

**DOĞALGAZ BORU HATLARINDAKİ KAYNAKLI  
BİRLEŞTİRMELERİN RADYOGRAFİK MUAYENESİ**

**Sedat KABA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2009  
ANKARA**

Sedat KABA tarafından hazırlanan DOĞALGAZ BORU HATLARINDAKİ KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERİN RADYOGRAFİK MUAYENESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet TÜRKER .....  
Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

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

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ .....  
Metal Eğitimi, Karabük Üniversitesi, T.E.F.

Prof. Dr. Mehmet TÜRKER .....  
Metal Eğitimi, Gazi Üniversitesi, T.E.F.

Yrd. Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU .....  
Metal Eğitimi, Gazi Üniversitesi, T.E.F.

Tarih : 23 / 06 / 2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**DOĞALGAZ BORU HATLARINDAKİ KAYNAKLI  
BİRLEŞTİRMELERİN RADYOGRAFİK MUAYENESİ**

**( Yüksek Lisans Tezi )**

**Sedat KABA**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2009**

**ÖZET**

Doğalgaz boru hatlarının imalat ve montaj aşamasında yapılan kontroller kalite, insan ve çevre güvenliği açısından önem arz etmektedir. Teknik dışı yapılacak bir işlemin veya en küçük bir yanlış değerlendirmenin emniyet faktörüne yapacağı olumsuz etki bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışmada çelik doğalgaz borularının birleşme noktalarındaki kaynaklı bölgeler radyografik muayeneye tabii tutulmuştur. Bunun için X ışını ve gama ışını cihazları kullanılarak boruların çok sayıda filmleri çekilmiştir. İncelemeler sonucunda sık görülen değişik kaynak hataları tespit edilerek sebepleri araştırılmış, hatayı gidermek ve kaliteyi artırmak için yorumlar yapılarak çözümler geliştirilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda bu hataların API 1104 standardına göre kabul edilebilir olup olmadığı yönünde değerlendirmeler yapılmıştır.

**Bilim Kodu : 710.3.019**

**Anahtar Kelimeler : Radyografi, X ve Gama Işınları, Boru Hattı Kaynakları.**

**Sayfa Adedi : 166**

**Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Mehmet TÜRKER**

**THE RADIOGRAPHIC EXAMINATION OF WELDED  
JOINTS NATURAL GAS PIPELINES**

**( M. Sc. Thesis)**

**Sedat KABA**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2009**

**ABSTRACT**

**The controls done during production and mounting of natural gas pipe lines have importance for the quality, human and environmental safety. It is well known that an operation without following the technique or even a small flaw in the evaluation will cause harmful effects. For this reason, in this study the welded connection regions of steel natural gas pipes are tested. X-rays and gamma rays are applied in order to take several films of the pipes. After completing the investigations, it was observed that there were some common welding flaws. In order to overcome the problems due to processing flaw and to improve the quality, we offered different suggestions and possible solutions. In the meantime, it was also evaluated whether the processing flaws are acceptable according to API 1104 standards.**

**Science Code : 710.3.019**

**Key Words : Radiography, X and Gamma Ray, Pipeline Welding.**

**Page Number : 166**

**Adviser : Prof. Dr. Mehmet TÜRKER**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Mehmet TÜRKER'e ve bölüm hocalarına yine imkânlarından ve tecrübelerinden yararlandığım Bursa - Röntgensan Ltd. Şti. ve çalıőanlarına, Bursa-Gaz Dağıtım Şirketi çalıőanlarına, beni destekleyen aileme ve arkadaşlarıma teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxii
1. GİRİŞ .....	1
2. RADYOGRAFİ .....	4
2.1. X ve Gama Işınları.....	5
2.2. X ve Gama Işınlарının Ortak Özellikleri.....	6
2.3. X ve Gama Işınlарının Madde ile Etkileşmesi.....	7
2.3.1. Fotoelektrik olayı.....	7
2.3.2. Kompton etki.....	8
2.3.3. Çift oluşum olayı.....	9
2.4. X Işını Üretimi.....	10
2.4.1. X ışını tüpü.....	11
2.4.2. Anot ve katot.....	11
2.4.3. Hedef malzemesi.....	12
2.4.4. X ışını tüpünün soğutulması.....	12

