

**FARKLI ÖZELLİKTEKİ MALZEMELERİN TOZALTI  
ARK KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ  
VE BİRLEŞTİRMELERİN TAHRİBATLI VE  
TAHRİBATSIZ MUAYENESİ**

**2012  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METAL EĞİTİMİ**

**Ali Akın AKAY**

**FARKLI ÖZELLİKTEKİ MALZEMELERİN TOZALTI ARK KAYNAK  
YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE BİRLEŞTİRMELERİN  
TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ MUAYENESİ**

**Ali Akın AKAY**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metal Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2012**

Ali Akın AKAY tarafından hazırlanan “FARKLI ÖZELLİKTEKİ MALZEMELERİN TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE BİRLEŞTİRMELERİN TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ MUAYENESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 29/06/2012

Ünvanı. Adı SOYADI (kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)

Üye : Doç Dr. Ahmet DURGUTLU (GÜ)

..... / ..... / 2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri 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.”*

Ali Akın AKAY

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **FARKLI ÖZELLİKTEKİ MALZEMELERİN TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE BİRLEŞTİRMELERİN TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ MUAYENESİ**

**Ali Akın AKAY**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metal Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN**

**Haziran 2012, 99 sayfa**

Bu çalışmada, düşük alaşımlı, ince taneli, yüksek mukavemetli X60, X65 ve X70 çelikleri, tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı tel ve tozlar kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmeler, öncelikle tahribatsız muayene yöntemlerinden ultrasonik ve radyografik muayeneye tabi tutulmuşlardır. Kaynaklı birleştirmelerin dayanımları ise çekme testi, eğme testi, çentik darbe testi ve sertlik deneyi yapılarak değerlendirilmiştir. Kaynaklı bölgede tel-toz-ana malzeme kompozisyonlarını belirlemek için, kaynaklı birleştirmeler üzerinde spektral analiz çalışmaları yapılmış ayrıca, kaynak bölgesinin makro/mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklı numuneler üzerinde yapılan ultrasonik ve radyografik muayeneler sonucunda, kaynak bölgesinde herhangi bir kaynak hatasına rastlanılmamıştır.

Yapılan çekme testleri sonucunda, tüm numunelerde kopma, ana malzemeden gerçekleşmiş ve bütün bağlantı dayanımları, ana malzemelerden daha yüksek bulunmuştur. Eğme testleri sonucunda, göz ile yapılan muayenede herhangi bir çatlak, yırtık vb. hata görülmemiştir. Çentik darbe test sonuçlarına göre, S2Mo teli ve P223 tozu ile birleştirilen numuneler, S1 teli ve LN 761 tozu kullanılan birleştirmelere göre daha iyi tokluk dayanımına sahip oldukları görülmüştür. Yapılan sertlik testleri sonucunda, en yüksek sertlik değerleri kaynak metalinden ölçülürken onu sırasıyla ITAB ve ana malzeme takip etmektedir. Deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, X70 malzemedeki kullanılan, S2Mo teli ve P223 tozu en verimli mekanik test sonuçları vermiştir.

**Anahtar sözcükler** : Tozaltı kaynağı, tahribatlı muayene, tahribatsız muayene, mekanik özellikler.

**Bilim Kodu** : 701.3.019

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **JOINING OF MATERIALS WITH DIFFERENT PROPERTIES THROUGH SUBMERGED ARC WELDING PROCESS AND DESTRUCTIVE AND NON- DESTRUCTIVE TESTING OF THE JOINTS**

**Ali Akın AKAY**

**Karabük University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Metallurgy Education**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN**

**June 2012, 99 pages**

In this study, low alloyed, fine grained, high strength X60, X65 and X70 steels were joined with Submerged Arc Welding by using different type of welding fluxes and wires. Initially, the joints were subjected to ultrasonic and radiographic inspection methods. Their mechanical properties were determined by tensile test, impact toughness test and hardness test. To determine the welding wire–welding metal and workpiece compositions on the joints, spectral analyses were carried out and macro and microstructural studies of the joints were performed.

As a result of the ultrasonic and radiographic inspection, it was observed that there were no weld defects on joints. As a result of tensile tests, all the welded tensile test pieces ruptured from base material and the tensile strengths of all the joints were higher than those of the base materials. After bending test, there were not any cracks

or defects on specimens. According to impact toughness test results, the joints obtained by using S2Mo welding wire and P223 welding flux had better impact toughness value than the joints obtained by S1 welding wire and LN 761 welding flux. With respect to hardness test, the highest hardness value was measured on weld metal and this was followed by heat affected zone and the base material. Generally, the joint obtained by X70 material, S2Mo and P223 welding flux had the highest mechanical property.

**Key Words** : Submerged arc welding, destructive inspection, non-destructive inspection, mechanical properties.

**Science Code** : 701.3.019



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aŐamasında her tŸrlŸ desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrŸbelerinden yararlandığım değerli hocam Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN'a, sonsuz teŐekkŸrlerimi sunarım.

Tahribatlı ve tahribatsız deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Ahmet TEZEL, Ertan ALTINDAĞ, Ali DALIK ve emeği geçen tŸm Emek Boru Mak. San. Ve Tic. A.Ő. alıŐanlarına o teŐekkŸr ederim Ayrıca, mikroyapı çalıŐmalarındaki yardımlarından dolayı Gazi Ÿniversitesi, Teknoloji FakŸltesi Ŗđretim Ÿyesi Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU ve KBŸ Teknoloji FakŸltesi, İmalat MŸhendislięi BŸlŸmŸ ArŐ GŸr Yakup KAYA'ya teŐekkŸr ederim.

Sevgili aileme eğitim ve çalışma hayatım boyunca manevi desteklerini esirgemenden yanımında oldukları için tŸm kalbimle teŐekkŸr ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvii
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	3
TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİ.....	3
2.1. TOZALTI ARK KAYNAĞININ PRENSİPLERİ.....	4
2.2. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA DİKİŞİN FORMUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	4
2.2.1. Akım Şiddetinin Etkisi .....	6
2.2.2. Akım Yoğunluğunun Etkisi .....	6
2.2.3. Akım Geriliminin Etkisi.....	7
2.2.4. Kaynak Hızının Etkisi.....	8
2.2.5. Kaynak Yapılan Parçanın Eğiminin Etkisi .....	9
2.2.6. Parçaya Bağlanan Kablonun, Bağlantı Yerinin Etkisi.....	10
2.2.7. Serbest Tel Uzunluğunun Etkisi .....	11
2.2.8. Kaynak Ağız Açısının Etkisi .....	11
2.3. TOZALTI ARK KAYNAK PARAMETRELERİ .....	11
2.3.1. Kaynak Ağız .....	12
2.3.2. Akım Yoğunluğu .....	12

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.3.3. Akım Şiddeti.....	12
2.3.4. Akım Gerilimi.....	13
2.3.5. Kaynak Hızı .....	14
2.3.6. Kaynak Düzlemi ve Elektrod Açısı .....	15
2.3.7. Serbest Tel Uzunluğu .....	16
2.4. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA ARK TUTUŞTURMA YÖNTEMLERİ..	17
2.5. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK TELLERİ...	18
2.6. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK TOZLARI..	21
2.7. TOZALTI ARK KAYNAĞININ BAŞLICA UYGULAMA ALANLARI...	22
2.8. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA KAYNAK HATALARI.....	22
2.8.1. Nüfuziyet Yetersizliği.....	23
2.8.2. Yanma Olukları .....	23
2.8.3. Gözenek Oluşumu .....	24
2.8.4. Kalıntılar .....	24
2.8.5. Çatlaklar.....	25
2.9. TOZALTI ARK KAYNAĞININ AVANTAJLARI .....	25
2.10. TOZALTI ARK KAYNAĞININ DEZAVANTAJLARI .....	26
BÖLÜM 3 .....	27
PETROL VE DOĞALGAZ BORU MALZEMELERİ VE KAYNAĞI .....	27
3.1. BORU İMALATINDA KULLANILAN MALZEMELER .....	27
3.2. KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	28
3.3. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN TAHRİBATSIZ TESTLER ....	29
3.3.1. Ultrasonik Muayene.....	30
3.3.2. Radyografik Muayene .....	31
3.3.2.1. X Işınları .....	32
3.3.2.2. Gama Işınları.....	32
3.3.3. Sıvı Penetrant Testi.....	33
3.3.4. Manyetik Parçacık Testi .....	34
3.3.5. Girdap Akımı Testi .....	35
3.3.6. Basınç Testi .....	36
3.3.7. Gözle Muayene.....	37

3.4. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN TAHRİBATLI TESTLER .....	38
3.4.1. Çekme Testi .....	38
3.4.2. Eğme Testi .....	42
3.4.3. Çentik Darbe Testi .....	42
3.4.4. Sertlik Testi .....	44
BÖLÜM 4 .....	45
ULUSAL VE ULUSLARARASI YAPILMIŞ ÇALIŞLAMALAR .....	45
BÖLÜM 5 .....	51
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	51
5.1. KULLANILAN MALZEMELER .....	51
5.2. KAYNAK HAZIRLIĞI .....	52
5.3. KAYNAK İŞLEMLERİ .....	54
5.4. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATSIZ MUAYENESİ .....	55
5.4.1. Ultrasonik Muayene .....	55
5.4.2. Radyografik Muayene .....	56
5.4.3. Kimyasal Analiz Testleri .....	57
5.5. NUMUNE HAZIRLAMA .....	57
5.6. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATLI MUAYENESİ .....	57
5.6.1. Çekme Testi .....	58
5.6.2. Eğme Testi .....	59
5.6.3. Çentik Darbe Testi .....	60
5.6.4. Sertlik Testi .....	61
5.7. MAKRO/MİKRO YAPI İNCELEMELERİ .....	62
BÖLÜM 6 .....	63
SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	63
6.1. GÖZLE MUAYENE .....	63
6.2. ULTRASONİK MUAYENE .....	63
6.3. RADYOGRAFİK MUAYENE .....	65
6.4. KİMYASAL ANALİZ .....	68

	<b><u>Sayfa</u></b>
6.5. ÇEKME TESTİ .....	69
6.6. EĞME TESTİ.....	75
6.7. ÇENTİK DARBE TESTİ.....	77
6.8. SERTLİK TESTİ.....	81
6.9. MAKRO VE MİKROYAPI İNCELEMELERİ.....	83
6.9.1. Makroyapı İncelemeleri.....	83
6.9.2. Mikroyapı İncelemeleri .....	85
BÖLÜM 7 .....	90
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	90
7.1. SONUÇLAR .....	90
7.2. ÖNERİLER .....	91
KAYNAKLAR .....	92
ÖZGEÇMİŞ .....	99

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Tozaltı ark kaynağının şema ve fotoğrafı.....	3
Şekil 2.2. Elektrik ark ve tozaltı ark kaynağında ısı bilançosu .....	4
Şekil 2.3. İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi .....	5
Şekil 2.4. Dikişin formu üzerinde akım şiddetinin etkisi.....	6
Şekil 2.5. Tel çapının dikişin formu üzerine tesiri .....	7
Şekil 2.6. Ark geriliminin dikişin formu üzerine tesiri .....	8
Şekil 2.7. Kaynak hızının dikişin formu üzerine tesiri.....	9
Şekil 2.8. Parçanın bulunduğu düzlemdeki eğimin, dikişin formu üzerine etkisi....	10
Şekil 2.9. Ark üflemesinin parçanın formu üzerine etkisi.....	10
Şekil 2.10. Kaynak ağzı açısının dikişin formu üzerine tesiri.....	11
Şekil 2.11. Tozaltı kaynak akımının dikiş geometrisine nüfuziyete etkisi .....	13
Şekil 2.12. Tozaltı ark kaynağı nüfuziyet profilleri .....	15
Şekil 2.13. Kaynak düzleminin kaynak dikişi ve nüfuziyet üzerine etkileri.....	16
Şekil 2.14. Nüfuziyet azlığının şematik ve radyografik görüntüsü.....	23
Şekil 2.15. Yanma olukların şematik ve radyografik görüntüsü.....	24
Şekil 2.16. Kalıntıların kaynak dikişinde şematik ve radyografik görüntüsü.....	24
Şekil 2.17. Kaynak dikişinde sıcak çatlama örneği.....	25
Şekil 2.18. Radyografik muayene yöntemiyle çatlakın görünüşü.....	25
Şekil 3.1. Ultrasonik muayene yönteminin çalışma prensibi .....	30
Şekil 3.2. X ışını ile radyografik muayene.....	31
Şekil 3.3. Gama ışını ile radyografi çalışmasının şematik gösterimi.....	33
Şekil 3.4. Flüoresan penetran (girici) sıvıyla ultraviyole ışınları altında yapılan test resimleri .....	34
Şekil 3.5. Manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri.....	35
Şekil 3.6. Girdap akımları kontrolünde oluşan manyetik alan ve akımlar .....	36
Şekil 3.7. Çekme deneyinde elastik ve plastik deformasyon bölgeleri.....	39
Şekil 3.8. Elastisite modülünün tespiti .....	40
Şekil 3.9. Çekme diyagramında akma dayanımının gösterimi.....	40

## Sayfa

Şekil 3.10. Çekme diyagramında çekme noktasının gösterimi .....	41
Şekil 3.11. Gerilme-birim uzama eğrisi yardımıyla şekil değiştirme enerjilerinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi .....	41
Şekil 3.12. Eğme deneyi prensip şeması .....	42
Şekil 3.13. Çentik darbe testi.....	43
Şekil 5.1. Parçaların puntalanarak kaynağa hazırlanması .....	53
Şekil 5.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan tozaltı ark kaynak makinesi.....	54
Şekil 5.3. Kaynaklı bölgenin ultrasonik muayenesi ve çalışma ekranında görülen form ekosu. ....	56
Şekil 5.4. Floroskopik muayene sistemi.....	56
Şekil 5.5. Tahribatlı testler için çıkarılan numunelerin çizimleri.....	57
Şekil 5.6. Çekme deney numune ölçüleri.....	58
Şekil 5.7. Çekme testi için numunelerin hazırlanması .....	59
Şekil 5.8. Çekme deney numuneleri ve çekme cihazı.....	59
Şekil 5.9. Eğme numuneleri .....	60
Şekil 5.10. Çentik darbe numune ölçüleri, örnek numune ve cihazın görüntüsü.....	60
Şekil 5.11. Sertlik ölçme testine ait numune şekli ve sertlik ölçüm noktaları .....	61
Şekil 5.12. Sertlik ölçüm cihazı.....	61
Şekil 5.13. Mikro yapıların görüntülediği cihaz.....	62
Şekil 6.1. Ultrasonik muayene raporu. ....	64
Şekil 6.2. Radyografik filmler .....	65
Şekil 6.3. Radyografik muayene protokolü.....	66
Şekil 6.4. Radyografik muayene sertifikası.....	67
Şekil 6.5. Kaynak metalindeki %C oranı grafiği (ağırlıkça).....	69
Şekil 6.6. Kaynak metalindeki %Mn oranı grafiği (ağırlıkça).....	69
Şekil 6.7. Çekme testi sonrası çekme numunelerinin kopma bölgeleri a) kaynak kökü üstte ve b) kaynak kepi üstte .....	70
Şekil 6.8. X60-S1 numunesinin gerilim – uzama grafiği .....	71
Şekil 6.9. X65-S1 numunesinin gerilim – uzama grafiği .....	72
Şekil 6.10. X70-S1 numunesinin gerilim – uzama grafiği.....	72
Şekil 6.11. X60-S2Mo numunesinin gerilim – uzama grafiği .....	72
Şekil 6.12. X65-S2Mo numunesinin gerilim – uzama grafiği .....	73
Şekil 6.13. X70-S2Mo numunesinin gerilim – uzama grafiği .....	73

Şekil 6.14. Çekme deneyi sonuçları grafiği .....	73
Şekil 6.15. Kaynaklı numunelerin kopma yüzey görüntüleri a) X60-S1, b) X65-S1, c) X70-S1, d) X60-S2Mo, e) X65-S2Mo ve f) X70-S2Mo.....	75
Şekil 6.16. X60-S1 numunesinin eğme testi sonucu a) kök eğmesi b) kep eğmesi...	76
Şekil 6.17. X65-S1 numunesinin eğme testi sonucu a) kök eğmesi b) kep eğmesi...	76
Şekil 6.18. X70-S1 numunesinin eğme testi sonucu a) kök eğmesi b) kep eğmesi ...	76
Şekil 6.19. X60-S2Mo numunesinin eğme testi sonucu a) kök eğmesi b) kep eğmesi .....	77
Şekil 6.20. X65-S2Mo numunesinin eğme testi sonucu a) kök eğmesi b) kep eğmesi .....	77
Şekil 6.21. X70-S2Mo numunesinin eğme testi sonucu a) kök eğmesi b) kep eğmesi .....	77
Şekil 6.22. Kaynak metalinin çentik darbe test grafiği .....	79
Şekil 6.23. ITAB bölgesinin çentik darbe test grafiği.....	79
Şekil 6.24. Kaynak dikişine dikey doğrultuda alınan sertlik ölçümlerinin grafiği ....	82
Şekil 6.25. Kaynak bölgesinden yatay doğrultuda alınan sertlik ölçümlerinin grafiği .....	82
Şekil 6.26. X60-S1 numunesinin makro yapı fotoğrafı .....	84
Şekil 6.27. X65-S1 numunesinin makro yapı fotoğrafı .....	84
Şekil 6.28. X70-S1 numunesinin makro yapı fotoğrafı .....	84
Şekil 6.29. X60-S2Mo numunesinin makro yapı fotoğrafı.....	85
Şekil 6.30. X65-S2Mo numunesinin makro yapı fotoğrafı.....	85
Şekil 6.31. X70-S2Mo numunesinin makro yapı fotoğrafı.....	85
Şekil 6.32. Ana malzeme mikro yapı görüntüleri a) X60, b) X65 ve c) X70 .....	86
Şekil 6.33. X60-S1 numunenin mikro yapı fotoğrafları a) ITAB, b) kaynak metali c) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.....	87
Şekil 6.34. X65-S1 numunenin mikro yapı fotoğrafları a) ITAB, b) kaynak metali c) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.....	87
Şekil 6.35. X70-S1 numunenin mikro yapı fotoğrafları a) ITAB, b) kaynak metali c) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.....	88
Şekil 6.36. X60-S2Mo numunenin mikro yapı fotoğrafları a) ITAB, b) kaynak metali c) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.....	88
Şekil 6.37. X65-S2Mo numunenin mikro yapı fotoğrafları a) ITAB, b) kaynak metali c) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.....	89
Şekil 6.38. X70-S2Mo numunenin mikro yapı fotoğrafları a) ITAB, b) kaynak metali c) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.....	



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Tozaltı kaynak parametrelerinin kaynak dikişi kalitesine etkisi.....	5
Çizelge 2.2. Tozaltı kaynak tellerindeki manganez miktarı.....	19
Çizelge 2.3. Tel içerisine katılan alaşım elamanlarının kaynağa kazandırdığı özellikler.....	19
Çizelge 2.4. DIN 668'egore kaynak tellerinin toleransları .....	19
Çizelge 2.5. EN 756'ya göre kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri.....	20
Çizelge 3.1. API-5L'ye göre boruların mekanik özellikleri .....	28
Çizelge 3.2. API-5L'ye göre boruların kimyasal özellikleri.....	28
Çizelge 3.3. Çelik sınıflarına göre boru imalat metotları .....	29
Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal analizleri .....	52
Çizelge 5.2. Deneylerde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri .....	52
Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan tellerin kimyasal analizleri.....	52
Çizelge 5.4. Deneylerde kullanılan kaynak tozlarının kimyasal kompozisyonu .....	52
Çizelge 5.5. TS EN ISO 9692-2'ye göre tek V alın kaynağı kaynak ağzı ölçüleri...	53
Çizelge 5.6. Tozaltı kaynak makinesinin teknik özellikleri.....	54
Çizelge 5.7. Kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri.....	55
Çizelge 6.1. Kaynak dikişinden alınan kimyasal bileşim analizleri (Ağırlıkça %)...	69
Çizelge 6.2. Kaynaklı çekme deneyi sonuçları .....	71
Çizelge 6.3. Kaynak metali ve ITAB'dan ölçülen tokluk değerleri.....	78

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

A	: Akım şiddeti
AC	: Alternatif akım
DC	: Doğru akım
KN	: Kilo Newton
Mpa	: Megapascal
P	: Hidrostatik test basıncı
S	: Minimum gerilme mukavemeti
t	: Et kalınlığı
V	: Akım gerilimi
f	: Frekans
$\beta$	: Beta ışını
$\gamma$	: Gama ışını
$\alpha$	: Alfa ışını

### KISALTMALAR

SAW	: Tozaltı ark kaynağı
API	: American petroleum institue
EN	: Euronorm
ITAB	: Isının tesiri altındaki bölge
HV	: Hardness vickers
AWS	: American Welding Society

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

The International Energy Outlook (IEO)'nun, 1998 yılında yapmış olduğu bir araştırmada, dünya genelinde 2020 yılında, 1970'de tüketilen enerjinin yaklaşık üç katının tüketileceği bildirilmektedir. Buna göre, petrol talebinin 1995 ile 2020 yılları arasında günde 45 milyon varilin üstüne çıkarak yıllık % 2'lik ortalama bir hızla artacağı ve toplam enerji tüketiminde petrolün payının 2020 yılında % 37 dolaylarında olacağı tahmin edilmektedir. Ulaşım dışındaki diğer tüm alanlarda petrolün en güçlü rakibi haline gelecek olan doğalgazın kullanımının ise 2020'de ikiye katlanarak 5 trilyon m<sup>3</sup>'e ulaşacağı ön görülmektedir [1]. Anlaşılacağı gibi hem stratejik hem ekonomik olarak çok önemli olan petrol ve doğalgazın, kaynaklarından çıkarılması ve kullanım yerlerine taşınması gerekmektedir. Taşıma işlemi yüksek basınçla gerçekleştirilir ve bu işlem büyük çaplı çelik borular vasıtasıyla yapılmaktadır.

Günümüzde üretilen hat borularının çoğu API (American Petroleum Institute) standardına göre üretilmektedir. Kalifiye edilmiş üreticiler sattıkları boru üzerinde API kısaltmasını kullanma hakkına sahiptirler. Hat borularının imalatında kullanılan ana standart API Spec 5L'dir. Bu standart dikişsiz ve boyuna dikişli boruları kapsamaktadır. API Spec 5L Grade A, B, X kalite gruplarını ihtiva etmektedir ve daha önceleri ayrı yayınlar olan Spec 5LS ve 5LX, API Spec 5L'ye dâhil edilmiştir. Tüm API hat boruları psi olarak verilen minimum akma mukavemetleri ile gösterilirler. Hat boruları imalatında uygulanan yöntemlere göre dikişli ve dikişsiz olmak üzere iki şekilde üretilebilirler. Dikişsiz borular şekillendirilebilen çeliklerden kaynak dikişi yapılmadan imal edilen borulardır. Bu borular çeliklerin sıcak işlenmesi ile imal edilir. Dikişli boru imalatında birçok farklı imalat yöntemi mevcuttur. Bu yöntemler boru üzerindeki boyuna dikişin sayısına ve kullanılan kaynak ekipmanına bağlı olarak farklılık gösterir. Dikişli borulara örnek olarak,

elektrik kaynaklı, tozaltı kaynaklı, gaz metal ark kaynaklı, çift dikişli, spiral dikişli borular verilebilir [2].

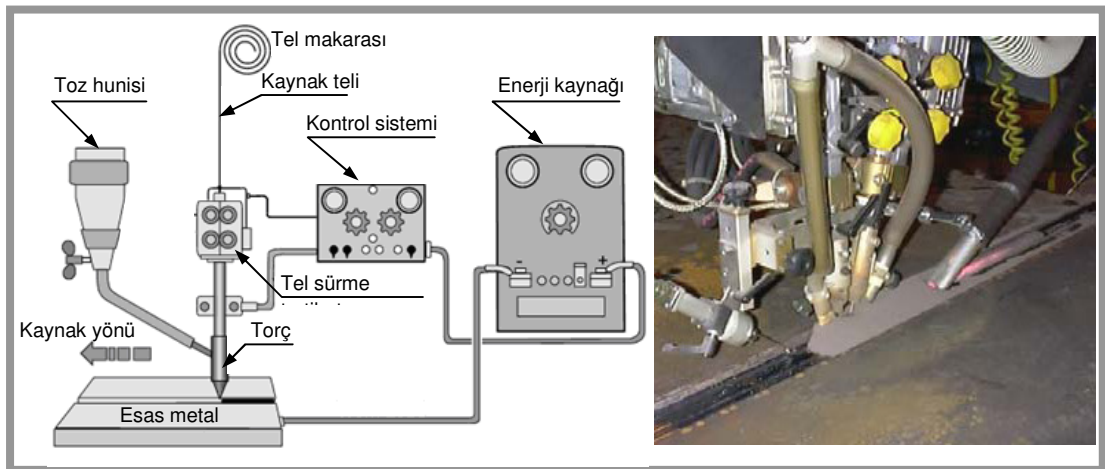
Bu çalışmada, petrol ve doğalgaz boru hatlarında kullanılan farklı malzemelerin tozaltı ark kaynağı yöntemi ile farklı ilave tel ve tozlarla birleştirilip, kaynaklı birleştirmelerin mikro-makro yapı özellikleri ve bazı tahribatlı ve tahribatsız muayene teknikleri kullanılarak mekanik performansı incelenmiştir.

Deneyisel çalışmalarda X60, X65 ve X70 çeliklerinin S1 teli ve LN 761 toz ile ve de S2Mo teli ve P223 tozu ile tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynaklanmış ve bu birleştirmelere önce ultrasonik ve radyografik muayene, sonra kimyasal analiz, sertlik, darbe çentik, eğme ve çekme testleri uygulanmıştır. Ayrıca, kaynaklı birleştirmelerin makro ve mikro yapı fotoğrafları çekilerek incelenmiş, testler sonucunda kullanılan tel ve tozların, kaynak bölgesindeki etkilerinin mukayesesi yapılmıştır.

## BÖLÜM 2

### TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİ

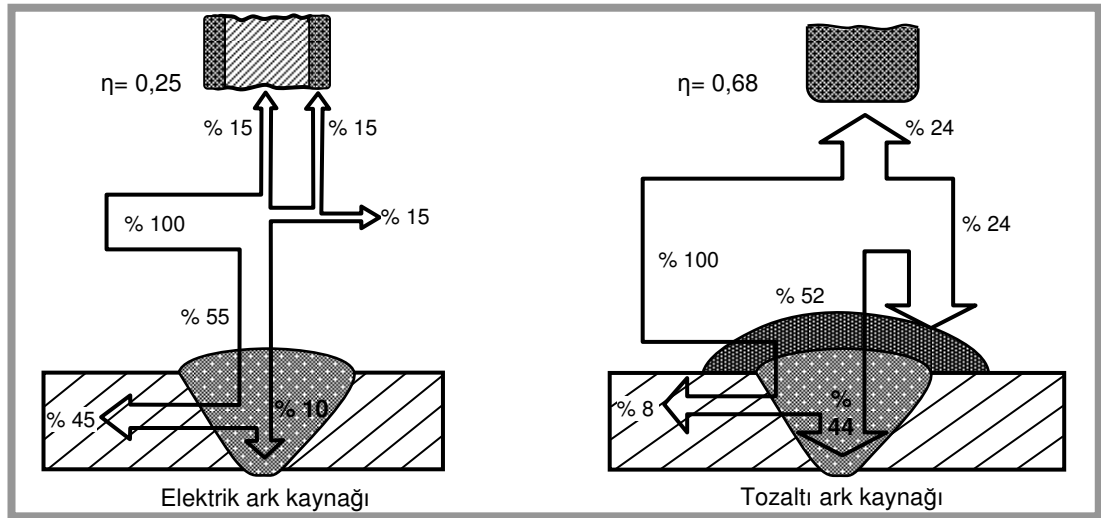
Tozaltı kaynağı, kaynak için gerekli ısının, tükenen elektrod (veya elektrodlar) ile iş parçası arasında oluşan ark (veya arklar) sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Ark bölgesi kaynak tozu tabakası ile kaynak metali ve kaynağa yakın ana metal de eriyen kaynak tozu (cüruf) ve kaynak dikişi tarafından korunur. Tozaltı kaynağında elektrik, arktan ve ergimiş metal ile ergimiş cüruftan oluşan kaynak banyosundan geçer. Ark ısısı elektrodu, kaynak tozunu ve ana metali eriterek kaynak ağzını dolduran kaynak banyosunu oluşturur. Koruyucu görevi yapan kaynak tozu ayrıca kaynak banyosu ile reaksiyona girerek kaynak metalini deokside eder. Alaşımli çelikleri kaynak yaparken kullanılan kaynak tozlarında, kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu dengeleyen alaşım elementleri bulunabilir. Tozaltı kaynağı otomatik bir kaynak yöntemidir. Bazı tozaltı kaynak uygulamalarında iki veya daha fazla elektrod aynı anda kaynak ağzına sürülebilir. Elektrodlar yan yana (twin arc) kaynak banyosuna sürülebilir veya kaynak banyolarının birbirinden bağımsız katılmasını sağlayacak kadar uzaklıkta, arka arkaya sürülerek yüksek kaynak hızı ve yüksek metal yığıma hızına ulaşılabilir [3].



Şekil 2.1. Tozaltı ark kaynağının şema ve fotoğrafı [4].

## 2.1. TOZALTI ARK KAYNAĞININ PRENSİPLERİ

Bu kaynak yönteminde, bir bobinden sağılan kaynak teli bir motorun tahrik ettiği makaralar arasından ve bir temas memesinden geçerek kaynak bölgesine gönderilir. Gerekli akımı temas memesinden alan tel ile iş parçası arasında ark oluşur ve ayrı bir kanaldan gelen silikat ve toprak alkali metalleri içeren özel bir toz, ark bölgesini havanın olumsuz etkilerinden korur. Kaynak teli ve iş parçası arasında oluşan arkın sıcaklığından tel ve esas metalin bir bölümü ergiyerek istenen birleşmeyi sağlar. Ark, bir toz örtüsü altında bulunduğundan çevreye ışınlam yapmaz ve bu şekilde ark enerjisinin büyük bir bölümü (yaklaşık olarak % 68'i) doğrudan doğruya kaynak için tüketilmiş olur. Bu oran elektrik ark kaynağında %25'dir. Şekil 2.2'de, örtülü elektrod ark ve tozaltı ark kaynak ısı bilançoları verilmiştir [5].

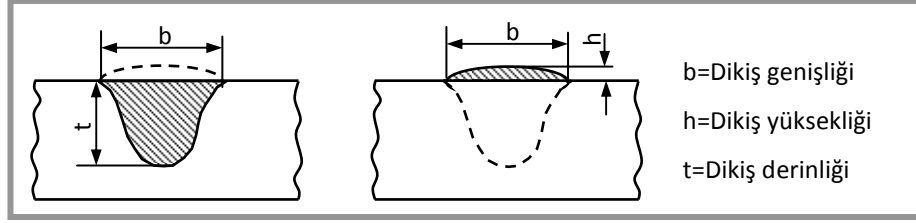


Şekil 2.2. Elektrik ark ve tozaltı ark kaynağında ısı bilançosu [6].

## 2.2. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA DİKİŞİN FORMUNA TESİR EDEN FAKTÖRLER

Kaynak dikiş formu denilince; dikiş genişliği, dikiş yüksekliği ve derinliği anlaşılır. Dikiş formu incelendiğinde iç ve dış dikiş formu olmak üzere iki form gözlenir (Şekil 2.3). Her dikiş formu nüfuziyet derinliği, ergime genişliği ve dikiş yüksekliği olmak üzere üç şekilde karakterize edilir. Tozaltı ark kaynağında dikişin formu çok geniş sınırlar içerisinde değişebilir. Eğer belli bir usulde, kaynak karakteristikleri

yerinde seçilirse, belirli faktörlerin kaynak esnasındaki tesirlerini tespit etmek mümkün olur [4,7]. Çizelge 2.1’de tozaltı kaynak parametrelerinin kaynak dikişi kalitesine etkisi verilmiştir.



Şekil 2.3. İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi [4].

Tozaltı kaynağında dikişin formuna etki eden başlıca faktörler şöyle sıralanabilir;

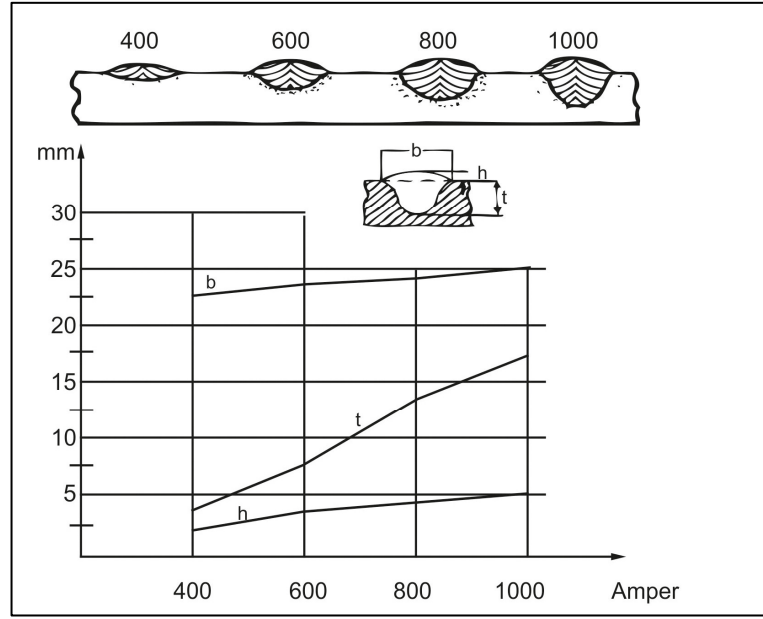
- Akım şiddeti
- Akım yoğunluğu (Tel çapı)
- Ark gerilimi
- Kaynak hızı
- Kaynak yapılan parçanın bulunduğu düzlemdeki meyli
- Kaynak kablosunun bağlantı yeri
- Kaynak telinin memenin dışında kalan kısmının uzunluğu
- Kaynak ağız açısı [7].

Çizelge 2.1. Tozaltı kaynak parametrelerinin kaynak dikişi kalitesine etkisi [8].

