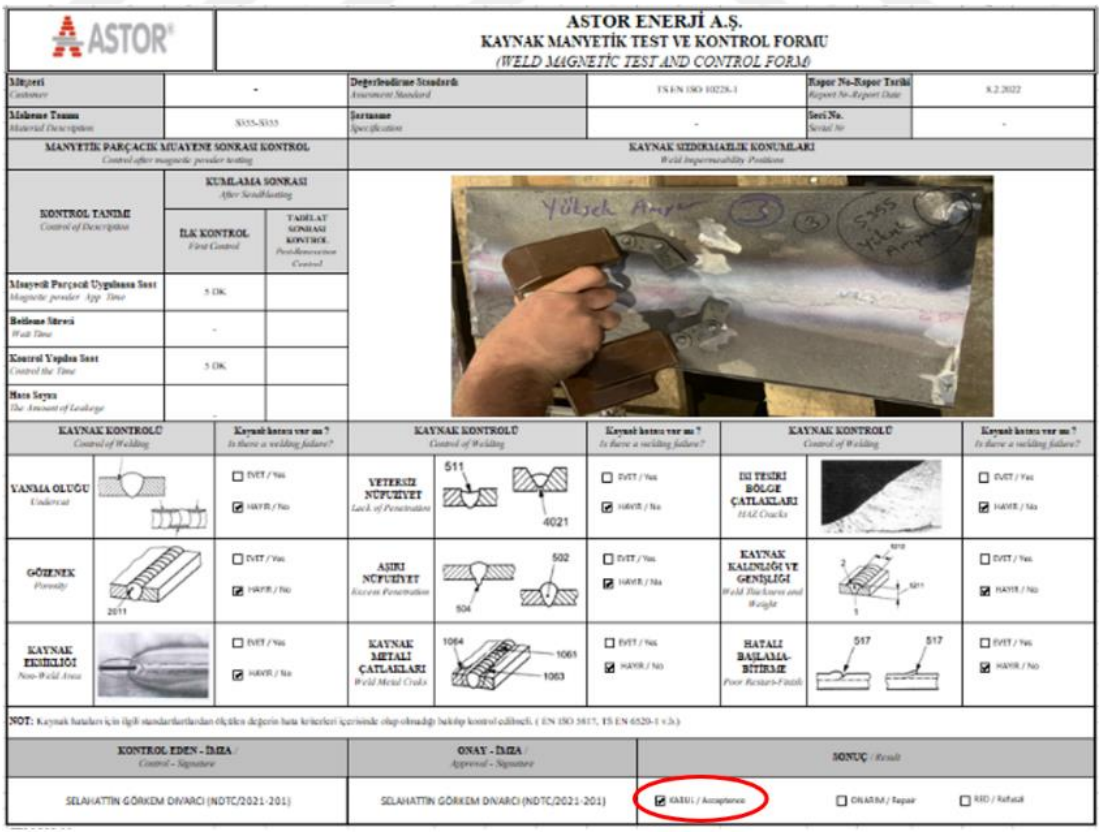
KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / *Weld Impermeability Positions*

KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*		Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*		Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*		Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*
YANMA OLUĞU / *Undercut*		☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / *Lack of Penetration*	511 4021	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / *HAZ Cracks*		☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / *Porosity*	2011	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / *Excess Penetration*	502 504	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / *Weld Thickness and Weight*	5212 2 5211 1	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / *Non-Weld Area*		☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / *Weld Metal Cracks*	1064 1061 1063	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / *Poor Restart-Finish*	517 517	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı baktılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / *Control - Signature*	ONAY - İMZA / *Approval - Signature*	SONUÇ / *Result*		
SELAHATTİN GÖRKEM DIVARCI (NDTC/2021-201)	SELAHATTİN GÖRKEM DIVARCI (NDTC/2021-201)	☑ KABUL / Acceptance	☐ ONARIM / Repair	☐ RED / Refusal

Şekil 5.41. S355-S355 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu.



ASTOR

ASTOR ENERJİ A.Ş.
KAYNAK MANYETİK TEST VE KONTROL FORMU
(WELD MAGNETIC TEST AND CONTROL FORM)

Müşteri / *Customer*	-	Değerlendirme Standardı / *Assessment Standard*	TS EN ISO 10228-1	Rapor No-Rapor Tarihi / *Report No-Report Date*	8.2.2022
Malzeme Tanımı / *Material Description*	S355-S355	Şartname / *Specification*	-	Seri No. / *Serial Nr*	-

MANYETİK PARÇACIK MUAYENE SONRASI KONTROL / *Control after magnetic powder testing*

KONTROL TANIMI / *Control of Description*	KUMLAMA SONRASI / *After Sandblasting*	
	İLK KONTROL / *First Control*	TADİLAT SONRASI KONTROL / *Post-Renovation Control*
Manyetik Parçacık Uygulama Süre / *Magnetic powder App. Time*	5 DK.	
Bekleme Süresi / *Wait Time*	-	
Kontrol Yapılan Süre / *Control the Time*	5 DK.	
Hata Sayısı / *The Amount of Leakage*	-	

KAYNAK SIZDIRMAZLIK KONUMLARI / *Weld Impermeability Positions*

KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*		Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*		Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*	KAYNAK KONTROLÜ / *Control of Welding*		Kaynak hatası var mı ? / *Is there a welding failure?*
YANMA OLUĞU / *Undercut*		☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	YETERSİZ NÜFUZİYET / *Lack of Penetration*	511 4021	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	ISI TESİRİ BÖLGE ÇATLAKLARI / *HAZ Cracks*		☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
GÖZENEK / *Porosity*	2011	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	AŞIRI NÜFUZİYET / *Excess Penetration*	502 504	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK KALINLIĞI VE GENİŞLİĞİ / *Weld Thickness and Weight*	5212 2 5211 1	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No
KAYNAK EKSİKLİĞİ / *Non-Weld Area*		☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	KAYNAK METALİ ÇATLAKLARI / *Weld Metal Cracks*	1064 1061 1063	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No	HATALI BAŞLAMA-BİTİRME / *Poor Restart-Finish*	517 517	☐ EVET / Yes ☑ HAYIR / No

NOT: Kaynak hataları için ilgili standartlardan ölçülen değerin hata kriterleri içerisinde olup olmadığı baktılıp kontrol edilmeli. (EN ISO 5817, TS EN 6520-1 v.b.)

KONTROL EDEN - İMZA / *Control - Signature*	ONAY - İMZA / *Approval - Signature*	SONUÇ / *Result*		
SELAHATTİN GÖRKEM DIVARCI (NDTC/2021-201)	SELAHATTİN GÖRKEM DIVARCI (NDTC/2021-201)	☑ KABUL / Acceptance	☐ ONARIM / Repair	☐ RED / Refusal

Şekil 5.42. S355-S355 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numune MT raporu.

MT sonuçları incelendiğinde, kaynak yüzeylerinde gözenek, çatlak, yanma oluğu vb. kusurlar görülmemiştir. Uzmanca onaylanan raporlar da bütün kaynaklı birleştirmeler (S235-S235, S235-S355 ve S355-S355) ve kaynak akımlarında da (1, 2 ve 3 nolu kaynak akımlarında) yüzeysel hataya rastlanılmadığı ve kaynakların standartlar uygun olduğu bildirilmiştir.

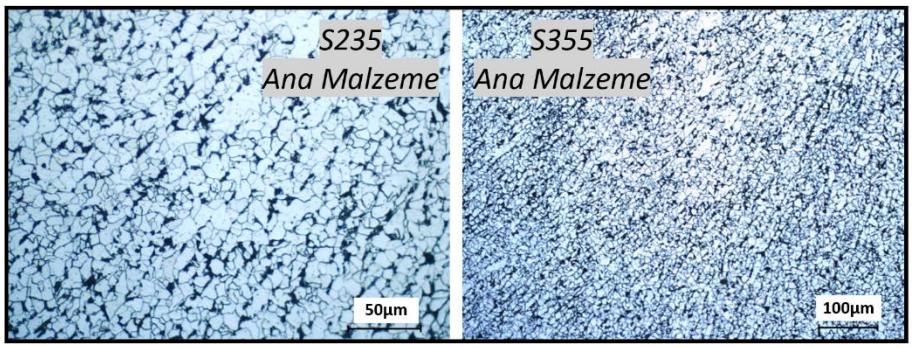
Özkan (2019) kaynaklı yapı çeliklerinin tahribatlı/tahribatsız testleri konulu yüksek lisans tezinde MT sonucunda kaynak yüzeyinde herhangi bir damar, çatlak, gözenek vb. yüzeysel kusurlarının görülmediği rapor edilmiştir.

Atılgan (2022) tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ASTM A36 (depolama tankı imalatı) çeliklerinin kaynak bölgesinin incelenmesi konulu tez çalışmasında kaynaklı birleştirmelere uygulanan manyetik parçacık testi sonucunda kaynak hatasına rastlanılmadığı tespit edilmiştir.

5.2. KAYNAKLI NUMUNELERE UYGULANAN TAHRİBATLI TESTLER

5.2.1. Mikroyapı İncelemeleri

Güç trafoları kazan imalatında kullanılan ve MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen yapı çeliği numunelere ana malzemelerin (S235 ve S355) mikroyapı resimleri Şekil 5.43'te görülmektedir.

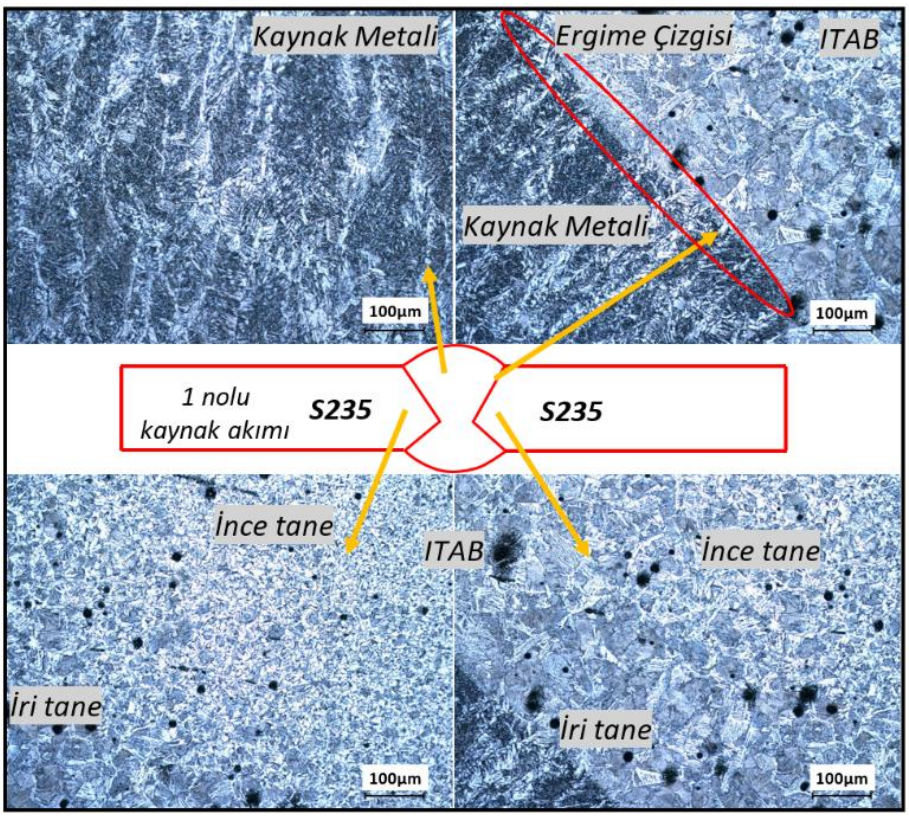


Şekil 5.43. Ana malzemelerin mikroyapı görüntüleri.