	<b>Sayfa</b>
2.4.5. Kontrol paneli.....	12
2.5. X Işını Cihazı.....	13
2.6. Gama Işınları.....	15
2.6.1. Radyografide kullanılan radyoizotopların özellikleri.....	16
2.7. Gama Cihazları.....	18
2.7.1. Muhafaza kabı veya ışınlama kabı.....	20
2.7.2. Gönderme (uzaktan kumanda) borusu.....	21
2.8. Radyograf Kalitesi.....	22
2.8.1. Radyografi görüntü kalite faktörleri.....	25
2.8.2. Penetremetreler.....	32
2.9. Radyografik Işınlama ve Film Çekim Teknikler.....	37
2.9.1. Radyografide kullanılan ışınlama hesapları.....	37
2.9.2. Tüp gerilimi ve radyasyon kaynağının seçimi.....	39
2.9.3. Boru kaynakları - Radyografik film çekim teknikleri.....	42
2.10. Radyografik Film – Banyo Teknikleri.....	46
2.10.1. Karanlık oda.....	46
2.10.2. Banyo kimyasalları.....	46
2.10.3. Film banyosu.....	48
2.11. Raporlar.....	48
3. DİJİTAL RADYOGRAFİ.....	50
3.1. Radyoskopik Muayene Metodunun Temel Özellikleri.....	51
3.2. Sistem Performansı.....	54
4. DOĞALGAZ BORULARI.....	55

	<b>Sayfa</b>
4.1. Hat Borularının İmal Usulleri.....	55
4.2. Kimyasal ve Mekanik Özellikleri.....	58
5. HAT BORULARINDA UYGULANAN KAYNAK METODLARI.....	60
5.1. Örtülü Elektrod İle Ark Kaynağı.....	62
5.1.1. Çelik boruların kaynağında kullanılan örtülü elektrodlar.....	63
5.1.2. Boru hatlarının örtülü elektrod ile kaynağında uygulanan teknikler...64	64
5.2. Otomatik MİG / MAG Kaynağı.....	68
5.2.1. Boru hatlarının otomatik kaynağında kullanılan koruyucu gazlar.....71	71
5.2.2. Boru hatlarının otomatik kaynağında kullanılan elektrodlar.....72	72
5.3. Tozaltı Conta Kaynağı.....	73
5.3.1. Kaynak akmasının engellenmesi.....74	74
5.3.2. Tel pozisyonun kaynağa etkisi.....74	74
5.3.3. Kaynak hızı ve kaynak akımının kaynağa etkisi.....75	75
6. BORU HATLARININ KAYNAĞI.....	77
6.1. Kaynak İşlemine Hazırlık.....	77
6.1.1. Isıl işlem aşamaları.....77	77
6.1.2. Çevre şartları.....79	79
6.1.3. Boruların kaynaklanmasında kaynak ağzı hazırlığı.....79	79
6.2. Boru Kaynağında Kullanılan Kaynak Sırası.....	83
6.2.1. Kök pasosu.....83	83
6.2.2. Sıcak pasosu.....84	84
6.2.3. Dolgu pasosu.....85	85
6.2.4. Kapak pasosu.....85	85



	<b>Sayfa</b>
6.2.5. Kaynak sonrası yapılan işlemler.....	86
<b>7. KAYNAK HATALARI.....</b>	<b>87</b>
7.1. Nüfuziyet Eksikliği.....	87
7.2. Gözenek.....	89
7.3. Cüruf Kalıntıları.....	90
7.4. Birleşme Eksikliği.....	91
7.5. Yanma Çentiği / Oluğu.....	92
7.6. Çatlaklar.....	93
7.6.1. Kaynak metali çatlakları.....	94
7.6.2. Esas metal çatlakları.....	95
7.7. İç Konkavite.....	96
7.8. Eksen Kaçıklığı.....	97
<b>8. TAHRİBATSIZ MUAYENELER İÇİN API 1104 KABUL STANDARTLARI.98</b>	
8.1. Eksen Kaçıklığı Olmayan Durumda Yetersiz Nüfuziyet (IP).....	98
8.2. Eksen Kaçıklığı Olan Durumda Yetersiz Nüfuziyet (IPD).....	99
8.3. Kaynaklar Arası Yetersiz Nüfuziyet (ICP).....	99
8.4. Yetersiz Ergime (IF).....	100
8.5. Ergime Noksanlığı (IFD).....	101
8.6. Kökte İçbükeylik (IC).....	101
8.7. Yakıp-Delme (BT).....	102
8.8. Cüruf Kalıntısı (SI).....	103
8.9. Gözenek.....	103
8.10. Çatlaklar (C).....	104