Kaynak parametreleri (yükseldikçe)	Nüfuziyet	Dikişin eni	Dikişin yüksekliği
<b>Akım şiddeti (A)</b>	Fazla miktarda artar	Artar	Fazla miktarda artar
<b>Ark gerilimi (V)</b>	Azalı	Fazla miktarda artar	Azalı
<b>Kaynak hızı (cm/dak)</b>	Önce artar sonra sabitleşir, yüksek hızlarda sistematik olarak azalı	Fazla miktarda azalı	Belli bir hızı kadar azalı, sonra artar
<b>Kaynak teli çapı (mm)</b>	Fazla miktarda azalı	Fazla miktarda artar	Azalı
<b>Parça eğimi aşağı doğru</b>	Fazla miktarda azalı	Artar	Azalı
<b>Parça eğimi yukarı doğru</b>	Fazla miktarda artar	Azalı	Fazla miktarda artar
<b>Kaynak telinin kaynak yönüne eğimi (°)</b>	Fazla miktarda azalı	Artar	Azalı
<b>Meme mesafesi (mm)</b>	Az miktarda azalı	Artar	Azalı veya artar
<b>Ağız açısı (°)</b>	Değişmez	Artar	Azalı veya artar
<b>Alın aralığı (mm)</b>	Az miktarda azalı	Artar	Azalı veya artar
<b>Tozun tane iriliği</b>	Az miktarda azalı	Az miktarda artar	Az miktarda artar

### 2.2.1. Akım Şiddetinin Etkisi

Akım şiddeti, dikişin formu üzerine en büyük etkisi olan faktörlerden biridir. Ergiyen elektrot miktarını, nüfuziyet derinliğini ve ergiyen esas metal miktarını etkiler. Akım şiddetindeki artış ile nüfuziyet ve ergime miktarı artar [7,8]. Şekil 2.4’de akım şiddetinin kaynak dikiş formu üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

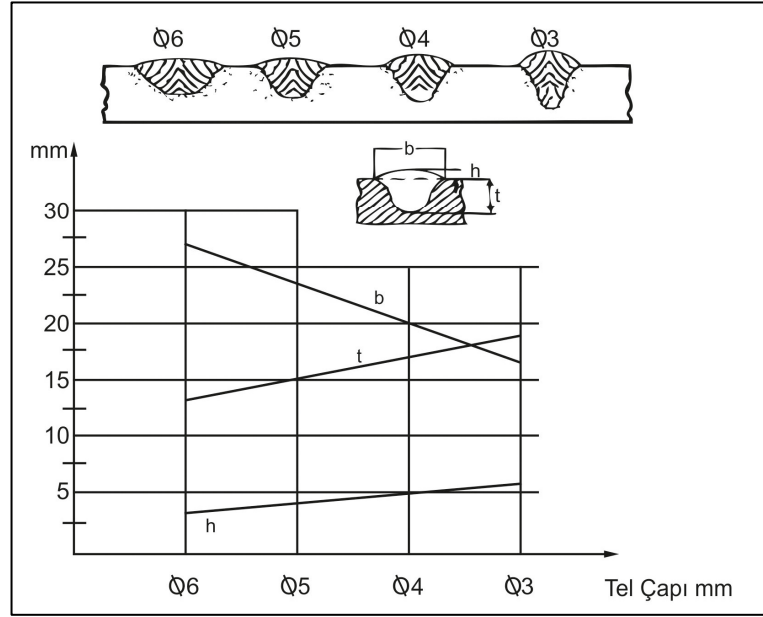


Şekil 2.4. Dikişin formu üzerinde akım şiddetinin etkisi [7].

### 2.2.2. Akım Yoğunluğunun Etkisi

Akım yoğunluğu ( $I / F = \text{Amper/mm}^2$ ), akım şiddetinin tel kesitine oranıdır [5]. Akım yoğunluğunun artması ile, akım şiddeti de artacağından dikişin nüfuziyeti artar. Ayrıca akım yoğunluğunun artmasıyla ergime gücü de fazlalaşacağından, (h) dikiş yüksekliğinde bir artma görülür. Kaynak teli çapının dikiş formu üzerindeki tesiri Şekil 2.5’de görülmektedir. Kaynak teli çapının artması, genellikle akım yoğunluğunun azalması demektir [7].

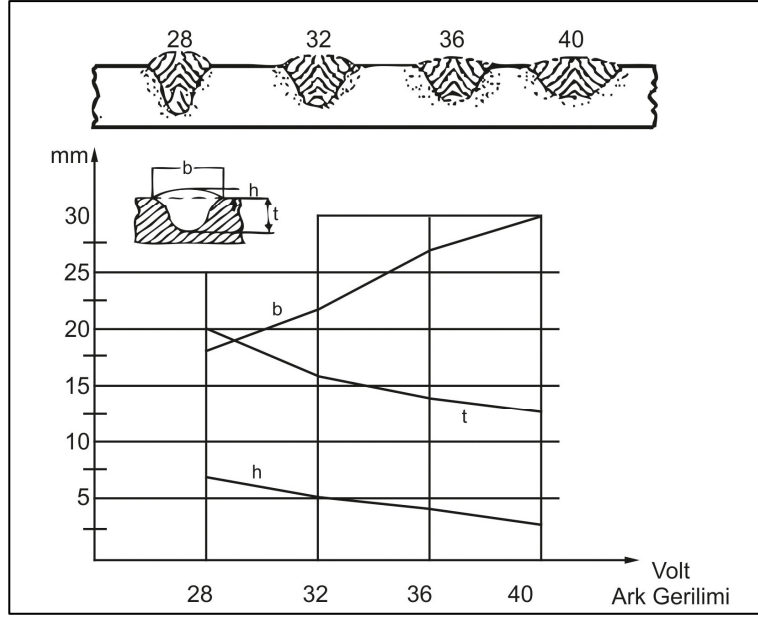




Şekil 2.5. Tel çapının dikişin formu üzerine tesiri [7] .

### 2.2.3. Akım Geriliminin Etkisi

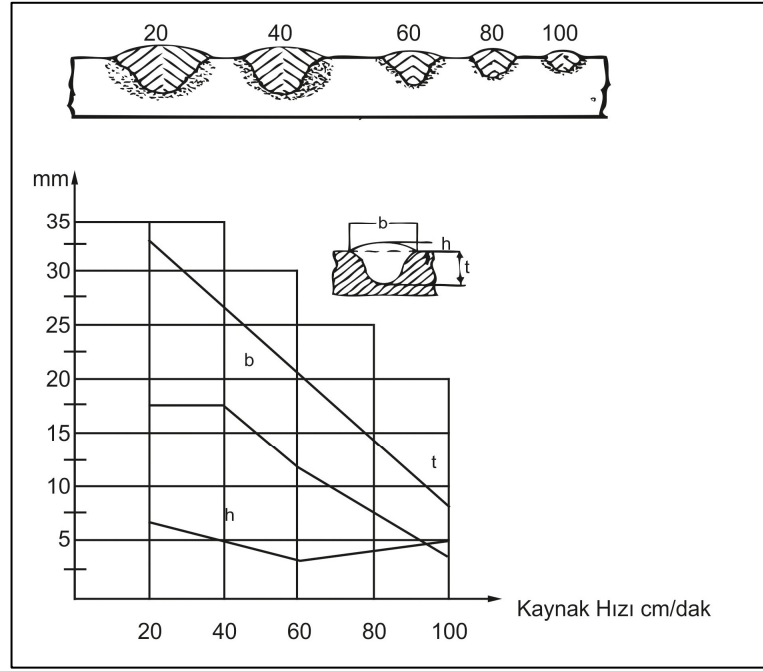
Ark gerilimi, ark boyunun bir fonksiyonu olduğuna göre, ark boyu değiştikçe ark gerilimi de değişir. Kaynak geriliminin artırılması; düz ve geniş bir dikişe, toz tüketiminin artmasına ve fazla miktarda tozun cüruf haline geçmesine sebep olur. Bu ise kaynak dikişinin kimyasal bileşimine etki eder. Gereğinden fazla gerilim; çatlakların fazlaca görüldüğü bir dikiş geometrisini oluşturur, cüruf temizleme zorluğu yaratır, çok pasolu kaynakta alaşım içeriğini artırır, konkav (iç bükey) bir yuvarlatma meydana getirir. Oldukça düşük bir gerilim kullanmak ise temizlemesi zor bir cüruf ile yüksek ve dar bir dikiş meydana getirir. Kaynaktaki cüruf sarfiyatının yüksek oluşu dolayısı ile de ekonomiklik yönünden, yüksek ark gerilimi seçimi yoluna da gidilmez [5,7].



Şekil 2.6. Ark geriliminin dikişin formu üzerine tesiri [8]

#### 2.2.4. Kaynak Hızının Etkisi

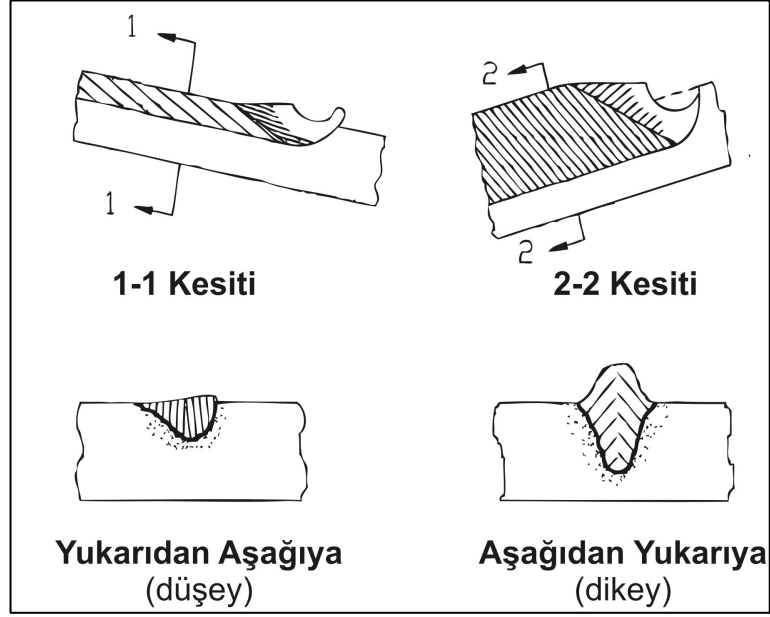
Düşük hızla yapılan kaynakta, ergiyen ilave metal miktarı artacağı için ergimiş banyonun miktarı büyür. Bu da kaba bir dikiş görünümü ve dikişe cüruf katma gibi problemler oluşturabilir. Kaynak hızının azalması, dikiş boyuna verilen ısı miktarını yükselteceğinden, “ısının tesiri altında kalan bölge” (ITAB) genişler ve normal kaynak hızlarında delinmemesi gereken parçalarda delinme tehlikesi ortaya çıkar. Ayrıca düşük kaynak hızlarında gözenek oluşması riski azalır. Çünkü gaz çıkartan materyallerin buhar haline gelip, ergimiş kaynak banyosundan çıkması için yeterli zamanları vardır. Bununla birlikte gereğinden yavaş kaynak hızlarında yapılan kaynakta ise çatlakların fazlaca görüldüğü dikiş geometrisi oluşur. Son olarak kaynak hızının düşmesi, kullanılan tozun sarfiyatına etki eden önemli parametrelerden birisi olup, ergiyen toz miktarını artırmaktadır. Diğer taraftan kaynak hızı yükseldikçe, nüfuziyet ile dikiş genişliğinin azaldığı görülür. Kaynak hızının artması, dikişlerin daha dikkatli kaynak edilmesini gerektirir. Gereğinden fazla kaynak hızı, ark üflemesini, gözeneği ve çatlağı artırır, dikişin şeklini bozar. Şekil 2.7’de kaynak hızının dikiş geometrisi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Kaynak hızının dikişin formu üzerine tesiri [8].

### 2.2.5. Kaynak Yapılan Parçanın Eğiminin Etkisi

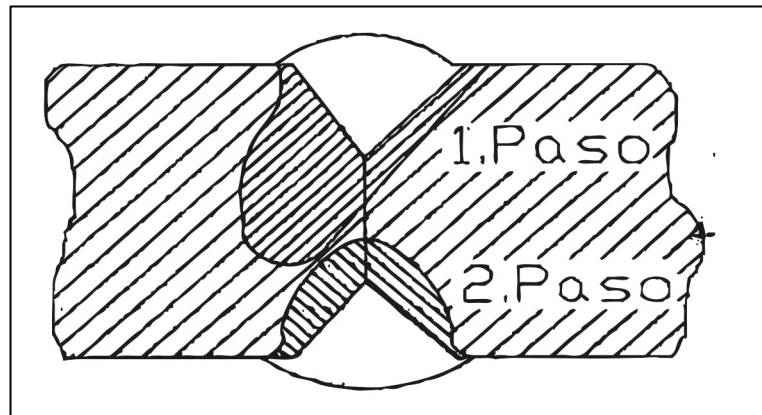
Tozaltı ark kaynağı genel olarak yatay pozisyonda yapılır. Burada bilhassa parçanın durumu ve kaynak yönü dikişin formu üzerine tesir eder. Kaynak yapılan parçanın bulunduğu yatay düzlemde  $6^\circ$ 'ye kadar bir eğim olması çok önemli değildir. Fakat bu eğim  $6^\circ$ 'yi geçerse, kaynağın yönüne göre dikişin formu da değişir. Şekil 2.8'de dikey ve düşey yapılan kaynaklardaki dikiş formları verilmiştir. Örneğin,  $6^\circ$ 'den daha büyük eğimli yüzeylerdeki düşey yapılan kaynaklarda nüfuziyet gayet az ve dikiş geniştir. Dikey yapılan kaynaklarda ise, nüfuziyet ve dikiş yüksekliği çok fazladır. Gerek dikey gerekse düşey yapılan her iki kaynakta istenmez. Bu bakımdan parçanın bulunduğu düzlemin ile eğiminin,  $6^\circ$ 'yi geçmemesine dikkat edilmelidir [8].



Şekil 2.8. Parçanın bulunduğu düzlemdeki eğimin, dikişin formu üzerine etkisi [8].

### 2.2.6. Parçaya Bağlanan Kablonun, Bağlantı Yerinin Etkisi

Parçaya bağlanan kablonun bağlantı yeri daha ziyade ark üflemesine tesir eder. Bunun neticesinde de dikişin iç formu değişir ve yetersiz bir birleşme elde edilir. Kablunun bağlantı yeri ark üflemesini önleyecek şekilde seçilmelidir. Buda kaynak yapılan parçanın her birinin baş ve sonuna (dikişin sağına ve soluna) gelmek üzere dörtlü bir bağlantı yapmakla gerçekleştirilebilir [8]. Şekil 2.9'da ark üflemesinin parçanın formu üzerine etkisi verilmiştir.



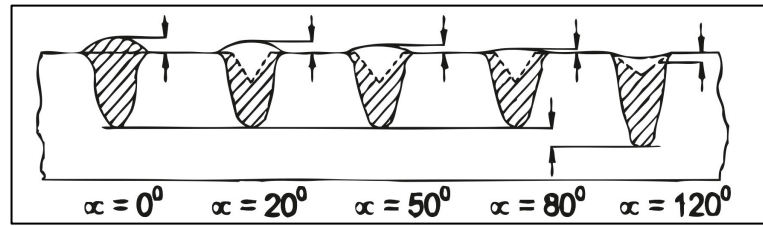
Şekil 2.9. Ark üflemesinin parçanın formu üzerine etkisi [8].

### 2.2.7. Serbest Tel Uzunluğunun Etkisi

Kaynak telinin bağlantı yeri veya telin dışarıda kalan kısmı, kaynak memesinin parçaya olan mesafesi ile ifade edilir. Bu mesafe büyüdükçe telin dışarıda kalan kısmı da artar. Meme ile iş parçası arasındaki ortalama mesafe tel çapının 10 katı olarak alınır. Meme ile iş parçası arasındaki mesafenin kısılmasıyla daha karalı ve sabit bir ark elde edilir. Bu mesafe arttıkça nüfuziyet azalır ve dikiş yüksekliği artar. Nüfuziyetin azalması ve yığılan metal miktarının artması doldurma kaynağı için uygun ise de, birleştirme kaynağında istenmez. Birleşme kaynağında daima iyi bir nüfuziyet ve hatasız bir dikiş aranır [8].

### 2.2.8. Kaynak Ağız Açısının Etkisi

Birleştirilecek parçalara ağız açmak, dikişin iç formuna tesir etmektedir. Şekil 2.10'da ağız açısının dikişin formu üzerindeki etkisi görülmektedir. Ağız açısı büyüdükçe de bilhassa nüfuziyet artmakta ve dikişin yüksekliği de azalmaktadır [8]. Şekil 2.10'da kaynak ağızı açısının, dikişin formu üzerine tesiri şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.10. Kaynak ağızı açısının dikişin formu üzerine tesiri [8].

## 2.3. TOZALTI ARK KAYNAK PARAMETRELERİ

Tozaltı kaynak yönteminde kullanılan kaynak parametreleri, kaynak işleminin ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesini belirleyen en önemli etkenler olup, kaynak edilen metalin türü ve parça geometrisi göz önüne alınarak saptanırlar. Burada, kaynak akımı, ark gerilimi, kaynak hızı ve kaynak ağızı biçimi temel kaynak parametreleridir. Bunun yanı sıra, kullanılan akım türü ve kutuplama, kullanılan tel çapları, toz yığılma yüksekliği, serbest tel uzunluğu, kaynak yapılan düzlemin eğimi,

kaynak kafa sayısı, elektrot açışı ve elektrotlar arası uzaklık gibi bir dizi ikincil kaynak parametreleri vardır[2].

### **2.3.1. Kaynak Ağızı**

Ark kaynağında, iyi nüfuziyetli bir kaynak bağlantısının elde edilmesi için, kaynak birleştirme yerinin hazırlanması son derece önemlidir. Kaynağa hazırlık çalışması, kaynak yerinin temizlenmesi ve kaynak ağzının açılması olarak başlıca iki noktada düğümlenir. Kaynak ağızı esas olarak, nüfuziyet derinliğini artırmak için yapılır. Kaynak ağızı biçimine, birinci derecede kaynak edilecek parçanın kalınlığı etki eder. Birleştirme kaynağında, belirli bir kalınlığa kadar, parçaya ağız açmadan bir paso ile tozaltı kaynağı yapma olanağı vardır; ancak, belirli bir kalınlıktan sonra birleştirilecek parçalara çeşitli türlerde ağız açılır. Ağız açısı büyüdükçe nüfuziyet artmakta ve dikişin yüksekliği azalmaktadır. Ayrıca, ek kaynak metali tüketimi artar [2].

### **2.3.2. Akım Yoğunluğu**

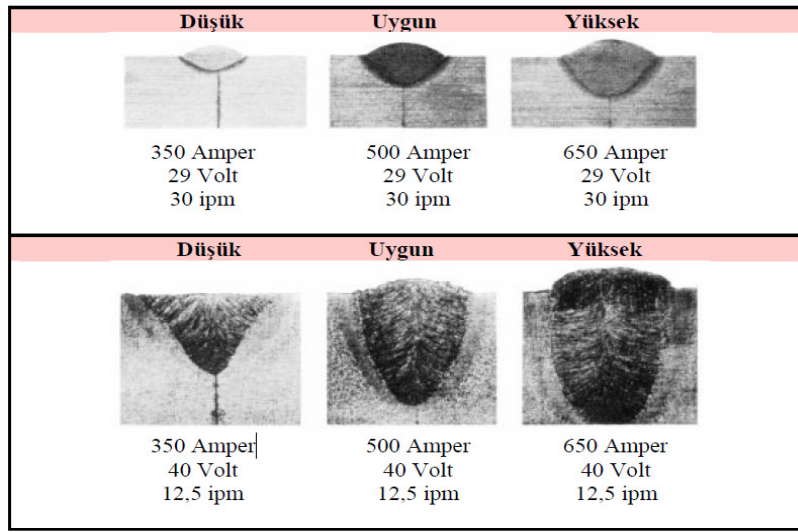
Akım yoğunluğu ( $I/A=A/mm^2$ ), akım şiddetinin tel kesitine oranıdır. Akım yoğunluğunun artması ile dikişin nüfuziyeti artar. Ayrıca, akım yoğunluğunun artması ile ergime gücü de artacağından, dikiş yüksekliğinde de artış olur [9].

Kaynak tel çapının artması, akımın sabit kalması durumunda, akım yoğunluğunun azalmasına dolayısıyla nüfuziyetin azalmasına yol açar. Bunun dışında, tel çapının artması ark tutuşmasında zorluk yaratır ve düzensiz arka neden olur. Tel çapı arttıkça kaynak telinin akım yüklenebilme kabiliyeti artar, yani iş parçasına daha yüksek seviyede akım yüklenebilir [2].

### **2.3.3. Akım Şiddeti**

Akım şiddeti, dikişin formu üzerinde en büyük tesiri olan faktörlerden biridir. Kaynak akımı ergiyen elektrod miktarını, nüfuziyet derinliğini ve ergiyen esas metal miktarını belirler. Akım şiddetindeki artış ile nüfuziyet ve ergime miktarı artar [9].

Seçilen kaynak hızı için akımın çok fazla olması durumunda ergiyen tel miktarı artar, buna bağlı olarak dikiş yüksekliği, genişliği ve nüfuziyet derinliği de artar. Dolayısı ile kaynak banyosu büyür ve ısıdan etkilenen bölge (ITAB) genişler [2]. Kaynak akımının çok fazla olması durumunda ise, düzensiz bir ark meydana gelir ve iş parçasının delinme tehlikesi artar. Akımın çok düşük olması ise hem nüfuziyet yetersizliğine, hem de kaynak kepi yüksekliğinin arzu edilen seviyesinin altında kalmasına neden olur [9]. Şekil 2.11’de tozaltı ark kaynak akımının, dikiş geometrisine ve nüfuziyete etkisi verilmiştir.



Şekil 2.11. Tozaltı ark kaynak akımının, dikiş geometrisine ve nüfuziyete etkisi [5].

### 2.3.4. Ark Gerilimi

Ark gerilimi esas olarak, ergime bölgesinin ve kaynak kepinin biçimine etki eder. Ark geriliminin yükseltilmesi ile birlikte, kaynak kepi daha geniş ve düze yakın bir biçim alır. Ancak, ark içinde kalan toz miktarı artacağından toz kullanımı da artar. Gerilim yükseldikçe, dikişin nüfuziyeti azalır. Ark gerilimi, ark boyunun bir fonksiyonudur; yani, ark boyu değiştikçe ark gerilimi de değişir. Yüksek bir ark gerilimi, uzun ark boyu ile çalışmayı gerektirir. Bu da, daha fazla miktarda tozun cüruf haline geçmesine neden olur. Bunun sonucunda da, kaynak dikişinin kimyasal bileşimi değişir. Örneğin; asit karakterli toz kullanımı durumunda, dikişteki Si miktarı yükselir. Kaynak dikişinde çatlama neden olan Mn ve Si içeriğini kontrol altına almak için gerilim sınırlaması önem taşımaktadır [2].

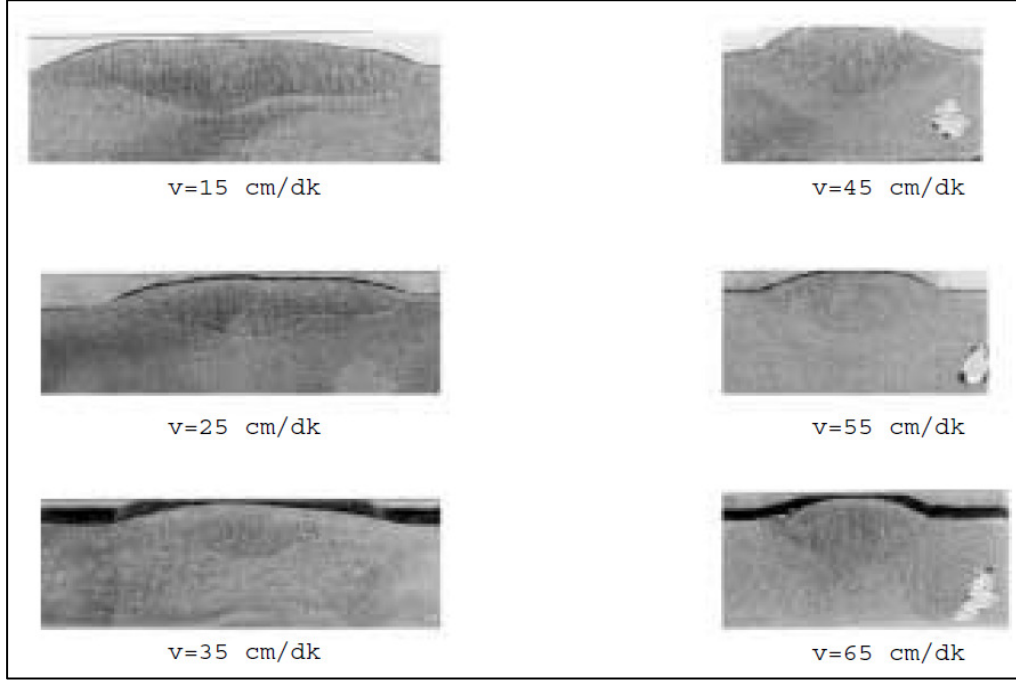
Ark geriliminin aşırı fazla olması durumunda, kaynak banyosunu örten toz örtüsü yırtılarak, kaynak metalinin hava ile temasına bunun sonucunda da kaynakta gözenek oluşumuna ve ark üflemesine karşı hassasiyet artar. Ark geriliminin kaynak akımına göre düşük kalması halinde, esas metaldeki ergime iyi bir kaynak dikişi oluşturmaya yetmez [2,10].

### **2.3.5. Kaynak Hızı**

Üretim hızının ve kaynak dikişinin metalurjik açıdan kalitesini belirleyen en önemli parametrelerinden birisidir. Ayrıca, kaynak hızı kaynak bağlantısının mekanik ve tokluk özellikleri üzerinde son derece etkili olan ısı girdisini de etkilemektedir. Düşük bir hızla yapılan kaynakta ergiyen ek kaynak metali (tel) miktarı artar; dolayısı ile kaynak banyosu büyür. Diğer bir deyişle, ısı girdisi artar ve normal kaynak hızlarında delinmemesi gereken parçalarda, delinme tehlikesi ortaya çıkar. Aşırı hız düşümü durumunda, çatlak oluşum tehlikesinin çok yüksek olduğu şapkalı kaynak kepi oluşur. Düşük kaynak hızlarında, elektrot fazla uzaklaşmadan banyo katılaşmaya başlayacağından, dikiş üzerindeki tırtıllar arasındaki açı büyür. Ayrıca, arkın dışına taşarak cüruf kalıntısına neden olabilecek düzeyde oldukça büyük bir kaynak banyosu oluşturur. Kaynak hızı yükseldikçe, nüfuziyet ile dikiş genişliğinin azaldığı görülür. Ayrıca, kaynak hızının artması ile birlikte dikiş üzerindeki tırtıllar arasındaki açı da küçülmeye başlar. Kaynak hızının aşırı yüksek olması durumunda nüfuziyet azalır, yanma oluşu, gözenek, ark üflemesi ve düzensiz bir dikiş oluşum tehlikesi artar [2,10].

Durgutlu vd. yaptıkları çalışmada; kaynak hızının optimum değerden daha az veya daha fazla olması durumlarında nüfuziyetin azaldığını, düşük kaynak hızlarında, dikiş kenarlarında kaynak metali yığılmaları, yüksek hızlarda ise dikiş kenarlarında yanma oluklarının oluştuğunu belirtmişlerdir. Kaynak hızının düşük olduğu durumlarda kaynak metali mikro yapısının kaba, yüksek hızlarda ise kaynak metali mikro yapısının daha ince tanelerden oluştuğunu tespit etmişlerdir [11]. Şekil 2.12'de tozaltı ark kaynağı ile farklı hızlarda elde edilmiş nüfuziyet profilleri verilmiştir.





Şekil 2.12. Tozaltı ark kaynağı ile farklı hızlardaki nüfuziyet profilleri [11].

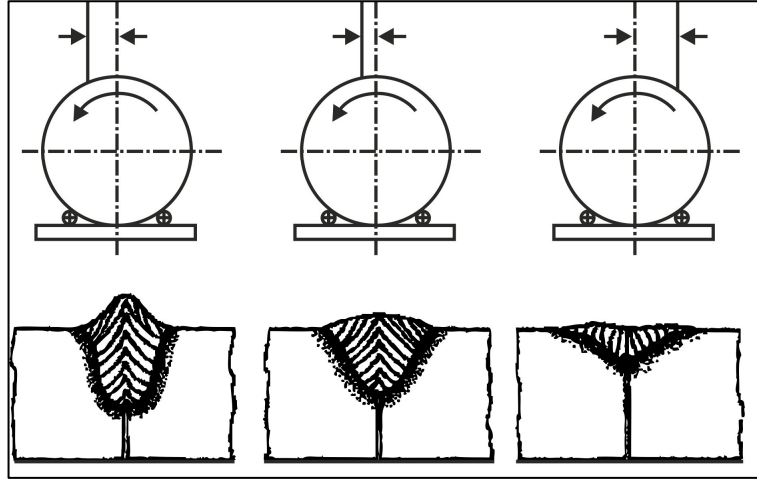
### 2.3.6. Kaynak Düzlemi ve Elektrod Açısı

Diğer tüm kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, tozaltı kaynağında da kaynak elektrodunun eğim açısı kaynak dikiş biçimini ve nüfuziyetini etkiler. Tüm pozisyonlarda, kaynak banyosunun daha iyi kontrol edilebilmesi için önerilen elektrot eğim açısı 5 ila 15°'dir.

Tozaltı kaynağı esas olarak yatay pozisyonda yapılır. Kaynak yapılan parçanın bulunduğu yatay düzleme göre sahip olduğu eğimin 6°'yi aşması durumunda, kaynağın yönüne göre kaynak dikişinin biçimi de değişir. Eğimli yüzlerde yokuş aşağı yapılan kaynaklarda nüfuziyet oldukça az ve dikiş geniştir, yokuş yukarı yapılan kaynaklarda ise nüfuziyet ve dikiş yüksekliği çok fazla, kaynak dikiş genişliği ise azdır [2].

Güleç vd. yaptıkları çalışmada, kaynak pozisyonunun çekme ve çentik darbe dayanımı düşürdüğünü, dikiş formunu etkilediğini ve bazı pozisyonlarda yetersiz ergime olurken bazı pozisyonlarda da kaynak kökünün iyi oluşmadığı tespit etmişlerdir [12].

Silindirik parçaların kaynağında, kaynak telinin pozisyonunun dikey eksenin sağında veya solunda bulunması ve telin ucu ile dikey eksen arasındaki mesafenin fazlalığı veya azlığı dikişin formuna etkileyen önemli bir faktördür. Bu etki Şekil 2.13’de görülmektedir. En uygun yer telin, parçanın dikey eksenine yakın ve kaynak yönüne göre yokuş yukarı kaynak yapacak tarafta bulunmasıdır [9].



Şekil 2.13. Kaynak düzleminin kaynak dikişi ve nüfuziyet üzerine etkileri [9].

### 2.3.7. Serbest Tel Uzunluğu

Kaynak telinin dışarıda kalan kısmı (serbest tel uzunluğu), kaynak memesinin parçaya olan uzaklığı ile ifade edilir. Akım yoğunluğunun yüksek olduğu durumlarda ( $>125 \text{ A/mm}^2$ ), telin serbest ucunun uzunluğu önemli bir faktör olarak kendini belli eder. Serbest tel uzunluğunun artması, elektrik direncinin artmasına bu da kaynak telinin daha fazla ısınarak tel ergime miktarında küçük de olsa bir artışa neden olur.

Tozaltı kaynak yönteminde, telin serbest ucunun uzunluğunun artması, elektriksel olarak devreye bir direncin daha eklenmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle, serbest tel ucunun artırılması halinde ark gerilimini de arttırmak gerekir. Düşük ark gerilimi, yani tel serbest uzunluğunun artması, nüfuziyetin azalmasına, kaynak dikişinin daralmasına, dikiş yüksekliğinin artmasına ve cürufun temizlenmesinin zorlaşmasına yol açar. Deneyimler, temas memesi ile iş parçası arasındaki uzaklığının azalmasıyla daha kararlı bir arkın oluştuğunu ve daha homojen görünümlü bir kaynak dikişinin elde edildiğini göstermektedir. Zira serbest tel ucunun aşırı fazla

olması durumunda memeden çıkan tel ucunun salınımlar yapması, arkın pozisyonunun değişmesine ve bu da dikişin bozulmasına yol açar. [2]. Kahraman vd. yaptıkları çalışmada serbest tel uzunluğunun artması ile kaynak metali ve ITAB'deki sertlik değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir [13].

#### **2.4. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA ARK TUTUŞTURMA YÖNTEMLERİ**

Tozaltı ark kaynağında kaynağa başlandığında kaynak makinesi üreticisinin öngördüğü bir yöntem ile arkın tutuşması sağlanır. Arkın daha kolay ve etkin bir biçimde tutuşmasını sağlayan bazı tertibatlar üretici tarafından makine üzerine monte edilmiş olabildiği gibi, bunlar sonradan kullanıcı tarafından da elde edilerek makinelere eklenebilir.

Günümüz endüstrisinde tozaltı ark kaynak tekniğinde arkın tutuşmasını sağlamak için çeşitli yöntem ve düzenekler geliştirilmiştir, bunların en önemlileri şunlardır;

- *Elektrod ucunun sivriltilmesi ile arkın başlatılması:* Kaynak elektrodunun ucu sivriltilerek iş parçası ile temas ettiğinde bu noktadaki akım yoğunluğu çok yüksek olduğundan ark kolay oluşur.
- *Çelik yünü ile arkın başlatılması:* 10-12 mm çapında çelik yünden (bulaşık teli) yapılmış ufak kürecikler elektrod ucu ile iş parçası arasına yerleştirilir. Akım devresi kapanınca akım bu topu geçerek kürecik hemen ergir ve ark oluşur.
- *Sürtme ile arkın başlatılması:* Tel elektrodun ucu iş parçasına degecek kadar indirilir ve bu arada kaynak işlemi hareket mekanizması hareketlendirilir ve hemen kaynak akımı devreye verilir. İş parçası ve elektrod ucu arasındaki hareket nedeni ile elektrodun ucu parçaya sürtünür ve devre kapandığında ark oluşur.
- *Özel tel sürme tertibatı ile arkın oluşturulması:* Bu sistemde özel olarak geliştirilmiş bir tel sürme tertibatına gerek vardır. Tel sürme tertibatı, teli iş parçasına degecek kadar ilerletir ve bu anda kaynak akım devresi kapanır. Kısa devreden kumanda alan tel, ergimeye başlamadan tel sürme tertibatı, teli

hafifçe geri çeker ve ark oluşur. Bundan sonra tel sürme tekrar normal işlevini sürdürmeye devam eder.

- *Yüksek frekans jeneratörü yardımı ile arkın başlatılması:* Bu yöntemde TIG kaynak yönteminde olduğu gibi, kaynağa başlandığında otomatik olarak bir yüksek frekans akımı devreye girer ve kaynak arkı oluşunca yüksek frekans akımı devreden çıkar.
- *Sabit gerilimli akım üretici halinde arkın başlatılması:* 600 A akım şiddeti ve 3,2 mm tel çapının altındaki çalışma koşulları için önerilen sabit gerilimli akım üreteçleri ve yatay karakteristikli kaynak makinesi ile arkın başlaması hiç problem oluşturmaz. Yüksek akım şiddeti ve kalın tel elektrodlar durumunda uygulamada kullanılan sabit akım karakteristikli akım üreteçleri özellikle arkın tutuşmasında bazı durumlarda, yani kaynağın başlangıcında problem çıkarmaktadır. Tel sürme tertibatının komutlara cevap süresinin daha uzun olması dikişte daha fazla elektrod ergimesini ve sonuçta dikişin geniş oluşmasını sağlamaktadır.

Günümüzde, bazı tozaltı kaynak makinesi üreticileri güç elektroniği yardımı ile sabit gerilimli karakteristiğe sahip akım üreteçlerinin sınırlarını genişletmeye, bazıları da tel sürme tertibatlarını ve ark tutuşturma sistemlerini geliştirme yönünde çalışmalarını sürdürmektedir [4].

## **2.5. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK TELLERİ**

Tozaltı kaynak yönteminde kullanılan çıplak elektrotlar, kaynak teli diye adlandırılır. Tozaltı kaynak telleri, elektrik ark ocaklarında üretilen, kimyasal yapısı ile kaynak yerinin metalürjik güvenliği bakımından yüksek manganez (Mn) içeren özel çeliklerden imal edilirler. Çeşitli amaçlar için genellikle dairesel kesitli olarak 1,2 ile 12 mm çaplarında imal edilirler. Bazı istisnai durumlarda, örneğin kaplama kaynaklarında, dikdörtgen kesitli lama şeklinde imal edildiği görülür. Dairesel kesitli olanlar bakırla kaplanmış olarak kangal halinde piyasada bulunmaktadır [14].