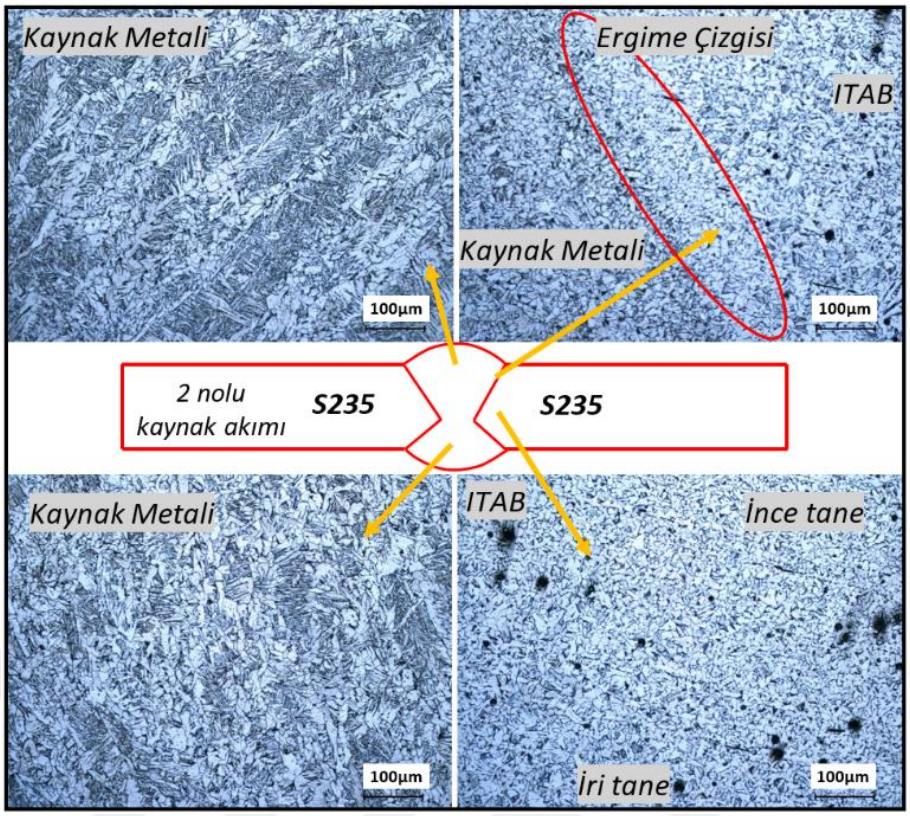
S235 ve S355 esas malzeme mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, ferrit (açık renkli) ve perlit (koyu renkli) fazlarından oluştuğu görülmektedir. Ayrıca ana malzemelerde ferrit tanelerinin perlit tanelerine göre daha fazla olduğu ve tanelerin hadde yönünde yönlendiği tespit edilmiştir.

Erden vd. (2016) tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilen alaşımsız ve hardoks çeliklerinin mikroyapı incelemelerinde, S235JR çelik esas malzemenin ferrit ve perlit fazlarından meydana geldiğini belirtmişlerdir. Kocamanoğlu (2022) yapı çeliklerinini yakma alın kaynak yöntemiyle birleştirilmiş ve ITAB'ın ANSYS ile analizi adlı yüksek lisans tezinde kullanılan S355JR yapı çeliği ana malzeme mikroyapı incelemelerinde yapının ferrit ve perrit tanelerinden oluştuğu rapor edilmiştir.

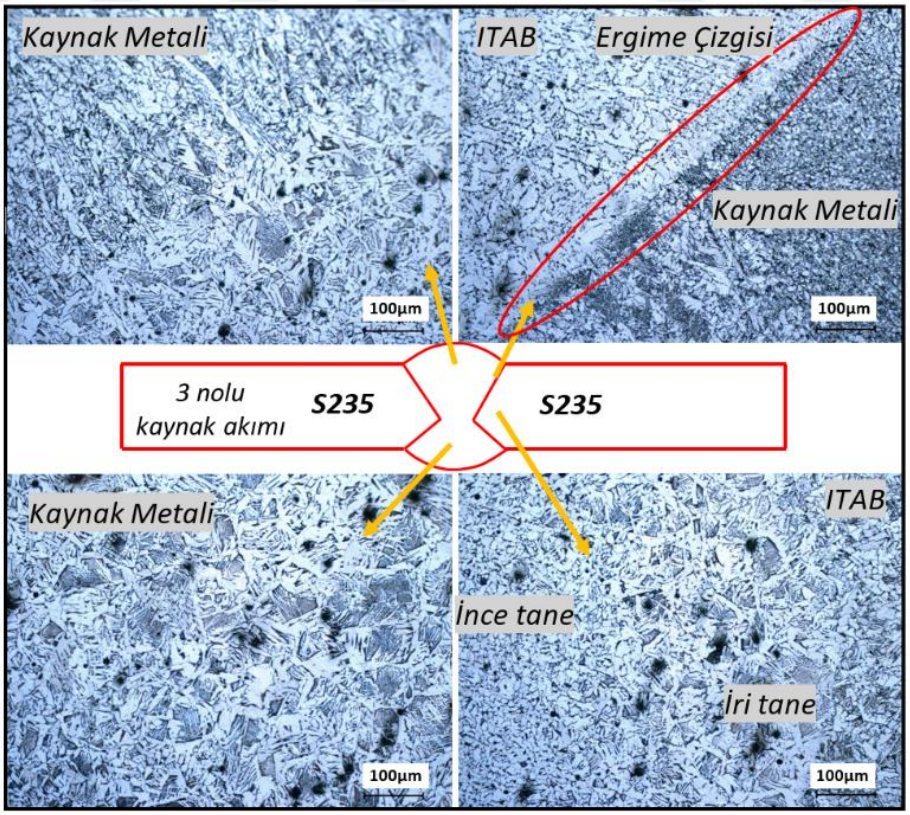
MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen yapı çeliği numunelerin kaynak bölgesi (ITAB'lar, geçiş bölgeleri ve kaynak metali) mikroyapı resimleri Şekil 5.44-46'da S235-S235, Şekil 5.47-49'da S235-S355 ve Şekil 5.50-5.52'de ise S355-S355 verilmiştir.



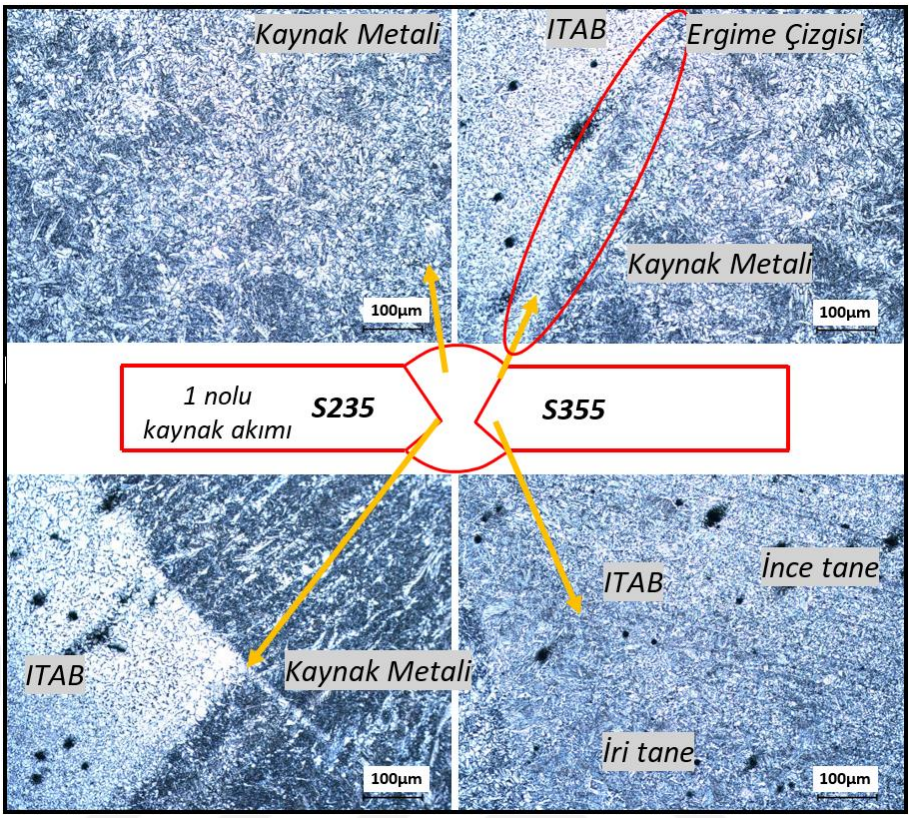
Şekil 5.44. S235-S235 1. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü.



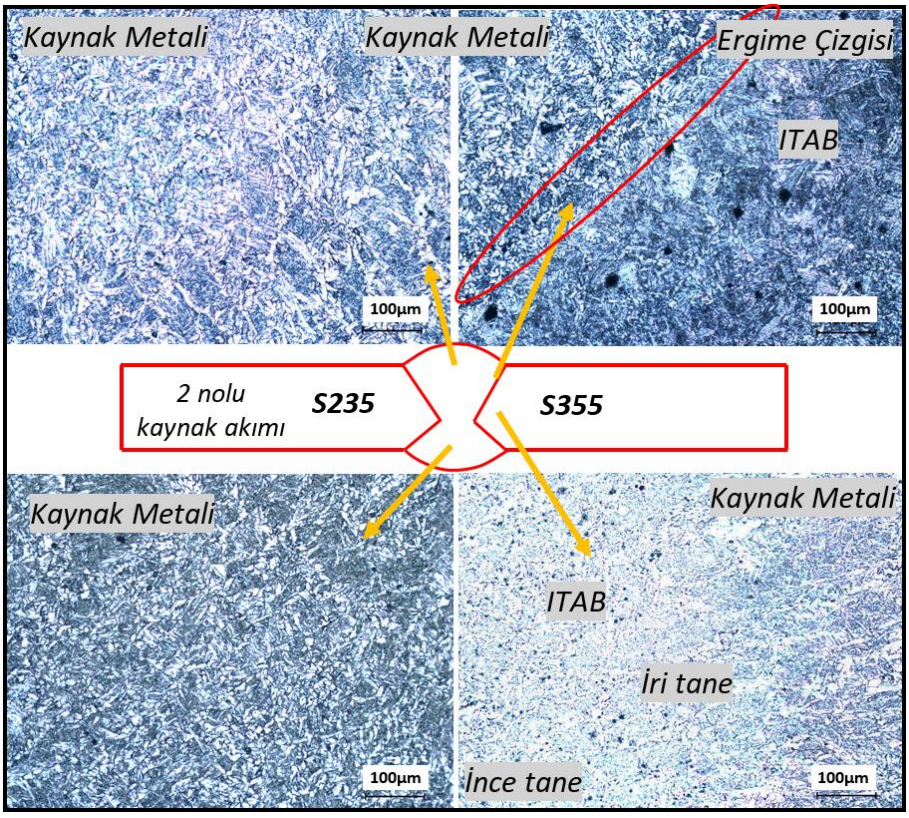
Şekil 5.45. S235-S235 2. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü.