	<b>Sayfa</b>
8.11. Yanma Çentiği /Oluğu.....	105
8.12. Kaynak Hatalarının Toplanması.....	105
9. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	108
9.1. Deneyde Kullanılan Cihazlar.....	109
9.2. Deneyde Kullanılan Film Çekim Geometrileri.....	111
9.2.1. Bir nolu numuneler için (1 <sup>1/2</sup> " - 2" - 2 <sup>1/2</sup> " ) elips çekim pozisyonu.....	111
9.2.2. İki nolu numuneler için ( 3" ) çekim pozisyonu.....	112
9.2.3. Üç nolu numuneler için ( 4" ) çekim pozisyonu.....	112
9.2.4. Dört nolu numuneler için ( 6" ) çekim pozisyonu.....	113
9.2.5. Beş nolu numuneler için ( 16" ) çekim pozisyonu.....	113
9.2.6. Altı nolu numuneler için ( 16" ) çekim pozisyonu.....	114
9.2.7. Yedi nolu numuneler için ( 16" ) çekim pozisyonu.....	115
9.2.8. Sekiz nolu numuneler için çekim pozisyonu.....	115
9.3. Gama ve X Işını Radyografi Çekimi Deney Koşulları.....	117
9.4. Deneyde Kullanılan Çelik Boruların Kaynağı.....	118
9.4.1. Bir nolu numuneler için malzeme ve kaynak bilgileri.....	120
9.4.2. İki nolu numuneler için malzeme ve kaynak bilgileri.....	121
9.4.3. Üç nolu numuneler için malzeme ve kaynak bilgileri.....	122
9.4.4. Dört nolu numuneler için malzeme ve kaynak bilgileri.....	123
9.4.5. Beş, altı ve yedi nolu numuneler için malzeme ve kaynak bilgileri...	124
9.4.6. Sekiz nolu numuneler için malzeme ve kaynak bilgileri.....	125
10. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	127

**Sayfa**

10.1. Bir nolu numunelerin radyografik muayeneleri.....	127
10.1.1. Bir nolu numunelerin radyografik görüntüleri.....	129
10.2. İki nolu numunelerin radyografik muayeneler.....	133
10.2.1. İki nolu numunelerin radyografik görüntüleri.....	134
10.3. Üç nolu numunelerin radyografik muayeneleri.....	136
10.3.1. Üç nolu numunelerin radyografik görüntüleri.....	137
10.4. Dört nolu numunelerin radyografik muayeneleri.....	140
10.4.1. Dört nolu numunelerin radyografik görüntüleri.....	141
10.5. Beş ve altı nolu numunelerin radyografik muayeneleri.....	143
10.5.1. Beş ve altı nolu numunelerin radyografik görüntüleri.....	144
10.6. Yedi nolu numunelerin radyografik muayeneleri.....	147
10.6.1. Yedi nolu numunelerin radyografik görüntüleri.....	148
10.7. Sekiz nolu numunelerin dijital radyografi yöntemi ile kontrolü.....	151
10.7.1. Sekiz nolu numunelerin radyografik görüntüleri.....	152
11. SONUÇLAR.....	157
KAYNAKLAR.....	161
ÖZGEÇMİŞ.....	166

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Radyografide kullanılan gama ışını kaynaklarının fiziksel özellikleri.....	15
Çizelge 2.2. 880 sigma serisi gama radyografi cihazında kullanılan kaynaklar ve özellikleri.....	19
Çizelge 2.3. Standart delikli tip penetremetre ölçüleri.....	33
Çizelge 2.4. Telli penetremetreler (DIN 54 109).....	35
Çizelge 2.5. Penetremetrelerdeki tellerin çap ve görüntü kalite numaraları (DIN 54 109).....	35
Çizelge 2.6. İngiliz penetremetresinin basamak kalınlıkları ve delik çapları.....	36
Çizelge 2.7. X ışını sertlik değerleri.....	40
Çizelge 2.8. Çelik, bakır ve nikel esaslı alaşımlar için tüp gerilimi 1 Mev ve üzerinde olan x ışın teçhizatı ve gama ışın kaynaklarının kalınlık aralığı.....	40
Çizelge 2.9. Çelik, bakır ve nikel esaslı alaşımlar için metal ekranlar ve film sistem sınıfları .....	41
Çizelge 2.10. Geliştirici sıcaklığına bağlı olarak geliştirme işlemi süresi .....	47
Çizelge 3.1. Radyoskopi ile film radyografinin görüntü özelliklerinin Karşılaştırılması.....	53
Çizelge 4.1. Çelik sınıflarına göre boru imalat metotları.....	57
Çizelge 4.2. Dikişli ve dikişsiz boruların kimyasal bileşimi .....	58
Çizelge 4.3. API- 5L' ye göre boruların mekanik özellikleri .....	59
Çizelge 6.1. Boru çapları ve et kalınlıklarına uygun elektrod çapları.....	83
Çizelge 9.1. API 5L Gr B çeliğinin mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimi .....	108

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 9.2. API 5L X65 çeliğinin mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimi.....	108
Çizelge 9.3. Bir nolu numuneler için elips çekim pozisyonu ölçüleri .....	111
Çizelge 9.4. Gama ışını radyografi çekimi deney koşulları.....	117
Çizelge 9.5. X ışını radyografi çekimi deney koşulları.....	117
Çizelge 9.6. Dijital radyografi deney koşulları.....	118
Çizelge 9.7. Elektrod sınıfları ve özellikleri.....	119
Çizelge 9.8. Elektrodların mekanik özellikleri.....	119