Tozaltı kaynak elektrodlarının yüzeylerinin tamamen düz ve pürüzsüz, yağ, pislik ve pastan uzak ve uygun olmalı ve kaynak işlemi boyunca da uygun kalmalıdır. Bu da,

akımın sabit bir şekilde arka gelmesine engel olduğundan, kaynak yerine verilen ısı miktarı değişir, sonuçta da dikişin hatalı çıkmasına neden olur. Tozaltı kaynağında kullanılan teller özellikle bileşimlerindeki manganez miktarına göre sınıflandırılır (Çizelge 2.2) [9].

Çizelge 2.2. Tozaltı kaynak tellerindeki manganez miktarı [14].

Düşük Manganezli Kaynak Telleri	% 0,30 – 0,60 Mn
Orta Manganezli Kaynak Telleri	% 0,90 – 1,25 Mn
Yüksek Manganezli Kaynak Telleri	% 1,75 – 2,25 Mn

Bu tellerin içerisine aynı zamanda karbon, silisyum, mangan, krom, nikel gibi alaşım elementleri de katılır. Bu elementlerin kaynak bölgesine kattığı etkiler Çizelge 2.3’de gösterilmiştir [8]. Çizelge 2.4’de ise tozaltı ark kaynak tellerinin bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Tel içerisine katılan alaşım elamanlarının kaynağa kazandırdığı özellikler [15].

Alaşım elemanı	Kaynağa kazandırdığı özellik
Karbon (C)	Sertliğini artırır, dayanımı yükseltir.
Silisyum (Si)	Deokside eder, işleme ve kaynak kabiliyetini artırır.
Manganez (Mn)	Sertlik, çekme ve çentik darbe dayanımını artırır (Uzama).
Molibden (Mo)	Sıcaklığa karşı dayanımını artırır.
Krom (Cr)	Sertliğini yükseltir ve sıcaklığa karşı dayanımını artırır.
Nikel (Ni)	Düşük sıcaklıklarda dayanımını artırır.

Çizelge 2.4. DIN 668’e göre kaynak tellerinin toleransları [16].

Tel çapı (mm)	Çapta kabul edilen tolerans	Telin kesiti (mm <sup>2</sup> )	1 m telin ağırlığı
1,2	0,05	1,13	8,9
1,6	0,05	2,01	15,8
2,0	0,06	3,14	24,7
2,3	0,06	4,90	38,4
3,0	0,06	7,07	55,5
4,0	0,075	12,6	98,6
5,9	0,075	19,6	154,0
6,0	0,075	28,3	222,0
7,0	0,09	38,5	302,2
8,0	0,09	50,3	394,9
9,0	0,09	63,6	499,2
10,0	0,09	78,5	616,2
12,0	0,11	113,1	887,8

Tozaltı kaynağında elektrod çapının kaynak karakteristikleri üzerinde etkileri vardır. Diğer bütün koşullar sabit tutulduğunda, elektrod çapının artırılması ile dolgu genişliği artar, nüfuziyet ve dolgu miktarı azalır.

Bir kaynak teli seçiminde yalnız esas malzemenin kimyasal bileşimi değil kaynak tozunun metalurjik durumu da göz önüne alınmalıdır. Yani esas metalin bileşimine bağlı olarak çeşitli tel - toz kombinasyonları seçilerek istenilen bileşimde ve mekanik özellikte kaynak dikişleri elde edilebilir. [9]. EN 756'ya göre kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri çizelge 2.5'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.5. EN 756'ya göre kaynak tellerinin kimyasal bileşimleri [2].

Tel türü	Alaşım elementinin miktarı							
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Cr
S1	0,05-0,15	0,15	0,35-0,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S2	0,07-0,15	0,15	0,80-1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S3	0,07-0,15	0,15	>1,30-1,75	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S4	0,07-0,15	0,15	>1,75-2,25	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S1Si	0,07-0,15	0,15-0,40	0,35-0,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S2Si	0,07-0,15	0,15-0,40	0,80-1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S2Si <sub>2</sub>	0,07-0,15	0,15-0,60	0,80-1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S3Si	0,07-0,15	0,15-0,40	>1,30-1,85	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S4Si	0,07-0,15	0,15-0,40	>1,75-2,25	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15
S1Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	0,35-0,60	0,025	0,025	0,45-0,65	0,15	0,15
S2Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	0,80-1,30	0,025	0,025	0,45-0,65	0,15	0,15
S3Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	>1,30-1,75	0,025	0,025	0,45-0,65	0,15	0,15
S4Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	>1,75-2,25	0,025	0,025	0,45-0,65	0,15	0,15
S2Ni1	0,07-0,15	0,15-0,25	0,80-1,30	0,025	0,025	0,15	0,80-1,20	0,15
S2Ni1.5	0,07-0,15	0,15-0,25	0,80-1,30	0,20	0,20	0,15	>1,20-1,80	0,15
S2Ni2	0,07-0,15	0,15-0,25	0,80-1,30	0,20	0,20	0,15	>2,80-3,70	0,15
S2Ni3	0,07-0,15	0,15-0,25	0,80-1,30	0,20	0,20	0,15	1,20-1,80	0,15
S2Ni1Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	0,80-1,30	0,20	0,20	0,45-0,65	1,20-1,80	0,20
S3Ni1.5	0,07-0,15	0,15-0,25	>1,30-1,70	0,20	0,20	0,15	>1,20-1,80	0,20
S3Ni1Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	>1,30-1,80	0,20	0,20	0,45-0,65	1,20-1,80	0,20
S3Ni1.5Mo	0,07-0,15	0,15-0,25	1,20-1,80	0,20	0,20	0,45-0,65	>1,20-1,80	0,20
S0	Üzerinde anlaşılan herhangi bir kimyasal bileşim							

## 2.6. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK TOZLARI

Tozaltı ark kaynağında kullanılan kaynak tozları, örtülü elektrodlardaki örtünün fonksiyonunu yerine getirir. Kaynak işlemine fiziksel ve metalurjik bakımdan tesir eder. Kaynak tozları fiziksel olarak kaynak banyosunu atmosferden korur, kaynak dikişine uygun bir form verir ve çabuk soğumasına mani olur. Kaynak tozları, kaynak metalinin alaşımlandırılmasına, dikişin gözeneksiz olmasına ve kaynak metalinin içyapısının hatalardan arındırılmış olmasına etki eder [4].

Tozaltı ark kaynağında kullanılan kaynak tozlarını üretim metotları ve özellikleri yönlerinden aşağıdaki gruplarda sınıflandırmak mümkündür [7].

- *Kaynağın amacına göre*
  - a-) Hızlı kaynak tozları
  - b-) Derin nüfuziyet kaynak tozları
  - c-) İnce sac kaynağı tozları
  - d-) Aralık doldurma kabiliyetine sahip kaynak tozları
  
- *İmâl şekline göre*
  - a-) Erimiş kaynak tozları
  - b-) Sinterlenmiş kaynak tozları
  - c-) Aglomere kaynak tozları
  
- *Kimyasal karakterine göre*
  - a-) Asit karakterli tozlar
  - b-) Bazik karakterli tozlar
  - c-) Nötr karakterli tozlar
  
- *Manganez miktarına göre*
  - a-) Yüksek manganezli tozlar
  - b-) Orta manganezli tozlar
  - c-) Manganezsiz tozlar [17].

## **2.7. TOZALTI ARK KAYNAĞININ BAŞLICA UYGULAMA ALANLARI**

Tozaltı kaynağı, uygun ekipman seçimi ile endüstride geniş çapta uygulama alanı bulmaktadır. Her türlü kaynak ağız ile birleştirme yapılabilir. Yüksek karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılabilir. Ayrıca bazı yüksek alaşımlarda ve paslanmaz çeliklerin kaynağında da kullanılabilir.

Tozaltı kaynağının yüksek kalite özelliği, birim zamanda yapılan dolgu miktarının yüksek oluşu, derin nüfuziyet sağlanması, işlem için adapte edilebilmesi ve rahatlık karakteristikleri (kıvılcımsız, sıçratmadan, dumansız ve fazla ısı radyasyonu olmadan çalışma özellikleri vb.) açısından çelik fabrikasyonunda tercih edilir bir kaynak metodudur.

Tozaltı kaynak yöntemi şu uygulama alanlarında başarıyla kullanılmaktadır:

- Basıncılı kap, kazan ve tank yapımında (yurdumuzda özellikle LPG tüplerinin kaynak işlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır.)
- Ağır otomotiv sanayinde,
- Gemi yapım sanayinde,
- Çelik konstrüksiyon sanayinde,
- Kaynaklı boru imalinde,
- Demiryolu inşasında,
- Kiriş, direk ve uzun kaynak gerektiren kolonların kaynağında,
- Aşınan makina parçalarının tamir ve dolgu işlerinde,
- Profil (I, H, T gibi kaynaklı profiller) yapımında birleştirme kaynak yöntemi olarak kullanılmaktadır [3].

## **2.8. TOZALTI ARK KAYNAĞINDA KAYNAK HATALARI**

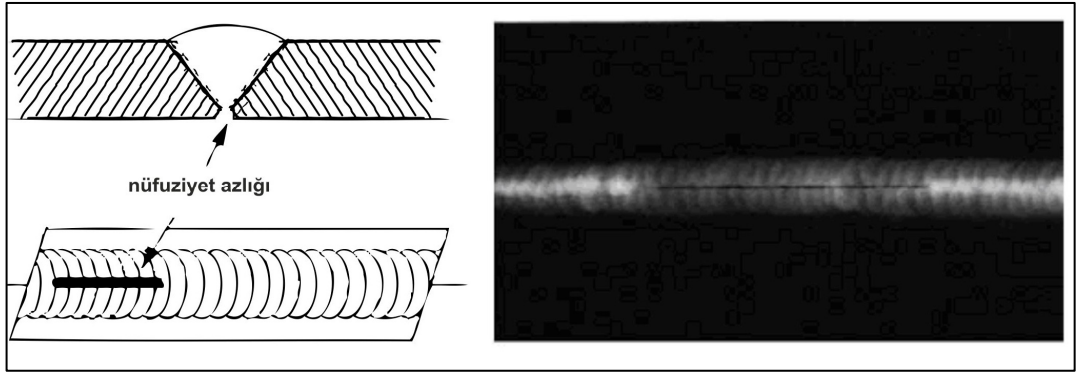
Tüm kaynak yöntemlerinde olduğu gibi tozaltı ark kaynağında da kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi, uygun olmayan ek kaynak metali veya kaynak tozu kullanımı ve kaynak tekniğinin kötü uygulanması sonucunda istenmeyen bir dizi kaynak hatası ile karşılaşılması olasıdır. Tüm kaynak hataları, kaynak dikişinde



bir zayıflama ve süreksizlik oluşturarak bağlantının kullanımı sırasında geri dönüşü olanaksız çatlak, kırılma ya da performans eksikliğine neden olabilir [2].

### 2.8.1. Nüfuziyet Yetersizliği

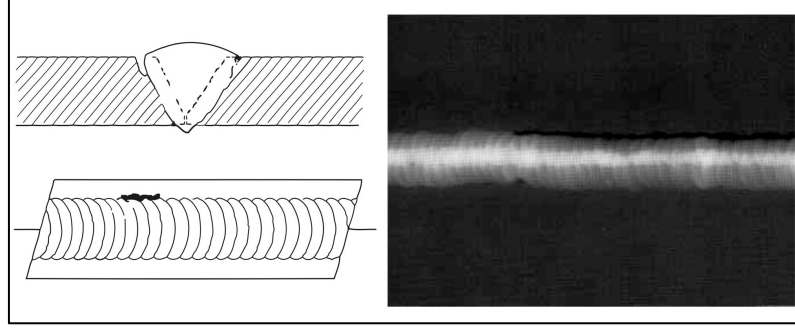
Kaynak sırasında kök pasonun tam nüfuz ettirilmemesi veya yine bu pasoda oluşan oyuk ve çentikler yetersiz nüfuziyet olarak adlandırılırlar (Şekil 2.14). Bu hatanın oluşum nedenleri; elektrot çapının uygun olmaması, akım şiddetinin uygun olmaması, kaynak ağzı açısının büyük olması, kök pasonun iyi çekilmemesi, kök açıklığının uygun olmaması, aksel kaçıklığın büyük olması, kökteki ardışık pasolarda uygun başlangıcın yapılmaması, kök pasonun taşlanmamasıdır. Küt alın birleştirmelerde, tam olarak nüfuziyet elde etmek için birleştirmenin altı (yani diğer yüzü) spiral taş veya oksijen rendesiyle temizlenip bir paso kaynak ile doldurulmalıdır [18].



Şekil 2.14. Nüfuziyet azlığının şematik ve radyografik görüntüsü [8].

### 2.8.2. Yanma Olukları

Bu hata, kaynaktan sonra esas malzemede ve dikişin kenarındaki oyuk veya çentik şeklinde gözükür. Oluklar dikiş boyunca sürekli veya kesintili olarak devam eder. Bütün ark kaynak yöntemlerinde karşılaşılan yanma oluklarının esas nedenleri, kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi ve hatalı manipülasyonlardır. Yanma olukları kaynak dikiş kesitini zayıflattıklarından ve kertik etkisi yaptıklarından özellikle dinamik zorlamalara maruz bağlantılarda varlıkları arzu edilmez [18]. Şekil 2.15’de yanma olukların şematik ve radyografik görüntüsü verilmiştir.



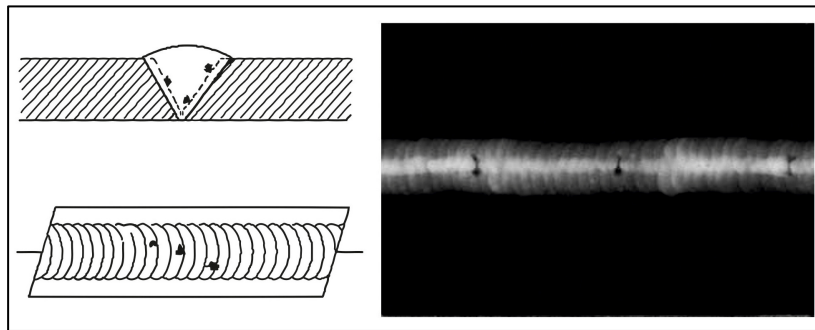
Şekil 2.15. Yanma olukların şematik ve radyografik görüntüsü [8].

### 2.8.3. Gözenek Oluşumu

Çok çeşitli nedenlerle oluşabilen gözenekler kaynak banyosunda sıkışıp kalan gazların oluşturduğu boşluklardır. Bunlar gaz kabarcığı denilen tek tek yuvarlak veya gaz kanalı olarak adlandırılan uzunlamasına boşluklar halinde dikiş içinde yer alırlar. Bir kaynak dikişinin içinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcıyı kesitinin azalmasına yol açtığından dolayı mukavemet değerlerini düşürür ve aynı zamanda yerel gerilme birikimlerine neden olur. Bu durumda bağlantının mekanik özelliklerinin kötüleşmesine yol açar [2].

### 2.8.4. Kalıntılar

Kaynak işlemi esnasında kaynak bölgesine geçen ve sonuçta kaynak bölgesinden uzaklaştırılmayan, kaynak bileşimi karakterinde olmayan kalıntıların neden olduğu hatalardır [18]. Şekil 2.16'da kalıntıların kaynak dikişinde şematik ve radyografik görüntüsü verilmiştir [8].



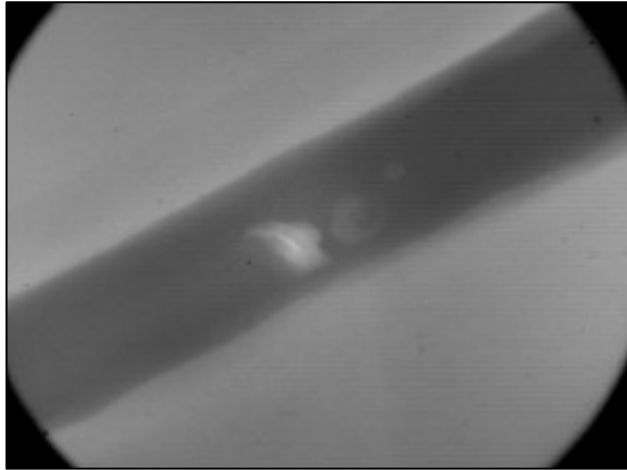
Şekil 2.16. Kalıntıların kaynak dikişinde şematik ve radyografik görüntüsü [8].

### 2.8.5. Çatlaklar

En tehlikeli kaynak hatasıdır. Eritme kaynağında; ana metalde, kaynak metalinde veya ısının tesiri altındaki bölgede ortaya çıkabilir ve dış zorlamaların türü ne olursa olsun çatlaklar sürekli olarak bağlantının mukavemet değerini düşürür; bu bakımdan, kaynak dikişinde çatlığa hiçbir şekilde izin verilmez [8,2]. Şekil 2.17’de kaynak dikişinde sıcak çatlama örneği ve Şekil 2.18’de ise radyografik muayene yöntemiyle çatlığın görüntüsü verilmiştir [18].



Şekil 2.17. Kaynak dikişinde sıcak çatlama örneği [8].



Şekil 2.18. Radyografik muayene yöntemiyle çatlığın görüntüsü [18].

### 2.9. TOZALTI ARK KAYNAĞININ AVANTAJLARI

- Yüksek kaynak hızı, kaynak parametreleri uygun seçildiğinde hatasız ve güzel görünümlü kaynak dikişleri elde edilir.

- Kaynak arkı, kaynak tozu tarafından örtüldüğünden ark ışınlarından korunmak için maske kullanmaya gerek yoktur.
- Kaynak esnasında zararlı metal tozları ve duman çıkmaz.
- Derine işleme kabiliyeti iyi olduğu için dar ve daha derin kaynak ağızı açmadan 16 mm kalınlığa kadar, iki taraflı kaynakta ise 30 mm kalınlığa kadar kaynak yapabilme imkânı sağlar.
- Yarı otomatik, tam otomatik uygulamalara uygun olduğu gibi istenirse elle uygulama imkânı da vardı [19].

## **2.10. TOZALTI ARK KAYNAĞININ DEZAVANTAJLARI**

- Yöntemin ilk yatırım maliyeti yüksektir.
- Tozaltı ark kaynak tozları havadan nem almaya eğilimlidir, bu da kaynakta gözeneğe neden olur. Bu nedenle tozları kurutma ihtiyacı ortaya çıkar. Tozlar kaynaktan evvel 2-3 saat 300 °C'de ısıtılmalıdır.
- Yüksek kalitede kaynaklar elde edebilmek için ana metal düzgün olmalı, yüzeyinde yağ, pas ve kirlilikler olmamalıdır.
- Tozaltı kaynağı 5 mm'den ince malzemelerde yanma yapabileceği için genellikle uygun değildir.
- Yöntem özel bazı uygulamalar hariç, düz, yatay pozisyondaki alın kaynakları ve köşe kaynakları için uygundur [4].

## BÖLÜM 3

### PETROL VE DOĞALGAZ BORU MALZEMELERİ VE KAYNAĞI

#### 3.1. BORU İMALATINDA KULLANILAN MALZEMELER

Karadaki veya denizdeki yer altı kaynaklarından çıkarılan doğal gaz, ham petrol ya da rafine edilmiş petrol ürünlerinin uluslararası veya ulusal boru hatları ile taşınmasında özel olarak üretilmiş çelik borular kullanılır. Boru hattında kullanılan boru malzemesinin ve et kalınlığının seçiminde, içinden geçecek olan madde ve boru hattının maruz kalacağı zorlamalar dikkate alınmalıdır [20].

Günümüzde üretilen hat borularının çoğu API (American Petroleum Institute) standardına göre üretilmektedir. Kalifiye edilmiş üreticiler sattıkları boru üzerinde API kısaltmasını kullanma hakkına sahiptirler. Bu işaretleme hem üreticinin API kısaltmasını kullanmak için lisansa sahip olduğunu göstermekte hem de bu kısaltmayı taşıyan ürünün ilgili API standardına uygun olduğunu garanti etmektedir.

Tüm API hat boruları psi olarak verilen minimum akma mukavemetleri ile gösterilirler. Akma mukavemeti çelik test numunesinde belirli bir miktar kalıcı deformasyon oluşturan çekme gerilmeleri olarak tanımlanır. Test numunelerinin hazırlanma şekli ve testin nasıl gerçekleştirileceği standart da detaylı olarak anlatılmaktadır. Grade A kalite sınıfı 30.000 psi'lik minimum akma mukavemetine, Grade B kalite sınıfı 35.000 psi'lik minimum akma mukavemetine sahiptir. Diğer kalite sınıflarında, X42 ve X60 kalite sınıfındaki 42 ve 60 rakamı sırasıyla borunun 42.000 ve 60.000 psi'lik minimum akma mukavemetine sahip olan çelikten üretildiğini göstermektedir. API standardına göre üretilen hat borusu çelikleri elektrik ark ocaklarında ve bazik oksijen konvertörlerinde üretilebilmektedir [2]. Çizelge 3.1'de API-5L'ye göre boruların mekanik özellikleri, Çizelge 3.2'de ise API-5L'ye göre boruların kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. API-5L'ye göre boruların mekanik özellikleri [21].

Çelik sınıfı	Minimum akma mukavemeti		Minimum çekme mukavemeti	
	Psi	Mpa	Psi	Mpa
<b>A 25</b>	25000	172	45000	310
<b>A</b>	30000	207	48000	331
<b>B</b>	35000	241	60000	413
<b>X42</b>	42000	289	60000	413
<b>X46</b>	46000	317	63000	434
<b>X52</b>	52000	358	66000	455
<b>X56</b>	56000	386	71000	489
<b>X60</b>	60000	413	75000	517
<b>X65</b>	65000	448	77000	530
<b>X70</b>	70000	482	82000	565
<b>X80</b>	80000	551	90000	620

Çizelge 3.2. API-5L'ye göre boruların kimyasal özellikleri [18].

Çelik sınıfı	%C		%Mn		%P	%S
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Max.
<b>A25,CII</b>	0,21	0,30	0,60	-----	0,30	0,30
<b>A25,CI II</b>	0,21	0,30	0,60	-----	0,080	0,030
<b>A</b>	0,21	-----	0,90	-----	0,030	0,030
<b>B</b>	0,26	-----	1,15	-----	0,030	0,030
<b>X42</b>	0,28	-----	1,25	-----	0,030	0,030
<b>X46,X52</b>	0,30	-----	1,35	-----	0,030	0,030
<b>X46,X52 (Soğuk Çekme)</b>	0,28	-----	1,25	-----	0,030	0,030
<b>X56,X60</b>	0,26	-----	1,35	-----	0,030	0,030
<b>X65</b>	0,26	-----	1,40	-----	0,030	0,030
<b>X70</b>	0,23	-----	1,60	-----	0,30	0,30
<b>X80</b>	0,18	-----	1,80	-----	0,30	0,018

### 3.2. KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Hat boruları, imalatında uygulanan yöntemle göre dikişli ve dikişsiz olmak üzere iki şekilde üretilebilir. Dikişsiz borular tek tiptir. Dikişli borular kaynak dikişinin şekline göre boyuna dikişli, spiral dikişli boru olmak üzere iki tipe ayrılır. Boyuna dikişli borular, uygulanan kaynak dikişi metoduna göre, elektrik kaynak dikişli boru, toz altı kaynak dikişli boru (SAW), gaz metal ark kaynak dikişli boru, gaz metal ark kaynağı ve toz altı ark kaynağının birlikte uygulanması ile üretilen dikişli boru, alın kaynaklı

dikişli boru, çift kaynak dikişli boru olmak üzere altı gruba ayrılır. Spiral dikişli borular uygulanan kaynak dikişli metoduna göre, toz altı kaynak dikişli boru olmak üzere yalnızca tek bir türdür. Bunlara ilave olarak, borular imalatında soğuk genişletme işlemi uygulanıp uygulanmadığına göre, genişletilmiş genişletilmemiş olmak üzere iki gruba ayrılır [21]. Çizelge 3.3’de çelik sınıflarına göre boru imalat yöntemleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çelik sınıflarına göre boru imalat yöntemleri [21].

Kullanılan kaynak tekniklerine göre boru imalat metodu	Çelik Sınıfı (Standart gösterim)		
	A-25	A ve B	X42 – X80
Dikişsiz	X	X	X
Dikişli			
Boyuna dikişli			
Alın kaynaklı	X		
Örtülü elektrodlu ark kaynaklı	X	X	X
Tozaltı ark kaynaklı		X	X
Gaz metal ark kaynaklı		X	X
Gaz metal ark ve tozaltı ark kaynaklı			X
Çift dikişli*		X	X
Spiral dikişli**			
Spiral tozaltı ark kaynaklı		X	X
(*) Çift dikişli borular 914,4 mm ve daha büyük dış çaplar ile sınırlandırılmıştır.			
(**) Spiral dikişli borular 114,3 mm ve daha büyük dış çaplar ile sınırlandırılmıştır.			

### 3.3. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN TAHRİBATSIZ TESTLER

Tahribatsız muayene, bir malzeme ya da sistemin bütünlüğüne zarar vermeden malzemenin kullanılabilirliğini etkileyen herhangi bir süreksizliğin olup olmadığını tespit etmek ya da diğer malzeme özelliklerini değerlendirmek için inceleme yapan tüm test yöntemlerini kapsamaktadır [22].

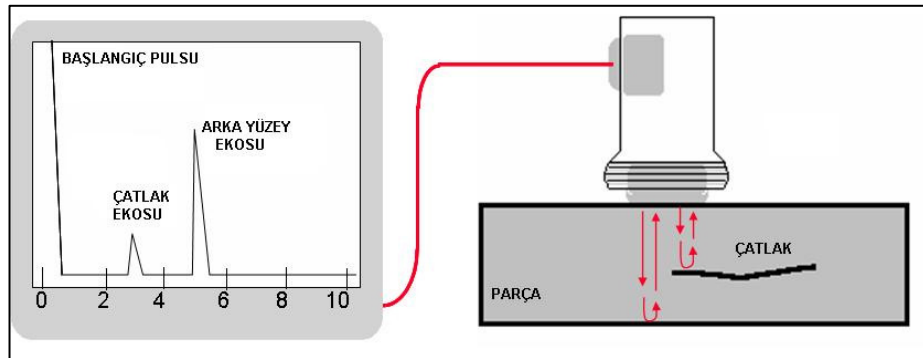
Kaynak işlemi sırasında, kaynak dikişinde ve ısıdan etkilenen bölgede hataların oluşmaması veya kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması istenmektedir. Aksi takdirde, malzemenin servis koşullarında dayanımı olumsuz olarak etkilenecek ve beklenmeyen hasarlara neden olabilecektir. Kaynaklı birleştirmelerde oluşan hataları tespit edebilmek için, istenilen kaynak kalitesine, malzemeye, kaynak dikişinin kalınlığına, kaynak yöntemine, kullanım yerine ve beklenen hatanın tipi ve konumuna bağlı olarak en uygun tahribatsız muayene yöntemi seçilmelidir [23].

### 3.3.1. Ultrasonik Muayene

Ultrasonik dalgaların malzeme içi hataların deteksiyonunda kullanılması ilk defa 1931 yılında bir Alman patenti ile başlar. İlk ticari cihazlar 1940 senelerinde endüstriye yayılmaya başlamıştır. Elektroniğin gelişimi bu tekniğin pratik bir muayene metodu olarak gelişmesine büyük katkısı olmuştur. Şimdi tahribatsız muayenenin temel metotlarından biri hâline gelmiştir [24].

Hacimsel yöntemlerden biri olan ultrasonik kontrolünün test prensibi, prob tarafından üretilen yüksek frekanstaki ses dalgalarının test malzemesi ortamında yayılması ve bir süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar proba yansması esasına dayanır [22].

Ultrasonik dalgalar ( $f = 0,14\text{--}10\text{ MHz}$ ) probta kısa darbeler şeklinde ters piezoelektrik etki ile üretilir ve malzemeye girişi sağlanır. Ses dalgaları malzemede bir arka duvar ile karşılaşınca yansır. Yankı o anda pasif durumdaki proba ulaştığında tekrar elektrik sinyaline dönüşür ve ultrasonik muayene cihazına iletilir (Şekil 3.1). Sinyalin şiddetine göre uçuş zamanı ekseninde bir belirti oluşturur. Aşağıdaki resimde arka duvar yankısı ekranın sağında görülmektedir. Bu yankının başlangıç darbesine ekranda ki sol sinyal mesafe et kalınlığına karşılık gelmektedir. Ekranda arka duvardan beklenen yankı konumundan önce, yani bu yankının solunda kalan bir yankı görülmesi durumunda malzeme içinde bir süreksizlik olduğu anlaşılır [25].



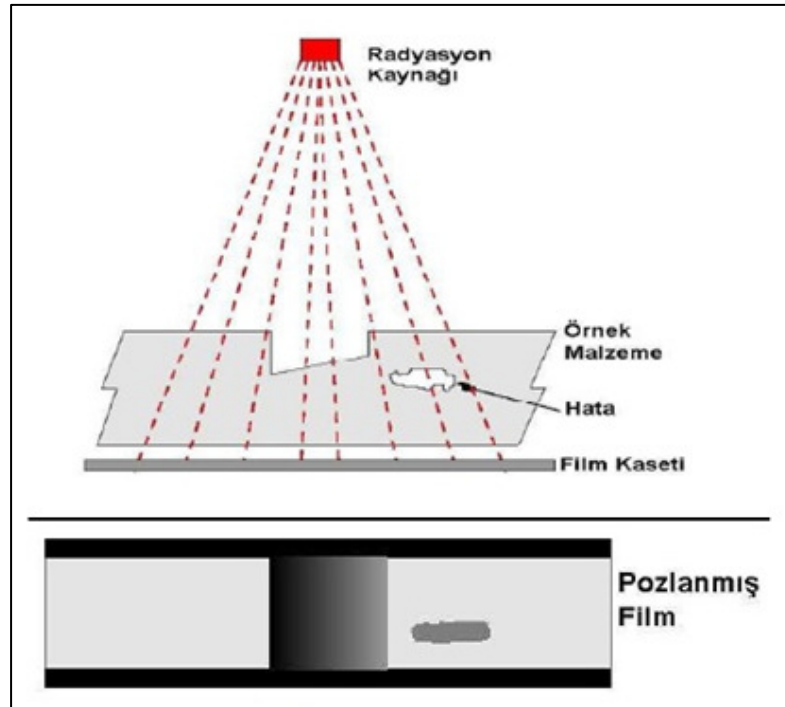
Şekil 3.1. Ultrasonik muayene yönteminin çalışma prensibi [25].



### 3.3.2. Radyografik Muayene

Radyografik muayene, X veya Gama ışınlarının kullanılarak incelenecek malzeme parçalarının görüntüsünün elde edilmesidir. X ve gama ışınları yüksek enerjili elektromanyetik dalgalardır. Bu dalgaların doğrusal ilerleme, zayıflama, iyonlaştırma ve nüfuz edebilme özelliklerinden yararlanılarak radyografik muayenelerde kullanılması sağlanmaktadır [26].

Bu yöntemde kullanılan X ışınları, elektronik bir cihaz tarafından; Gama ışınları ise, radyoaktif bir element tarafından üretilir. Bu ışınlar, malzemeden geçerken malzemenin kalınlığına ve yoğunluğuna bağlı olarak bir kısmı absorbe edilir. Malzeme tarafından absorbe edilmeyen enerji, film üzerine etkir, film üzerinde görülen koyu renkler o bölgeye çok fazla enerjinin gittiğini gösterir. Malzeme içinde gözenek, çatlak, boşluk gibi süreksizlikler o noktada malzeme kalınlığının azalmasına neden olduklarından film üzerinde koyu şekiller halinde görülür. Buna karşın malzeme içinde tungsten gibi ağır metal kalıntısının bulunması ise film üzerinde beyaz olarak görülür [27].



Şekil 3.2. X ışını ile radyografik muayene [28].

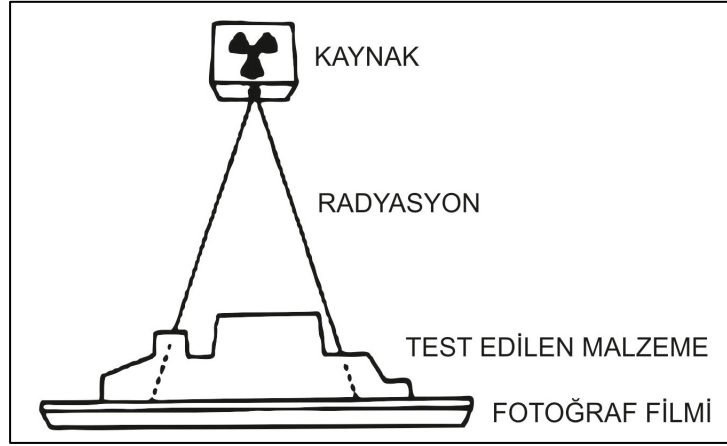
### 3.3.2.1. X Işınları

X ışınlarının üretimi doğanın genel bir yasasına dayanır ve X ışını tüpleriyle elde edilir. Hareket eden elektrik yüklü parçacıklar, örneğin elektronlar, yollarında bulunan bir engele çarptıklarında kinetik enerjilerini yitirirler ve bu enerjinin küçük bir kısmı X ışınlarına dönüşür ve oluşum alanından ışıyarak uzaklaşır. Elektronların çarpma anında ivme kaybetmeleriyle, kinetik enerjinin diğer kısmı ısı enerjisine dönüşür. X ışınlarının üreteçlerinin verimi çok düşüktür; öyle ki toplam enerjilerinin % 1'ini X ışınına, % 99'u ise ısı enerjisine dönüşür [29, 30].

### 3.3.2.2. Gama Işınları

Gama ışınımı yayınımlı "radyoaktivite kavramı" ile açıklanabilir. Radyoaktif bir maddede, atomik kararsızlığa neden olan fazla enerjinin ışınım enerjisi olarak açığa çıktığı süre giden bir bozunma olayı meydana gelir. Bozunum türüne göre, Alfa ( $\alpha$ ), Beta ( $\beta$ ) ya da Gama ( $\gamma$ ) ışınları veya bunların karışımları gözlenir. Radyografik muayene için genellikle gama ışınları kullanılır. Alfa ya da beta parçacıkları ile görüntüleme ve nötron radyografisi ise endüstriyel radyografi açısından çok önemlidir [30].

Gama ışınımı doğal olarak izotop halinde bulunan maddelerden de yayınır. Nötronlarla bombardıman edilen atom çekirdeğinde yapay olarak oluşturulmuş aşırı enerji, doğal haliyle ışınım yaymayan bir maddeyi ışınım yaygar hale getirebilir. Bu işlem, bir nükleer reaktörde (nötron aktivasyonu) olduğu gibi, kararlı haldeki bir atom çekirdeğinin nötron (elektriksel olarak nötr parçacıklar) bombardımanına tutularak kararsız (dengesiz) hale getirilmesiyle yapılabilir. Bu işlem sonunda atomun çekirdeğindeki nötron ve protonların toplamı olan Atom Kütle Numarası değişir. Bu tip aşırı yüklü ve kararsız çekirdek radyoizotop olarak adlandırılır. Ir 192, Co 60, Tm-170, Yb-169 ve Se-75 piyasada en çok kullanılan radyoizotoplardır [26]. Şekil 3.3'de Gama ışını ile radyografi çalışmasının şematik gösterimi verilmiştir.