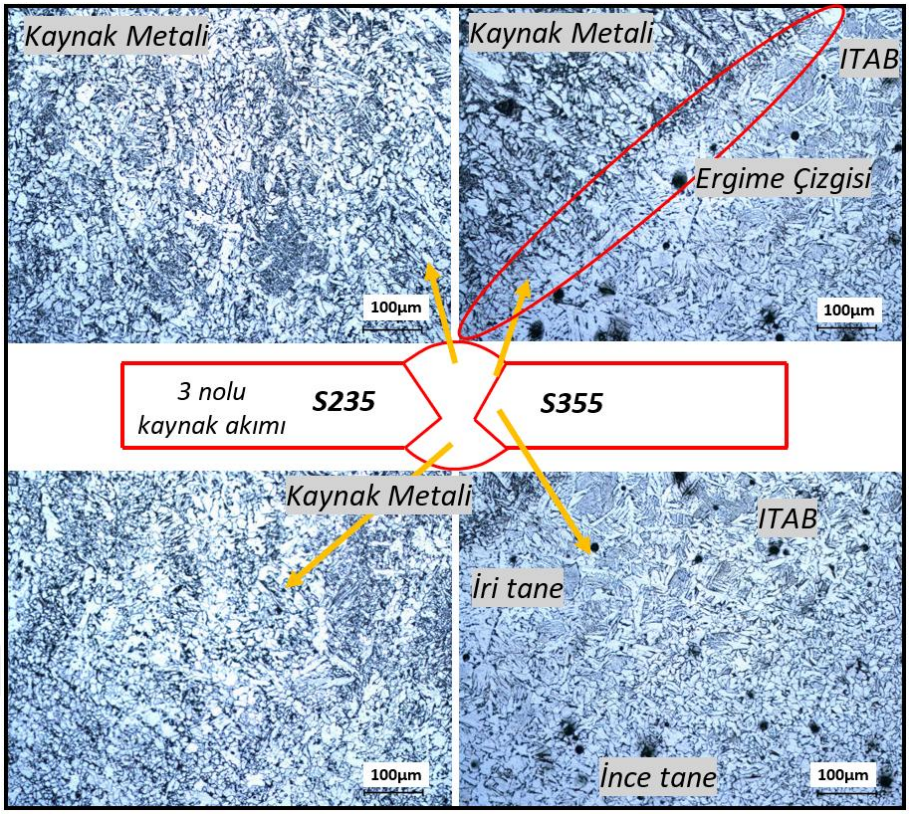
Şekil 5.46. S235-S235 3. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü.



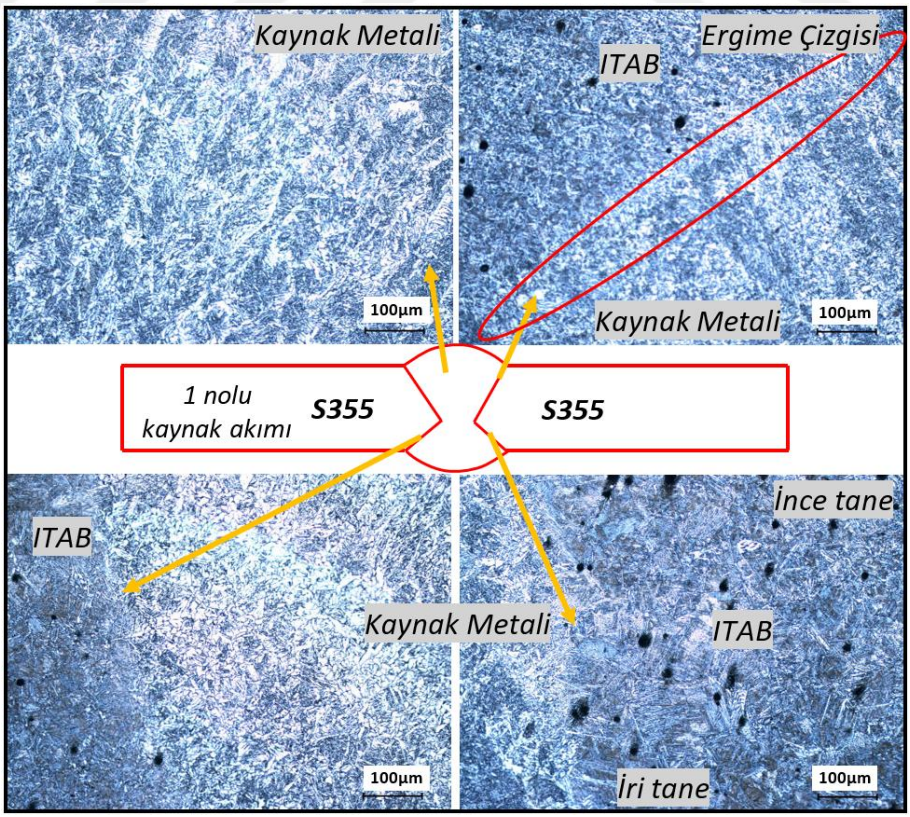
Şekil 5.47. S235-S355 1. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü.



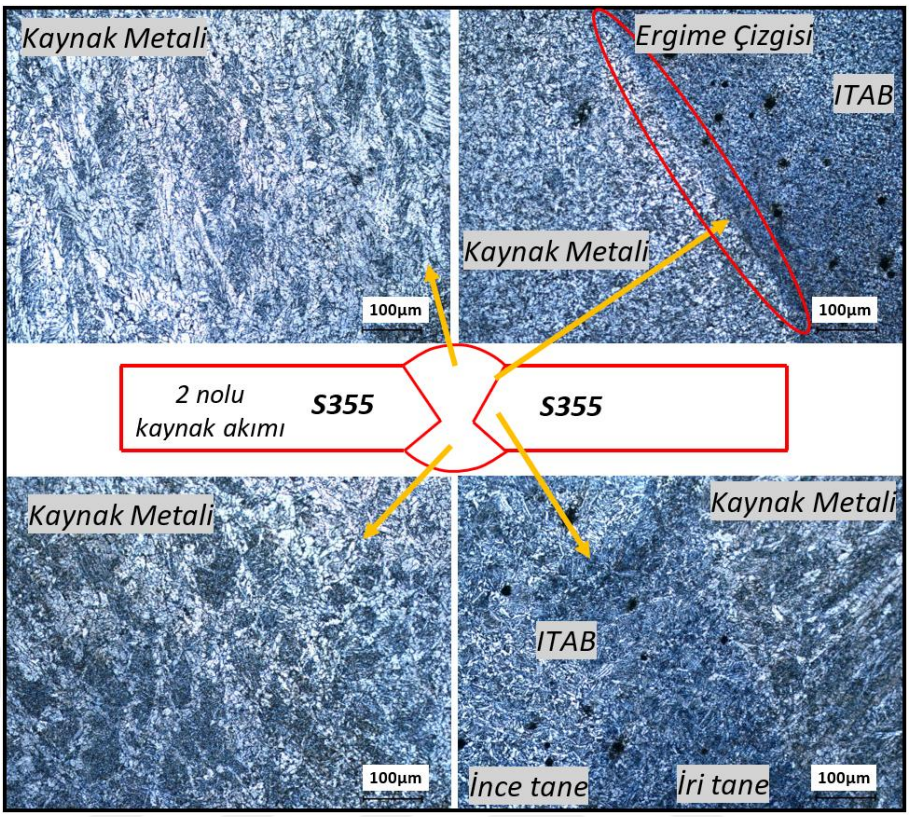
Şekil 5.48. S235-S355 2. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü.



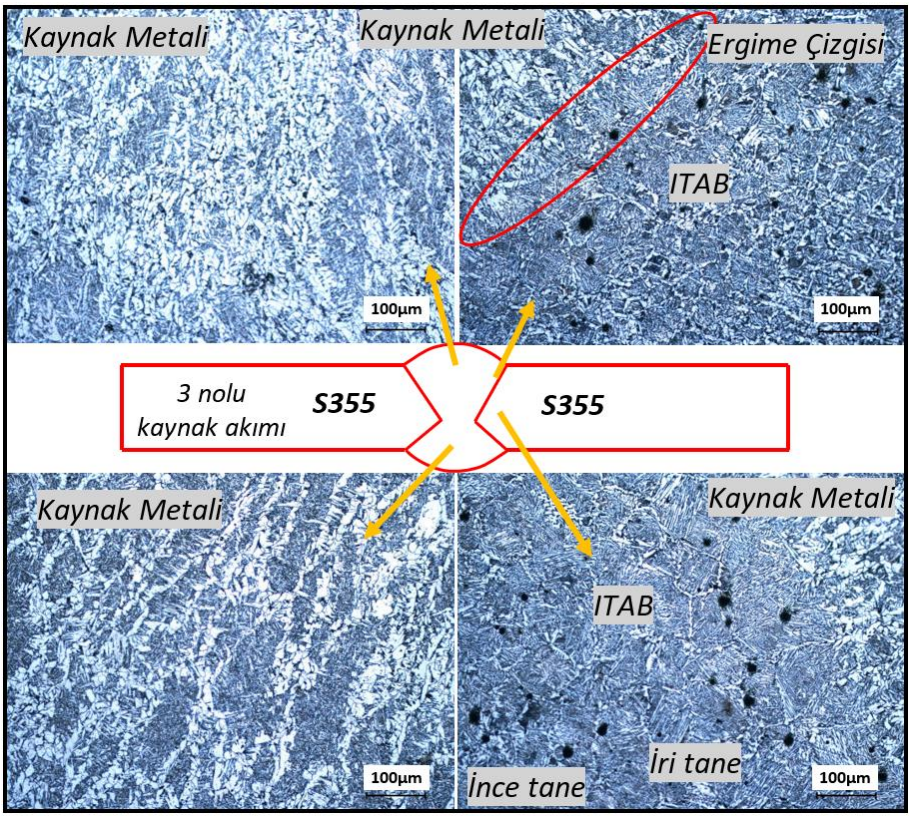
Şekil 5.49. S235-S355 3. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü.



Şekil 5.50. S355-S355 1. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü.



Şekil 5.51. S355-S355 2. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü.



Şekil 5.52. S355-S355 3. kaynak akımı ile birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü.

Şekil 5.44-52'deki MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş S235-S235, S235-S355 ve S355-S355 yapı çeliği numunelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, kaynak bölgesinde tanelerin irileştiği, tanelerin ergime çizgisinden kaynak merkezine doğru yönlendiği ve dentritik kollarının oluştuğu görülmüştür. Kaynak metalinde ise asiküler ferrit oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca, ITAB'ların ergime sınırı yakınlarında tanelerin kabalaştığı (S235 ve S355 ana malzemelere göre), ITAB'ın ana malzemeye yakın bölümlerinde ise ince taneli yapının oluştuğu görülmüştür. S235-S355 numunelerde S235 çeliği ITAB'ı tanelerinin S355 çeliği ITAB'ı taenelerine kıyasla daha küçük olduğu gözlenmektedir. Ek olarak, bütün numunelerde kaynak metali-ITAB veya katı-sıvı metal sınırın yani ergime çizgisi de belirgin olarak görülmüştür. İlaveten kaynak akımı arttıkça (1 nolu kaynak akımından 3 nolu kaynak akımına) tane boyutlarında bir miktar irileşme meydana gelmiştir.