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Radyografinin şematik gösterilişi.....	4
Şekil 2.2. Elektromanyetik dalga grubu.....	6
Şekil 2.3. Fotoelektrik etki.....	8
Şekil 2.4. Kompton olayı .....	9
Şekil 2.5. X ışını tüpü .....	10
Şekil 2.6. Döner tip kapalı gama radyografi kaynağı.....	19
Şekil 2.7. Kaynağı zırhın dışında bir noktaya getirmek.....	20
Şekil 2.8. Projeksiyon tipi gama ışını cihazı ekipmanları.....	20
Şekil 2.9. Bir gama radyografi cihazının tipik çalışması.....	21
Şekil 2.10. Görüntü netlikleri ile ilgili örnekler.....	22
Şekil 2.11. Kontrast ile ilgili örnekler.....	23
Şekil 2.12. İç saçılma.....	24
Şekil 2.13. Yan duvardan saçılma.....	24
Şekil 2.14. Radyasyonun geri saçılması .....	25
Şekil 2.15. Radyografik görüntü ve yarı gölge oluşum geometrisi.....	26
Şekil 2.16. Filmin yapısı.....	28
Şekil 2.17. X ışını için poz grafiği.....	31
Şekil 2.18. ASTM tipi delikli penetremetre.....	33
Şekil 2.19. Tel tipi penetremetre.....	34
Şekil 2.20. İngiliz basamaklı penetremetre.....	36

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.21. Ters kare kanunu.....	38
Şekil 2.22. X ışınları cihazları için en büyük x ışını gerilimleri.....	39
Şekil 2.23. Film dışarıda, radyasyon kaynağı içerde tek cidar ışınlama.....	42
Şekil 2.24. Film içerde, radyasyon kaynağı dışarıda tek cidar ışınlama.....	42
Şekil 2.25. Film dışarıda, radyasyon kaynağı parçanın merkezinde tek cidar ışınlama.....	43
Şekil 2.26. Film ve radyasyon kaynağı dışarıda çift cidar - tek görüntü ışınlama teknikleri.....	44
Şekil 2.27. Film ve radyasyon kaynağı dışarıda çift cidar – çift görüntü ışınlama teknikleri.....	45
Şekil 3.1. Radyoskopik sistem.....	50
Şekil 3.2. Muayene sisteminde geometrik ilişkilerin görüntüsü.....	52
Şekil 5.1. Kök paso yukarıdan aşağıya (PG) kaynak yöntemi.....	65
Şekil 5.2. Kök paso aşağıdan yukarıya (PF) kaynak yöntemi.....	65
Şekil 5.3. Boru hatlarında bir contada yukarıdan aşağıya kaynak halinde pasoların görünüşü .....	67
Şekil 5.4. Boru çeliklerinin kaynağında el ile yapılan kaynak ile otomatik kaynakta kaynak ağızlarının karşılaştırılması.....	69
Şekil 5.5. Torç konumlarına göre kaynak geometrisinin değişimi.....	75
Şekil 5.6. Kaynak torcunun dikey merkeze (d) konumlandırma mesafesi.....	75
Şekil 6.1. İç ve dış ağız kaçıklığı.....	77
Şekil 6.2. Ön ısıtmaya tabi tutulacak kaynak bölgesinin şematik gösterimi.....	79
Şekil 6.3. Kaynak ağızı şekli ve kaynak ağızı açma aparatı.....	80
Şekil 6.4. 30 <sup>0</sup> lik standart kaynak ağızları (sağ) ile otomatik MAG kaynağı, kaynak ağızı mukayesesi.....	81

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.5. Kök pasoda sarkma.....	84
Şekil 6.6. Sıcak paso.....	84
Şekil 6.7. Tamamlanmış kaynak kesiti.....	85
Şekil 7.1. Nüfuziyet eksikliği ve radyografik görüntüsü.....	88
Şekil 7.2. Düzensiz gözenek dağılımı.....	89
Şekil 7.3. Kümeleşmiş gözenek grubu ve radyografik görüntüsü.....	90
Şekil 7.4. Cüruf kalıntıları.....	91
Şekil 7.5. Yan cidara birleşme eksikliği.....	91
Şekil 7.6. İç yanma çentiği ve radyografik görüntüsü.....	93
Şekil 7.7. Dış yanma çentiği.....	93
Şekil 7.8. Enine ve boyuna çatlak görünümü.....	95
Şekil 7.9. İç konkavite ve radyografik görüntüsü.....	96
Şekil 7.10. Eksen kaçıklığı ve radyografik film görüntüsü.....	97
Şekil 8.1. Eksen kaçıklığı olmayan durumda yetersiz nüfuziyet.....	98
Şekil 8.2. Eksen kaçıklığına bağlı yetersiz nüfuziyet.....	99
Şekil 8.3. Kaynaklar arası yetersiz nüfuziyet.....	100
Şekil 8.4. Kaynağın kapak pasosunda ya da kaynak kökünde yetersiz ergime .....	100
Şekil 8.5. Ergime noksanlığı.....	101
Şekil 8.6. Kökte içbükeylik.....	102
Şekil 8.7. Dağınık gözenek maksimum dağılımı : ½" (12,7 mm) veya daha ince olan borularda.....	106
Şekil 8.8. Dağınık gözenek maksimum dağılımı : ½" (12,7mm) den kalın borularda.....	107