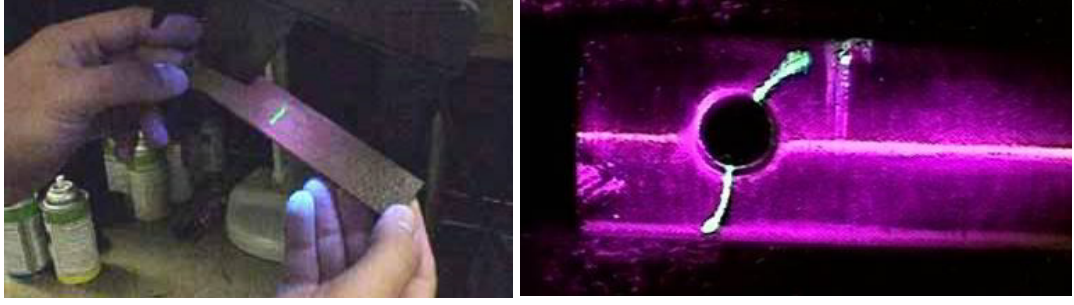


Şekil 3.3. Gama ışını ile radyografi çalışmasının şematik gösterimi [26].

### 3.3.3. Sıvı Penetrant Testi

Sıvı penetrantla muayene yöntemi, malzemenin cinsine bağlı olmaksızın, yüzeyde veya yüzeye açık olan çatlak gözenek vb. malzeme süreksizliklerinin tespit edilmesi için kullanılmaktadır. Muayene bölgesi, mekanik ve/veya kimyasal olarak temizlendikten sonra kurutulur ve penetrant (kırmızı renkli veya florışıl ) yüzeye uygulanır. Penetrantın yüzeye açık olan süreksizliklere nüfuz edebilmesi için belirli bir süre beklenir. Yüzeydeki penetrant, uygun bir sıvı ile temizlenerek kurutulur ve süreksizlikler içindeki penetrantı emerek yüzeye yayar ve beyaz rengi sayesinde kontrast sağlayarak hatayı gözle veya büyüteçle görülebilir hale getirir [23].

İşlem prosedürleri kullanılacak olan penetrant tipini ve penetrant bekleme zamanını belirler. Bu süre penetrantın olası süreksizliklere girmesi için gereken süredir. Bu sürenin ardından yüzeyde kalan penetrant temizlenir. Bu işlemde dikkat edilmesi gereken süreksizliğin içindeki penetrantın dışarı çıkarılmamasıdır. Bu ikinci temizlemenin ardından “developer” olarak bilinen kimyasal madde yüzeye uygulanır. Developer şayet süreksizlik varsa içine girmiş olan penetrantı çekerek görülebilir hale gelmesini sağlar. Bu sayede süreksizlik renk kontrastından ötürü kolaylıkla tespit edilebilir. Bu işlemler neticesinde gerekli yorumlar yapılır. Kontrolün neticesi kayıt altına alındıktan sonra developer ve kalan penetrant temizlenerek işlem sonlandırılır [31].



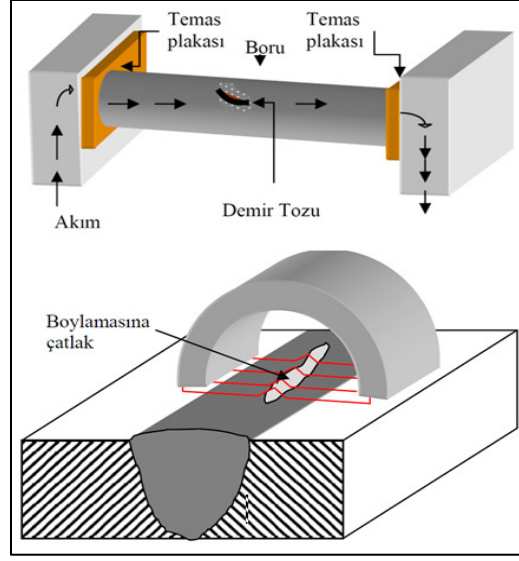
Şekil 3.4. Flüoresan penetran (girici) sıvıyla ultraviyole ışınları altında yapılan test resimleri [32].

### 3.3.4. Manyetik Parçacık Testi

Bu yöntem ferromanyetik malzemeler ( demir, nikel, kobalt gibi manyetikliği yüksek olan malzemeler) manyetize edildiğinde manyetik akımın yüzey süreksizliklerinde değişmesi veya kesilmesi esasına dayanır [33].

Manyetik parçacık testi, çelik konstrüksiyon, otomotiv, petrokimya, güç santralleri, havacılık gibi çok farklı endüstriyel sektörde uygulama alanı bulmaktadır. Sualtı muayenesi (off-shore yapılar ve sualtı boru hatları), manyetik parçacık testinin kullanılabileceği diğer bir alandır [34].

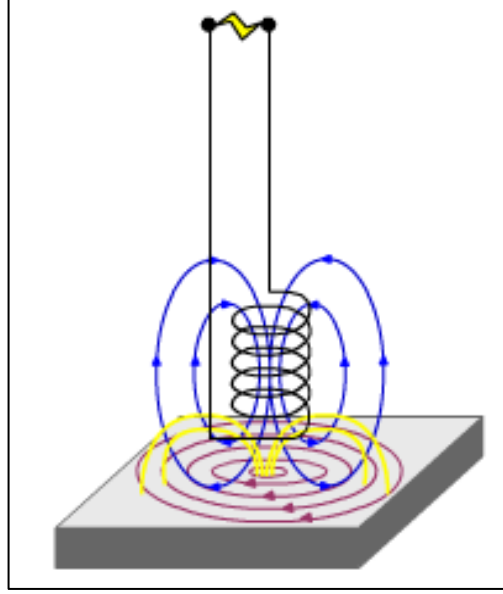
Test parçası önce bir sürekli mıknatıs (permanent magnet) veya bir elektro-magnet ile hatta test parçasının içinden veya etrafından elektrik akımı geçirilerek manyetize edilir. Böylece malzemede manyetik kuvvet çizgileri oluşur. Bu çizgileri kesen herhangi bir süreksizlik olması durumunda, kuvvet çizgileri süreksizliğin üzerinden atlayarak yoluna devam eder, dolayısıyla süreksizlik üzerinde yoğun bir kaçak manyetik alan oluşur. Süreksizliğin göz ile görünür hale gelmesi için test yüzeyine ince demir tozları serpilir. Yoğun kaçak alan demir tozlarını süreksizlik üzerinde toplayarak süreksizliğin görünür hale gelmesini sağlar. Böylece, süreksizliğin yeri, şekli ve boyutu tespit edilmiş olur [35]. Şekil 3.5’de manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri verilmiştir.



Şekil 3.5. Manyetik parçacık deneyinin uygulama biçimleri [32].

### 3.3.5. Girdap Akımı Testi

Girdap akımı testi, küçük elektrik dalgalarının bir malzemeye indüklenmesi ve malzeme homojensizliğinin bu akımların akışında herhangi bir değişikliğin üzerindeki bir probun içindeki bobin (coil) tarafından cihazdaki elektronik işlem ve prezentasyonla tespit edildiği elektromanyetik bir tahribatsız muayene metodu olarak tanımlanabilir. Bu yöntemin kaynaklardaki süreksizliklerin yüzey ve bazı durumlarda yüzeye yakın iç bünyesindeki muayenesi birçok uygulamadan sadece birisidir. Girdap akımları teknikleri ayrıca malzemenin iletkenliği, tane boyutu, sertliği, kalınlığı ve farklı bileşimdeki malzemelerin mikro yapıları, manyetik geçirgenliği, ısıtma işlem ve kaplamaların kalınlığını etkilemeden farklı malzemelerin muayenesinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Kaynaktaki değişen manyetik alan malzemede elektrik alan veya “girdap akımları” oluşturur. Prob içindeki test bobini veya bazı durumlarda ayrı hızlandırıcı bir bobin elektronik şekilde alan etkileşmesi içindeki değişimleri belirlemek için kullanılır. Kaynaktaki süreksizlikler girdap akımlarının manyetik alanını ve yönünü değiştirmekte olup bu sayede test sinyali ile süreksizliğin tespiti mümkün olmaktadır. Girdap akımları testi esas olarak ince cidarlı alın kaynaklı bağlantılı borularda kullanılır (Şekil 3.6). Girdap akımları dairesel yönde ilerledikleri için, boyuna süreksizlikler girdap akımları akışındaki en belirgin değişime neden olurlar [25].



Şekil 3.6. Girdap akımları kontrolünde oluşan manyetik alan ve akımlar [31].

### 3.3.6. Basınç Testi

Basınç altında çalışan kazan, boru ve vana üretiminin yapıldığı sektörlerde tahribatsız olarak basınçla kontrol yöntemi kullanılır. Üretilen her parçaya işletme basıncının en az 1,5 katı sıvı veya gaz basıncı belirli sürede uygulanması işlemi basınçla kontrol olarak tanımlanır. Kalitelere, çaplara ve et kalınlıklarına göre borulara uygulanan hidrostatik (sıvı basıncı) test basınçları aşağıda verilen formüle göre hesaplanır [32].

$$P = \frac{S \times t \times 2000}{D} \quad (3.1)$$

P :Hidrostatik test basıncı (KPa)

S :Minimum gerilme kuvveti ( MPa)

t :Et kalınlığı (mm)

D :Dış çap (mm)

Doğal olarak su en çok kullanılan maddedir. Hazır olarak bulunabilir ve düşük maliyete sahiptir. Nispeten çok küçük sızıntıların bulguları doldurma ve muayene öncesi suyun kabın dışını ıslatmasına bağlı olarak gözden kaçırılır. Muayene

ortamına küçük miktarlarda suda çözünebilir flüoresans boyaların eklenmesiyle ve ultraviyole ışıkla kabın dış yüzeylerinin muayenesi genellikle metodun hassaslığını arttırmak için kullanılır.

Hava veya asal gazlar kullanıldığı zaman, sızıntılar kabarcık olarak kabın dışında sabun filmin üzerinde oluşurlar veya basınçlı kabın kaçan hava veya gazdaki kabarcıkları tespit etmek amacıyla bir sıvı havuza daldırılması sonucu bulunurlar. Bu sırada da tüm kaynak dikişleri ve bağlantı noktaları kontrol edilir [25].

### **3.3.7. Gözle Muayene**

Bir ürünün yüzeyindeki süreksizlikler, yapısal bozukluklar, yüzey durumu gibi kaliteyi etkileyen parametrelerin optik bir yardımcı (büyüteç gibi) kullanarak veya kullanmaksızın muayene edilmesidir.

Gözle muayene çok basit bir metot olarak görünse de en önemli muayene yöntemidir. Genellikle bir başka tahribatsız muayene metodunun uygulanmasından önce yapılması gereken bir çalışmadır. Zaten diğer tahribatsız muayene yöntemleri için hazırlanmış uygulama standartlarının çoğunda da öncelikle gözle muayene yapılması ve bulguların kaydedilmesi istenir.

Bu yöntem, metalik veya metalik olmayan bütün malzemelere uygulanabilir. Muayene yüzeylerine ulaşabilirlik durumuna göre gerektiğinde endoskoplar gibi yardımcı gereçler de kullanılarak uygulanabilir. Çoğu durumda muayene yüzeyi hazırlığı olarak yüzey temizliği yapılması istenmez. Daha doğrusu yüzeyin, beklenen hataların en iyi görüneceği şekilde olması gerekir. Yeterli ışık şartları altında ve uygun bakma açılarında inceleme yapılmalıdır [36].

Gözle muayene sonucunda

- Yanma olukları
- Uygun olmayan dikiş boyutları
- iç köse dikişlerinin asimetrisi
- Yüzey çatlakları

- Yüzeye çıkmış gözenekler
- Kraterler
- Yeniden başlama noktaları
- Kök pasoda nüfuziyet azlığı veya fazlalığı gibi hatalar rahat bir biçimde tespit edilebilir.

Ancak yöntemin etkinlik derecesi kişiden kişiye değişebilir [23].

### **3.4. KAYNAKLI BORULARA UYGULANAN TAHRİBATLI TESTLER**

Malzemelerin sertlik, süneklik ve mukavemet gibi mekanik özellikleri temel olarak içyapılarına bağlıdır. Bu nedenle malzemelerin içyapı özellikleri iyi bilinmelidir. Malzemelerin içyapıları ısı ile değiştirilerek mekanik özellikleri iyileştirilebilir. Malzemelere istenilen özelliklerin kazandırılabilmesi için uygun ısı işlemlerinin uygulanması gerekir. Uygulanan ısı işleminin uygun olup olmadığı genellikle tahribatlı muayene ile belirlenir. Tahribatlı malzeme muayenesi adından da belli olacağı gibi malzemeyi tahribata uğratarak yani kalıcı şekil değişikliklerine uğratarak mekanik deneylerle gerçekleştirilir. Malzemelerin çekme ve basma dayanımları, uygulanan yüklere gösterdiği direnç ile belirlenir. Malzemelerin kopmaya karşı dayanımları uygulanan darbelere karşı gösterdikleri dirençle belirlenir. Malzemelerin eğmeye karşı gösterdikleri dayanım ise iki mesnet parçası arasına uygulanan kuvvete karşı gösterdiği direnç ile belirlenir [8].

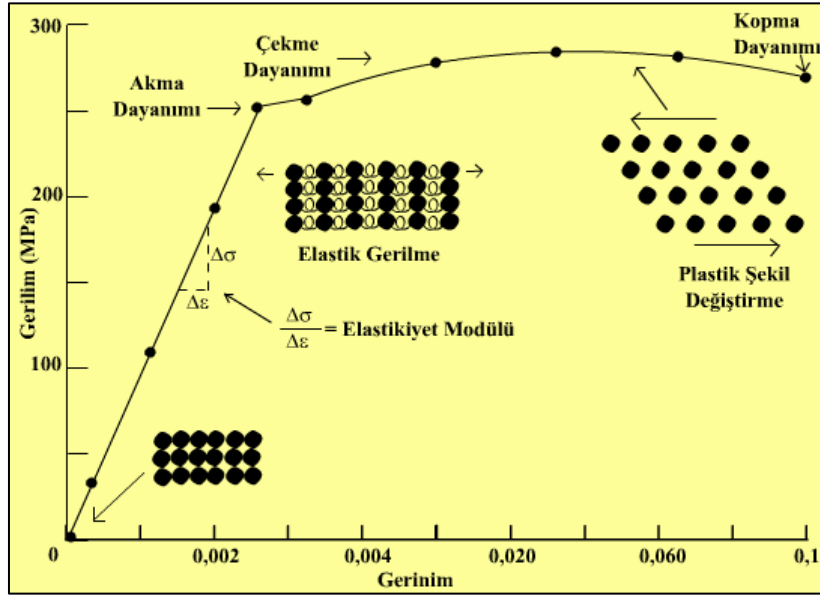
#### **3.4.1. Çekme Testi**

Çekme deneyi malzemelerin mukavemeti hakkında esas dizayn bilgilerini saptamak ve malzemelerin özelliklere göre sınıflandırılmasını sağlamak amacı ile geniş çapta kullanılır. Çekme deneyi standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığında, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilir [37].

Çekme deneyine tabi tutulan numunenin mekanik özellik değerlerinin sağlıklı olarak alınabilmesi için; numune malzemeyi tam olarak temsil etmeli, imalat şeklinin



(döküm, kaynak, sıcak dövme veya haddeleme soğuk dövme) bilinmesi, numunenin alınış şeklinin uygun olması gerekir. Çekme deneyinde numuneye yük uygulanmaya başlandığında numunede uzama ikiye ayrılır; Elastik uzama: numuneye yük uygulandığında akma sınırına gelene kadar bir miktar uzama görülür. Yük kaldırıldığında bu uzaman kaybolur ve numune eski haline döner. Plastik uzama: yük akma sınırından sonra uygulanmaya devam edildiğinde numunede kalıcı şekil değişimi meydana gelir. Yani yük kaldırıldığında numune eski haline dönemez [38]. Çekme deneyi sonucunda, gerilme–birim şekil değiştirme diyagramından malzemeye ait, elastisite modülü, elastiklik sınırı, akma dayanımı, çekme dayanımı, kesit daralması ve yüzde uzama, rezilyans, tokluk gibi özellikler bulunur [8].

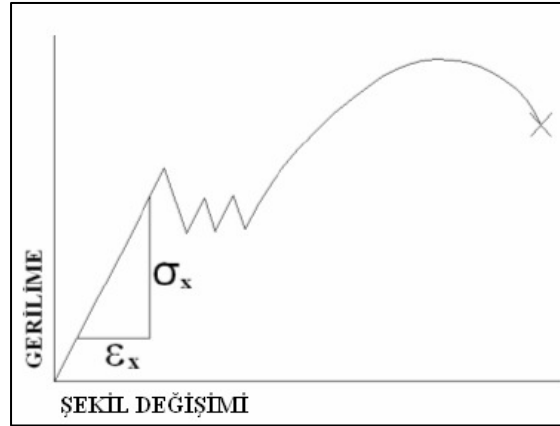


Şekil 3.7. Çekme deneyinde elastik ve plastik deformasyon bölgeleri [38].

*Elastisite modülü (E)*, çekme diyagramının elastik kısmını oluşturan eğrinin eğimine eşittir. Belirgin akma göstermeyen ahşap, kauçuk, deri gibi bazı malzemelerin çekme diyagramı böyle bir eğri bulunmadığından sabit bir E değeri yerine, belirli bir noktadaki teğetin eğimi alınır. Bu durumda  $E = \sigma/\epsilon$  olan oranıdır. Şekil 3.7’de E değerinin tespiti gösterilmiştir [8,38].

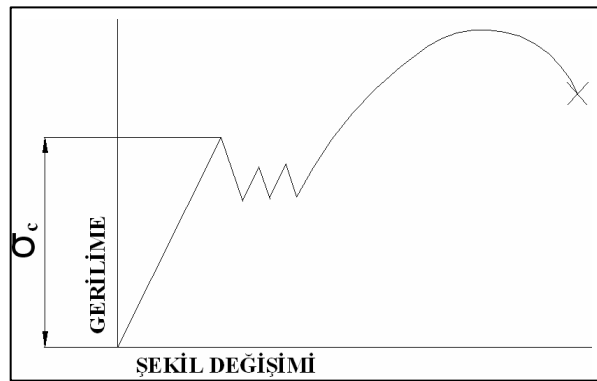
*Elastiklik sınırı ( $\sigma_e$ )*, malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığında plastik uzamanın görülmediği veya yalnız elastik değişirmenin meydana geldiği en yüksek gerilme değerine eşittir [39].

*Akma dayanımı* ( $\sigma_a$ ), uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzensizlik gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir [39]. Belirgin akma göstermeyen numunelerin akma sınırı % 0,2'lik plastik uzamaya denk gelir. Şekil 3.8'de akma noktalarının tespiti görülmektedir [38].

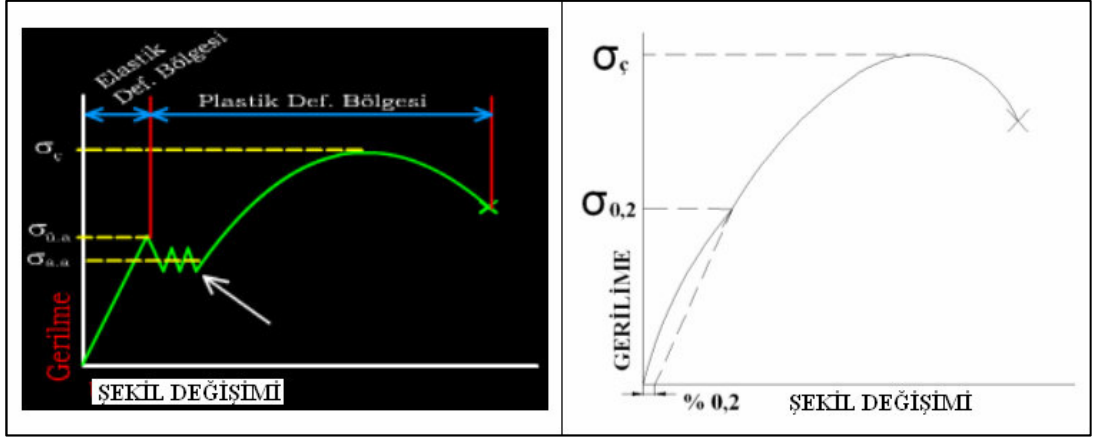


Şekil 3.8. Elastisite modülünün tespiti [8].

*Çekme dayanımı* ( $\sigma_c$ ), bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilme değeri olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup,  $\sigma_c = F_{maks}/A_0$  formülü ile bulunur. Burada  $F_{maks}$  malzemeye uygulanan en yüksek kuvveti,  $A_0$  ise malzemenin ilk kesit alanını gösterir [39].



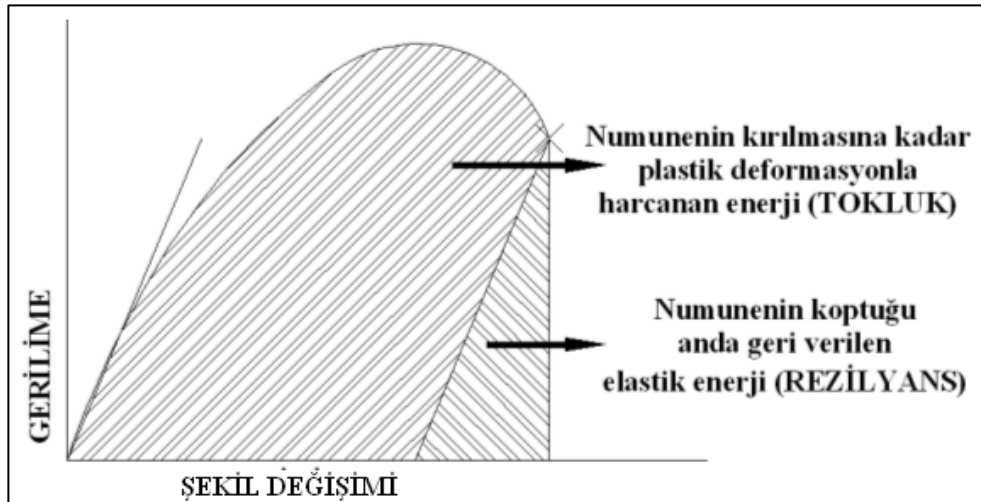
Şekil 3.9. Çekme diyagramında akma dayanımının gösterimi [38].



Şekil 3.10. Çekme diyagramında çekme noktasının gösterimi [38].

*Kesit daralması ve yüzde uzama*, numunenin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme miktarıdır, yüzde uzama ise çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır [8].

*Tokluk*, numunenin kırılıncaya kadar absorbe ettiği enerjiye denir. Genellikle gerilme-birim uzama eğrisinin altında kalan alanın hesaplanır. Şekil 3.10'da çekme deneyinde rezilyans tespiti görülmektedir. Şekil 3.11'de ise çekme deneyinde rezilyans ve tokluğun beraberce tespiti görülmektedir [38].

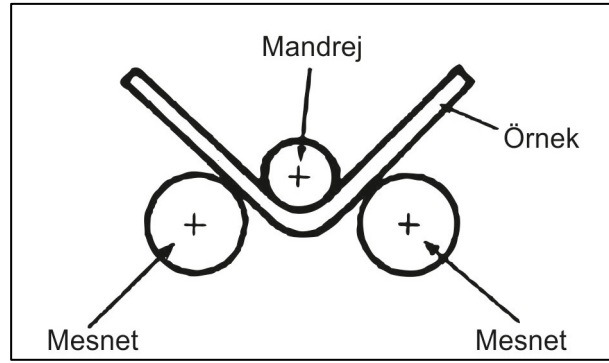


Şekil 3.11. Gerilme-birim uzama eğrisi yardımıyla şekil değiştirme enerjilerinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi [38].

*Rezilyans*, Numunenin yalnızca elastik şekil değişimi için harcanan enerji veya elastik şekil değişimi sırasında numunenin depolandığı enerji anlamına gelir. Bu enerji, gerilme-birim uzama eğrisinin elastik kısmının altında kalan alanına eşittir ve malzeme kırıldığında bu enerji geri verilir [38].

### 3.4.2. Eğme Testi

Bu testle iki mesnet üzerine yerleştirilmiş test parçasının kaynak dikişine dik olarak öngörülen çapta bir mandrel yardımıyla kuvvet uygulayarak eğmesi suretiyle kaynak bağlantısının şekil değiştirme kabiliyeti bulunur [38]. Şekil 3.12’de eğme deneyi şematik olarak gösterilmiştir.

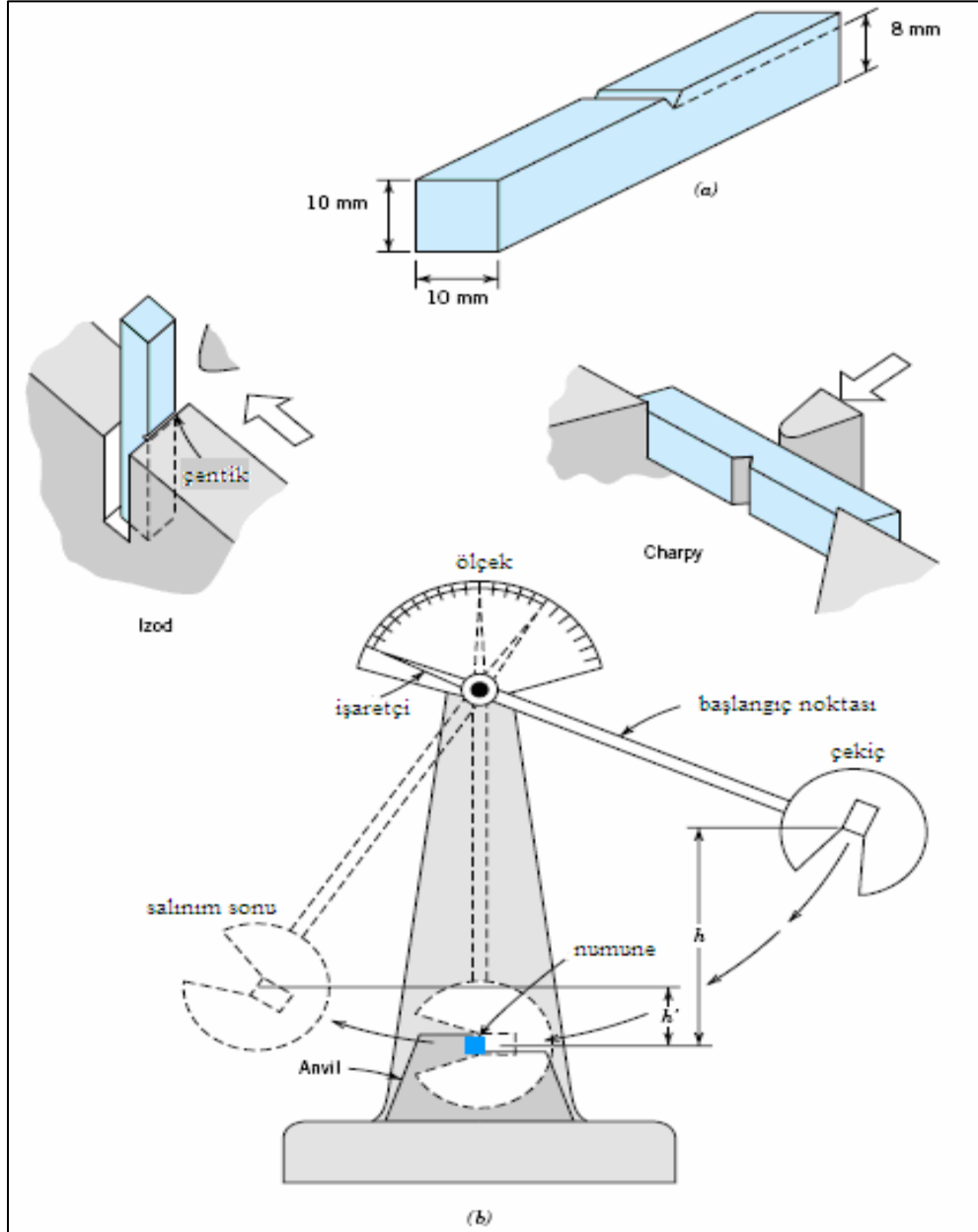


Şekil 3.12. Eğme deneyi prensip şeması [40].

### 3.4.3. Çentik Darbe Testi

Darbe deneyinde amaç, malzemenin bünyesinde muhtemelen bulunacak bir gerilim konsantrasyonunun (gerilim birikiminin) darbe esnasında numuneye suni olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmektir. Darbeli yüklere maruz kalan malzemelerin göstereceği direnci ölçmek için yapılan bir deneydir. Bu malzemelerin çarpma dayanımları, yavaş yükleme durumundaki dayanımlarından çok daha düşüktür. Deneyden elde edilen sonuçlar malzemelerin sınıflandırılması için kullanılır. Tasarıma yönelik mühendislik hesaplamalarında kullanılmazlar. Deneyin yapılabilmesi için numuneler belirli ölçülerde ve belirli çentik şekilleriyle hazırlanır [38]. Darbe deneyi iki türde yapılır.

- Charpy darbe deneyi
- İzod darbe deneyi



Şekil 3.13. Çentik darbe testi [6].

#### 3.4.4. Sertlik Testi

Bir malzemenin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence sertlik denilir. Bilimsel olarak ise malzemenin dislokasyon hareketine veya plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç sertlik olarak ifade edilir. Bütün metallerde ve özellikle çelikte sertlik soğuk sertleştirme ve ısıtım işlem sonucu geniş sınırlar içerisinde değişir. Ölçülen sertlik değerlerinden yararlanarak malzemenin iç yapısı hakkında bilgiler elde edilir. Sertlik muayeneleri bu sebeple çok uygulanır. Sertlik deneyinde, bir malzemenin yüzeyine batırılan bir uca veya kesici takıma karşı gösterilen direnç ölçülür [41]. Sertlik ölçme yöntemleri;

- Brinell sertlik ölçme yöntemi
- Rockwell sertlik ölçme yöntemi
- Vickers sertlik ölçme yöntemi
- Mikro-sertlik deneyi.

Bu çalışma kapsamında, kaynaklı numuneler üzerinde, sertlik deneyleri Vickers sertlik ölçme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

## BÖLÜM 4

### ULUSAL VE ULUSLARARASI YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Tozaltı ark kaynağı ve petrol ve doğalgaz borusu yapımında kullanılan çelikler hakkında ulusal ve uluslararası yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Lu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, aşınma direnci sağlamak amacıyla AISI 1045 malzeme üzerini toz altı kaynak yöntemiyle Fe-Mn-Cr-Mo-V alaşımları ve sabit (stoddy) 105 alaşımlı tel kullanarak kaplamışlardır. Çeşitli kaynak koşulları altında hazırlanan numunelerin kaplama yüzey sertliği ve mikro yapısı araştırılmış ve ölçülmüştür. Sonuçların gösterdiğine göre, artan kaynak akımı ve azalan işlem hızıyla, kaplama içerisindeki kalıntı östenit artar. Kaplamaların aşınma davranışları 'ball on disk' tribometre ile çalışılmıştır. Kaplama ve bilyenin taramalı elektron mikroskopunda (SEM) EDS analizi yapılmış aşınma mekanizması analiz edilip belirlenmiştir. Aşınan yüzeylerin taramalı elektron mikroskobu incelemelerinde oksit film katmanı formlarına rastlanmıştır. Oksidasyon aşınma mekanizmasının aşınma sürecini kontrol ettiğine, oluşan oksidin pullanmasına ise tekrarlanan sürtünme yorulma mekanizmasının sebep olduğu belirlenmiştir [42].

Paniagua-Mercado ve arkadaşları çalışmalarında, toz altı ark kaynak yöntemi ile kaynaklanan AISI 1025 çeliğinin mikro yapı ve çekme özelliklerine toz (flux) kompozisyonunun etkileri araştırılmıştır. Üç farklı toz kompozisyonunu, düşük karbonlu elektrod ile kullanılmıştır. Çalışmada kaynak şartları sabit tutulmuştur. Çekme testleri oda sıcaklığında yapılmıştır. Kaynakların mikro/makro yapı testleri optik ve taramalı elektron mikroskopunda (SEM) gözlemlenmiştir. Yüksek titanyum oksit içeren kaynakların tozlarında asiküler ferritin varlığı tespit edilmiştir. Yüzde uzama ve kesit daralmasının, inklüzyon hacim yüzdesinden etkilendiği belirtilmiştir. Çekme özellikleri ve mikro yapı bilgisayar programlarında tahmin edilen değerler ile karşılaştırılmıştır [43].

Shen vd, çalışmalarında, ASTM A709 kalite 50 çelik plakaları tozaltı ark kaynağı ile tek ve çift tel kullanarak kaynatmışlar ve ısı girdisinin dikiş geometrisine, yüzde seyrelmeye ve ergime verimliliğine etkileri araştırılmıştır. Seyrelmedeki seviye ve ergimedeki farklı verimlilikler hesaplanmış ve edinilen ölçümlere dayanarak ısı girişindeki varyasyon analiz edilmiştir. 800°C'den 500 °C'ye soğuma zamanı, kaynak dikiş karakteristiği ile ilgilidir. Dikiş takviyesi, dikiş genişliği, penetrasyon derinliği, ITAB boyutu, biriktirme alanı ve penetrasyon alanı ısı girişinin armasıyla artmıştır. Ancak bununla beraber dikiş açısı azalmıştır. Başlangıçta elektrotta ergime verimliliği artarken daha sonra ısı girişi ile birlikte azalmıştır. Ancak bununla beraber plakanın ergime verimliliği ve yüzde seyrelme sadece hafifçe değişmiştir. Soğuma zamanı bütün dikiş (nugget) alanı, ısı transferi sınırları uzunluğu ve kaynak parametreleri ile çok iyi lineer (doğrusal) ilişki sergilemiştir. Sonuç olarak; ilave tel, dikiş genişliği, nüfuziyet biriktirme alanları ve ITAB boyutu artan ısı girişiyle beraber artmış, ancak temas açısı bununla beraber azalmıştır. Tekli telle gerçekleştirilen kaynakta elektrodun ergime verimliliği ısı girişi artışı ile beraber artmıştır. Ancak tekli tel ve tandem telli olan uygulamaların her ikisinde plaka ergime verimliliğinde büyük bir değişiklik görülmemiştir [44].

Moeinifar ve arkadaşları çalışmalarında, X80 mikro alaşımlı çeliğin, iri taneli ITAB'daki özelliklere termal dönüşümlerin etkisini araştırmışlardır. X80 çelik numuneler, termal simüle için en yüksek 1400 C'ye kadar ısıtılmış ve farklı soğuma hızlarında soğutulmuştur. Dört telli tandem tozaltı kaynak yöntemi ve farklı ısı girdisi değerleri ile kaynaklı birleştirmeler gerçekleştirilmiştir. Beynitik, ferrit yapısı içerisinde ve birincil östenit tane sınırları boyunca tüm numunelerin ITAB'ındaki mikroyapıda martenzit /östenit bileşenler gözlemlenmiştir. ITAB'ta blok ve çita tipi martenzit/östenit morfolojisi gözlemlenmiştir. Farklı soğuma oranlarından dolayı ITAB'ta tane irileşen bölgede artan sertlik değerlerinin temel nedeninin M/Ö parçacıklarının bölündüğü alanların olduğu belirtilmiştir. Absorbe edilebilen enerjinin belirlenmesinde Charpy darbe deneyi -50 °C'de uygulanıp değerlendirilmiştir. Çap ve uzunluk gibi martenzit ve östenit bileşenlerin boyutları, ITAB'ın tane irileşen bölgesindeki charpy darbe özelliklerini etkileyen en önemli faktörler olduğu ve birincil östenit tane sınırları kesişiminde mikroçatlak çekirdeklenmesinin M/Ö parçacıklardan meydana gelebileceği rapor edilmiştir [45].