Çelik (2013) MAG kaynak yönteminde kullanılan farklı tellerin kaynak metaline etkisi konulu yüksek lisans tezinde kaynaklı numunelere uygulanan mikroyapı çalışmaları sonucunda, St 37 düşük karbonlu ana malzemenin az miktarda perlit içeren ferrit esaslı yapıya sahip olduğu, ITAB'da tane irileşmesi oluştuğu ve kaynak metalinin ısı akış yönünde oluşan sutunsal ve dentritik tanelerden meydana geldiği rapor edilmiştir.

Kaya (2018) Özlü tel elektrot kullanılarak MAG kaynak yöntemiyle birleştirilen S35JR ve S355JR yapı çeliklerinin incelenmesi konulu çalışması mikroyapı incelemeleri sonucunda; birleştirmelerin ergime sınırının kolaylıkla gözlemlendiği, kaynak metaline yakınlarında tane irileşmesi görüldüğü, ergime sınırından kaynak merkezine doğru dentritik kolların görüldüğü ve kaynak metalinde ise asiküler ferritin oluştuğu bildirilmiştir. Ayrıca, S235JR-S355JR numunede S235JR çeliği ITAB tanelerinin S355JR çeliği ITAB tanelerine göre daha küçük olduğu rapor edilmiştir.

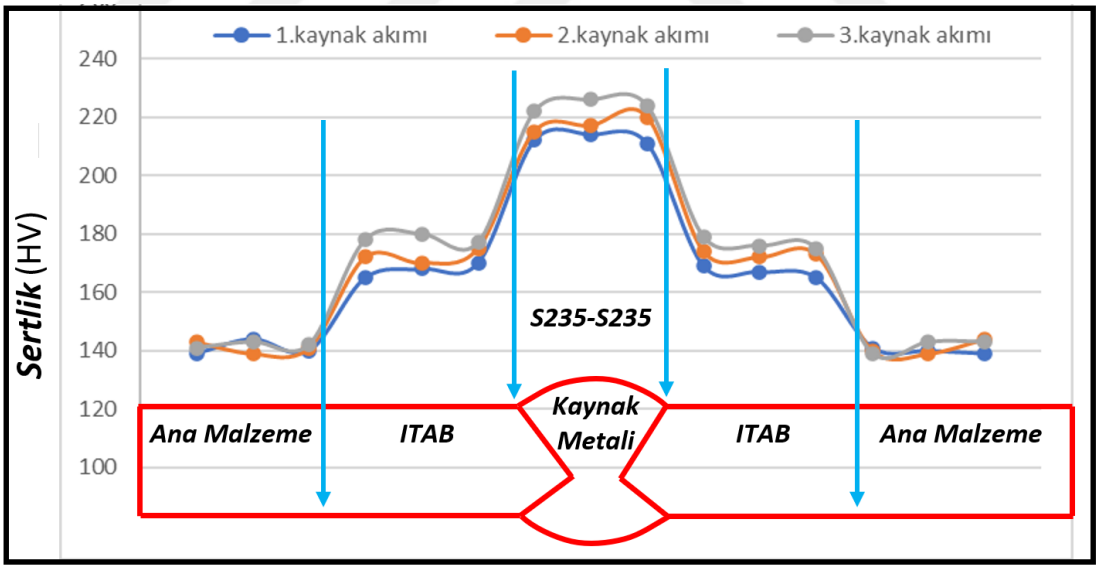
Kocamanoğlu (2022) yapı çeliklerini yakma alın kaynak yöntemiyle birleştirilmiş ve ITAB'ın ANSYS ile incelenmesi adlı yüksek lisans tezinde, kaynak bölgesinin ince ve uzun dendritik tanelerden oluştuğu, oluşan bu tanelerin iğnemsi bir yapıya benzediği için asiküler ferrit yapı olarak da değerlendirilebileceği, oluşan yoğun ısıdan ve hızlı soğumadan dolayı iç yapı değişikliğine uğrayan bir bölge oluştuğu, bu bölgede ana

malzemeye göre perlit kolonilerinin daha küçüldüğü ve ferrit fazları arasında ana metale göre biraz daha fazla homojen dağıldığı bildirilmiştir.

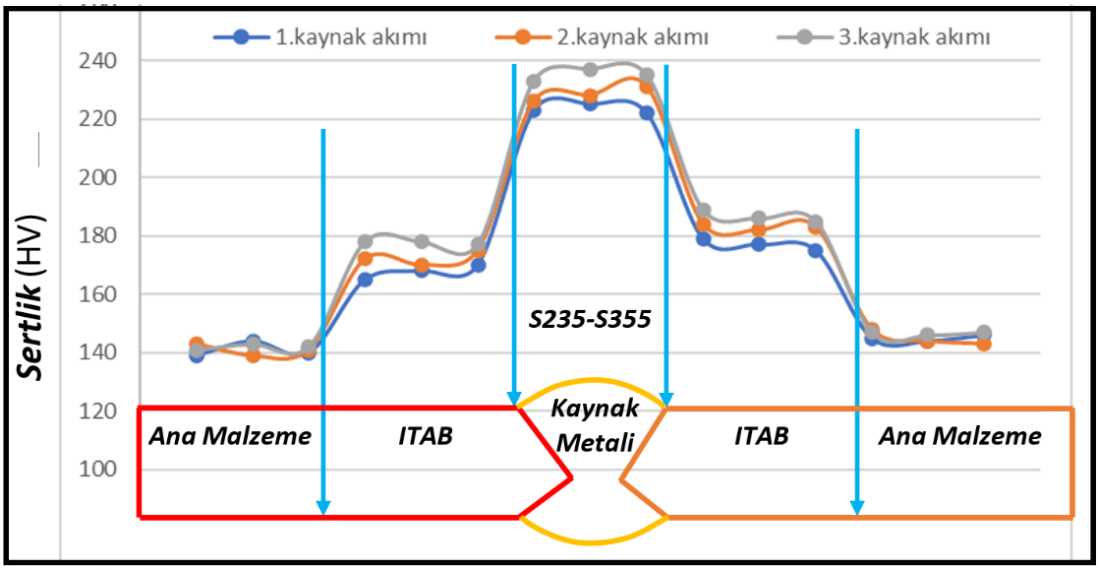
Yalçın (2023) MAG kaynak yöntemiyle basınçlı kap çeliklerinin birleştirilmesi ve tahribatsız/tahribatlı testleri adlı yüksek lisans tezinde, kaynaklı birleştirmelere uygulanan mikroyapı incelemeleri sonucunda, bütün numunelerde (P265GH-P265GH, P265GH-P355NH ve P355NH-P355NH) ergime sınırının (ITAB/kaynak metali geçiş) net olarak görüldüğü, ana malzemelerden kaynak metali merkezine ilerledikçe tane yapısının irileştiği ve kaynak metali tanelerinin merkeze doğru ilerleyen dentritik kollu iri tanelerden oluştuğu tespit edilmiştir.

5.2.2. Sertlik Testi

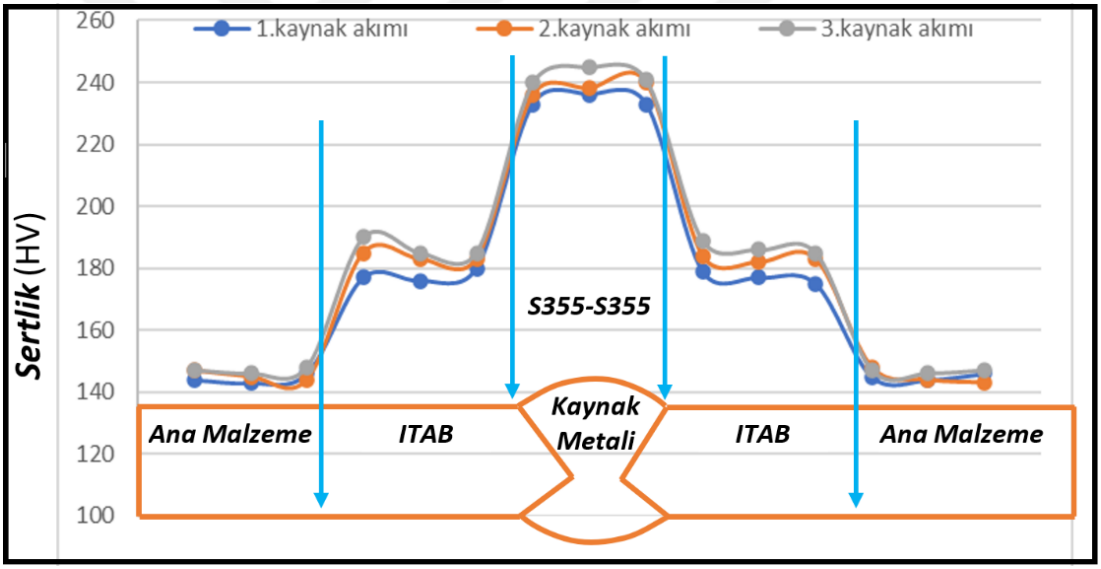
MAG kaynak yöntemiyle birleştirilen yapı çeliği numunelere uygulanan sertlik testleri sonucunda elde edilen grafik 5.53-55'te verilmiştir.



Şekil 5.53. S235-S235 kaynaklı numunelerin sertlik testi grafiği.



Şekil 5.54. S235-S355 kaynaklı numunelerin sertlik testi grafiği.



Şekil 5.55. S355-S355 kaynaklı numunelerin sertlik testi grafiği.

Şekil 5.53-55'teki kaynaklı numunelere ait sertlik grafiği incelendiğinde, bütün birleştirmelerde en yüksek sertlik değeri kaynak metalinden ölçülürken (S355-S355 245±5 HV) onu sırasıyla ITAB'lar (S355 ITAB 189±5 HV, S235 ITAB 178±5 HV) ve ana malzemelerin takip ettiği (S355 ana malzeme 146±5 HV, S235 ana malzeme 141±5 HV) belirlenmiştir.

S235-S235 numunelerde sertlik değerleri; 3 nolu kaynak akımında kaynak metali 236±5 HV, ITAB 180±5 HV, 2 nolu kaynak akımında kaynak metali 230±5 HV, ITAB

175±5 HV, 1 nolu kaynak akımında kaynak metali 224±5 HV, ITAB 170±5 HV ve S235 ana malzeme 141±5 HV olarak ölçülmüştür.

S235-S355 numunelerde; 3 nolu kaynak akımında kaynak metali 237±5 HV, S235 ITAB 178±5 HV ve S355 ITAB 189±5 HV, 2 nolu kaynak akımında kaynak metali 231±5 HV, S235 ITAB 175±5 HV ve S355 ITAB 184±5 HV, 1 nolu kaynak akımında kaynak metali 225±5 HV, S235 ITAB 170±5 HV ve S355 ITAB 179±5 HV olarak ölçülmüştür.

S355-S355 numunelerde ise 3 nolu kaynak akımında kaynak metali 245±5 HV, ITAB 190±5 HV, 2 nolu kaynak akımında kaynak metali 240±5 HV, ITAB 185±5 HV, 1 nolu kaynak akımında kaynak metali 236±5 HV, ITAB 180±5 HV ve S355 ana malzeme 146±5 HV olarak ölçülmüştür.

Uzun (2014) St 37 (S235JR) çeliğinin masif ve özlü tellerle birleştirilmesi ve kaynaklı numunelerin incelenmesi konulu yüksek lisans tezi, sertlik testleri sonucunda ana metalden kaynak metaline doğru sertliğin arttığı ve en yüksek sertlik değerinin kaynak bölgesinden elde edildiği bildirilmiştir.