<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 9.1. Bir nolu numuneler için elips çekim pozisyonu.....	111
Şekil 9.2. İki nolu numuneler için çekim pozisyonu.....	112
Şekil 9.3. Üç nolu numuneler için çekim pozisyonu.....	112
Şekil 9.4. Dört nolu numuneler için çekim pozisyonu.....	113
Şekil 9.5. Beş nolu numuneler için çekim pozisyonu.....	113
Şekil 9.6. Altı nolu numune için panoromik çekim pozisyonu.....	114
Şekil 9.7. Yedi nolu numuneler için çekim pozisyonu.....	115
Şekil 9.8. Radyoskopik test yöntemi ile kaynak dikişi kontrol düzeneği.....	116
Şekil 9.9. Test sisteminde geometrik ilişkilerin şematik görüntüsü.....	116
Şekil 9.10. Bir nolu numune kaynak ağzı gösterimi.....	120
Şekil 9.11. İki nolu numune kaynak ağzı gösterimi.....	121
Şekil 9.12. Üç nolu numune kaynak ağzı gösterimi.....	122
Şekil 9.13. Dört nolu numune kaynak ağzı gösterimi.....	123
Şekil 9.14. Beş, altı ve yedi nolu numunelerin kaynak ağzı gösterimi.....	124
Şekil 9.15. Film markalama işlemi.....	128

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 2.1. Isovolt x ışını kontrol ünitesi.....	13
Resim 2.2. X ışını cihazları.....	14
Resim 2.3. 880 sigma serisi gama radyografi cihazı ve diğerleri.....	18
Resim 2.4. Filmdeki işlem hataları.....	28
Resim 3.1. Çift telli penetremetre.....	54
Resim 5.1. Doğalgaz boru hattının görünüşü.....	60
Resim 5.2. İç kaynak işlemi ile kök pasonun yapılışında arkın dıştan görünümü.....	70
Resim 5.3. Tek torçlu otomatik boru kaynak makinesi ve kullanımı.....	71
Resim 6.1. Boruların plazma kesme aparatları.....	82
Resim 6.2. Conta kaynaklarının merkezleme tertibatı.....	82
Resim 9.1. Deneylerde kullanılan Baltospot x ray cihazı ve Sentinel 880 Delta gama ışını cihazı.....	109
Resim 9.2. Tozaltı kaynaklı spiral boruların radyoskopi tekniği ile yapılan kontrol işlemi.....	110
Resim 9.3. Radyoskopik görüntü kontrol ve değerlendirme odası.....	110
Resim 9.4. Boru hatları için özel geliştirilmiş X ve gama crawler Cihazları.....	114
Resim 9.5. Spiral kaynaklı çelik borunun dış kaynağı.....	126
Resim 9.6. Gözenek radyografik film görüntüleri.....	129
Resim 9.7. Nüfuziyet eksikliği radyografik film görüntüleri.....	129
Resim 9.8. Hatalı bağlantı borusu (ana malzemede) radyografik film görüntüsü.....	131