Babu ve Natarajan tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada, tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynatılan 5A516 Gr. 70 karbon çeliği kazanlarındaki korozyonun değerlendirilmesi, tartışılması ve önlenmesi amacıyla 0.1M-0.5M ve 1.0M konsantrasyonlarındaki dört farklı ısı girişine maruz kalan hidroklorik asit ortamında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda tozaltı ark kaynak yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, 100 °C'nin altındaki ana metal, kaynak metali ve ısı tesiri altında kalan bölgeler seçilmiştir. Korozyon akımının ölçülmesinde Tafel ekstrapolasyon ve lineer polarizasyon direnci gibi elektrokimyasal polarizasyon teknikleri kullanılmıştır. Deneylede, (thiourea + hexamine in 0.5 M HCl) her bir 100ppm (mg/L) konsantrasyonda çalışılmıştır. Mikro yapısal incelemelerde, yüzey karakterizasyonunda taramalı elektron mikroskobu ve X-ray ışınları ile film oluşum derecesi ve doğası vurgulanmıştır. Oluşan korozyon oranının (kaynaklı bölgedeki ve ITAB'taki) ısı girdisi artmıştır [46].

Gülenç ve Kahraman, yaptıkları çalışmalarında, servis şartlarında aşınmış iş makineleri palet makaralarını, değişik tel ve tozlar kullanılarak tozaltı kaynak yöntemi ile dolgu kaynağı yapılmışlardır. Yapılan dolgu kaynaklarının değişik yükler altındaki aşınma davranışları, sertlik değişimleri ve mikro yapıları incelenmiştir. Aşınma deneyleri Pin-on disk yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. İncelemeler sonucunda, en yüksek sertliğe sahip kaynak metali en yüksek aşınma direnci gösterirken, en düşük sertliğe sahip kaynak metali en düşük aşınma direnci göstermiştir. Elde edilen kaynak metalinin sertliğinin ve aşınma direncinin kaynak esnasında kullanılan kaynak teli ve tozunun kimyasal bileşimine bağlı olarak değiştiği rapor edilmiştir [47].

Nowacki ve Rybicki yaptıkları çalışmalarında, dubleks UNSS31803 çeliğin tozaltı kaynaklı birleştirme kusurlarının cins ve miktarına, kaynak ısı girdisinin etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Kusurlar radyografik metot ile tespit edilmiştir. Radyogramlar, Polonya ve Avrupa standartları baz alınarak sınıflandırılmıştır. Birleştirmelerin mekanik özellikleri ve değerleri çekme deneyi ile belirlenmiştir. Kaynak ısı girdisi etkisinin mekanik özellikler üzerindeki analizi için 2.5 – 4.0 kJ/mm aralığında ısı girdisi kullanılmıştır. Kaynak kusurlarının oluşumu üzerinde

kaynak ısı girdisi etkisinin analizi için; oluşan kaynak tabakası kalınlığı 10-32 mm olup, 2.5 kJ/mm ve 3 kJ/mm, iki kaynak ısı girdisi değeri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların gösterdiği üzere dubleks çeliklerin tozaltı kaynağı 2.5'ten 4.0 kJ/mm'ye olan ısı girdisinin mekanik özellikler üzerine negatif bir etkisi olmadığı belirtilmiştir. Deneyler göstermiştir ki; 3.0 kJ/mm'ye kadar ısı girdisi, birleştirmelerdeki kaynak kusurlarını ( cürufur, plaka kalınlığı 10-23 mm için nüfuziyet eksikliği, çatlaklar ve tamamen azalan diğer kusurlar) azaltmaktadır. Geniş kaynak ısı girdisi kullanımı, daha kaliteli birleştirmelerin oluşmasını ve birleştirmelerin tamir maliyetlerini ve kontrollerini azaltıcı etki yapmaktadır [48].

Sing ve Pandey çalışmalarında, geri dönüşümle elde edilen cürufun, flux olarak toz altı ark kaynağında kullanımını araştırmışlardır. Toz altı ark kaynağı sırasında meydana gelen cürufun bir çeşit atık olarak toprak kirliliğine, bu atığın depolanması için ihtiyaç duyulan yer gibi geri dönüşümü olmayan biyolojik doğal problemlere yol açtığını, ayrıca camsı ve kırılğan bir malzeme olarak cürufun ne inşaat dolgu malzemesi olarak nede diğer alanlarda kullanılamayacağını belirtmişlerdir. Çalışmada, geri dönüşümü olmayan kaynaklarında hızla tükenmesine paralel olarak mineral madenciliğinde fluxların üretimine gerek duyulduğuna değinilmiştir. Geri dönüşüm teknolojisindeki bu başarılı gelişme cürufun yeni flux olarak kullanılmasını, yukarıda belirtilen problemlerin çok ekonomik bir şekilde üstesinden gelinmesini sağlar. Yapılan çalışmada, cüruf uygun alaşım elementleri/deoksideler toplanıp işlenerek yenilenmiştir. Yenilenen, geri dönüştürülmüş cüruf EL-8 kaynak teli ile kullanılmıştır. Kaynak metali dolgusunda geri dönüştürülmüş cürufun özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, mekanik özellikler ve kimyasal kompozisyonun AWS (American Welding Society) gerekliliklerine göre memnun ve tatmin edici olduğunu rapor etmişlerdir [49].

Hua vd. yaptıkları çalışmada, toz altı kaynağının fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde optimal tasarım simpleks algoritması temelli çok bileşenli regresyon analizi yöntemi kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçlarını matematiksel eşitlikler oluşturarak modellemişlerdir. Sonuçlar MgO-TiO<sub>2</sub> -CaCO<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> etkileşiminin yumuşama sıcaklığını arttırdığını fakat CaF<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub> bileşiminin yumuşama sıcaklığını düşürdüğünü göstermiştir [50].

Tusek ve Suban, çok telli toz altı kaynağında metal tozu katkılı kaplama kullanımına yönelik yaptıkları çalışmada, kaynak bölgesine metal tozu beslemenin üç farklı yolu açıklamış ve şematik olarak göstermişlerdir. Yapılan çalışmanın sonuçlarında, metal tozu kullanımının depozito (kalıntı) oranını yükselteceği ve kaynak ark verimini ve koruma akı tüketimini azaltacağı tespit edilmiştir [51].

Gunaraj ve Murugan yaptıkları çalışmada, boruların toz altı kaynağında, birleştirme dikişi ve levha üzerine yüzey dikişi (bead-on-plate and bead-on joint) için, ısı tesiri altında kalan bölge ve ısı girdisi üzerinde kontrol edilebilen işlem sürecinin etkisini hesaplamışlar ve çalışma, matematiksel modeller geliştirilerek analiz edilmiştir. Bu karşılaştırmalı çalışma, kaynak dikişi kalitesi tahmininde ve plaka yüzey dikişi için geliştirilen modellerin daha fazla değişken gerektirdiğini ortaya koymuştur [52].

Chandel vd. yaptıkları çalışmada, toz altı kaynağında elektrot polarizasyonu, elektrot çapı ve toz altı kaynağında ergime hızı, dikiş boyu ve kaynak nüfuziyeti üzerine teorik tahminlerde bulunmuşlardır. Çalışma sonucunda, toz altı kaynağının ergime oranının ve dolayısıyla kaynak kalitesinin artırılabilmesi için yazarlar tarafından öneriler sunulmuştur. Yüksek akım kullanılması, düz polarite kullanılması, küçük elektrot çapı kullanılması ve daha uzun bir elektron uzantısı kullanılması bu tespitler arasındadır [53].

Peng vd. çalışmalarında, yüksek tokluk dayanımına sahip tel ve aglomere toz kullanarak, boru hattı çeliğini, tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirmişlerdir. Tel ve kaynak metali arasında elementlerin çeşitleri ve mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerinde Mo, B ve Ti etkisini araştırdıkları çalışmanın sonuçları, kaynak metalinin sertliğinin 185 ve 214 Hv arasında iken baz alınan metal sertliğinin 195 Hv olduğunu göstermiştir. Çalışma sonucunda, kaynaklı bağlantı dayanımının ana metalinkinden daha yüksek olduğu, daha iyi sünekliğe sahip olduğu ve  $\sigma_{0.5}/\sigma_b$  oranının daha düşük olduğu tespit edilmiştir [54].

Kiran vd, işlem değişkenlerinin HSLA çeliklerinde, iki telli tandem tozaltı kaynağının, kaynak dikişi kalitesine etkilerini incelemişlerdir. İki telli tandem tozaltı

kaynak uygulaması ile, iki elektrod telin, öncünün DC güç kaynağına ve takip edenin ise darbeli AC güç kaynağına bağlanıp eş zamanlı biriktirme içermesinden oluşmaktadır. Kaynaklı dikişin profili (kesiti) ve mekanik özellikleri öncü tel, takip eden geçici akım teli ve kaynak hızını önemli derecede etkiler. Bu çalışmada, öncü tel akımı, takipçi darbeli tel akımı ve kaynak hızının kaynak dikiş boyutları ve mekanik özelliklerin tipik HSLA çeliğinin tek geçişli tandem tozaltı ark kaynağı üzerine etkileri, detaylı deneysel çalışmalarla sunulmuştur. Anlaşılmıştır ki, öncü tel akımı kaynak dikiş genişliği ve takviye ağırlığı takip eden darbeli tel akımına uyarlı iken, kaynak dikiş nüfuziyeti, bu durumdan öncelikle etkilenmemiştir. Takipçi darbeli akımın büyüklüğü ve kısa negatif darbe süresi, kaynak havuzu hacmini artırır, soğuma oranının ve kısıtlanmış (inhibited) asiküler ferrit gibi güçlü fazların oluşumuna, benzer zayıf mekanik özelliklerin azalmasına yol açar. Bunun aksine, kaynak hızındaki artış, ısı girdisini azaltır, böylece soğuma oranı ve kaynak dikiş mekanik özellikleri artar. Geliştirilen bir dizi ampirik bağıntılar ile, kaynak dikiş boyutları ve mekanik özellikleri, kaynak şartları gibi ampirik bağıntıların tahminleri ve ilgili ölçüm sonuçları birbirleri ile uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir [55].

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, petrol ve doğalgaz boru hatlarında kullanılan API 5L standardında X60, X65 ve X70 malzemelerinin farklı tel ve tozlar kullanılarak, tozaltı ark kaynağı yöntemi ile birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Farklı tel ve tozlar ile birleştirilen numunelere, öncelikle yüzey ve yüzey altı kusurların belirlenebilmesi için tahribatsız muayene (gözle muayene, ultrasonik muayene, radyografik muayene) teknikleri uygulanmıştır. Bunun yanında kaynaklı bağlantıların dayanımlarını belirlemek için tahribatlı testler (sertlik testi, çekme testi, eğme testi, çentik darbe testi) uygulanmıştır. Ayrıca, kaynak bölgesinde meydana gelen yapısal değişimler için, kaynaklı numuneler üzerinde makro/mikroyapı çalışmaları ile kaynak metalinde element analizi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

#### 5.1. KULLANILAN MALZEMELER

Bu çalışmada, 14.3 mm kalınlığında petrol ve doğalgaz boru hatlarında kullanılan düşük alaşımlı, ince taneli, yüksek mukavemetli X60, X65 ve X70 malzemeler kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 5.1'de, bu malzemelerin mekanik özellikleri ise Çizelge 5.2'de verilmiştir. Çalışmada, birleştirme işlemlerini gerçekleştirmek için S1 ve S2Mo kaynak telleri kullanılmış ve kullanılan bu ilave malzemelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 5.3'de verilmiştir. Ayrıca çalışmada koruyucu toz olarak, tozaltı ark kaynak işlemine fiziksel ve metalurjik bakımdan tesir eden LN 761 ve P223 kaynak tozu kullanılmış ve kimyasal bileşimleri de Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal analizleri.

Malzeme	Kimyasal Bileşim												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Ti	V	Nb
X60	0,065	0,191	1,260	0,009	0,005	0,032	0,011	0,034	0,013	0,039	0,019	0,045	0,044
X65	0,073	0,161	1,265	0,011	0,005	0,100	0,013	0,077	0,019	0,036	0,017	0,037	0,042
X70	0,074	0,188	1,413	0,009	0,003	0,172	0,169	<0,0001	0,012	0,027	0,012	0,044	0,034

Çizelge 5.2. Deneylerde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.

Malzeme	Max. Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
X60	595 ± 5	30.5± 2
X65	605 ± 5	31.2± 2
X70	620 ± 5	32.1± 2

Çizelge 5.3. Deneylerde kullanılan tellerin kimyasal analizleri.

Kullanılan tel	Kimyasal Bileşim											
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	Al	V
OE S1	0,075	0,56	0,05	0,007	0,003	0,08	0,02	0,009	0,05	0,001	0,002	0,02
OE S2Mo	0,09	1,115	0,12	0,006	0,007	0,07	0,05	0,48	0,08	0,003	0,003	0,01

Çizelge 5.4. Deneylerde kullanılan kaynak tozlarının kimyasal kompozisyonu [42].

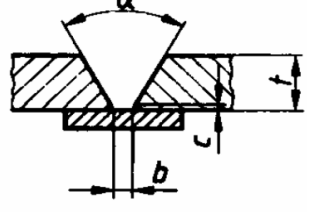
Kullanılan toz	Kimyasal Bileşim (%)										
	SiO <sub>2</sub>	MnO	MgO	CaF <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO	Metal Alaşımı		
LN 761	45	19	22	5	2	2	2	1	6 max		
P 223	SiO <sub>2</sub>	MnO	MgO	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	FeO	NaO	Metal Alaşımı
	23	4	21	21	20	4	2	1	1	2	3 max.

## 5.2. KAYNAK HAZIRLIĞI

API 5L standardında üretilmiş, boyutları 500x175x14.3 mm olan X60, X65 ve X70 malzemelerden 4'er adet malzeme (toplam 12 adet) alevli kesme tezgâhında kesilmiştir. Kesme işleminden meydana gelen ısıl işlemin testlere olumsuz etki etmemesi için numuneler ölçülerinin 10 mm fazlası ile kesilmiş ve talaş kaldırma

yöntemi ile ölçülerine getirilmiştir. Kaynak yapılacak malzemeler kaynak ağızları Çizelge 5.5’de gösterilen TS EN ISO 9692-2 standardına uygun olarak, plazma kesme cihazında açılmıştır.

Çizelge 5.5. TS EN ISO 9692-2’ye göre tek V alın kaynağı kaynak ağızı ölçüleri.

İş parçası kalınlığı	Tipi	Açı ( $\alpha$ )	Aralık (b)	Kök yüzey kalınlığı (c)	Şekille izahı
$10 \leq t \leq 20$	V	$30^\circ \leq \alpha \leq 50^\circ$	$4 \leq b \leq 8$	$c \leq 2$	

Parçalar, öncelikle örtülü elektrik ark kaynak yöntemi ile aralarında 2 mm boşluk bırakılarak puntalanmıştır. Kaynak yapılacak parçaların her iki ucuna, kaynak başlangıç ve bitişlerindeki hataları en aza indirgeyebilmek için ilave parçalar puntalanmıştır (Şekil 5.1). Puntalanmış numuneler, kaynak öncesinde paslanmaz çelik tel fırça ile temizlenmiştir.



Şekil 5.1. Parçaların puntalanarak kaynağa hazırlanması.

### 5.3. KAYNAK İŞLEMLERİ

Tozaltı ark kaynak işlemleri, Ankara-Sincan Organize Sanayi Bölgesinde Emek Boru AŞ’de gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemlerinin gerçekleştirildiği Lincoln Electric markalı kaynak makinesinin teknik özellikleri Çizelge 5.6’da verilmiştir. Puntalanan parçalar bant eki kaynağı bölümündeki çenelere tutturularak tozaltı ark kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 5.7’de, kaynak işlemlerinin gerçekleştirildiği kaynak makinesinin fotoğrafı da Şekil 5.2’de verilmiştir. Kaynak işlemleri esnasında bakır altlık kullanılmış ve birleştirilen numuneler, kaynak sonrasında hava ortamında soğumaya bırakılmıştır. Tel ve tozlar hariç diğer kaynak parametreleri tüm kaynaklar için sabit tutulmuştur.

Çizelge 5.6. Tozaltı kaynak makinesinin teknik özellikleri.

Model	Besleme gerilimi	Kaynak akımı	Sigorta değeri	Akım aralığı
Power wave AC/DC 1000 SD	400 V – 3 faz 50/60 Hz	1000 A /44 V / % 100	80 A	100 – 1000 A



Şekil 5.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan tozaltı ark kaynak makinesi.



Çizelge 5.7. Kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri.

Malzeme	Akımı (A)	Voltaj (V)	Kaynak Hızı (cm/dk)	Tel çapı (mm)	Akım tipi	İlave tel	Kaynak tozu	Isı girdisi (KJ/mm)
X60-S1	800	29.5	15	4.0	DC +	S1	LN 761	9.44
X65-S1	800	29.5	15	4.0	DC +	S1	LN 761	9.44
X70-S1	800	29.5	15	4.0	DC +	S1	LN 761	9.44
X60-S2Mo	800	29.5	15	4.0	DC +	S2Mo	P 223	9.44
X65-S2Mo	800	29.5	15	4.0	DC +	S2Mo	P 223	9.44
X70-S2Mo	800	29.5	15	4.0	DC +	S2Mo	P 223	9.44

Kaynak esnasında, kaynaklı parçalara verilen ısı girdisi, malzemelerdeki metalurjik dönüşümler için büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle bütün numunelerde ısı girdisinin sabit olması için kaynak parametreleri sabit tutulmuştur. Kaynak esnasındaki ısı girdisi;

$$H = \frac{A \times V \times 60}{S} \text{ formülüyle hesaplanmıştır} \quad (5.1)$$

Burada;  $H$ : Isı girdisi (J/cm),  $A$ : Akım şiddeti,  $V$ : Gerilim ve  $S$ : Kaynak Hızı (cm/dk.)'dir.

Verilen formülde yapılan hesaplama sonucu bütün numunelerde ısı girdisi 9.44 KJ/mm olarak bulunmuştur.

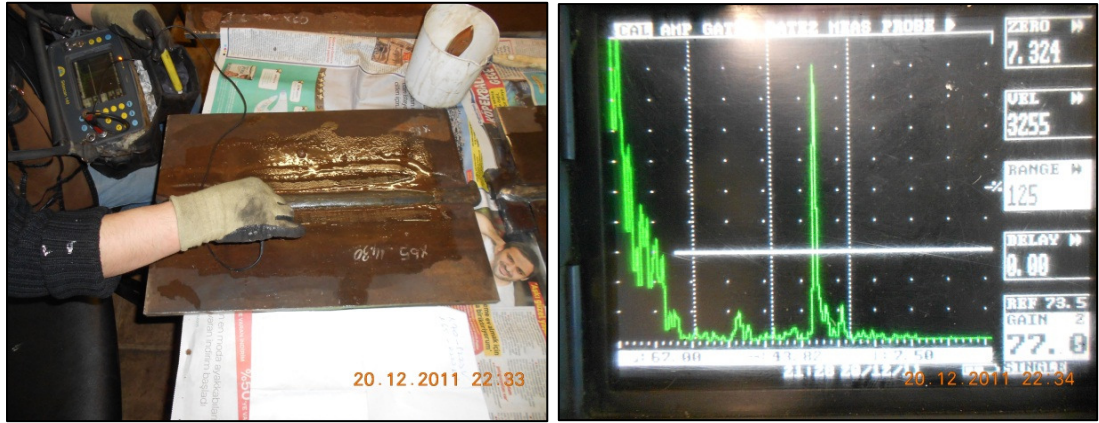
#### 5.4. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATSIZ MUAYENESİ

Tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı kaynak tel ve tozları kullanılarak birleştirilen numuneler, öncelikle başlangıç ve bitiş kısımlarındaki hurda kısımdan arındırılmış ve uzman bir personel tarafından gözle muayeneleri yapılmıştır. Ayrıca kaynaklı numunelerin tümü, ultrasonik ve radyografik teste tabi tutulmuştur. Muayene işlemleri, Emek Boru AŞ'de alanında uzman ehliyetli kişilerce gerçekleştirilmiştir.

##### 5.4.1. Ultrasonik Muayene

Ana malzeme, kaynak dikişi ve ITAB'ın ultrasonik ses dalgaları ile muayenesi 60° ve 70° açılı proplar vasıtasıyla sitescan 140 manuel ultrasonik muayene cihazı ile yapılmıştır. Muayene EN 1712, EN 1713 ve EN 1714 muayene talimatı ve metot 1

kabul seviyesi 2 normları gözetilerek, teste tabi tutulan numuneler konu hakkında gerekli belgeye sahip (NDT Level 2) ultrasonik muayene uzmanı tarafından yapılmış ve değerlendirilmiştir. Şekil 5.3’de kaynaklı bölgenin ultrasonik muayenesi ve çalışma ekranında görülen form ekosu verilmiştir.



Şekil 5.3. Kaynaklı bölgenin ultrasonik muayenesi ve çalışma ekranında görülen form ekosu.

#### 5.4.2. Radyografik Muayene

Parçaların radyografik muayenesinde, YXLON firması tarafından kurulan floroskopik muayene sistemi kullanılmıştır. Muayene APL 5L normları gözetilerek, teste tabi tutulan numuneler konu hakkında gerekli belgeye sahip (NDT Level 2) radyografik muayene uzmanı tarafından yapılmış ve değerlendirilmiştir. Şekil 5.4’de deneysel çalışmalarda kullanılan floroskopik muayene sistemi verilmiştir.



Şekil 5.4. Floroskopik muayene sistemi.

### 5.4.3. Kimyasal Analiz Testleri

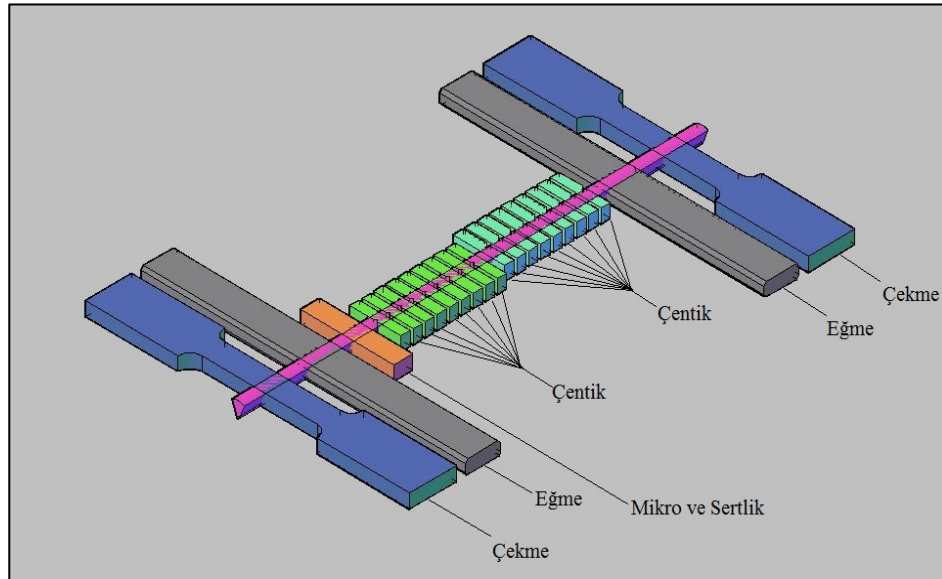
Tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı tel ve tozlar kullanılarak yapılan birleştirmelerin kaynak metalinden elementel analizler yapılmış ve kaynak esnasında kullanılan tel ve toz kompozisyonunun kaynak metaline etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

### 5.5. NUMUNE HAZIRLAMA

Tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı kaynak tel ve tozları kullanılarak birleştirilen numuneler, ultrasonik ve radyografik muayeneden hatasız olduğu tespit edildikten sonra tahribatlı testler için numune hazırlamaya geçilmiştir.

### 5.6. KAYNAKLI MALZEMELERİN TAHRİBATLI MUAYENESİ

Tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiş 12 adet (her bir numuneden 3'er adet) kaynaklı numune sulu şerit testere makinesi ile kesilmiştir. Kesilen numuneler ilgili standarda göre (API 5L Edition 44) ölçülerine getirilmiştir.



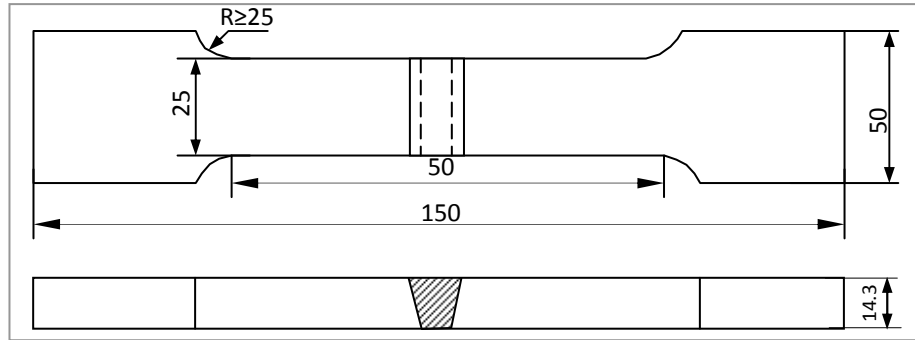
Şekil 5.5. Tahribatlı testler için çıkarılan numunelerin çizimleri.

Kaynatılan her plakadan 3 adet çekme, 2 adet eğme ve 18 adet çentik darbe (9 adet ITAB'dan, 9 adet kaynak dikişinden) test numunesi hazırlanmıştır. Ayrıca sertlik ve makro-mikro yapı çalışmaları ile elementel analiz çalışmaları için, her bir numuneden 1'er adet olmak üzere toplam 6 numune alınmıştır. Şekil 5.5'de, mekanik testler için çıkarılan numunelerin çizimleri şematik olarak verilmiştir. Kaba ölçülerde kesilen numuneler freze tezgahında talaş kaldırma metodu ile istenilen standart ölçülerine getirilmiştir.

### 5.6.1. Çekme Testi

Kaynatılan her malzemeden 3 adet, toplamda ise 18 adet kaynaklı çekme numunesi alınmıştır. Çekme deney numune ölçüleri Şekil 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.7'de freze ve vargel tezgahı yardımı ile hazırlama aşamasındaki çekme numuneleri görülmektedir.

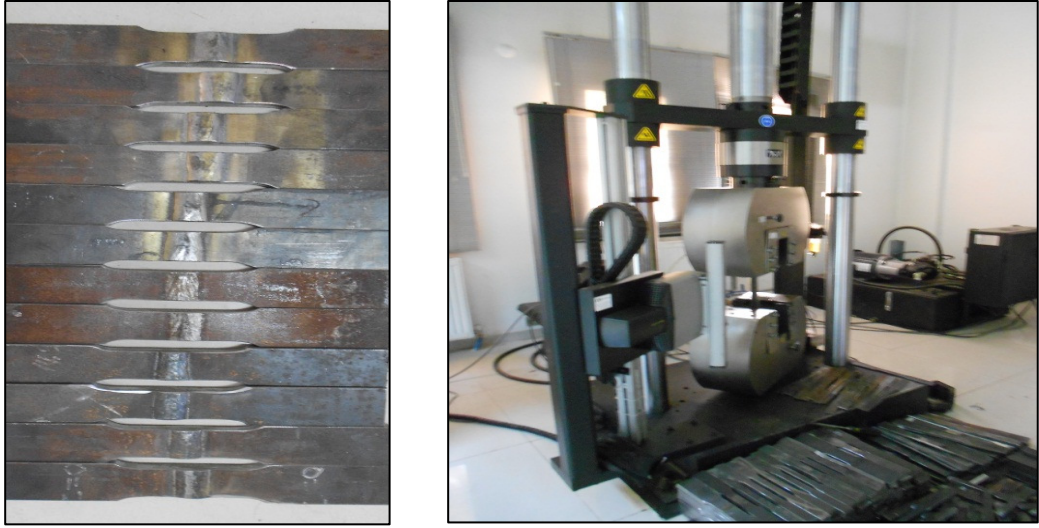
Deneyleerde kullanılan çekme cihazı Instron marka olup 600 kN yükleme kapasitesine sahiptir. Çekme testleri oda sıcaklığında ve 2 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.8'de çekme deney numuneleri ve çekme cihazının fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 5.6. Çekme deney numune ölçüleri.



Şekil 5.7. Çekme testi için numunelerin hazırlanması.



Şekil 5.8. Çekme deney numuneleri ve çekme cihazı.

### 5.6.2. Eğme Testi

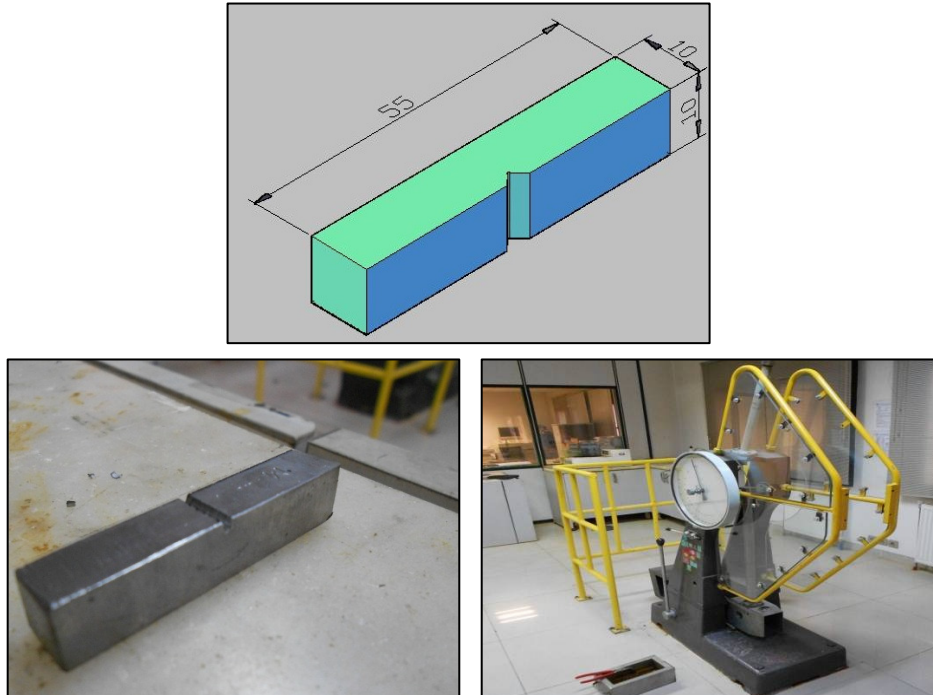
Eğme numuneleri kaynatılan her malzemeden 1 adet kök, 1 adet kep olmak üzere 2 adet ve toplamda ise 12 adet eğme numunesi hazırlanmıştır. Kaynak kök ve kepleri freze tezgahında işlenerek giderilmiştir. Eğme deney numune ölçüleri 150x25x14.3 mm olarak hazırlanmış ve üst mandrel çapı 128,7 mm olarak seçilmiştir. Eğme testlerinde, çekme deneylerde kullanılan İnstron marka 600 kN yükleme kapasitesine sahip çekme cihazı kullanılmıştır. Eğme testleri oda sıcaklığında, 5 mm/dk eğme hızında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca eğme testi, numuneleri 180° eğilene kadar yapılmıştır. Şekil 5.9'da eğme deneyi için yüzeyleri hazırlanan numune fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 5.9. Eğme numuneleri.

### 5.6.3. Çentik Darbe Testi

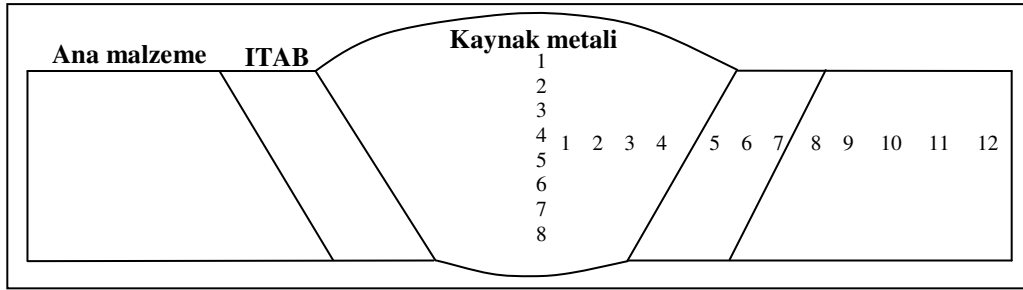
Çentik darbe testi için standart boyutlarda, kaynak merkezi ve ITAB'dan olmak üzere 3'er adet numune, toplamda ise 108 adet çentik darbe numunesi hazırlanmıştır. Şekil 5.10'da çentik darbe numune örneği ve deneyin yapıldığı cihaz görülmektedir. Çentik darbe numuneleri charpy olarak 300 joule, izod olarak 165 joule test yapabilme kapasitesine sahip Heckert marka cihaz vasıtasıyla charpy yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Testler  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$  ve  $20^{\circ}\text{C}$  sıcaklarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.10. Çentik darbe numune ölçüleri, örnek numune ve cihazın görüntüsü.

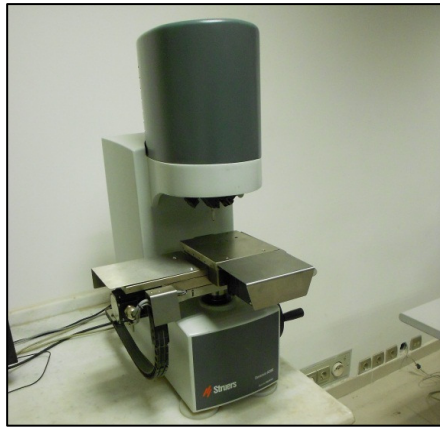
#### 5.6.4. Sertlik Testi

Kaynaklı numuneler üzerindeki sertli ölçümleri, kaynak metali, ITAB ve ana malzemeyi kapsayacak şekilde, kaynak kesitinden gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri çift yönlü olarak, Şekil 5.11’de gösterilen noktalardan alınmıştır. Kaynak metali merkezinden kepe doğru 1’er mm aralıklarla 4 adet ölçüm, kaynak merkezinden köke doğru 1’er mm aralıklarla 4 adet ölçüm toplamda 8 adet kaynak merkezinden alınmıştır. Ayrıca kaynak metali merkezinden ana malzemeye doğru 12 adet ölçüm alınmıştır.



Şekil 5.11. Sertlik ölçme testine ait numune şekli ve sertlik ölçüm noktaları.

Sertlik deneyleri, Struers marka, Duramin A300 model, 0,100 - 31.250 kg kapasiteli, tam pinomatik, değişken yüke sahip, Vickers, Brinell, Rockwell cinsinden makro ve mikro ölçümler yapabilen bir cihaz yardımıyla yapılmıştır. Sertlik ölçme işleminde Vickers sertlik ölçme metodu kullanılmış ve ölçme esnasında 10 kg yük uygulanmıştır. Şekil 5.12’de, sertlik ölçümünde kullanılan cihazın fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 5.12. Sertlik ölçüm cihazı.

## 5.7. MAKRO/MİKRO YAPI İNCELEMELERİ

Makro/mikroyapı fotoğrafları için alınan numuneler standart metalografik numune hazırlanma kurallarına uygun olarak sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik zımparalarla zımparalanmış, 3 mikron elmas solüsyonu ile parlatılmış daha sonra % 3 Nital çözeltisiyle dağlanmış. Numunelerin mikro yapıların görüntülenmesinde Leica DFC320 dijital kamera bağlantılı Leica DM4000M optik mikroskop kullanılmıştır. Şekil 5.13'de mikro yapıların görüntülediği cihaz görülmektedir.



Şekil 5.13. Mikro yapıların görüntülediği cihaz.



## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 6.1. GÖZLE MUAYENE

Tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı tel ve tozlar kullanılarak yapılan birleştirmeler öncelikle yüzey kusurlarının tespiti için gözle muayeneye tabi tutulmuşlardır. Muayene işlemleri, standartlar için gerekli şartları sağlayan bir ortamda ve uzman bir personel tarafından yapılmıştır.