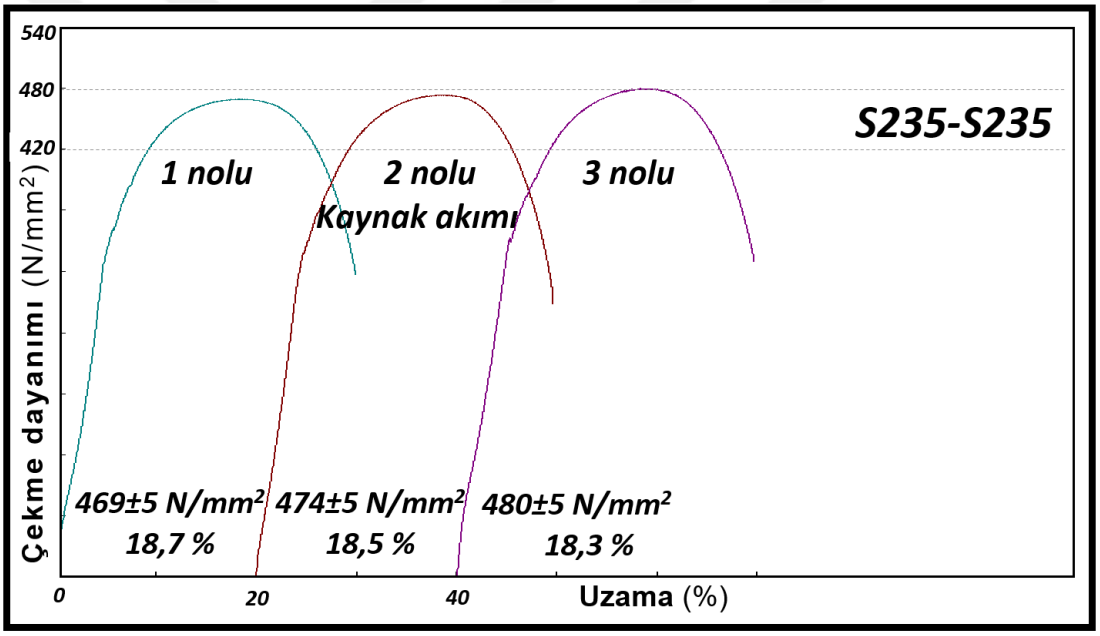
Kaya (2018) Özlü tel elektrot kullanılarak MAG kaynak yöntemiyle S235JR ve S355JR yapı çeliklerinin birleştirilmesi konulu çalışması sertlik testi sonucunda, en yüksek sertlik değerinin kaynak metalinden ölçüldüğü, onu ITAB ve ana malzemelerin izlediği belirtilmiştir. Ayrıca, kaynak metali ve ITAB'lardan ölçülen sertlik değerleri incelendiğinde, fazla bir fark olmakla birlikte S355JR çeliğinin S355JR çeliği tarafına göre daha sert olduğu, esas malzeme tarafındaki sertlik değerleri incelendiğinde ise, S355JR çeliğinin S235JR çelik malzemeye göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir.

Yıldırım ve Kaya (2019) üç farklı kaynak akımı (120, 150 ve 180 A) kullanılarak S355JR yapı çeliklerini MAG kaynak yöntemi ile birleştirmiş ve kaynak akımının etkilerini inceledikleri çalışmaların sertlik testi sonuçlarında, en yüksek sertlik değerinin kaynak metalinden ölçüldüğü, onu ITAB ve ana malzemenin izlediğini bildirmişlerdir.

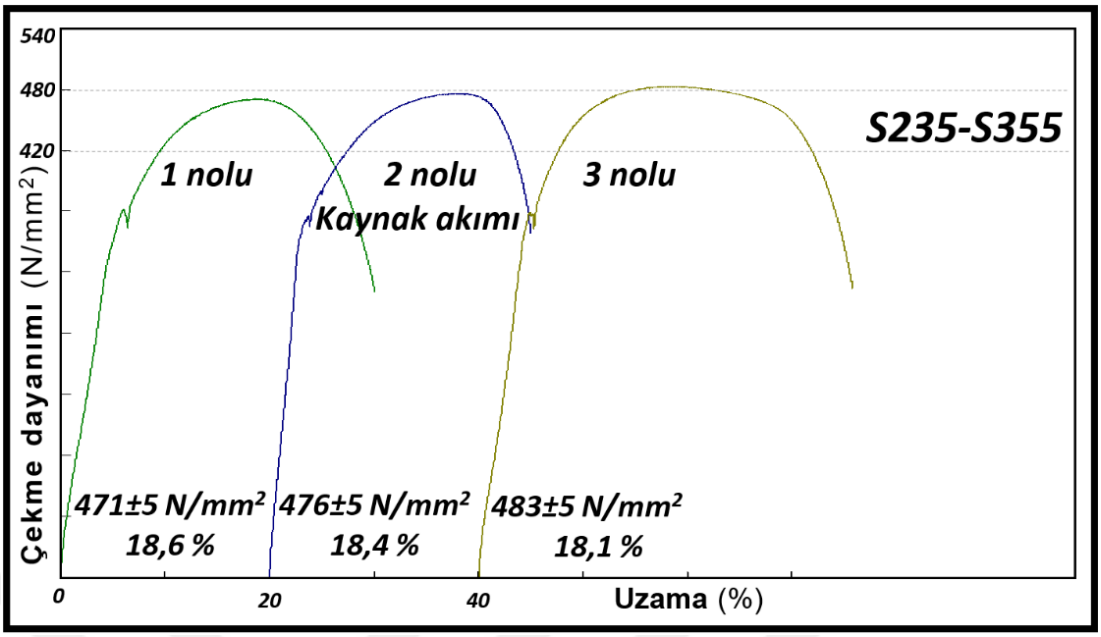
Şık (2007), MIG-MAG kaynak yöntemi ile St 52-3 yapı çeliklerinin birleştirilmesinde gaz karışımlarının çekme mukavemetine etkisini incelediği araştırmasında, Benedetti vd (2013), MAG kaynak yöntemiyle S355JR yapı çeliğini birleştirmiş, sertlik ölçümleri sonrasında benzer sertlik sonuçlar bildirmiştir.

5.2.3 Çekme Testi

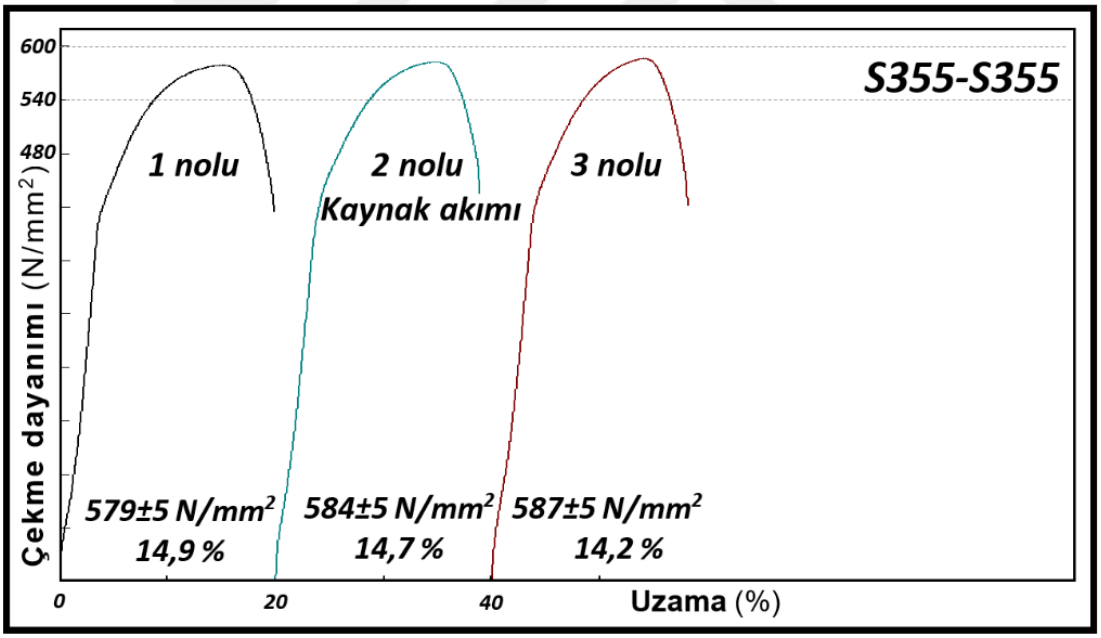
Şekil 5.56'da S235-S235, Şekil 5.57'de S235-S355 ve Şekil 5.58'de S355-S355 yapı çeliklerinin MAG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen numuneleri üzerinde gerçekleştirilen çekme testleri sonrasında elde edilen grafik verilirken, Şekil 5.59'de testler sonrasında kopma görüntüleri verilmiştir.



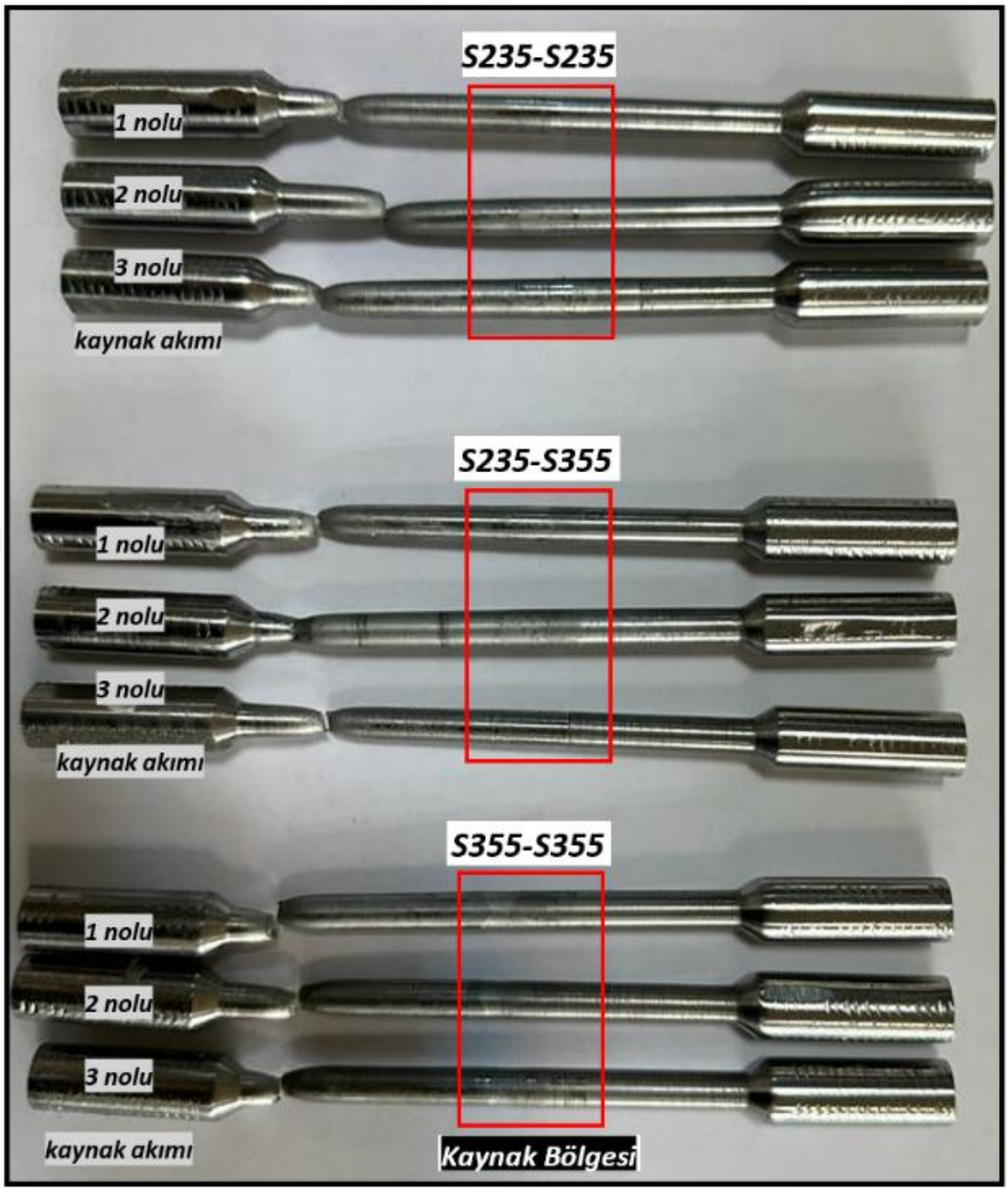
Şekil 5.56. S235-S235 kaynaklı numunelere ait çekme testi grafiği.