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 9.9. Hatasız radyografik film görüntüleri.....	134
Resim 9.10. Yakıp delme radyografik film görüntüsü.....	135
Resim 9.11. Dış içbükeylik radyografik film görüntüsü.....	135
Resim 9.12. Kaynak bölgesinde hapsolan gazlardan kaynaklanan kurt deliği şeklinde uzamış gözeneklerin radyografik film görüntüsü.....	137
Resim 9.13. Kökte içbükeylik radyografik film görüntüsü.....	138
Resim 9.14. Kök pasoda nüfuziyet eksikliği radyografik film görüntüsü.....	138
Resim 9.15. Kök pasonun aşağı doğru aşırı sarkması radyografik film görüntüsü.....	138
Resim 9.16. Yakıp delme radyografik film görüntüleri.....	141
Resim 9.17. Kök pasonun aşağı doğru kısmi aşırı sarkması radyografik film görüntüsü.....	142
Resim 9.18. Kök pasoda yanma oluşu radyografik film görüntüsü.....	142
Resim 9.19. Kaynak metali ile ana metal arasında yapışma noksanlığı ile oluşan yetersiz ergime.....	144
Resim 9.20. Kök dikişinde bir tarafta tamamlanmamış dolgu.....	145
Resim 9.21. Dış yanma oluşu radyografik film görüntüsü.....	145
Resim 9.22. Kökte içbükeylik radyografik film görüntüsü.....	146
Resim 9.23. Yakıp delme radyografik film görüntüleri.....	146
Resim 9.24. Hatasız kaynak dikişi görüntüsü.....	148
Resim 9.25. Kök pasoda nüfuziyet eksikliği.....	149
Resim 9.26. Pasolar arası soğuk binme hata görüntüsü.....	149
Resim 9.27. Tek taraflı soğuk yapışma ile oluşan yetersiz nüfuziyet.....	149
Resim 9.28. İki taraflı soğuk yapışma ile oluşan yetersiz nüfuziyet.....	150
Resim 9.29. Eksen kaçıklığından kaynaklanan yetersiz nüfuziyet görüntüsü.....	152

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 9.30. Kök pasoda sıralı ve dağınık halde bulunan gözenek görüntüsü.....	153
Resim 9.31. Pasolar arası cüruf kalıntıları görüntüsü.....	154
Resim 9.32. Kaynak metalinde oluşan boyuna çatlak görünümü.....	155
Resim 9.33. Duruş noktasında meydana gelen hata görünümü.....	156
Resim 9.34. Nüfuziyet eksikliği görünümü.....	156

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>a</b>	X ışını ile muayene parçası arasındaki mesafe
<b>b</b>	Muayene parçası ile alıcı ekran arasındaki mesafe
<b>C</b>	Radyoizotopun aktivite değeri
<b>D</b>	Filmin yoğunluğu
<b>Do</b>	Kaynak malzeme uzaklığı
<b>D1</b>	Birinci nokta ile kaynak arasındaki mesafe
<b>D2</b>	İkinci nokta ile kaynak arasındaki mesafe
<b>F</b>	Kaynak boyutu
<b>FOD</b>	Işın ile malzeme arasındaki mesafe
<b>FDD</b>	Işın ile alıcı arasındaki mesafe
<b>I</b>	Filmi geçen ışık şiddeti
<b>I<sub>0</sub></b>	Film üzerine gelen ışık şiddeti
<b>I1</b>	Birinci durum için şiddet
<b>I2</b>	İkinci durum için şiddet
<b>M</b>	Büyültme
<b>M1</b>	Birinci durum için tüp akımı
<b>M2</b>	İkinci durum için tüp akımı

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>T</b>	Penetremetre kalınlığı
<b>t</b>	Boru et kalınlığı
<b>t<sub>u</sub></b>	Malzeme film uzaklığı
<b>T<sub>x</sub></b>	Işınlama zamanı
<b>U<sub>g</sub></b>	Geometrik yarıgölge
<b>X</b>	Kaynak ışın mesafesi
<b>Q</b>	Radyasyon miktarı
<b>W</b>	Nüfuziyet kalınlığı

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>API</b>	Amerikan Petrol Enstitüsü
<b>ASNT</b>	Amerikan Tahribatsız Muayene Kurumu
<b>AI</b>	Süreksizliklerin toplamı
<b>BT</b>	Yakıp-Delme
<b>Bq</b>	Bekerel
<b>C</b>	Çatlaklar
<b>Ci</b>	Curie
<b>Co</b>	Kobalt
<b>CP</b>	Kapak pasodaki grup gözenek
<b>EU</b>	Kapak paso
<b>ESI</b>	Uzunlamasına cüruf kalıntıları
<b>GTAW</b>	Gaz Tungsten Ark Kaynağı

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>HB</b>	Kökte uzun gözenek
<b>IC</b>	Kökte içbükeylik
<b>ICP</b>	Kaynaklar arası yetersiz nüfuziyet
<b>IF</b>	Yetersiz ergime ( Yapışma noksanlığı )
<b>IFD</b>	Soğuk yapışma ile oluşan yetersiz ergime
<b>IQI</b>	Görüntü Kalite Göstergesi
<b>IP</b>	Eksen kaçıklığı olmayan durumda yetersiz nüfuziyet
<b>IPD</b>	Eksen kaçıklığı olan durumda yetersiz nüfuziyet
<b>Ir</b>	Iridyum
<b>ISI</b>	Tek cüruf kalıntıları
<b>IU</b>	Kök pasodaki yanma oluşu
<b>ISO</b>	Uluslararası Standartlar Enstitüsü
<b>İGDAŞ</b>	İstanbul Gaz Dağıtım Anonim Şirketi
<b>kV</b>	Kilo volt
<b>KeV</b>	Kilo elektron volt
<b>mA</b>	Mili amper
<b>MAG</b>	Metal Aktif Gaz
<b>MeV</b>	Milyon elektron volt
<b>MIG</b>	Metal Inert Gaz
<b>Mv</b>	Mega volt
<b>NDT</b>	Tahribatsız Muayene
<b>PF</b>	Aşağıdan yukarıya