Göz ile muayene sonucunda, kaynak yüzeyinde çatlak, yetersiz nüfuziyet ve kökte çökme gibi kaynak hatalarının bulunmadığı tespit edilmiştir. Ancak kaynaklarda, kısmen yanma oluklarının oluştuğu, ancak bu hataların kabul standardının izin verdiği sınırlar içinde olduğu belirlenmiştir.

#### 6.2. ULTRASONİK MUAYENE

Tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı tel ve tozlar kullanılarak yapılan birleştirmeler, yüzey altı kusurların tespiti için öncelikle ultrasonik muayeneye tabi tutulmuşlardır. Yapılan ultrasonik muayene sonucunda, tozaltı ark kaynağında oluşabilecek nüfuziyet yetersizliği, yanma olukları, gözenek oluşumu, kalıntılar, çatlaklar vb. hatalar gözlemlenmemiş ve gözetilen normlar dâhilinde kabul edilmiştir. Şekil 6.1’de NDT uzmanı tarafından hazırlanmış 6 deney numunesinin raporu verilmiştir.

Muayene Parçası	Tozaltı ark kaynağı yöntemiyle birleştirilmiş plaka		
Muayene Gerekleri	%100 ultrasonik muayene		
Nominal Boyutlar	500x175x14,3 mm	Malzeme	X60, X65, X70

Prosedür/Muayene Talimatı	EN 1712, EN 1713, EN 1714	Muayene Sınıfı	Metot 1 kabul seviyesi 2
Muayene Kapsamı	Kaynak dikişi ve ITAB %100 Ultrasonik muayene		
Cihaz	Sitescan 140		
Yüzey Koşulları	Pas, tufal vb. temizlendi	Temas Sıvısı	10 numara makine yağı

Tarama Pozisyonu	Prop				Mesafe Kalibrasyonu		Duyarlılık Kalibrasyonu				Maksimum ses mesafesi için kazanç ayarı						
	Prop tipi/Özellikleri	Demet açısı (°)	Prop indeksi mm	Taban adaptasyonu	Zaman eksenli aralığı	Teknik (s,SPD)	Değerlendirme Tekniği	Kalibrasyon bloğu	Kalibrasyon yansıtıcı	Referans yansıtıcıya olan ses mesafesi	Kayıt seviyesi (DSR, % ref. Yansıtıcı)	Maksimum ses mesafesi	Duyarlılık kalibrasyonu için ilave kazanç ΔV	Transfer düzeltmesi	Diğer düzeltmeler (ör. K1, K2)	Duyarlılık düzeltme toplamı	Ses zayıflaması dB/ mm
1	Mnb 70-4	68°	13	+1 EY	125	S	KB/RE	m.p	Ø 1,6 RAD	Sp/2 Sp	DAC (ref)	1,2xsp	+2 db	✓	✓	+2 db	✓
1	Mnb 60-4	58°	12	+1 EY	125	S	KB/RE	m.p	Ø 1,6 RAD	Sp/2 Sp	DAC (ref)	1,2xsp	+2 db	✓	✓	+2 db	✓
2	Mnb 70-4	68°	13	+1 EY	125	S	KB/RE	m.p	Ø 1,6 RAD	Sp/2 Sp	DAC (ref)	1,2xsp	+2 db	✓	✓	+2 db	✓
2	Mnb 60-4	58°	12	+1 EY	125	S	KB/RE	m.p	Ø 1,6 RAD	Sp/2 Sp	DAC (ref)	1,2xsp	+2 db	✓	✓	+2 db	✓

Parça No	Belirti no	Tarama pozisyonu	Prop tipi	Hataların konum ve dağılımı						Sonuç			Değerlendirme		Açıklamalar	
				Ses mesafesi (PD, SPD)	Referans konumda n mesafe		Temas yüzeyinden olan derinlik	Boyuna hata	Enine hata	Kayıt seviyesinden olan sapma	Kayıt uzunluğu/ alan	Arka duvar yankısında düşme	Kabul	Red		
1	-	-	-	-	-	-									-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓		
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓		
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓		
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓		
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓		

Testi Yapan



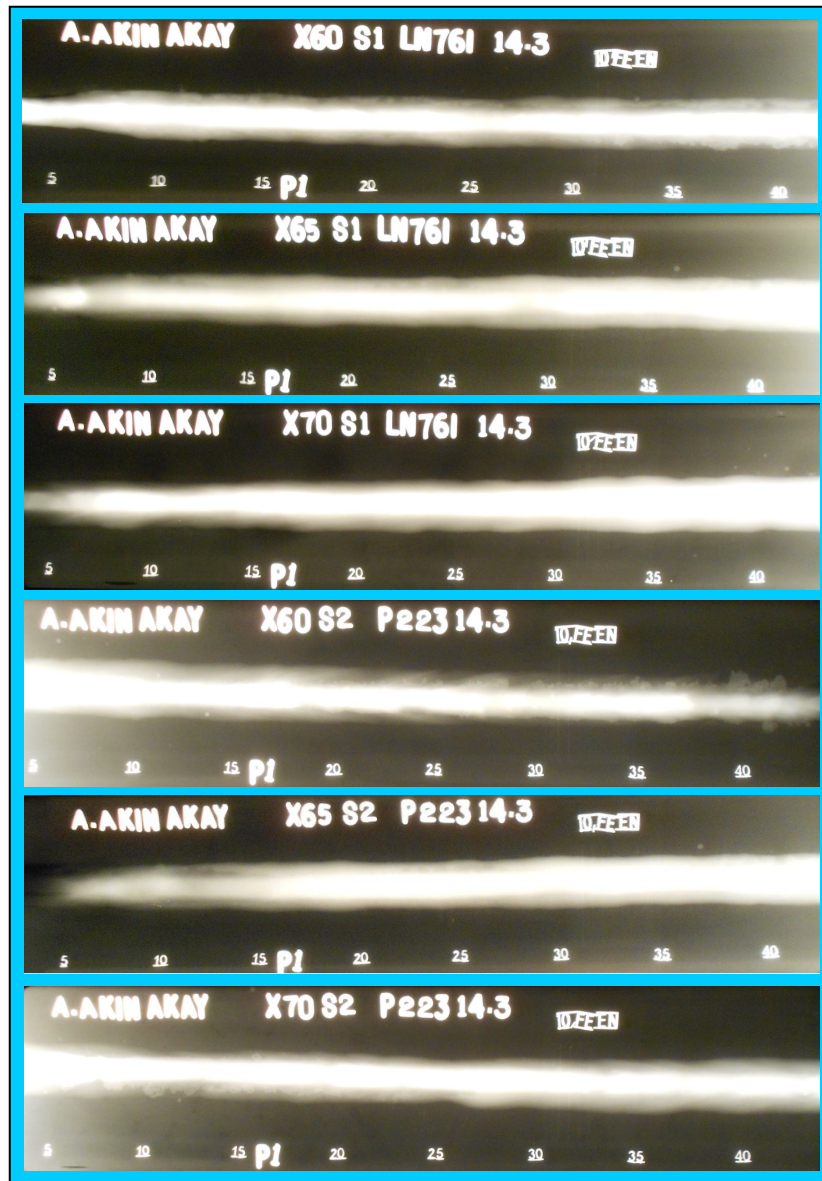
RT, UT, MT, PT,

  
Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.  
Organize Sanayi Bölgesi, Tuzlukçu Yolu No:2  
05395 Sincan/ANKARA Tel: (0312) 267 02 25  
K171LBEY V.D. - 333 006 0181

Şekil 6.1. Ultrasonik muayene raporu.

### 6.3. RADYOGRAFİK MUAYENE

Yapılan radyografik muayene sonucunda tozaltı ark kaynağında oluşabilecek nüfuziyet yetersizliği, yanma olukları, gözenek oluşumu, kalıntılar, çatlaklar vb. hatalar gözlemlenmemiş ve gözetilen normlar dâhilinde kabul edilmiştir. Şekil 6.2’de radyografik film görüntüleri verilmiştir. Ayrıca, Şekil 6.3’de radyografik muayene protokolü (film parametreleri) ve Şekil 6.4’de ise tüm numuneler için hazırlanmış NDT uzman raporu verilmiştir.



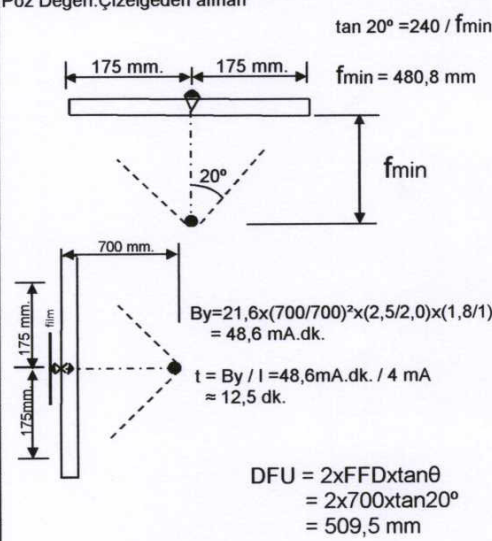
Şekil 6.2. Radyografik filmler.

Date/Tarih: 25.03.2012

Test Piece...: Test Parçası <b>PLAKA</b>	Test Specification : EN 1435 Test Standartları
Material : X60,X65,X70 Malzeme	Test Class : Class - A Test Sınıfı
Welding Process: SAW Kavnak Metodu	Dimensions : 500X350X14,30 mm Boyutlar
Welding Joint: Kavnak Sekli	Test Area : Kaynak Dikisi + Haz Bölgesi Test Kapsamı

TEST TEKNİĞİNE AİT BİLGİLER

Film Type: Film Cinsi	D 5	Calculation of Exposure Duration: Pozlama Süresinin Hesaplanması
Radiation Type: Işınım Türü	X-Ray	Poz Değeri: Çizelgeden alınan
Focus Dimensions: Odak Boyutları (d)	0,4 mm.	$\tan 20^\circ = 240 / f_{min}$
Test Arrangement: Çekim Düzenlemesi	Fig.1	$f_{min} = 480,8 \text{ mm}$
Radiation Angle: Radyasyon Açısı	Normal	$20^\circ$
Inreface Energy: Sınır Enerjisi (Eg)	230 kV.	
Film Class/Type/Packing: Film Sınıfı/Tipi/Paketleme	C 4 / D 5 / PVC	
Screen Type/Thickness: Ekran Tipi/Kalınlık	Pb / 0,125 mm.	
fmin.....:17,6 mm Source-to-Object Distance	FFD.....: 700 mm Source-to-Object Distance	
E kv	I mA	
160 kV	4 mA	
Activite GBq	-----	
Duration of Exposure: Pozlama Süresi	Dk.	
12,5 dk.		
Picturization Number: Çekim Sayısı	6	
IQI / Image Quality Indicators: IQI Konumu (FF/FN)Place of IQI	6 Fe 12	
Evaluation Area / Değerlendirilebilir Alan Calculated / Actuel (Hesaplanan/Elde Edilen)	509,5 mm. / Uygun	
Density / Yoğunluk (D): Calculated / Actuel (Hesaplanan/Elde Edilen)	2,3 / 2,3	
Image Quality Number / Görüntü Kalite Numarası (IQN) Calculated / Actuel (Hesaplanan/Elde Edilen)	W 11 / W 12	
Retest / Çekimin Tekrarlanması Gerekli mi? Yes / Evet No / Hayır	Hayır	
Test Place: Yer	EMEK BORU A.Ş.	Inspector: Testi Yapan
		Approval: Onay
		LEVEL II



Form No: FR-110

Revizyon: 00

Tarih: 26.01.2006

Hazırlayan

Onay

Şekil 6.3. Radyografik muayene protokolü.

Cevdet Grubu  
**Emek Boru**  
Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.

**RADIOGRAPHIC INSPECTION CERTIFICATE**  
**RADYOGRAFİK MUAYENE SERTİFİKASI**

Date/Tarih: 25.03.2012

<b>Customer / Müşteri</b> : PLAKA		<b>Order No / Sipariş No</b> :	
<b>Dimensions / Boyutlar</b> : 500X350X14,30 mm	<b>Test Class / Test Sınıfı</b> : Class A	<b>Test Standard / Çekim Standartı</b> : TS 5127 EN 1435	
<b>Material / Malzeme</b> : X60,X65,X70	<b>IQI / IQN</b> : 6 Fe 12 : W 12	<b>Test Arrangement / Çekim Tekniği</b> : Fig. 1	
<b>Focus / Odak</b> : 0,4x0,4 mm	<b>Welding Process / Kaynak Yöntemi</b> : SAW	<b>Exposure Time / Poz Süresi</b> : 12,50 dk	
<b>Equipment / Ekipman</b> : MGC 41	<b>Film Size / Film Boyutu</b> : 10 x 48 cm	<b>Acceptance Standardı / Kabul Standartı</b> : ISO 3183 /API 5L	

Pipe No / Boru No	Film No / Film No	Welder No / Kaynakçı No	Dimensions / Boyutlar	Aa	Ab	Ad	Ba	Bb	C	D	E	F	H	Rating / Sonuç	Remarks / Açıklamalar
	P1													Kabul	
	P2													Kabul	
	P3													Kabul	
	P4													Kabul	
	P5													Kabul	
	P6													Kabul	

<p>Aa : Porosity / Gözenek</p> <p>Ab : Elongated Cavity / Gaz Kanalı</p> <p>Ad : Clustered Porosity / Toplu Gözenek</p> <p>Ba : Slag / Curuf</p> <p>Bb : Slag Line / Sıralı Curuf</p>	<p>C : Lack of Fusion / Yetersiz Erime</p> <p>D : Lack of Penetration / Kök Hatası</p> <p>E : Crack / Çatlak</p> <p>F : Undercut / Yanma Oluğu</p> <p>H : Inclusion / Metalik Kalıntı</p>
---	---

RT, UT, MT, PT,  
LEVEL II

Inspector / Testi Yapan	Approval / Onaylayan	Customer / Müşteri
-------------------------	----------------------	--------------------

Emek Boru Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.  
Cevdet Grubu  
KIZILBEY V.D. : 333 006 0121

Form No: FR-109	Revizyon No: 00	Tarih: 24.01.2006
-----------------	-----------------	-------------------

HAZIRLAYAN
ONAYLAYAN

Şekil 6.4. Radyografik muayene sertifikası.

#### 6.4. KİMYASAL ANALİZ

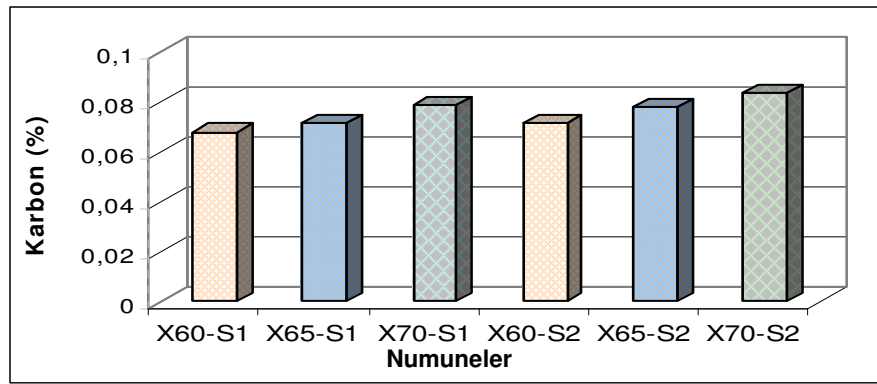
Kaynaklı numunelerdeki, kaynak dikişinden alınan spektral analiz sonuçları, kaynak esnasında kullanılan tel ve tozların etkilerini belirlemek için yapılmış ve analiz sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir. Ayrıca, analiz sonuçlarının daha anlaşılabilir olması açısından, elementlerden sadece C (karbon) ve Mn (mangan) için ayrı ayrı grafikler çizilmiştir. Şekil 6.5’de C elementinin, kaynak metali içerisindeki miktarı, Şekil 6.6’da ise Mn elementinin kaynak metali içerisindeki miktarını göstermektedir.

Analiz sonuçlarına göre % C oranı genel olarak ana malzemeye göre kaynak metalinde artmıştır. X60 malzemede C oranı % 0.065, S1 ilave metalinde C oranı % 0.075 iken, kaynak sonrasında bu bileşim % 0,068 olarak ölçülmüştür. Buradan, kaynak metali kimyasal bileşimi içerisindeki C oranının, ana malzemeden yüksek, ilave metalden daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Kaynak metalinin, ana malzeme ile ilave metalin karışımından oluştuğu düşünüldüğünde, bulunan sonuç ile beklenen sonucun, uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Aynı durum, X65 ve X70 malzemelerin kaynak metalleri içinde geçerlidir. Kaynak metali içerisindeki Mn oranı incelendiğinde % 1.019 olduğu görülmektedir. Mn oranı X60 ana malzemede %1.26 (Çizelge 5.1), ilave metalde ise % 0.56 olarak verilmiştir (Çizelge 5.3). Bu durumda, C için geçerli olan durum, Mn için de geçerli olmuştur.

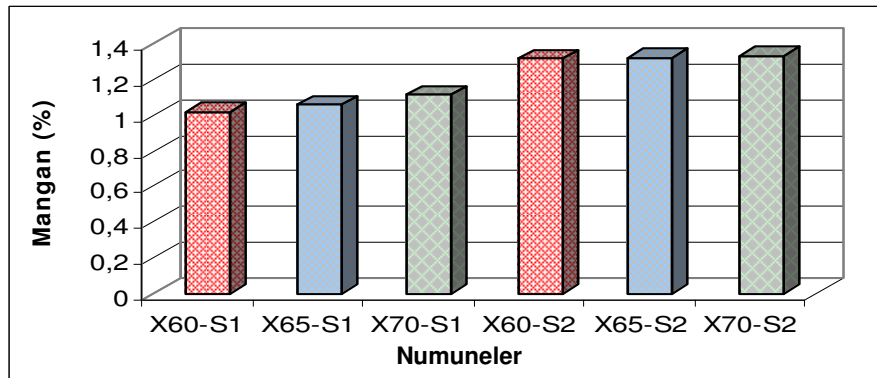
% Mn oranı ise S1 teli ve LN 761 tozu kullanılan numunelerde azalma, S2Mo teli ve P223 tozu kullanılan numuneler de ise artma eğilimi göstermiştir. Kullanılan tellerin kimyasal yapısındaki % Mn oranları Çizelge 5.3’de görüldüğü gibi farklılık göstermektedir. S2Mo teli % Mn açısından S1 teline göre oldukça zengin bir bileşime sahiptir. Ayrıca P223 tozunun kaynak metaline, LN 761 tozuna nazaran çok daha yüksek oranlarda Mn elementini ihtiva ettiği bilinmektedir. Göze çarpan bir diğer element ise Mo’dur. S2Mo telinin yüksek oranda Mo elementi içermesi, kullanıldığı kaynaklı birleştirmelerin kimyasal bileşiminde % Mo oranını önemli ölçüde arttırmıştır.

Çizelge 6.1. Kaynak dikişinden alınan kimyasal bileşim analizleri (Ağırlıkça %).

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Ti	V	Nb
X60-S1	0,068	1,019	0,231	0,009	0,007	0,022	0,014	0,020	0,064	0,008	0,005	0,024	0,015
X65-S1	0,074	1,061	0,273	0,011	0,007	0,062	0,025	0,044	0,062	0,010	0,006	0,020	0,016
X70-S1	0,079	1,112	0,223	0,010	0,006	0,095	0,106	0,002	0,041	0,005	0,003	0,023	0,011
X60-S2Mo	0,072	1,313	0,261	0,015	0,007	0,021	0,027	0,204	0,054	0,014	0,006	0,027	0,019
X65-S2Mo	0,078	1,321	0,228	0,015	0,006	0,025	0,030	0,195	0,060	0,012	0,005	0,019	0,014
X70-S2Mo	0,084	1,331	0,234	0,016	0,007	0,026	0,033	0,198	0,062	0,012	0,005	0,020	0,016



Şekil 6.5. Kaynak metalindeki % C oranı grafiği (ağırlıkça %).



Şekil 6.6. Kaynak metalindeki % Mn oranı grafiği (ağırlıkça %).

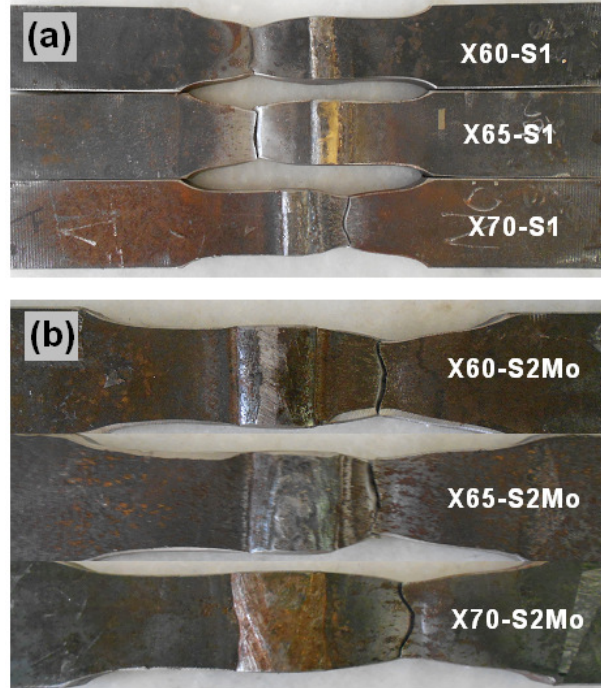
## 6.5. ÇEKME TESTİ

Çekme deneyi, malzemelerin tek doğrultuda, sabit bir hız ve sıcaklıkta koparılincaya kadar uygulanan tahribatlı bir muayene yöntemidir. Malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu yöntem malzemelerin % uzama

miktarının da belirlenmesini sağlamaktadır. Çekme deneyi sonucunda; malzemelerin akma, çekme ve kopma mukavemetleri ile tokluk, rezilyans ve % uzama verileri elde edilir.

Kaynaklı numunelerin çekme deneyi yapılırken, kaynaklı malzemelere göre farklı bir durum söz konusudur. Kaynaklı malzemelerde, iki farklı metal çekme testine tabii tutulur, bunlardan birisi ana malzeme ve diğeri de kaynak metalidir. Kaynaklı bağlantılarda, ITAB veya kaynak metalinde kopma istenmemektedir [56]. Bu bölgelerde oluşan kopmalar düşük değerler verilmesini sağlar, eğer kaynak metalinin ortasında kopma meydana gelirse bunun nedenleri arasında uygun ilave metal kullanılmaması veya tek pasoda gereğinden fazla geniş kaynak yapılması sonucu kaynak metali içinde oluşan mikrosegregasyonlardır [38].

Tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı tel ve tozlar kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmelere uygulanan çekme testi sonucunda bütün numunelerde kopma kaynak bölgesi dışından gerçekleşmiştir. Şekil 6.7’de çekme testi sonrası çekme numunelerinin kaynak kök ve kep tarafından alınan görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.7. Çekme testi sonrası çekme numunelerinin kopma bölgeleri a) kaynak kökü üstte ve b) kaynak kepi üstte.

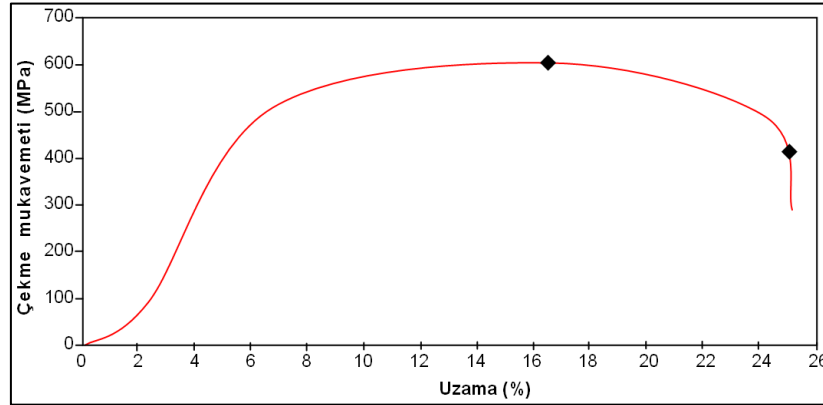


Çizelge 6.2’de çekme deneyi sonuçları (max. çekme dayanımı ve % uzama), Şekil 6.8-6.13’de çekme grafikleri ve Şekil 6.14’de sonuçlardan elde edilen grafik görülmektedir. Tüm değerler çekme yapılan 3 numunenin ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.

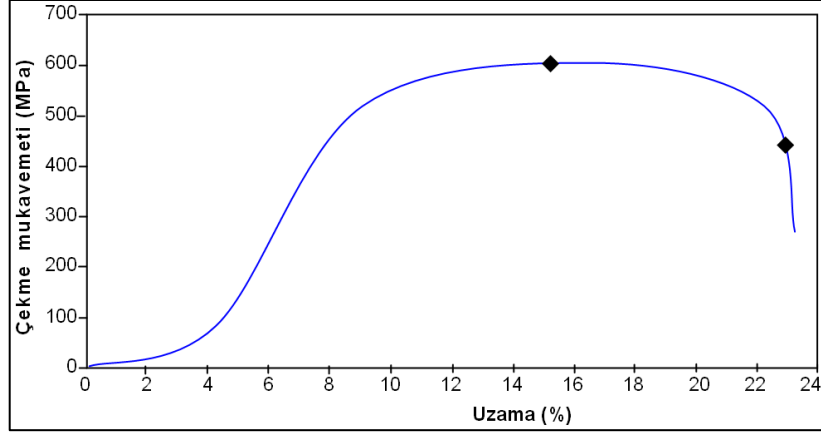
Çizelge 6.2. Kaynaklı çekme deneyi sonuçları.

Parça numarası	Max. Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
<b>X60-S1</b>	601±2	25±2
<b>X65-S1</b>	606±2	23,42±2
<b>X70-S1</b>	642±2	23,03±2
<b>X60-S2Mo</b>	605±2	25.2±2
<b>X65-S2Mo</b>	609±2	24,02±2
<b>X70-S2Mo</b>	647±2	22,05±2

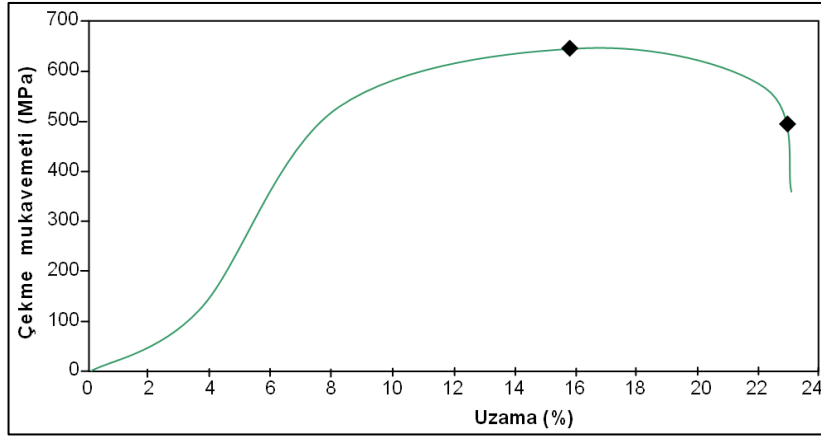
Çizelge 6.2’deki kaynaklı bağlantılara ait max. çekme dayanım değerleri incelendiğinde, tüm değerlerin Çizelge 5.2’de verilen ana malzemelerin max. çekme dayanımı değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Çekme deneylerinde kopmanın ana malzemelerden olması, kaynaklı bölgenin çekme dayanımının, ana malzemenin çekme dayanımından daha yüksek değerlerde olduğunu göstermektedir.



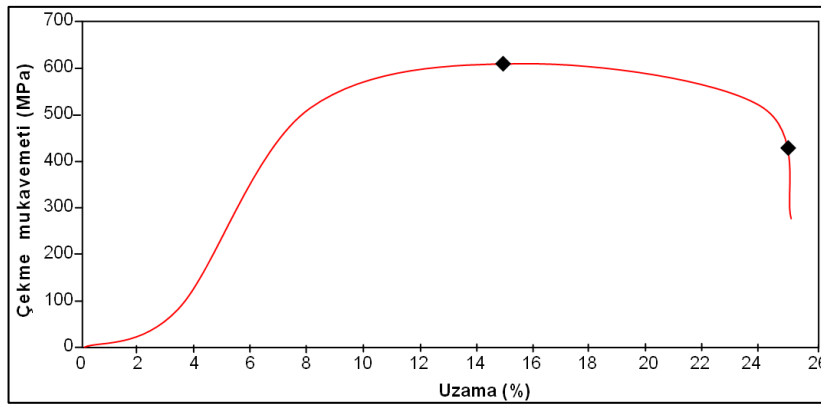
Şekil 6.8. X60-S1 numunesinin gerilim–uzama grafiği.



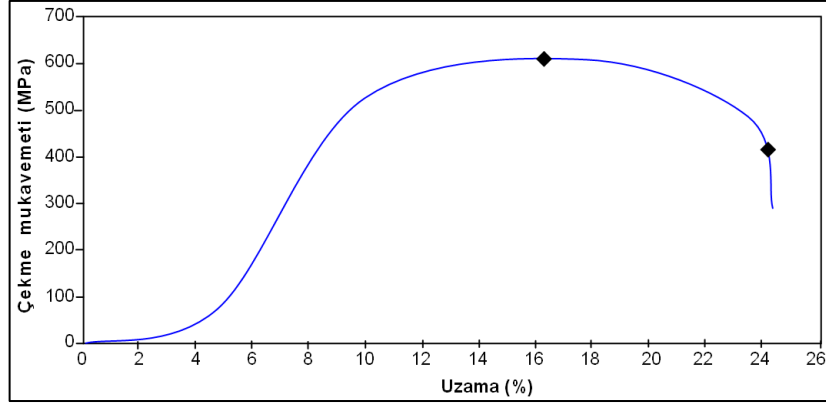
Şekil 6.9. X65-S1 numunesinin gerilim–uzama grafiği.



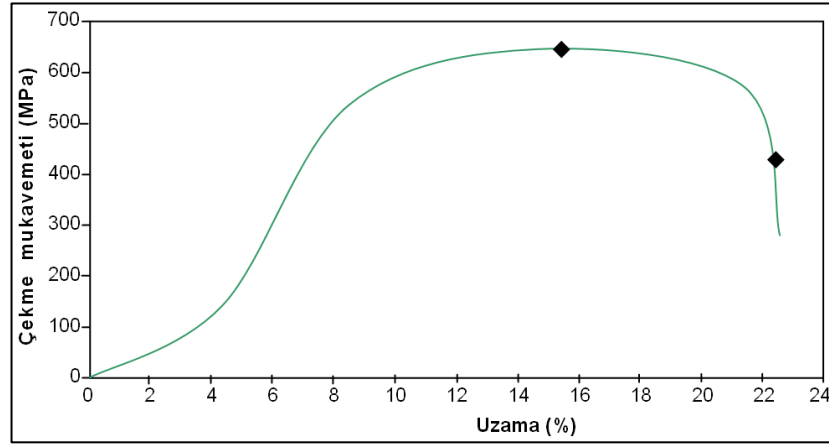
Şekil 6.10. X70-S1 numunesinin gerilim–uzama grafiği.



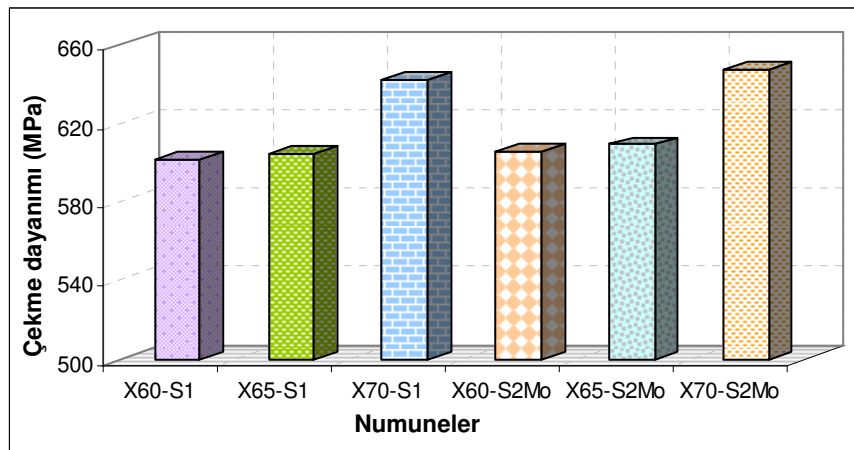
Şekil 6.11. X60-S2Mo numunesinin gerilim–uzama grafiği.



Şekil 6.12. X65-S2Mo numunesinin gerilim-uzama grafiği.



Şekil 6.13. X70-S2Mo numunesinin gerilim-uzama grafiği.



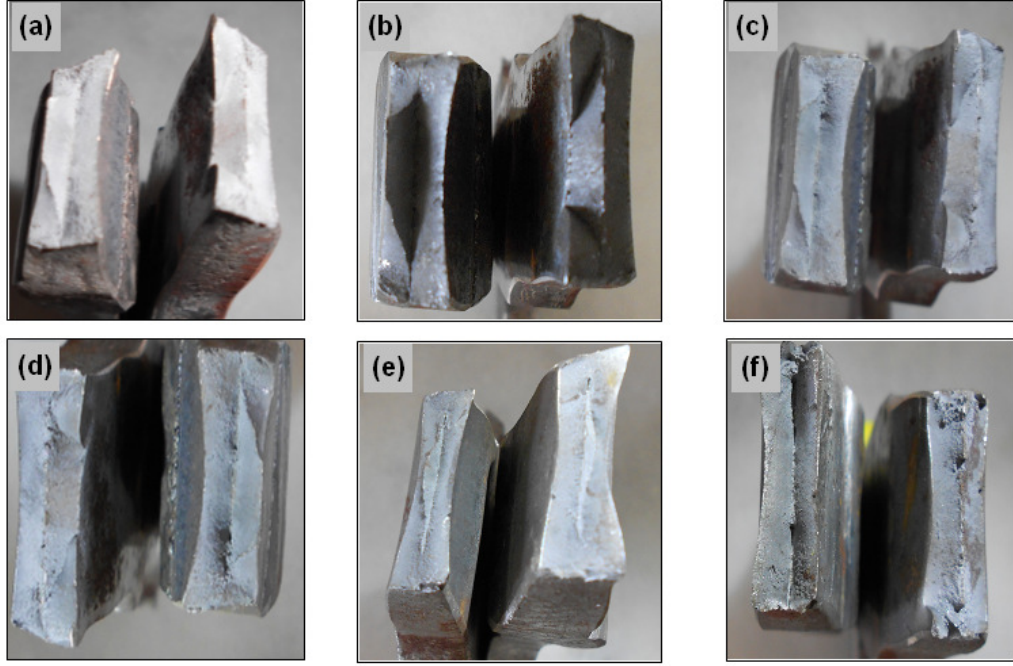
Şekil 6.14. Çekme deneyi sonuçları grafiği.

Yapılan deneylerde, çekme dayanım değerlerinin ana malzemeden daha yüksek değer vermesinin nedeni kaynak metalinin şekil değiştirmeye karşı gösterdiği dirençten kaynaklanmaktadır. Genellikle kaynak metal, ana malzemeye nazaran daha yüksek sertlik değerler verir. Kaynak malzemenin sünekliği genellikle kaynaklanan ana malzemeye nazaran daha düşük değerler verir. Bu durum özellikle başta kaynak metal olmak üzere ITAB'ı da içine alan kaynak bölgesinin daha az deformasyona uğramasına, dolayısıyla deformasyonun daha dar bir bölgede meydana gelmesine sebep olmaktadır. Bilindiği üzere aynı bileşim ve farklı çekme boylarında yapılan çekme testleri sonucu, eğer çekme hızı sabit ise çekme boyu kısa olan malzeme hızlı pekleşmeden dolayı daha yüksek dayanım gösterir. Literatürde verilen bilgilerin, yapılan çalışma ile paralellik gösterdiği görülmektedir [2,13].