Şekil 5.57. S235-S355 kaynaklı numunelere ait çekme testi grafiği.



Şekil 5.58. S355-S355 kaynaklı numunelere ait çekme testi grafiği.



Şekil 5.59. Çekme testleri sonrası kopma görüntüleri.

Şekil 5.56'daki S235-S235 kaynaklı numunelere ait çekme grafikleri incelendiğinde, en yüksek çekme dayanımı 3 nolu kaynak akımında birleştirilen numuneden 480±5 N/mm^2 – 18,3 %, onu sırasıyla 2 nolu kaynak akımında birleştirilen numuneden 474±5 N/mm^2 – 18,5 % ve 1 nolu kaynak akımında birleştirilen numuneden 469±5 N/mm^2 – 18,7 % olarak ölçülmüştür.

Şekil 5.57'deki S235-S355 kaynaklı numunelere ait çekme grafikleri incelendiğinde, en yüksek çekme dayanımı 3 nolu kaynak akımında birleştirilen numuneden 483±5 N/mm^2 – 18,1 %, onu sırasıyla 2 nolu kaynak akımında birleştirilen numuneden 476±5 N/mm^2 – 18,4 % ve 1 nolu kaynak akımında birleştirilen numuneden 471±5 N/mm^2 – 18,6 % olarak ölçülmüştür.

Şekil 5.58'deki S355-S355 kaynaklı numunelere ait çekme grafikleri incelendiğinde, en yüksek çekme dayanımı 3 nolu kaynak akımında birleştirilen numuneden 587±5 N/mm^2 – 14,2 %, onu sırasıyla 2 nolu kaynak akımında birleştirilen numuneden 584±5 N/mm^2 – 14,7 % ve 1 nolu kaynak akımında birleştirilen numuneden 579±5 N/mm^2 – 14,9 % olarak ölçülmüştür.

S235-S235 ve S235-S355 kaynaklı numune çekme dayanımlarının birbirine benzer olduğu belirlenmiştir. Bu iki birleştirmede de kopma S235 ana malzemede meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, S235-S355 kaynaklı numunede kopmanın S235 tarafında olması S355 kaynaklı numune dayanımının daha yüksek olması ile açıklanabilir.

Şekil 5.56-58 ve 5.59 beraber incelendiğinde, birleştirmelerin tümünde ana malzeme tarafında boyun vermiş ve yine ana malzeme tarafından sünek olarak kopma gerçekleşmiştir. Kaynaklı numunelerin kaynak bölgesinde ise herhangi bir hasar gözlenmemiştir.

Şekil 5.56-5.58'deki S235 ve S355 yapı çelikleri birleştirmelerinde, en yüksek çekme dayanımı S355-S355 numuneden (3 nolu kaynak akımında birleştirilen numune 587±5 N/mm^2 – 14,2 %) elde edilirken, onu S235-S355 numune (3 nolu kaynak akımında birleştirilen numune 483±5 N/mm^2 – 18,1 %) ve S235-S235 numune (3 nolu kaynak akımında birleştirilen numune 480±5 N/mm^2 – 18,3 %) izlemiştir. Bütün birleştirmelerde kopmalar ana malzemelerde meydana gelmiş ve kaynaksız ana malzeme dayanımlarından (Çizelge 4.2'den S235 ana malzeme 360-510 (ortalama 435) N/mm^2 - 24 % uzama ve S355 ana malzeme 470-630 (ortalama 550) N/mm^2 - 20 % uzama) daha yüksektir.

Çizelge 4.2'de S235 ana malzeme % uzaması %24 iken, S355 ana malzeme % uzaması %20 olarak verilmiştir. S235-S235 kaynaklı numunede 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numunede %18,7, 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numunede %18,5 ve 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numunede %18,3 olarak ölçülürken, S235-S355 kaynaklı numunede 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numunede %18,6, 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numunede %18,4 ve 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numunede %18,1 olarak ölçülürmüştür. S355-S355 kaynaklı numunede ise uzama 3 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numunede %14,9, 2 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numunede %14,7 ve 1 nolu kaynak akımı ile birleştirilen numunede %14,2 olarak ölçülürmüştür. Kaynak akımındaki artışa paralel % uzama oranında azalma tespit edilmiştir. Kaynaklı numunelerde % uzama azalması sebebinin kaynak bölgesindeki sertlik artışı olduğu düşünülmektedir.

Kaya (2018) yapı çeliklerinin MAG kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği konulu çalışması çekme testi sonrasında, MAG kaynağıyla birleştirilen S235JR ve S355JR numuneler içinde en yüksek çekme mukavemeti S355JR-S355JR (512 N/mm^2) elde edildiği, S235JR-S235JR ve S235JR-S355JR çekme mukavemetlerinin yakın olduğu (363 ve 365 N/mm^2), S235JR-S355JR'de kopmanın S235JR esas malzeme tarafında olmasının, S355JR çekme mukavemetinin (512 N/mm^2) S235JR çekme mukavemetinden (363 N/mm^2) yüksek olmasından kaynaklandığı bildirilmiştir.

Yıldırım ve Kaya (2019) üç farklı kaynak akımı (120, 150 ve 180 A) kullanılarak MAG kaynak yöntemi ile S355JR yapı çeliklerini birleştirmişler ve kaynak akımının etkisini inceledikleri çalışmaları çekme testi sonuçlarında, en yüksek çekme dayanımı bütün numunelerde birbirine yakın olmakla beraber 180 A kaynak akımı ile yapılan birleştirmeden elde edildiği, kaynaklı birleştirmelerin tümü, ana malzeme tarafında boyun vermeye başladığı ve ana malzemeden kopma meydana geldiği, kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgesinde herhangi bir hasara rastlanılmadığı bildirilmiştir.

Atılgan (2022) ASTM A36 çeliklerinin tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilmesi konulu tez çalışması çekme testleri sonrasında kaynaksız ana malzemeye göre kaynaklı numunelerde % uzama azalması sebebinin kaynak bölgesinde ısı girdisine bağlı olarak sertlik değerlerinin artması olarak belirtmiştir.

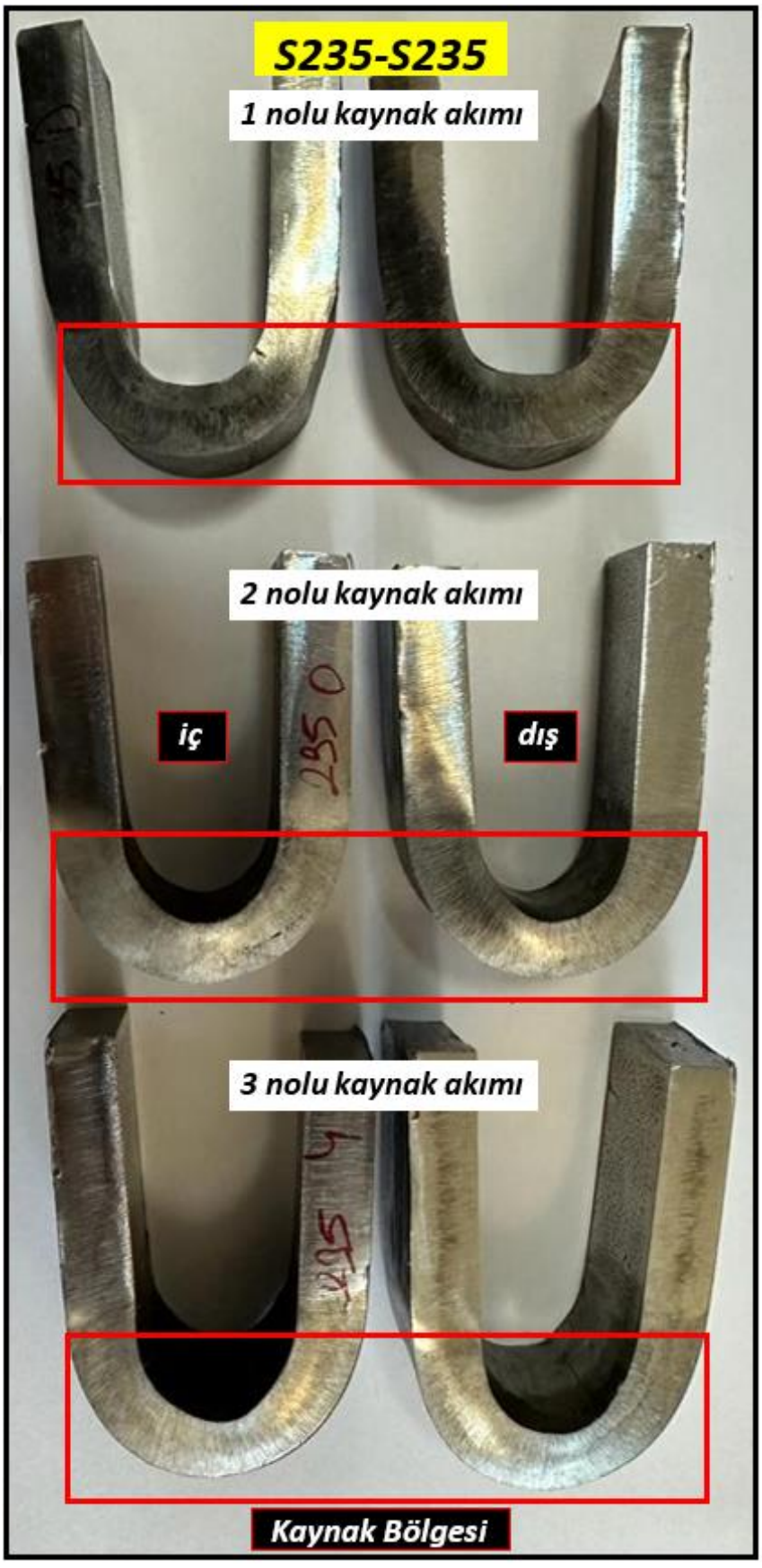
Ünlü vd (2011), MIG-MAG kaynak yöntemi ile St 37 yapı çeliklerinin birleştirilmesinde farklı akım değerlerinin çekme mukavemetine etkisini incelediği araştırmasında, Canlı vd (2019) P355NL2-P355NL2, S355J2-S355J2 ve P355NL2-S355J2 basınçlı kap çeliklerinin tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin incelendiği çalışmalarında, Canlı vd. (2019) S355J2-S355J2, P460-P460 ve S355J2-P460 basınçlı kap çeliklerinin tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği çalışmalarında, Yalçın (2023) P265GH ve P355NH basınçlı kap çeliklerinin MAG kaynak yöntemiyle birleştirilmesi ve tahribatsız/tahribatlı testlerle incelenmesi adlı yüksek lisans tezinde, kaynaklı birleştirmelere uygulanan çekme testleri sonrasında kopmaların tümünün esas metalde gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