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>PG</b>	Yukarıdan aşağıya
<b>PC</b>	Yan kaynak
<b>R</b>	Röntgen
<b>Se</b>	Selenyum
<b>SI</b>	Cüruf Kalıntısı
<b>SAW</b>	Tozaltı Ark Kaynağı
<b>SMAW</b>	Örtülü Metal Ark Kaynağı
<b>TS</b>	Türk Standartları
<b>TSE</b>	Türk Standartları Enstitüsü



## 1. GİRİŞ

Tahribatsız muayene yöntemleri (NDT), muayene edilecek malzemenin hiçbir fiziksel değişime uğramadan kalite kontrolünün yapılmasıdır. Tahribatsız muayene teknikleri uygulamaları ile kaynak ön hazırlığı ve kalite kontrolü, endüstriyel tesis ve ekipmanların imalatı ve montajı aşamasında çok önemli bir yer tutar [1,2].

Endüstriyel gelişim süreci içinde kalite, mamul garantisi, insan ve çevre güvenliği gibi kavramların da gelişmesi nedeni ile günümüzde tahribatsız muayeneye duyulan ihtiyaç endüstrimizin gelişmeye başladığı önceki konumuyla kıyaslanamayacak boyutlara ulaşmıştır. Gerek endüstriyel iş kollarında kullanılan malzeme veya imalatı tamamlanmış ürünlerin farklılığı ve gerekse, klasik kalite kontrol tekniklerinin kendi yetersizlikleri birden fazla NDT uygulamasının gelişmesine neden olmuştur [2].

Bu yöntemler çeşitli fiziksel prensiplere dayanmaktadır. Malzemelerin kullanıldığı parçaların, üretimi veya işletilmesinin herhangi bir aşamasında, tahribatsız muayene teknikleri ile bu ürünlerin sağlamlığını, güvenilir bir şekilde kullanımını ve kalitesini değerlendirmek mümkündür. Muayene edilen malzemeye veya aranan hatanın türüne göre kullanılacak yöntem belirlenebilir. Bu yöntemlerin her birinin diğerine göre üstün yönleri mevcuttur. Bazı durumlarda ise birbirlerinin tamamlayıcısı olup kombine olarak kullanılmaktadır [3].

NDT uygulamasında, endüstrimizin ihtiyaç duyduğu muayene teknikleri; radyografik muayene ( x-ışını, gama ışını (Ir 192, Se 75) ), ultrasonik muayene, manyetik parçacık muayene, sıvı penetrant muayene ve girdap akımları muayenesidir. Bu çeşitlilik nedeniyle makine, gemi, uçak, otomotiv endüstrisi, termik santraller, nükleer reaktörler, silindirik - küresel tanklar ve petrol-doğalgaz boru hatları gibi endüstriyel tesislerde, NDT'nin nerede, nasıl ve niçin kullanılacağına seçimi ve uygulaması, bu alanda bir uzmanlık konusu oluşturmuştur [2].

Endüstrimizin günümüzdeki gelişmişlik seviyesi içinde yetersiz kalan klasik kalite kontrol metotları ile istenen seviyede kalite kontrol sağlanamayacağı bir gerçektir. NDT konusunda teknik dışı yapılacak bir işlemin veya en küçük bir yanlış değerlendirmenin emniyet faktörüne yapacağı olumsuz etki nedeniyle ileride büyük kayıplara yol açacağını hiçbir zaman göz ardı etmeden, tahribatsız muayene tekniklerinin seçimi ve uygulaması yapılmalıdır [2].

Boru hattı kaynakları, tamamlanmış kaynağın ilgili kaynak prosedürüne uygun olarak üretilip üretilmediği ve ilgili standarda göre kabul edilip edilmeyeceğini tayin etmek için tahribatsız olarak muayene edilmektedir. Uygulamalarda kaynak dikişinin muayenesi için kullanılan en yaygın yöntem radyografik muayenedir.

Radyografide, nüfuz edici radyasyonla ışınlanan malzemenin film üzerine negatif görüntüsü aktarılır. Bu görüntü, aslında radyasyonun malzemedeki geçerken oluşturduğu zayıflama profilidir. Kaynak dikişlerindeki hatalardan farklı oranda radyasyon geçeceğinden, radyasyonun şiddet farkı ve film üzerindeki kararma farkı, kontrast olarak gözükür. Bu da, hataların tanınmasını ve yorumlanmasını sağlar. Metalik veya metalik olmayan bütün malzemelerde beklenen hacimsel ve yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir [4].