Bilindiği gibi tozaltı ark kaynak yönteminde, diğer kaynak yöntemlerine göre yüksek ısı girdisi meydana gelmektedir. Yüksek ısı girdisi de, malzemenin sertliğinin artmasına sebep olmaktadır. Hem sertlik, hem de çekme dayanımı, metallerin plastik deformasyona direncini gösterdiklerinden, sonuç olarak bu iki değer kabaca orantılıdır. Bir başka ifadeyle, kopma işleminin, kaynak metal veya ITAB yerine, sertliği düşük olan ana malzemeden olması bu sonucu doğrulamaktadır.

Şekil 6.15'de kaynaklı numunelerin kopma yüzey görüntüleri verilmiştir. Çekme testleri sonucunda, kopmuş kaynaklı numuneler üzerinde, gözle yapılan incelemeler sonucunda kopma türlerinin genelde sünek türde olduğu tespit edilmiştir. Kopma türü sünek olmasına rağmen, kaynaklı numunelerin göstermiş oldukları % uzama miktarının, ana malzemelerden yaklaşık olarak % 25 daha düşük olması bir çelişki olarak görülmemelidir. Çalışmada, çekme numuneleri standarda uygun olarak hazırlandığından, kaynaklı numunelerdeki kaynak bölgesinin sert olması nedeniyle deformasyon bu bölgelerin dışında meydana gelmektedir. Deformasyonun dar bir bölgede meydana gelmesi ise dayanımın yüksek değerler göstermesine neden olurken, kaynaklı numunelerin % uzama değerlerinin düşük çıkmasına neden olmuştur. Daha önce benzer konuda yapılan çalışma sonuçları incelendiğinde, % uzamanın azalmasına sebep olarak, kaynaklı bölgenin çekme testi sırasında deformasyona uğramaması gösterilmiştir. Sonuç olarak, kaynaklı bölgenin

deformasyona karşı göstermiş olduğu direncin, çekme mukavemetinin artmasına ve % uzama değeri azalmasına neden olduğu belirtilmiştir [2].



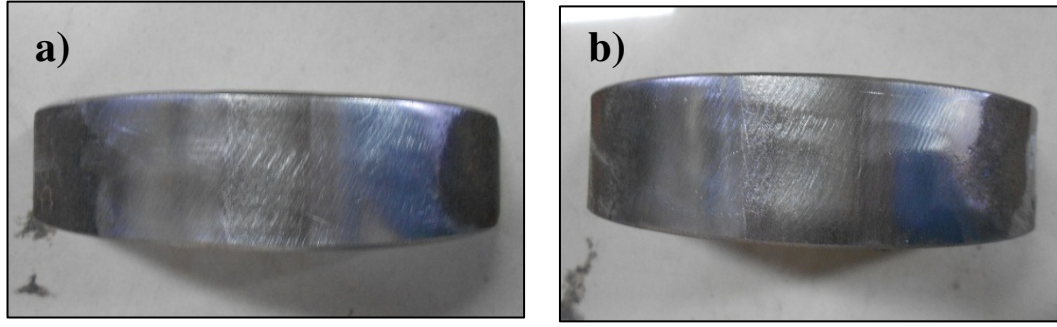
Şekil 6.15. Kaynaklı numunelerin kopma yüzey görüntüleri a) X60-S1, b) X65-S1, c) X70-S1, d) X60-S2Mo, e) X65-S2Mo ve f) X70-S2Mo.

## 6.6. EĞME TESTİ

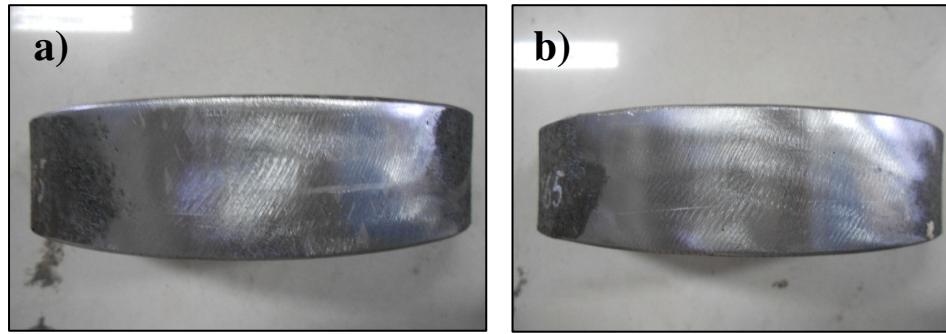
Nötr eksene göre uygulanan kuvvetlere bakıldığında, eğer sünek bir malzeme test ediliyorsa yüksek basma dayanımı göstermekte ve malzeme hasara uğramadan eğilmektedir. Gevrek bir malzeme test edilirse çekme gerilmesi daha yüksek değerlere ulaşır ve malzeme tamamen eğilmeden belli bir açıda hasara uğrar. Eğer test edilen numunede kalınlık yönünde mikro yapısal bir hata yoksa uygulanması gereken basma ve çekme yükleri de artar [38]. Kaynaklı birleştirmelerde, kaynak dikişi ve çevresinin şekil değıştirme kabiliyeti ve kaynak dikişi ile esas metal arasında iyi bir bağlantı olup olmadığı bu deneylerle tespit edilmektedir.

Şekil 6.16-Şekil 6.21’de, numunelere 180° olarak uygulanan kök ve kep eğme testlerinde, kaynak dikişi ve çevresinde çatlama, yırtılma gibi herhangi bir hatanın oluşmadığı göz muayenesi ile tespit edilmiştir. Bu durum, malzemelerin birleştirilmesinin uygun bir şekilde yapıldığını ve bu tür kaynaklı bağlantıların 180°

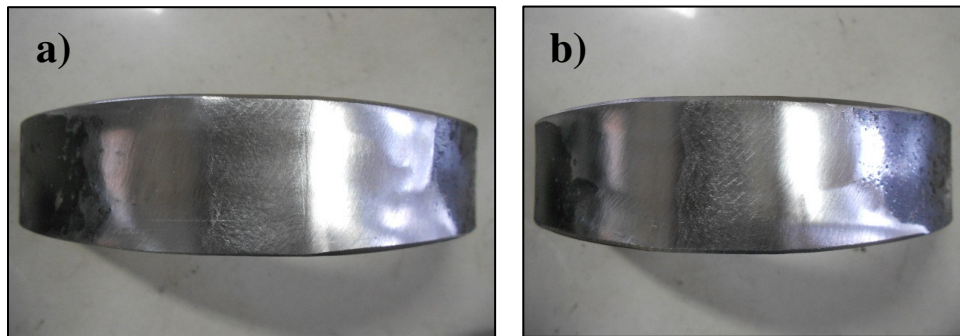
eğilerek servis şartlarında kolaylıkla kullanılabileceğini göstermektedir. Yapılan bir araştırmada, tozaltı ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin 180°'ye kadar eğilmesi sonucunda, herhangi bir hasara uğramadan kalmaları, sünek bir kaynaklı bağlantı yapıldığının göstergesi olarak değerlendirilmiştir [38].



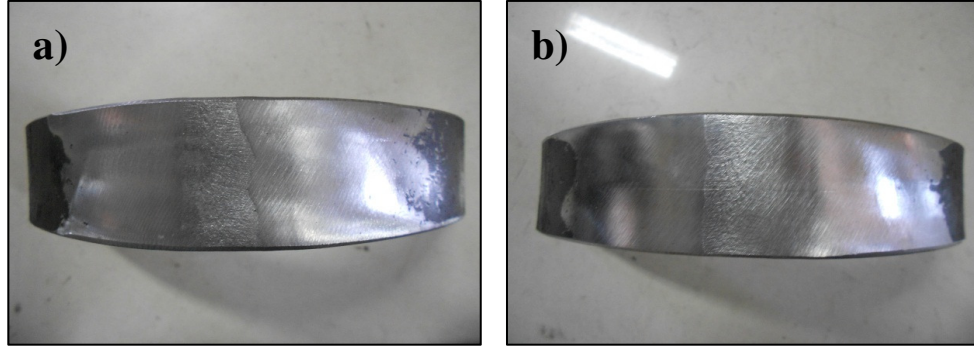
Şekil 6.16. X60-S1 numunesinin eğme testi sonucu a) kök eğmesi b) kep eğmesi.



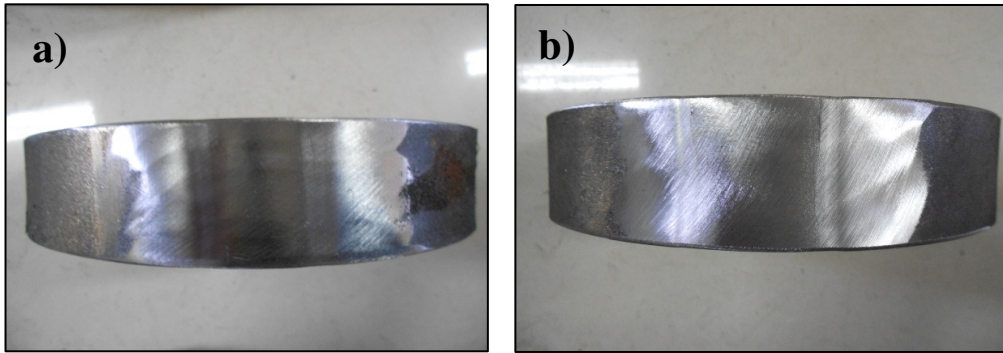
Şekil 6.17. X65-S1 numunesinin eğme testi sonucu a) kök eğmesi b) kep eğmesi.



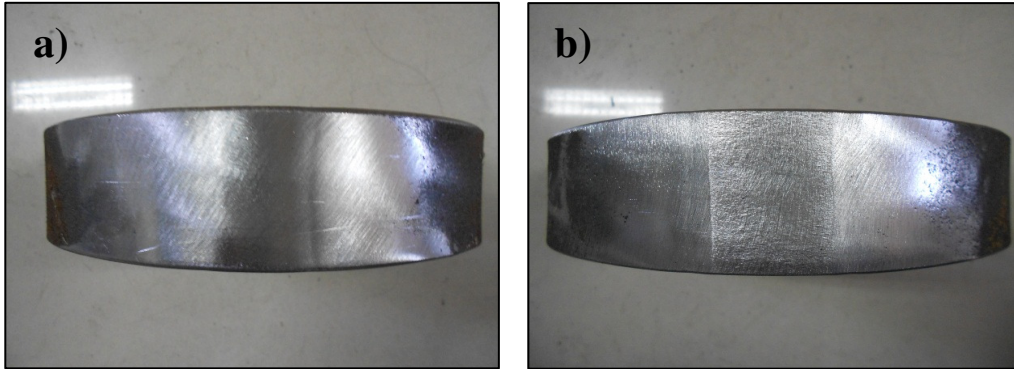
Şekil 6.18. X70-S1 numunesinin eğme testi sonucu a) kök eğmesi b) kep eğmesi.



Şekil 6.19. X60-S2Mo numunesinin eğme testi sonucu a) kök eğmesi b) kep eğmesi.



Şekil 6.20. X65-S2Mo numunesinin eğme testi sonucu a) kök eğmesi b) kep eğmesi.



Şekil 6.21. X70-S2Mo numunesinin eğme testi sonucu a) kök eğmesi b) kep eğmesi.

## 6.7. ÇENTİK DARBE TESTİ

Çentik darbe testi, tozaltı ark kaynağı ile farklı tel ve tozlar kullanılarak birleştirilmiş numunelerin, hem kaynak metallere, hem de ITAB'larının üç farklı ortam sıcaklığında tokluk değerlerini belirlemek için yapılmıştır. Çizelge 6.3'de test yapılan üç deney sonucunun ortalamalarını tablo olarak, Şekil 6.22 ve 6.23'de ise tabloda

verilen değerler neticesinde oluşturulan grafikleri göstermektedir. Ana malzemelerden oda sıcaklığında ölçülen tokluk değerleri X60=213 J, X65=226 J ve X70=215 J’dur.

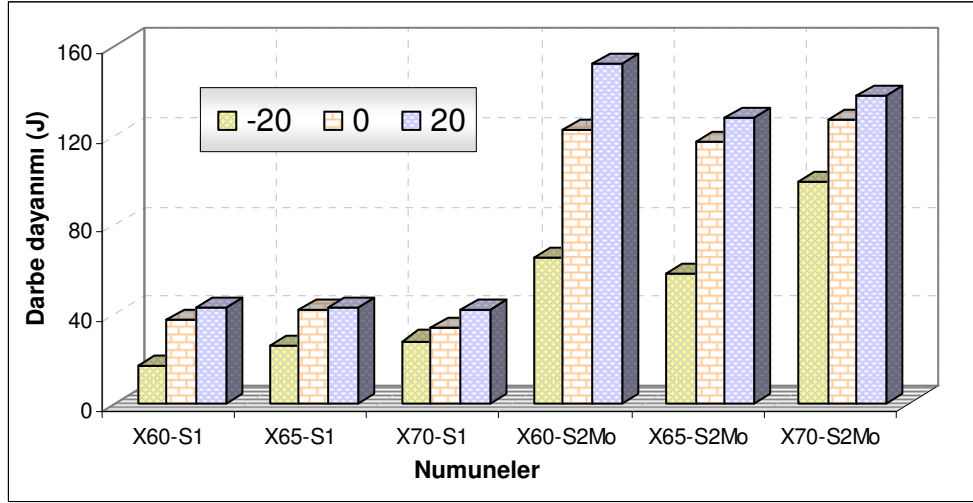
Çizelge 6.3. Kaynak metali ve ITAB’dan ölçülen tokluk değerleri (J).

KAYNAK METALİ				ITAB			
Numuneler	Sıcaklıklar (°C)			Numuneler	Sıcaklıklar (°C)		
	-20	0	20		-20	0	20
X60-S1	17	37	43	X60-S1	34	52	60
X65-S1	26	42	43	X65-S1	49	60	62
X70-S1	28	34	42	X70-S1	57	61	73
X60-S2Mo	65	123	152	X60-S2Mo	118	156	170
X65-S2Mo	58	117	128	X65-S2Mo	98	140	166
X70-S2Mo	99	127	138	X70-S2Mo	125	151	154

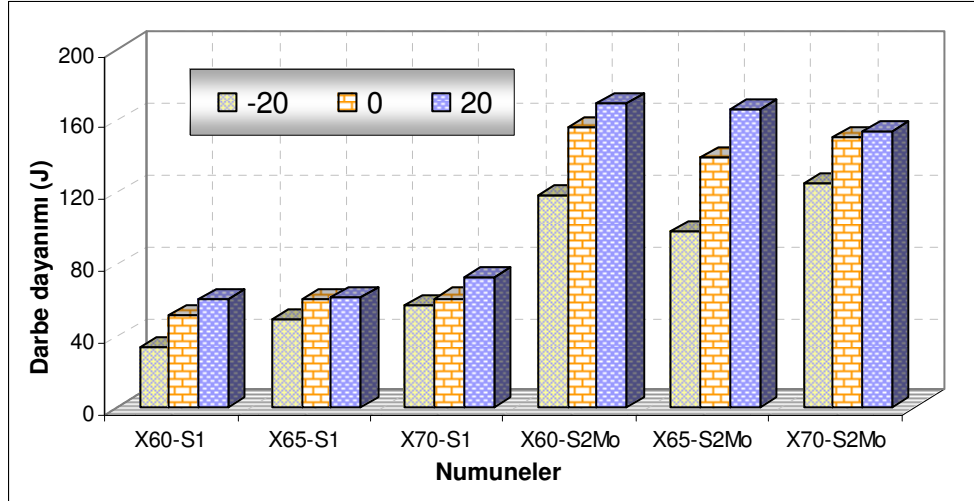
Çizelge 6.3 incelendiğinde, en yüksek tokluk değerlerinin oda sıcaklığında (20 °C), en düşük tokluk değerlerinin ise -20 °C’de ölçüldüğü görülmektedir. Genel olarak sıcaklık düştükçe malzemelerin darbe direncinin de düştüğü bilinmektedir. Malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak, darbe direncindeki düşme, aniden olabileceği gibi belirli bir sıcaklık aralığında da olabilmektedir.

Kurt, DH 36 gemi sacını farklı kaynak yöntemleriyle (elektrik ark, MIG-MAG ve tozaltı) birleştirmiş ve bağlantı dayanımlarını, çentik darbe testiyle, farklı sıcaklık ortamlarında (-40 °C, -20 °C, 0 °C, 20 °C, 40 °C) belirlemeye çalışmıştır. alışmalar sonucunda, darbe deney test sıcaklığın düşmesiyle, tüm yöntemlerde tokluk değerlerinin düştüğünü rapor etmiştir [37]. Kaçar ve Kkemli, düşük karbonlu elik çiftleri, klasik GMAK yöntemiyle argon koruyucu gazı kullanarak ve kontrollü atmosfer ünitesinde aynı kaynak parametreleri kullanılarak birleştirmişler ve bağlantıların mekanik ve metalurjik özellikleri araştırmışlardır. Çalışma sonucunda altı farklı sıcaklıkta (-100 °C, -50 °C, 0 °C, 25 °C, 50 °C, 100 °C) entik darbe testleri yapılmış ve sıcaklığın azalmasıyla, kaynak metallereinden ölçülen darbe tokluklarının düştüğünü rapor etmişlerdir [57].





Şekil 6.22. Kaynak metalinin çentik darbe test grafiği.



Şekil 6.23. ITAB bölgesinin çentik darbe test grafiği.

Grafikler incelendiğinde, S2Mo teli ve P223 tozu kullanılarak birleştirilen numunelerden alınan değerler, S1 teli ve LN 761 tozu kullanılarak birleştirilen numunelerden alınan değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Çentik darbe test sonuçlarında S2Mo tel ve P223 toz kullanılan kaynaklı numunelerin değerlerinin yüksek çıkmasının sebeplerinden biriside P223 tozunun bazik karakterli olması ile ilgili olduğu düşünülmektedir. P223 tozunun bazik karakterli olması, kaynak esnasında kaynak banyosundaki serbest haldeki oksijen elementini yüksek oranda redüklemesini sağlamaktadır [58]. LN 761 tozu ise rutil karakterli olması sebebiyle oksijen elementini P223 tozu kadar redükleyememektedir. Bilindiği üzere oksijen

elementi kaynaklı bölgede istenmeyen bir elementtir. Oksijen elementinin kaynaklı bölgede yüzde oran olarak düşük olması çentik darbe dayanımını arttırmaktadır. Durgutlu vd. yaptıkları çalışmada, tozaltı ark kaynağı ile düşük karbonlu çelik malzemeleri farklı özelliğe sahip kaynak tozları ile birleştirmiş, yapılan birleştirmelerin incelenmesi sonucunda en iyi tokluk değerlerinin P223 tozu ile kaynaklanmış numunelerde olduğu saptanmıştır [59].

Çentik darbe test sonuçları incelendiğinde, en yüksek çentik darbe enerjilerini ana malzeme gösterirken, bunu sırayla ITAB ve kaynak metalinin takip ettiği görülmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki, ana malzeme, ITAB ve kaynak metalinden ölçülen tokluk değerleri, aynı bölgelerden ölçülen sertlik değerleriyle paralellik göstermektedir. Yani sertlik arttıkça, tokluk azalmaktadır. Çetinkaya [60] yaptığı bir araştırmada, sertliğin artmasıyla tokluğun azaldığını rapor etmektedir. Burada kaynak metalinden elde edilen çentik darbe mukavemetleri ITAB'den elde edilen değerlerden daha düşük bulunmuştur. Düşük karbonlu çeliklerin kaynağında ITAB'nin kırılma davranışları üzerine yapılan bir araştırmada [61] ITAB'daki iri taneli bölgenin tokluğunun, kaynak metalinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ITAB'ın sertliğinin kaynak metali sertliğinden düşük olmasının bu sonucu doğruladığı belirtilmiştir.

Kaya ve arkadaşları, tozaltı ark kaynağı ile birleştirilen farklı kalınlıktaki grade A gemi saclarının mekanik özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada ITAB'ın tokluğunun kaynak metalinden daha yüksek olduğu ve ITAB'ın sertliğinin kaynak metalinden daha düşük olmasının bu sonucu doğruladığını belirtmişlerdir. Elde edilen çentik darbe sonuçları, sertlik sonuçları ile kıyaslandığında, sertliğin yüksek olduğu kaynak metallere tokluk değerleri düşük, sertliğin düşük olduğu ITAB'da ise tokluk değerleri yüksek çıkmıştır. Ayrıca çalışmada, özellikle tozaltı ark kaynağı gibi yüksek ısı girdisine sahip bir yöntemde, kaynak metali gevrek bir davranış gösterirken, ITAB'ın, kaynak metaline nazaran daha tok yapıda olduğu vurgulanmıştır [62].

Karbon miktarı malzeme sertliğini arttırıcı mekanizmaların en önemlilerinden biridir. Karbon miktarı arttıkça malzemenin sertliği artar, çentik darbe dayanımı ise düşer

[2]. Kimyasal analiz sonuçlarından da anlaşılacağı üzere kaynak metalinde karbon oranı ana malzemeye göre artmıştır. Bu da kaynak metalinde sertliğin artmasına ve çentik darbe dayanımının ITAB'a göre düşük olmasına neden olmuştur.

Toz altı kaynak metalinde tokluğun yüksek olması için mangan oranının %1,2'den fazla olması gerektiği önerilmektedir. Bu oranın üzerine çıkıldığında asiküler ferrit hacim oranı arttığından tokluk artmaktadır. Tokluktaki artış manganın optimum değerine ulaşmasına kadar devam etmektedir [58]. S1 tel ve LN 761 toz kullanılan numunelerde ana malzemeye göre % Mn oranı azalmış ve S2Mo tel ve P223 toz kullanılan numunelerde ise % Mn oranı artmıştır (Çizelge 6.1). S2Mo tel kullanılan numunelerde tokluğun yüksek çıkmasının sebeplerinden birinin de kaynak metali bileşimindeki yüksek % Mn oranı olduğu düşünülmektedir.

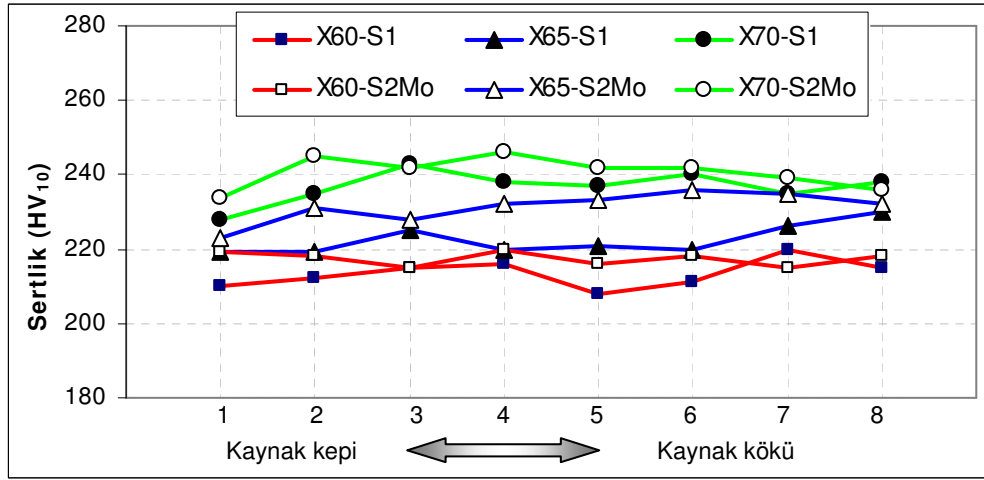
Molibdenin örtülü elektrot kaynak metaline ilave edilmesinin ana amacı, kaynak mukavemetini arttırmaktır. Molibden östenit dönüşümünü önler ve dönüşüm sıcaklığını biraz düşürür. Molibden karbürlerin çökmesi östenit tane sınırlarında ferrit dönüşümünü engeller. Bu nedenle asiküler ferrit hacim oranında artışa sebep olur [58]. Çizelge 6.1'de kaynak metalinden alınan kimyasal analiz sonuçlarında S2Mo tel kullanılan numunelerde % Mo oranının, S1 tel kullanılan numunelerden fazla olduğu görülmektedir. Sonuç olarak % Mo oranının, S2Mo teli kullanılan numunelerde yüksek olması asiküler ferrit hacim oranında artışa ve darbe çentik testlerinde yüksek tokluk elde edilmesine neden olmuştur.

## **6.8. SERTLİK TESTİ**

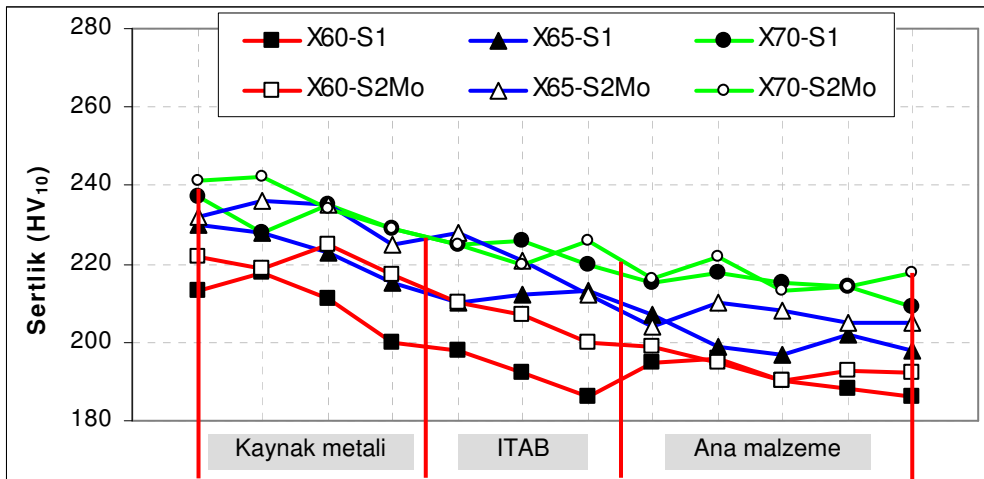
Bilindiği gibi, düşük karbonlu az alaşımlı çeliklerin kaynağında ITAB 'da çatlamaya karşı emniyet için sertliğin 350 HV sertlik değerini geçmemesi tavsiye edilmektedir. Tüm kaynaklı numunelerden, bu kritik değer altında sertlik değerleri alınmıştır.

Sertlik ölçümleri, Şekil 5.11'de gösterilen biçimde belirtilen noktalardan alınmıştır. Kaynaklı numunelerden alınan ölçümlere göre (Şekil 6.24 ve Şekil 6.25), genel olarak kaynak metalinin ITAB ve ana malzemedan daha sert olduğu görülmektedir. Ana malzemedan en yüksek sertlik X70 malzemesinde 222 HV olarak ölçülmüştür.

En düşük sertlik ise X60 malzemesinde 186 HV olarak ölçülmüştür. Kaynak metalinde ise en yüksek sertlik değeri S2Mo teli ile kaynatılan X70 malzemesinde 246 HV, en düşük sertlik değeri ise S1 teli ile kaynatılan X60 malzemesinde 200 HV olarak ölçülmüştür. Çizelge 6.1’de, kaynak metalinden ölçülen % C oranının, ana malzemeye ait olan ITAB ve ana malzemedeki yüksek olması bu sonucu doğrulamaktadır.



Şekil 6.24. Kaynak dikişine dikey doğrultuda alınan sertlik ölçümlerinin grafiği.



Şekil 6.25. Kaynak bölgesinden yatay doğrultuda alınan sertlik ölçümlerinin grafiği.

Ada [2], Asarkaya [38], Durgutlu [59], Kaya ve arkadaşları [62], tozaltı ark kaynağı ile yaptıkları çalışmalarda tozaltı ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerde en yüksek sertliğin kaynak metalinde olduğunu ve onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip

ettiğini belirtmişlerdir. Kılınçer [7], farklı karbon oranına sahip çelikleri tozaltı ark kaynağı ile birleştirmiş ve % 0,22'den az karbon oranına sahip kaynaklı bağlantıların en sert bölgesinin kaynak metali olduğunu ve kaynak metalinden ana malzemeye doğru gidildikçe sertliğin azaldığını tespit etmiştir.

Ayrıca, kaynaklı numunelerdeki kaynak metalinin sertliğinin ana malzemeden daha yüksek olması, kaynak esnasında kullanılan ilave metaldeki karbon ve diğer alaşım elementlerinin oranıyla ilişkilidir. ITAB'dan ölçülen sertlik değerlerinin, ana malzemeden daha yüksek olmasının sebebi ise bu bölgede meydana gelen tane irileşmesidir.

## **6.9. MAKRO VE MİKROYAPI İNCELEMELERİ**

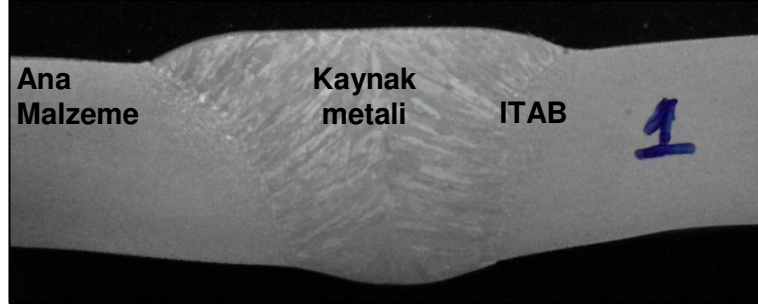
Makroskobik muayene, TS EN 1321 "Melatik Malzemelerdeki Kaynaklarda-Tahribatlı Muayene-Kaynakların Makroskobik ve Mikroskobik Muayenesi" standardına göre yapılmakta olup, kaynaklı birleştirmenin genellikle enine kesitinin incelenmesi ile makroskobik özelliklerinin ortaya çıkarılmasında kullanılmaktadır [63].

### **6.9.1. Makroyapı İncelemeleri**

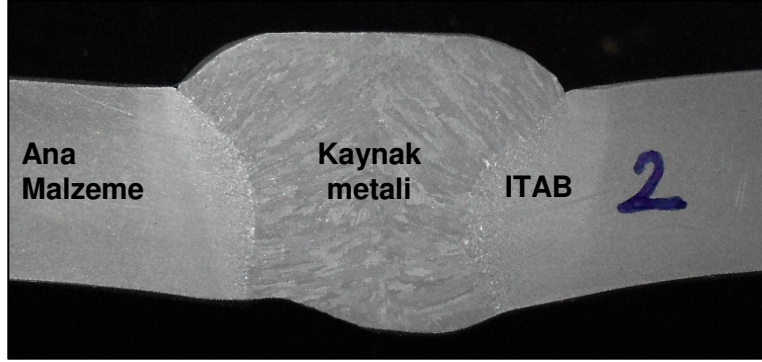
Makroyapı incelemeleri, dağlanmış kaynaklı numunelerin çıplak gözle veya küçük bir büyütme ile incelenmesini kapsamaktadır. Şekil 6.26-6.30 arasında kaynaklı numunelerden görüntülenen makroyapı fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflar incelendiğinde kaynak bölgesinde çatlaklara, yırtılmalara, boşluklara, ergime/nüfuziyet azlığına, curuf kalıntılarına ve yanma oluklarına rastlanılmamıştır. Makroyapı fotoğraflarında, kaynak bölgesinin kaynak metali, ITAB ve ana malzeme olarak belirgin bir şekilde ayırt edilebildiği görülmektedir. Ayrıca, kaynak metalinin tanelerinin ısı akış yönüne yönlendiği ve nüfuziyetin tam olduğu görülmektedir.

Makroyapı fotoğraflarında göze çarpan diğer bir husus da ITAB'ın geniş bir alana yayılmış olmasıdır. Kaynak esnasında parametrelerinden kaynak hızının

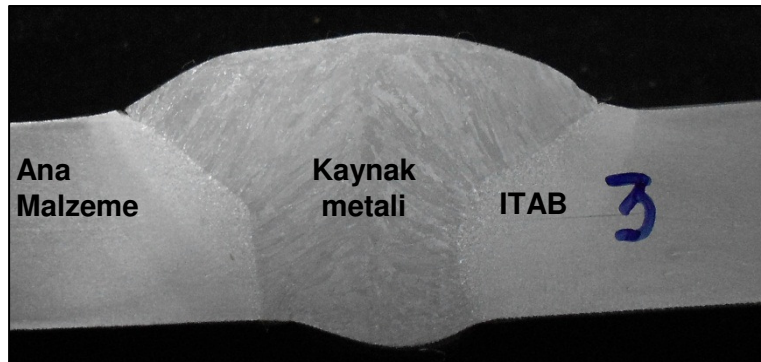
yavaş olması ve kaynak akımının yüksek olması, yüksek ısı girdisine ve dolayısı ile geniş bir ITAB ve kaynak metali oluşumuna neden olmuştur.



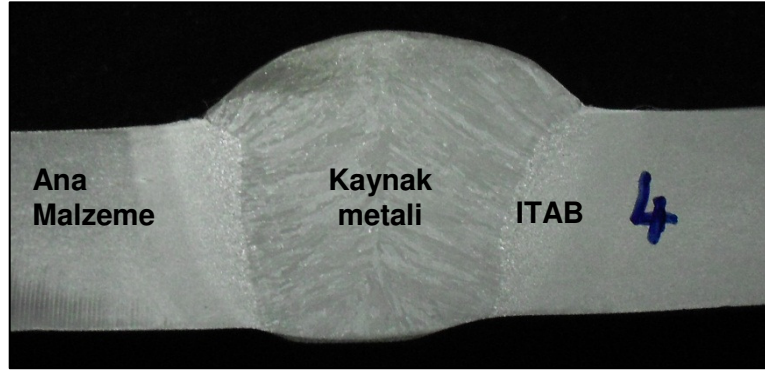
Şekil 6.26. X60-S1 numunesinin makro yapı fotoğrafı.



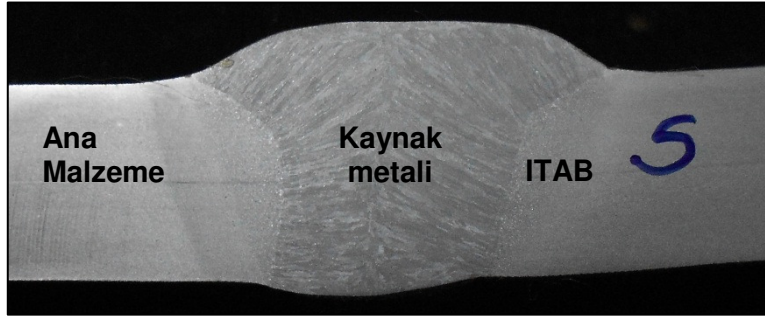
Şekil 6.27. X65-S1 numunesinin makro yapı fotoğrafı.



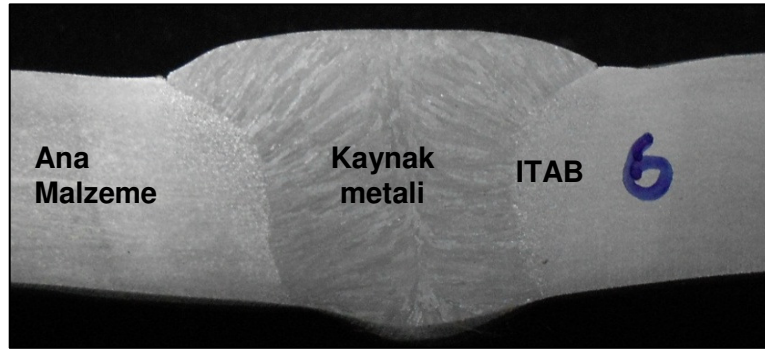
Şekil 6.28. X70-S1 numunesinin makro yapı fotoğrafı.