5.2.4. Eğme Testi

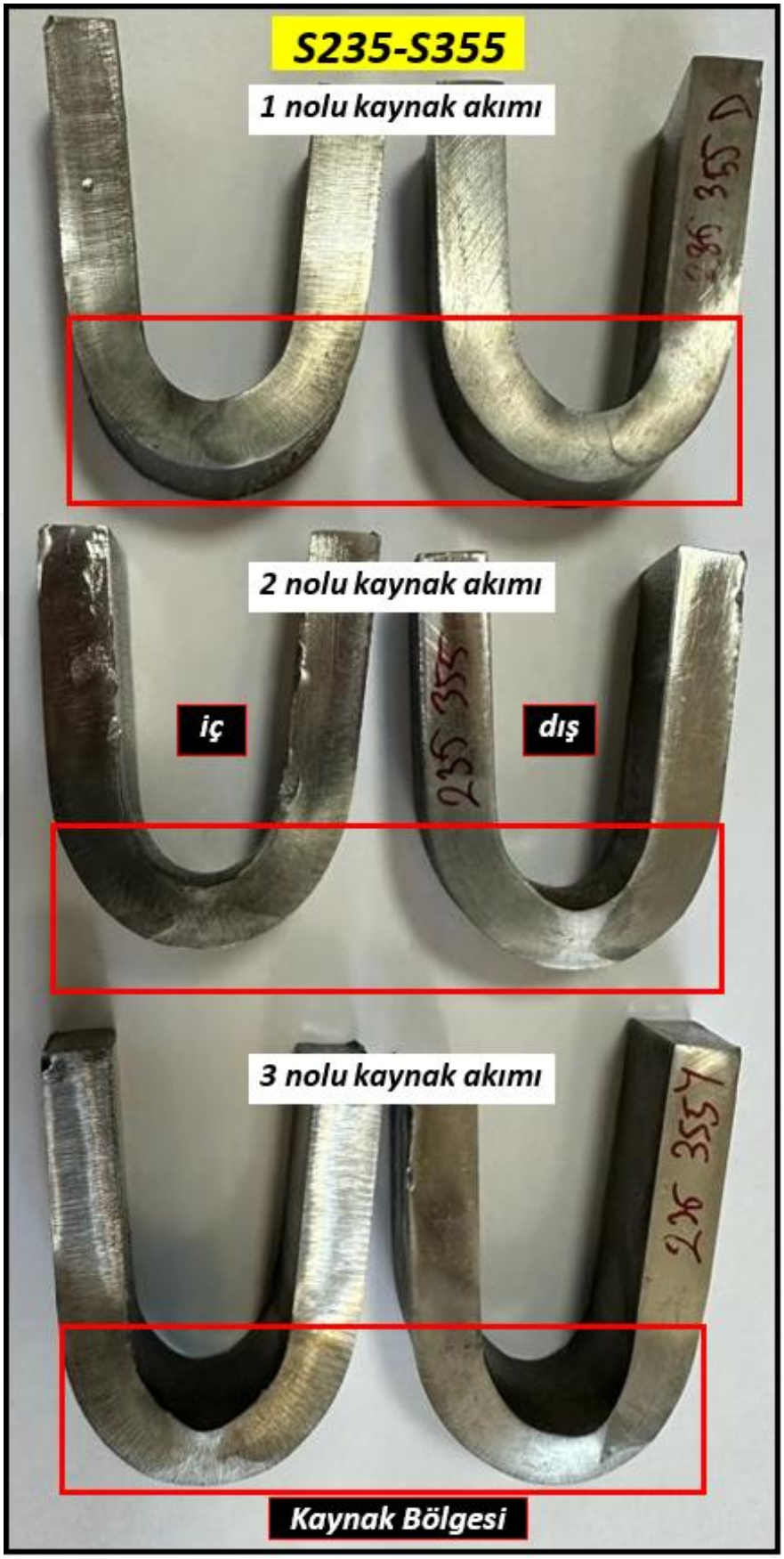
MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen S235 ve S355 yapı çeliği numunelere kep ve kök (çift taraflı) 180° eğme testleri uygulanmış ve test sonrası görüntüleri ise Şekil 5.60-62'de verilmiştir.

180° çift taraflı eğme testleri sonrası görüntüler incelendiğinde, bütün birleştirmelerde kaynak bölgesinde göz ile görülebilir herhangi bir hataya (çatlak, yırtık vb.) rastlanılmamıştır. Eğme testleri sonuçları göz önüne alınarak bütün birleştirmelerin kullanım şartlarında eğilmeye maruz kaldığında bile kaynak bölgesinde herhangi bir çatlama veya yırtılma olmadan kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Kaya (2018) S355JR-S355JR, S235JR-S235JR ve S235JR-S355JR yapı çeliklerini MAG kaynak yöntemiyle birleştirmiş, Kaya ve Canlı (2018) P355NL2-P355NL2, P460-P460 ve P355NL2-P460 basınçlı kap çeliklerini tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirmişler, Yıldırım ve Kaya (2019) S355JR yapı çeliklerini MAG kaynak yöntemiyle birleştirmişler, Canlı vd (2019) P355NL2-P355NL2, S355J2-S355J2 ve P355NL2-S355J2 basınçlı kap çeliklerini tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirmişler, Canlı vd. (2019) S355J2-S355J2, P460-P460 ve S355J2-P460 basınçlı kap çeliklerini tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirmişler ve kaynaklı numunelere uyguladıkları eğme testleri sonrasında eğme testleri sonrasında gözle görülebilir bir hasar oluşmadığını bildirilmişlerdir.



Şekil 5.60. S235-S235 kaynaklı numunelerin eğme testi sonrası görüntüleri.



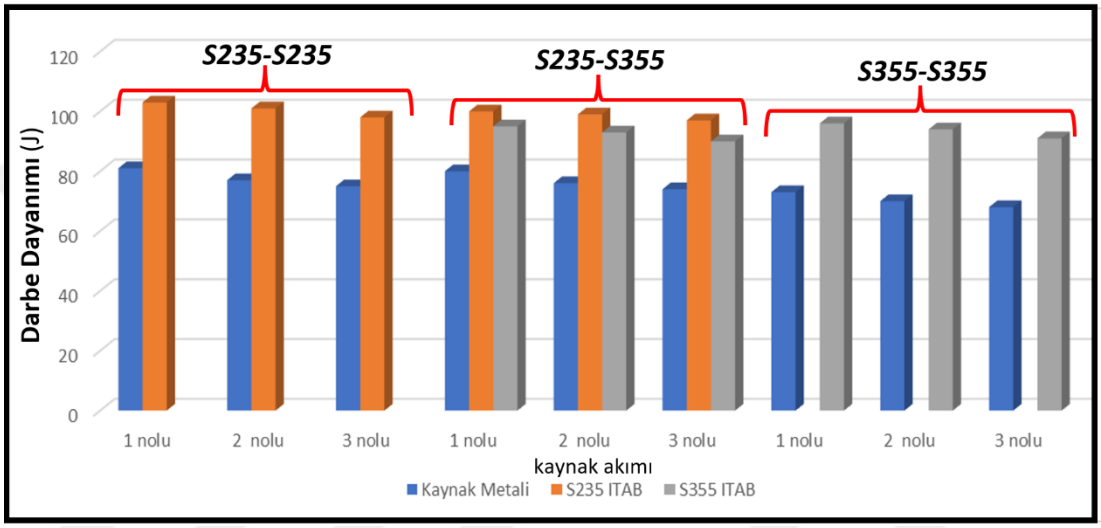
Şekil 5.61. S235-S355 kaynaklı numunelerin eğme testi sonrası görüntüleri.



Şekil 5.62. S355-S355 kaynaklı numunelerin eğme testi sonrası görüntüleri.

5.2.5. Çentik Darbe Testi

Oda sıcaklığında yapılan çentik darbe testlerinde MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş yapı çeliklerinin darbe toklukları tespit edilmiştir. S235-S235, S235-S355 ve S355-S355 kaynaklı birleştirmelerin kaynak metali ve ITAB'larına uygulanan çentik darbe testleri sonuçları Şekil 5.63'te, testler sonrası numune görüntüleri de Şekil 5.64'de verilmiştir.



Şekil 5.63. Kaynaklı numunelerin darbe tokluğu grafiği.

S235 ana malzeme darbe tokluk değeri 130 J ve S355 J ana malzeme değeri ise 115 J olarak ölçülmüştür. Kaynaklı numune çentik darbe testi sonuçları incelendiğinde, en yüksek darbe tokluğunu S235-S235 kaynaklı numune (1 nolu kaynak akımı) ITAB'ından (103 J) elde edilirken, en düşük darbe tokluğu S355-S355 kaynaklı numune (3 nolu kaynak akımı) kaynak metalinden (68 J) elde edilmiştir.

S235-S235 kaynaklı numunelerde darbe tokluğu; 1 nolu kaynak akımında kaynak metali 81 J, ITAB 103 J, 2 nolu kaynak akımında kaynak metali 77 J, ITAB 101 J, 3 nolu kaynak akımında kaynak metali 75 J, ITAB 98 J olarak ölçülmüştür. S235-S355 kaynaklı numunelerde darbe tokluğu; 1 nolu kaynak akımında kaynak metali 80 J, S235 ITAB 100 J, S355 ITAB 95 J, 2 nolu kaynak akımında kaynak metali 76 J, S235 ITAB 99 J, S355 ITAB 93 J ve 3 nolu kaynak akımında kaynak metali 74 J, S235 ITAB 97 J, S355 ITAB 90 J olarak ölçülmüştür. S355-S355 kaynaklı numunelerde darbe tokluğu ise 3 nolu kaynak akımında kaynak metali 73 J, ITAB 96 J, 2 nolu

kaynak akımında kaynak metali 70 J, ITAB 94 J, 1 nolu kaynak akımında kaynak metali 68 J, ITAB 91 J olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.64. Kaynaklı numunelerin çentik darbe testi sonrası görüntüsü.

Kaynaklı numune kaynak metali ve ITAB darbe toklukları karşılaştırıldığında ITAB'ın kaynak metaline oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Darbe tokluk değerleri bölüm 5.2.2 sertlik testi sonuçları ile kıyaslandığında sertlik artışına ters orantılı olarak darbe tokluğunun azaltığı görülmüştür.

Tozaltı kaynak yöntemiyle birleştirilen Canlı vd (2019) P355NL2-P355NL2, S355J2-S355J2 ve P355NL2-S355J2, Canlı vd. (2019) S355J2-S355J2, P460-P460 ve S355J2-P460 basınçlı kap çeliklerine uygulanan çentik darbe testi sonucunda, kaynaklı numune ITAB darbe tokluk değerlerinin kaynak metali tokluk değerlerine kıyasla daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca, tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen farklı malzemelerin kaynak bölgesi incelenmesi konulu yüksek lisans tezinde sertlik artması ile darbe tokluğunun azaldığı bildirilmiştir (Çetinkaya (2002), Kaya vd. (2010), Kaya ve Canlı (2018), Atılgan (2022), Yalçın (2023)).

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Güç trafoları kazan imalatında genellikle tercih edilen EN 10025-2 S235JR ve EN 10025-2 S355J2 yapı çelikleri, S235-S235, S235-S355 ve S355-S355 grupları halinde üç farklı kaynak akımı kullanılarak, MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve kaynaklı numunelere uygulanan tahribatsız ve tahribatlı testler sonucunda;

- Gözle muayene testleri sonucunda kaynaklı numunelerin gözle muayene testi sonrasında, kaynak yüzeylerinde standart tolerensı dışında herhangi bir yüzeysel hata (gözenek, mikro/makro çatlak, yanma oluğu, boşluk vb.) olmadığı tespit edilmiştir.

- Sıvı penetrant testi sonrası kaynaklı levhalar incelendiğinde, kaynak yüzeylerinde yanma oluğu, çatlak, boşluk, gözenek vb. yüzey hatasına rastlanmadığı tespit edilmiştir.

- Manyetik parçacık testi sonuçları incelendiğinde, kaynak yüzeylerinde yanma oluğu, gözenek, çatlak vb. yüzey hatasına rastlanmadığı bildirilmiştir.

- Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, kaynak bölgesinde tanelerin irileştiği, tanelerin ergime çizgisinden kaynak merkezine doğru yönlendiği ve dentritik kollarının oluştuğu ve kaynak metalinde ise asiküler ferrit oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca, ITAB'ların ergime sınırı yakınlarında tanelerin kabalaştığı (S235 ve S355 ana malzemelere göre), ITAB'ın ana malzemeye yakın bölümlerinde ise ince taneli yapının oluştuğu, S235-S355 numunelerde S235 çeliği ITAB'ındaki tanelerin S355 çeliği ITAB'ına göre daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, bütün numunelerde kaynak metali-ITAB veya katı-sıvı metal sınırın yani ergime çizgisi de belirgin olarak görülmüştür. İlaveten kaynak akımı arttıkça (1

nolu kaynak akımından 3 nolu kaynak akımına) tane boyutlarında bir miktar irileşme meydana gelmiştir.

- Sertlik değerleri incelediğinde bütün birleştirmelerde en yüksek sertlik değeri kaynak metalinden ölçülürken (S355-S355 245±5 HV) onu sırasıyla ITAB'lar (S355 ITAB 189±5 HV, S235 ITAB 178±5 HV) ve ana malzemelerin takip ettiği (S355 ana malzeme 146±5 HV, S235 ana malzeme 141±5 HV) belirlenmiştir.

- Çekme testleri sonucunda birleştirmelerin tümünde ana malzeme tarafında boyun vermiş ve yine ana malzeme tarafından sünek olarak kopma gerçekleşmiştir. Kaynaklı numunelerin kaynak bölgesinde ise herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Ayrıca, S235 ve S355 yapı çelikleri birleştirmelerinde, en yüksek çekme dayanımı S355-S355 numuneden (3 nolu kaynak akımında birleştirilen numune 587±5 N/mm^2 – 14,2 %) elde edilirken, onu S235-S355 numune (3 nolu kaynak akımında birleştirilen numune 483±5 N/mm^2 – 18,1 %) ve S235-S235 numune (3 nolu kaynak akımında birleştirilen numune 480±5 N/mm2 – 18,3 %) izlemiştir.

- 180° çift taraflı eğme testleri sonrası görüntüler incelendiğinde, bütün birleştirmelerde kaynak bölgesinde göz ile görülebilir herhangi bir hataya (çatlak, yırtık vb.) rastlanılmamıştır.

- Çentik darbe testleri sonucunda, en yüksek darbe tokluğunu S235-S235 kaynaklı numune (1 nolu kaynak akımı) ITAB'ından (103 J) elde edilirken, en düşük darbe tokluğu S355-S355 kaynaklı numune (3 nolu kaynak akımı) kaynak metalinden (68 J) elde edilmiştir. Ayrıca, kaynaklı numune kaynak metali ve ITAB darbe toklukları karşılaştırıldığında ITAB'ın kaynak metaline oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Akay, A. A., "Farklı özellikteki malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirmelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi'', Yüksek Lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük, 1-99 (2012).

Akay, A. A., Kaya Y., Kahraman N., "Tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilen X60, X65 ve X70 çeliklerin kaynak bölgesinin etüdü", ***Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi/Karaelmas Science and Engineering Journal***, 3 (2) 34-42 (2013).

Anık, S., Vural, M. Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG), ***Gedik Eğitim Vakfı Yayın No 3,*** İstanbul, (1996).

Aran, A., Temel, M. A., Paslanmaz Çelik Yassı Mamül Üretimi, Kullanımı, Standartları, ***Sarıtaş Teknik Yayın No:1 2. Baskı***, İstanbul, 1-113 (2004).

Astor Enerji AŞ, İç Eğitim Dökümanları, (2009).

Atılgan, Y., "Depolama tankı imalatında tozaltı ark kaynağı uygulaması ve kaynak bölgesinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, 1-88 (2022).

Benedetti, M., Fontanari, V., Santus, C., "Crack growth resistance of MAG butt-welded joints of S355JR construction steel", ***Engineering Fracture Mechanics***, 108: 305-315 (2013).

Canlı, A., İmdat, K., Yıldırım, M. S., Kaya, Y., "Basınçlı kap çeliklerinin tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin incelenmesi" ***III. Uluslararası Avrasya Multidisipliner Çalışmalar Kongresi Uygulamalı Bilimler Kitabı***, 4-7 Nisan Gaziantep-Türkiye, 412-419 (2019).

Canlı, A., Yıldırım, M. S., Kaya, Y., "Tozaltı ark kaynak yöntemiyle S355J2-P460 basınçlı kap çeliklerinin birleştirilebilirliğinin araştırılması" ***2nd International Turkish World Engineering and Science Congress***, November 7-10 Antalya-Türkiye, 809-816 (2019).

Çalik, A., "Effect of cooling rate on hardness and microstructure of AISI 1020, AISI 1040 and AISI 1060 steels". ***International Journal of Physical Sciences***, 4(9): 514-518 (2009).

Çelik, O., "Gazaltı (MAG) kaynağında kullanılan rutil, bazik ve metal özlü tellerin kaynak metali özelliklerine etkisinin araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-96 (2013).

Çetinkaya, C., "Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, (11): 1-8 (2002).

Çolak, Z., "Su altı kaynak yöntemi ile birleştirilen düşük karbonlu çelik malzemelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi" Yüksek Lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, 1-134 (2018).

Erden, M. A., Gündüz, S., Çalıgülü, U., Boz, M., "Tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen alaşımsız ve hardoks çeliklerin mikroyapı ve sertlik özelliklerinin araştırılması", ***4. Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi (ICWET'16)***, Gaziantep, 784-792, (2016).

Eryürek, B. İ., Gazaltı Kaynağı, ***Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayını 2. Baskı***, İstanbul, 1-85 (2003).

Fındık, T., "304 tipi paslanmaz çeliklerin MIG kaynağındaki ısı transferinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-180 (2008).

Gülsöz, A., "Özlü tel elektrodların önemi ve kaynak özellikleri", ***Mühendis ve Makine Kaynak Özel Sayısı***, 35-40 (2000).

Güner, M., "MAG kaynağinda elektrod tipinin (çıplak tel-özlü tel) kaynak dikişi özelliklerine etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Istanbul, 1-105 (2007).

Kahraman, N., Gülenç, B., Modern Kaynak Teknolojisi Kitabı. ***Epa-Mat Basın Yayın Ltd. Şti***, Ankara, 1-325 (2016).

Kaya, Y., "S235JR ile S355JR yapı çeliklerinin özlü tel elektrotla MAG kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması" ***Politeknik Dergisi***, 21 (3): 597-602 (2018).

Kaya, Y., Canlı, A., "Tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilen basınçlı kap çeliklerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi" ***IV. International Symposium on Multidisciplinary Studies (ISMS),*** Paris/France 27-28 Nisan (2018).

Kaya, Y. Kahraman, N., Durgutlu, A., Gülenç, B., "Tozaltı ark kaynağı ile birleştirilen farklı kalınlıktaki Grade A gemi saclarının mekanik özelliklerinin araştırılması" ***e-journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences***, 1A0088, 5 (2): 348-357 (2010).

Kınıkoğlu, N., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, İstanbul: ***Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, Mart Matbaacılık***, 855-858 (2001).

Kocamanoğlu, G. E., "Yakma alın kaynağıyla birleştirilmiş yapı çeliklerinde ITAB'ın ANSYS ile analizi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-88 (2022).

Najafi, M., Mirzadeh, H., and Alibeyki, M., "Improved mechanical properties of structural steel via developing bimodal grain size distribution and intercritical heat treatment", ***Journal of Materials Engineering and Performance***, 28 (9): 5409-5414 (2019).

Ören, E., "MAG Kaynağında Kaynak Parametrelerinin İç köşe Dikiş Geometrisine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** İstanbul, 1-85 (2002).

Özkan, E., "Kaynak sonrası S355J2N yapı çeliğinde oluşan gerilmeleri gidermek için uygulanan ısıl işlemin etkilerinin tahribatlı-tahribatsız muayene yöntemleriyle belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Tekirdağ, 1-80 (2019).

Şık A., "MIG/MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen çelik malzemelerde ilave tel türleri ve koruyucu gaz karışımlarının eğmeli yorulma ömürlerine etkilerinin araştırılması", ***Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi***, 22 (4): 769-777 (2007).

Şık A., "Yapı çeliğinin (St 52-3) MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının çekme dayanımı özelliklerine etkisi", ***Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi***, 7 (1): 9-15 (2006).

Uzun, Y., "Konvansiyonel ve sinerjik kaynak makinaları ile masif ve özlü tel ile kaynak edilmiş St 37 çeliğin kaynak dikişlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, ***Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, 1-86 Erzurum, (2014).

Ünlü, B. S., Yılmaz, S. S., Uzkut, M., "MIG/MAG kaynağı ile farklı akım şiddetlerinde birleştirilmiş Fe 37 çeliğinin kaynak bölgesinin mekanik özellikleri", ***6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'11),*** Elazığ, 356-359 (2011).

Yalçın, F., “Basınçlı kap çeliklerinin MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve tahribatsız/tahribatlı muayenesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, 1-80 (2023).

Yıldırım, S., Kaya, Y., “Yapı çeliklerinin MAG kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak akımının etkisi” ***III. Uluslararası Avrasya Multidisipliner Çalışmalar Kongresi Uygulamalı Bilimler Kitabı***, 4-7 Nisan Gaziantep-Türkiye, 406-411 (2019)

ÖZGEÇMİŞ

Halil GÜLTOPLAYAN ilk öğrenimini Anamur Atatürk İlkokulunda başlayıp Tarsus 100. Yıl 24 Kasım İlkokulunda tamamladı. Orta okulu Tarsus Kasım Ekenler Ortaokulunda, Liseyi Tarsus Endüstri Meslek Lisesi Metal İşleri Bölümümde tamamladı. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal İşleri Öğretmenliği Bölümünden 1997 yılında mezun oldu. 2016 yılında Gedik Üniversitesi Uluslararası Kaynak Mühendisliği Sertifikası aldı. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve halen eğitimine devam etmektedir.