Şekil 6.29. X60-S2Mo numunesinin makro yapı fotoğrafı.



Şekil 6.30. X65-S2Mo numunesinin makro yapı fotoğrafı.

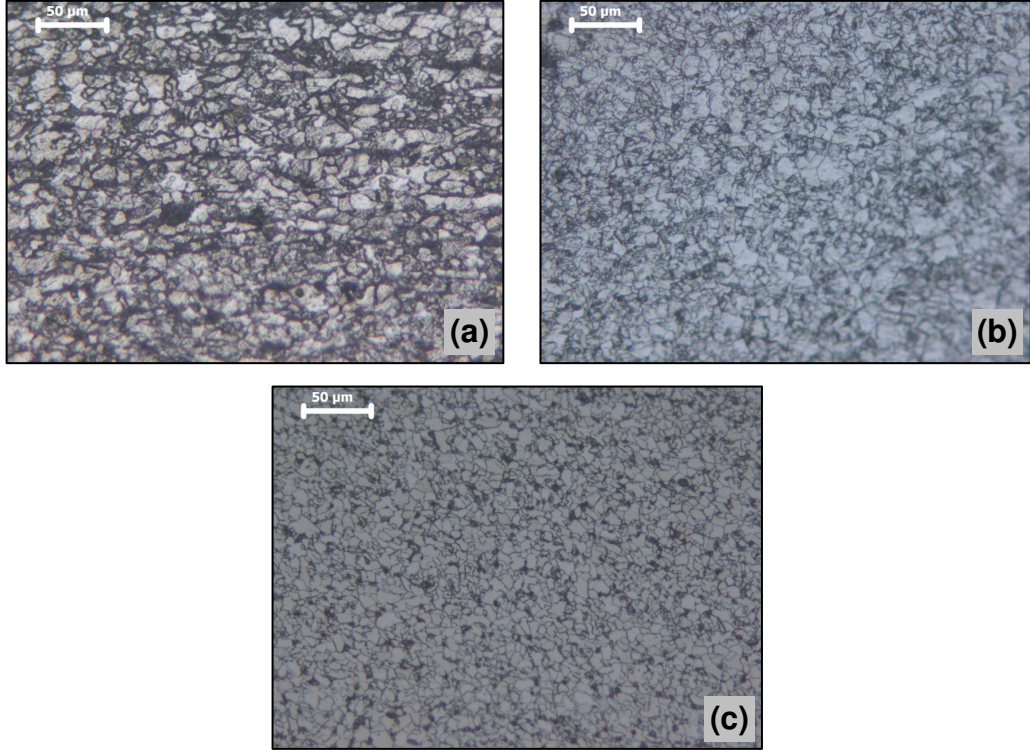


Şekil 6.31. X70-S2Mo numunesinin makro yapı fotoğrafı.

### 6.9.2. Mikroyapı İncelemeleri

Şekil 6.32'de kaynak işlemlerinde kullanılan ana malzemelerin (X60, X65 ve X70) mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Ana malzeme mikro yapı fotoğraflarına bakıldığında malzemelerin tipik eş eksenli, perlit ve ferritten oluşan, ince taneli bir

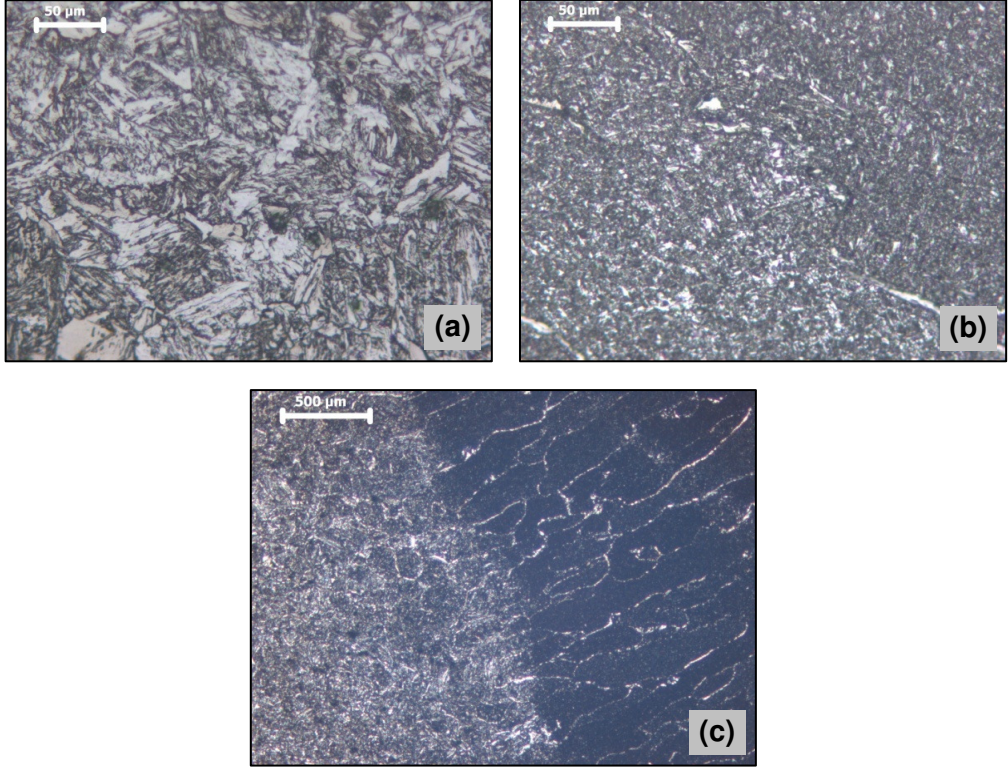
yapıya sahip olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, kaynak için seçilen malzemelerden X70 malzemesi en ince tane yapısına sahip iken, bu malzemeyi sırasıyla X65 ve X60 malzemeleri takip etmektedir.



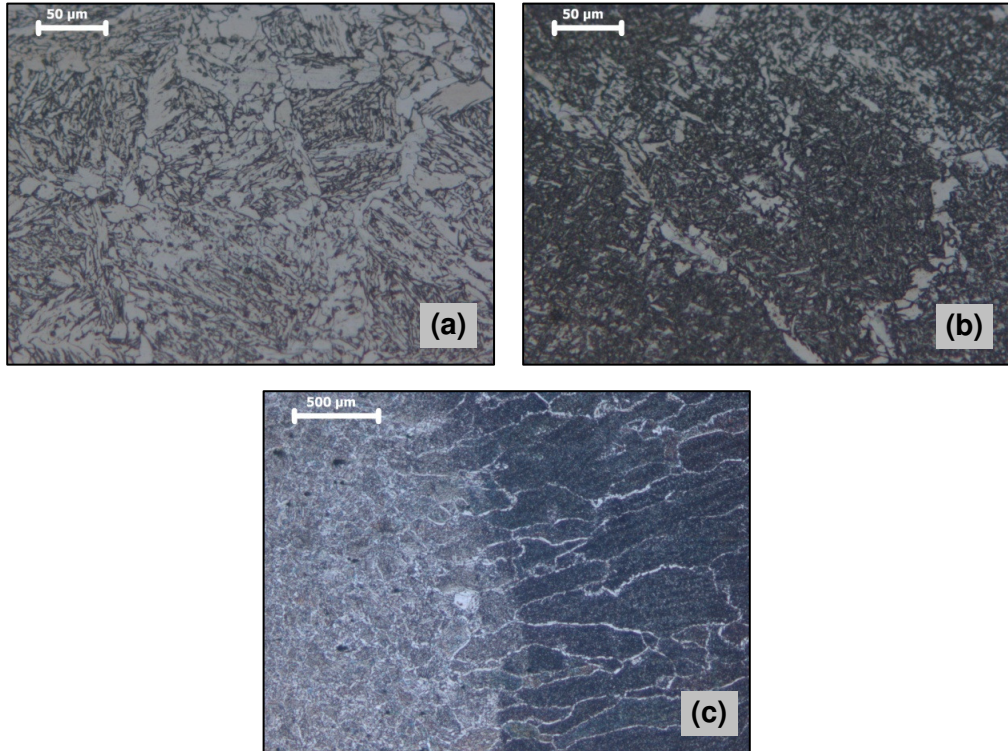
Şekil 6. 32. Ana malzeme mikro yapı görüntüleri a) X60, b) X65 ve c) X70.

Şekil 6.33-6.38’de ITAB, kaynak metali ve ITAB–kaynak metali geçiş bölgelerinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Görüntüler genel olarak değerlendirildiğinde, tüm birleştirmelerde kaynak metalleri, ITAB’lar ve kaynak ergime sınırına bitişik bölgelerin birbirlerine benzer görüntüler sergilediği belirlenmiştir. Ayrıca, tel ve toz bileşimi etkileri hariç, tüm numunelerdeki ısı girdisi sabit olduğundan, gerek kaynak metalleri, gerekse ITAB tane boyutlarının birbirlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin (a) ve (b) kodlu ITAB ve kaynak metali görüntüleri incelendiğinde kaynak metaline doğru incelen ferritik ve perlitik yapılar görülmektedir. Görülen beyaz alanlar “ferrit”, siyah olarak görülen alanlar ise ince taneli “perlitik” yapılarıdır. Ayrıca (a) ve (b) kodlu ITAB ve kaynak metali mikroyapı fotoğraflarında değişik oranlarda görülen ötektoid öncesi ferrit fazı, tane sınırlarında uzun ve/veya geniş boyutlarda widmanstatten yapılar ile tane içi widmanstatten yapılar görülmektedir.

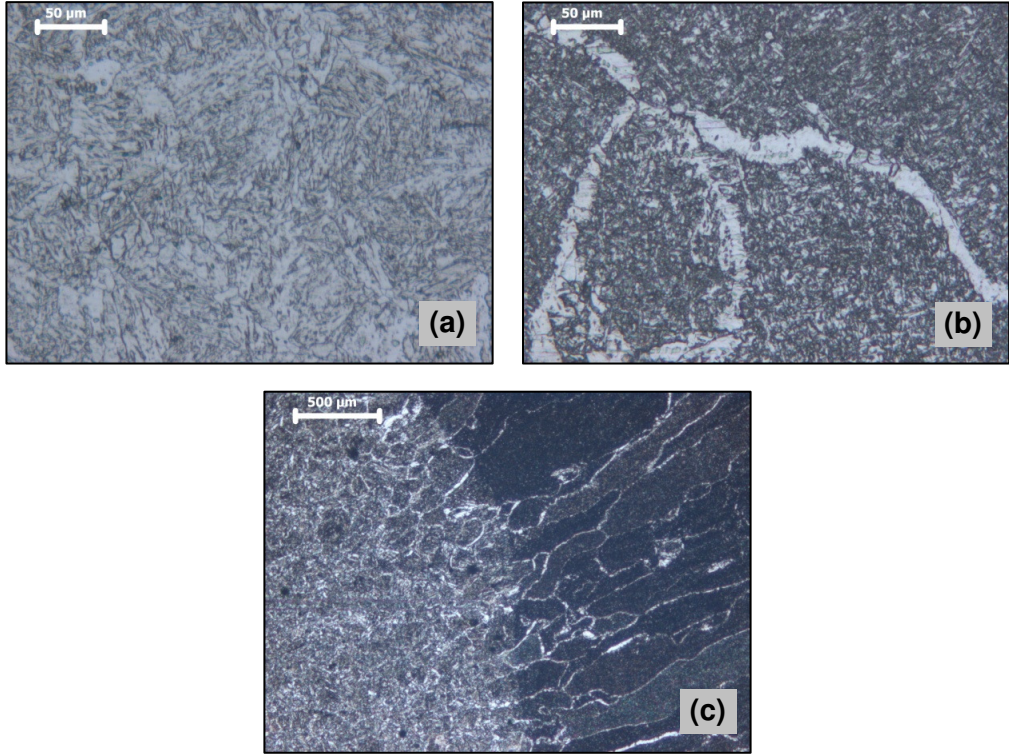




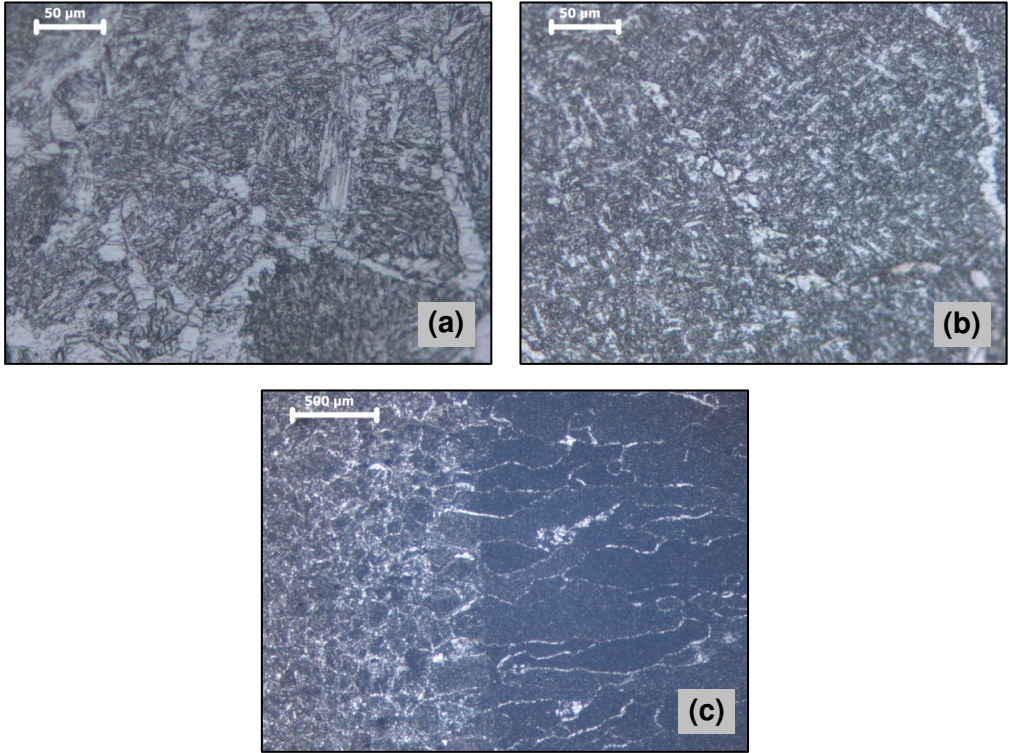
Şekil 6.33. X60-S1 numunenin mikro yapı fotoğrafları a) ITAB, b) kaynak metali c) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.



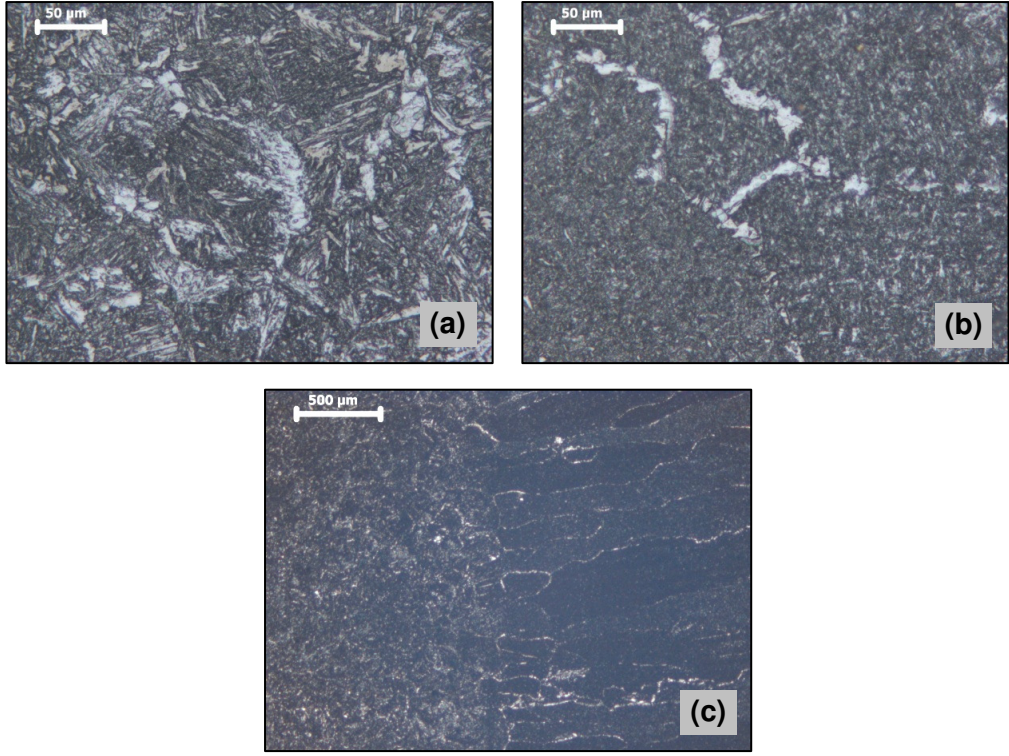
Şekil 6.34. X65-S1 numunenin mikro yapı fotoğrafları a) ITAB, b) kaynak metali c) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.



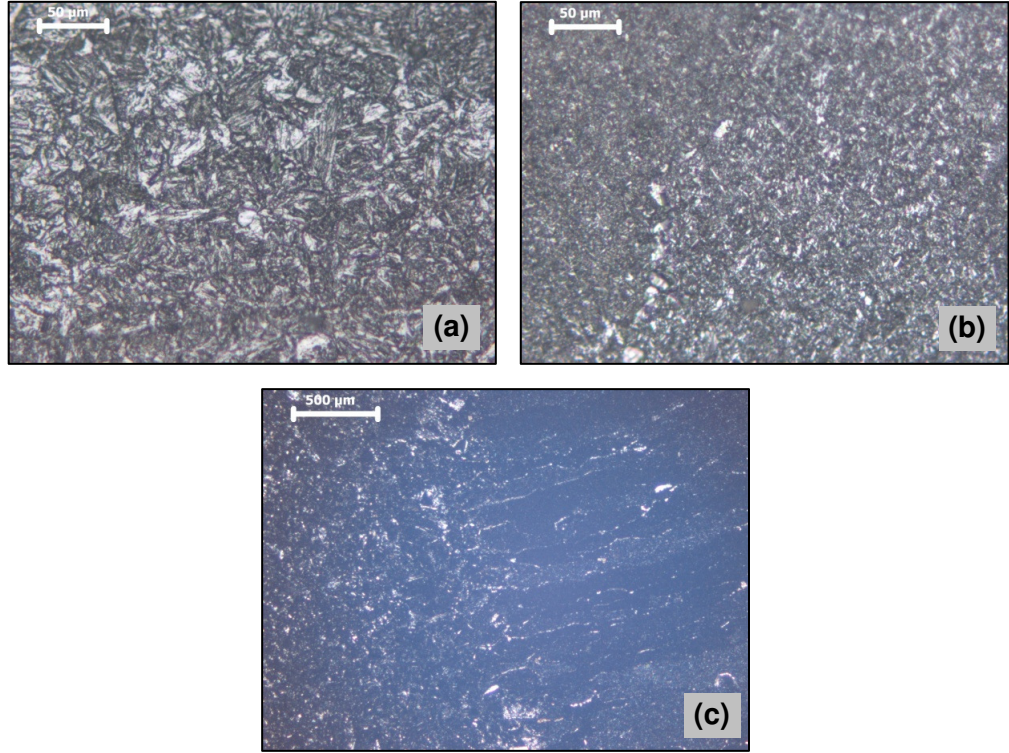
Şekil 6.35. X70-S1 numunenin mikro yapı fotoğrafları a) ITAB, b) kaynak metali c) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.



Şekil 6.36. X60-S2Mo numunenin mikro yapı fotoğrafları a) ITAB, b) kaynak metali c) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.



Şekil 6.37. X65-S2Mo numunenin mikro yapı fotoğrafları a) ITAB, b) kaynak metali c) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.



Şekil 6.38. X70-S2Mo numunenin mikro yapı fotoğrafları a) ITAB, b) kaynak metali c) ITAB–kaynak metali geçiş bölgesi.

Numunelerin (c) kodlu mikroyapı görüntüleri genel olarak incelendiğinde, ısı tesiri altında kalan bölgede, tane boyutunun büyüdüğü, kolonsal formda olduğu ve ana metale doğru uzadığı görülmektedir. Literatürde [11], tozaltı ark kaynak yönteminde düşük hızlarda kaba ve kolonsal taneler elde edilirken, yüksek hızlarda daha düzensiz ve ince yapılı taneler elde edilmesinden söz edilmiştir. Ayrıca yapılan araştırmalarda [64,65], yüksek enerji girişinin soğumayı ve katılaşmayı yeterince yavaşlattığı, bu durumda oluşan yapıların daha fazla kabalaşmasına neden olduğu belirtilmiştir. Bütün numunelerde kaynak hızı 15 cm/dk olduğu için kaynak metalinde kaba ve kolonsal taneler oluşmuştur. Ayrıca kaynak metalinde oluşan tanelerin kaynak metali merkezine doğru yönlendikleri görülmektedir. Literatürde [58], düşük karbonlu ve düşük alaşımlı kaynak metalinde soğuma hızına bağlı olarak oluşan yapılar, tane sınırı ferriti, widmanstatten ferrit, asiküler ferrit ve perlit olabileceği belirtilmektedir. Çalışma sonucunda ağırlıklı olarak kaynak metalinde asiküler ferrit ve perlit taneleri olduğu gözlemlenmiştir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 7.1. SONUÇLAR

Düşük alaşımlı, ince taneli, yüksek mukavemetli X60, X65 ve X70 çeliklerin, tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı tel ve toz çeşitleri kullanılarak birleştirildiği bu çalışma sonucunda;

- Kaynaklı numunelere gözle yapılan muayene sonucunda, kaynak yüzey hatalarına (eksik veya fazla kaynak kepi, kökte sarkma vb) rastlanılmamıştır.
- Kaynaklı numunelere yapılan tahribatsız testler (ultrasonik ve radyografik) sonucunda, kaynak bölgesinde, çatlak, gözenek, gaz boşluğu vb kaynak hatalarının bulunmadığı tespit edilmiştir.
- Çekme testleri sonucunda, bütün numunelerde kopma, kaynak bölgesi dışında meydana gelmiş ve kaynaklı numunelerin çekme dayanımları, ana malzemelerden daha yüksek değerlerde ölçülmüştür.
- Çalışma sonucunda, S2Mo ve P223 tel-toz kombinasyonunun, S1 ve LN 761 tel-toz kombinasyonundan, mekanik özellik bakımından daha üstün olduğu tespit edilmiştir.
- Çentik darbe testlerinde, kaynak metali tokluk değerleri, ITAB tokluk değerlerinden düşük bulunmuştur.
- Kaynak metaline ilave edilen Mn elementinin, çentik darbe dayanımını yüksek ölçüde arttırdığı sonucuna varılmıştır.

- API 5L standardındaki X60, X65 ve X70 malzemelerinin petrol ve doğalgaz iletim hatlarında kullanımını için -20 °C, 0 °C ve 20 °C sıcaklıklarında çalışma şartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir.
- Kaynaklı numunelere, her iki yöne uygulanan eğme testlerinde (kök ve kep eğme), kaynaklı numuneler 180°'ye kadar sorunsuz bir şekilde eğilebilmiştir.
- Tüm numunelerde en yüksek sertlik değerleri kaynak metalinden, en düşük sertlik değerleri ise ana malzemelerden ölçülmüştür.
- Tozaltı ark kaynağı ile gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde kaynak esnasında kullanılan tel ve tozların, kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini etkiledikleri sonucuna varılmıştır.

## 7.2. ÖNERİLER

- Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin, tozaltı ark kaynağı ile birleştirildikten sonra, servis şartlarına göre, darbe geçiş sıcaklıkları çalışılabilir.
- Kaynaklı bölgenin korozyon özellikleri belirlenebilir.
- Kaynaklı malzemeler üzerinde, özellikle açılmalık kalıntı gerilme ölçümleri yapılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Petrogas, "Dünya daha çok enerji istiyor", *Petrogas, Botaş Vakfı Yayın Organı*,10:30-32 (1999).
2. Ada, H., "Petrol ve doğalgaz boru hatları için üretilen boruların Tozaltı ve spiral kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14-69 (2006).
3. Erengin, A., "Ark esaslı kaynak yöntemleriyle yapılan uygulamalarda, kutuplama durumu ile ilave malzeme–ergime verimi ilişkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul,16-37 (2009).
4. Kahraman, N., Gülenç B., "Modern Kaynak Teknolojisi", *EPA-MAT Basım Yayın*, Ankara, 30-38 (2009).
5. Akkaş, N., "Tozaltı köşe kaynağında yapay zeka teknolojileri kullanılarak dikiş geometrisinin modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 6-18 (2006).
6. Süzen, A., "Gemi saclarının kaynak bağlantılarında kaynak parametrelerinin dikiş geometrisine etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 28-39 (2009).
7. Kılınçer, S., "Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12-22 (1998).
8. Özakin, N., "AH ve DH kalite gemi saclarının değişik kaynak yöntemleri ve kaynak pozisyonlarındaki mekanik özelliklerinin ve mikroyapılarının irdelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 55-78 (2010).
9. Kayakök, V., "Tozaltı ve magc kaynak yöntemlerinde kaynak ağızı – nüfuziyet ilişkisinin incelenmesi ve ekonomik yönden kıyaslanması", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 17-56 (2009).
10. Şirin, K., Akın, Ü., ve Akgüllü, E., "Tozaltı kaynak yöntemi ile spiral dikişli boru üretiminde kaynak parametrelerinin belirlenmesi", *Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi*, İstanbul, 151-156 (2001).
11. Durgutlu, A., Gülenç, B., ve Tülbentçi, K., "Ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete ve mikroyapıya etkisi", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 23: 251-259 (1999).

12. Gülenç, B., Candan, İ. and Kahraman, N., “Mig–Mag kaynağı ile birleştirilen boruların tahribatlı ve tahribatsız muayenesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21 (4): 631-637 (2006).
13. Kahraman, N., Gülenç, B. and Durgutlu, A., “Tozaltı ark kaynağı ile kaynaklanan düşük karbonlu çeliklerde serbest tel uzunluğunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması”, *G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 18 (3): 473-480 (2005).
14. Apay, S., “Tozaltı sert dolgu kaynağına bor tozu ilavesinin aşınma özellikleri üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 12-14 (2007).
15. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı MEGEP “Metal Teknolojisi Tozaltı Kaynağı” [http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/tozalti\\_kaynagi.pdf](http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/tozalti_kaynagi.pdf) (2006).
16. Işıklar, M., “Farklı boyutlardaki şaselerin kaynak aparatının tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 24-40 (2009).
17. Anık, S., “Kaynak Tekniği El Kitabı”, *Gedik Eğitim Vakfı*, İstanbul, 70-82 (1991).
18. Candan, İ., “Çelik boruların MIG-MAG kaynağında kaynak pozisyonunun nüfuziyet mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 26-79 (2004).
19. Külahlı, E., “Kaynak Bilimi”, *Oerlikon Yayını*, İstanbul, 2-23 (1988).
20. Kaluç, E., Tülbentçi, K., “Boru hatlarında kullanılan çelik borulara ark kaynağı yöntemlerinin uygulanması”, *Mekanik Bağlantı*, 2: 40-48 (2006).
21. Kaba, S., “Doğalgaz boru hatlarındaki kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 36-59 (2009).
22. Korkmaz, Ö. E., “Uçaklarda kullanılan alüminyum malzemelerdeki korozyonun incelenmesi, önlenmesi ve tahribatsız muayene ile tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 55-72 (2010).
23. Kahraman, N., “Kaynaklı bağlantılara uygulanan ısıl işlemler ve muayene yöntemleri”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Lisansüstü Ders Notları, Karabük, 63-95 (2010).
24. internet: Milli Eğitim Bakanlığı “Uçaklarda Tahribatsız Muayene” [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/modul\\_pdf/525MT0004.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/525MT0004.pdf) (2012).



25. Seçim, C., “Tahribatsız muayene yöntemleri ve uygulama alanları”, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 20-28 (2011).
26. Yaşar, T., “Radyografi yöntemi ile kaynak dikişlerinde hata tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 11-24 (2010).
27. Özkırmaz, E., “Kaynaklı bağlantıların tahribatsız muayene yöntemiyle optimum kaynak değerlerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 12-23 (2009).
28. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı, “Metalürji Alanı Tahribatsız Muayeneler” [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/modul\\_pdf/521MMI283.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/521MMI283.pdf) (2006).
29. Tuncer, E., “Kaynaklı bağlantıların ultrasonik ve radyografik muayenelerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 30-43 (2001).
30. Doyum, B., “Işınım üretimi”, Radyografik Muayene 1. Seviye Kurs Notları, *ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Merkezi*, Ankara, (2001).
31. Onursal, M., “Uçaklarda kullanılan metal malzemelere uygulanan tahribatsız muayeneler”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 42-55 (2010).
32. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı, “Metal Teknolojisi Tahribatsız Muayene” [http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/tahribatsiz\\_muayene.pdf](http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/tahribatsiz_muayene.pdf) (2006).
33. Kaya, B., “Muayenede teknolojik gelişmeler”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 62-77 (1992).
34. Anonim, “Giriş”, Manyetik Parçacık Muayenesi Seviye 1 Eğitim Notları, *Tekkon Teknoloji ve Kontrol Ltd. Şti.*, Ankara, 2-8 (2004).
35. Kökdemir, E., “Alaşımız yapı çeliği levhalarında kaynak dikişlerinin ultrasonik muayenesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 28-36 (2007).
36. internet: Karadeniz Teknik Üniversitesi “Tahribatsız Muayene” <http://makina.ktu.edu.tr/dosyalar/lisans/laboratuvarfoyleri/lab21.pdf> (2009).
37. Kurt, K., “DH 36 gemi sacının farklı kaynak yöntemleri ile mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 21-32 (2008).

38. Asarkaya, M., “Gemi inşasında kullanılan kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 54-86 (2006).
39. Savaşkan, T., “Malzeme Muayenesi”, Malzeme bilgisi ve muayenesi, *Akademi Yayınları*, Trabzon, 318-368 (2004).
40. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı, “Metal Teknolojisi Tahribatlı Muayene” [http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/tahribatli\\_muayene.pdf](http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/tahribatli_muayene.pdf)
41. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı, “Metal Teknolojisi Sertlik Ölçme Yöntemleri” [http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/sertlik\\_olcme\\_yontemleri.pdf](http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/sertlik_olcme_yontemleri.pdf)
42. Lu, S., Kwon, O., Kim T. and Kim, K., “Microstructure and wear property of Fe Mn–Cr–Mo–V alloy cladding by submerged arc welding”, *Journal of Materials Processing Technology*, 147: 191-196 (2003).
43. Mercado-paniagua, A., Lopez-Hirata, V. and Munoz, M., “Influence of the chemical composition of flux on the microstructure and tensile properties of submerged-arc welds”, *Journal of Materials Processing Technology*, 169: 346-351 (2005).
44. Shena, S., Oguocha, I.N.A. and Yannacopoulos, S., “Effect of heat input on weld bead geometry of submerged arc welded ASTM A709 Grade 50 steel joints”, *Journal of Materials Processing Technology* 212: 286–294 (2012).
45. Moeinifar, S., Kokabi, A.H. and Madaah Hosseini, H.R., “Role of tandem submerged arc welding thermal cycles on properties of the heat affected zone in X80 microalloyed pipe line steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, 211: 368-375 (2011).
46. Kumares B.S.P. and Natrajan, S., “Influence of heat input on high temperature weldment corrosion in submerged arc welded power plant carbon steel”, *Materials and Design*, 29: 1036-1042 (2008).
47. Gülenç, B. and Kahraman, N., “Wear behaviour of bulldozer rollers welded using a submerged arc welding process”, *Materials and Design*, 24: 537-542 (2003).
48. Nowacki, J. and Rybicki, P., “The influence of welding heat input on submerged arc welded duplex steel joints imperfections”, *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165: 1082-1088 (2005).
49. Singh, K. and Pandey, S., “Recycling of slag to act as a flux in submerged arc welding”, *Resources, Conservation and Recycling*, 53: 552-558 (2009).

50. Hua, S., Wei, C., Qiang, L., Ge, S. and An, Z., "Effect of submerged arc welding flux component on softening temperature", *Journal of Iron and Steel Research, Internation*, 13: 65-68 (2006).
51. Tusek, J. and Suban, M., "High-productivity multiple-wire submerged-arc welding and cladding with metal-powder addition", *Journal of Materials Processing Technology*, 133: 207-213 (2003).
52. Gunaraj, V. and Murungan, N., "Prediction and comparison of the area of the heat affected zone for the bead-on-plate and bead-on-joint in submerged arc welding of pipes", *Journal of Materials Processing Technology*, 95: 246-261 (1998).
53. Chandel, R.S., Seow, H.P. and Cheong, F.L., "Effect of increasing deposition rate on the bead geometry of submerged arc welds", *Journal of Materials Processing Technology*, 72: 124-128 (1997).
54. Peng, Y., Chen, W. and Xu, Z., "Study of high toughness ferrite wire for submerged arc welding of pipeline steel", *Materials and Design*, 47: 67-73 (2001).
55. Kiran, D. V., Basu B. and De, A., "Influence of process variables on weld bead quality in two wire tandem submerged arc welding of HSLA steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 212 (10): 2041-2050 (2012).
56. Dündar, B., "Tozaltı kaynak yönteminde altlık olarak kullanılan kaynak yöntemlerinin kaynak yeterliliklerinin ve maliyetlerinin karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 58-76 (2010).
57. Kaçar, R. and Kokemli, K., "Effect of controlled atmosphere on the Mig-Mag arc weldment properties", *Materials & Design*, 26 (6): 508-516 (2005).
58. Yükler, İ., 'Kaynak Metali', *Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası*, İstanbul, 52-64 (1994).
59. Durgutlu, A., Kahraman, N. Ve Gülenç, B., "Tozaltı ark kaynağında kaynak tozunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi", *Gazi Üniv. End. Sanatlar Eğitim Fak. Dergisi*, 10 (11): 1-8 (2002).
60. Çetinkaya, C., "Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (2): 279-293 (1999).
61. Kim, J. H., Oh, Y. J., Hwang, II S., Kim, D. J., Kim, Jeong T., Fracture behavior of heat-affected zone in low alloy steels, *Journal of Nuclear Materials* 299: 132-139 (2001).

62. Kaya, Y., Kahraman, N., Durgutlu, A. ve 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).
63. TS EN 1321, “Metalik malzemelerdeki kaynaklarda-Tahribatlı muayene-Kaynakların makroskobik ve mikroskobik muayenesi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (Nisan 2001).
64. Eroğlu, M. ve Aksoy M.,”Enerji girişinin kaynak metali mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi”, Bilim Günleri, Bildiriler Kitabı, *Makine Mühendisleri Odası*, Denizli, 434-439 (1999).
65. Kılınçer, S. ve Kahraman, N., “AISI 409 ve Ç1010 çeliğin östenitik elektrod kullanarak MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 24 (1): 23-31 (2009).

## ÖZGEÇMİŞ

Ali Akın AKAY 1984 yılında Ankara’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Mobil lisesi matematik-fen Bölümü’nden mezun oldu. 2004 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü’nde Öğrenimine başlayıp 2008 yılında mezun oldu. 2009 yılında Ankara Sincan Organize Sanayi Bölgesi’nde bulunan Emek Boru Makine AŞ.’ de ultrasonik muayene operatörü olarak göreve başladı. 2009 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı’nda tamamladı. Halen Emek Boru Makine AŞ. ‘de çalışmaya devam etmektedir.

### ADRES BİLGİLERİ

Adres : Gökçek Mahallesi 362. sokak, Keremkent sitesi, 42/20  
Sincan / ANKARA

Telefon : (537) 323 62 89

E-posta : aliakinakay@live.com