Bu yöntemde muayene parçasının kalınlığı kullanılacak ışın kaynağının cinsine bağlı olarak belli değerleri aşamaz. Çeşitli ışınlama kaynakları için uygun malzeme kalınlık aralıkları uygulama standartlarında verilmiştir. Kalınlık sınırlaması dışında her türlü malzemeye uygulanabilir. Operatörün eğitimi ve tecrübesi çok önemlidir. Muayene parçasının her iki yüzeyine de ulaşılabilir olması gerekir. Muayene için kullanılacak donanım diğer metotlara kıyasla daha pahalıdır. En çok da radyasyon güvenliği konusunda dikkatli çalışma gerektirir. Radyografik muayene için çeşitli ışınlama kaynakları kullanılabilir. Bu kaynaklar x ışını tüpleri veya gama ışını üreten izotoplardır. Endüstriyel radyografide kullanılan x ışını enerji aralığı genellikle 50 kV – 350 kV arasındadır. Işınlama enerjisi ışınlanacak malzemenin cinsine ve kalınlığına bağlı olarak değişmektedir [4].

Günümüzde bilgisayar destekli sistemlerdeki gelişmeler radyografi tekniğinde önemli gelişmelere neden olmuş ve dijital radyografiye geçilmiştir. Dijital radyografi bir malzemenin radyografik görüntüsünün doğrudan bilgisayar ortamına aktarılıp değerlendirildiği veya görüntüleme plakalarından bilgisayar ortamına aktarılarak görüntü işleme tekniklerinin uygulandığı bir radyografik muayene yöntemidir. Dijital radyografide anında görüntüleme işlemine radyoskopi denmektedir. Gelecekte en yaygın olarak kullanılacak tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir [5].

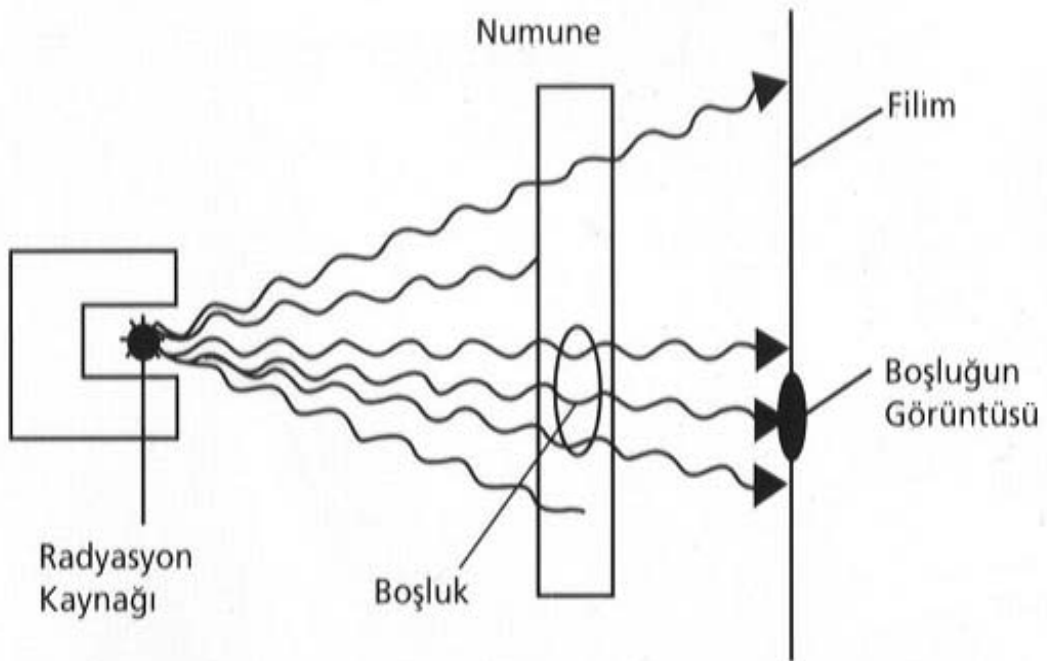
Muayenelerin sağlıklı ve güvenilir sonuçlar verebilmesi için endüstriyel radyografiyle ilgili bütün kurallar belirli bir sistem içerisinde standartlarla belirlenmiştir. Avrupa'da metalik kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesiyle ilgili standartların tümü 1997 senesinde EN 1435 adı altında toplanmış ve o tarihten itibaren de radyografik muayenenin söz konusu olduğu durumlarda en yaygın kullanılan standart olmuştur. Bu standartlar malzeme cinsine veya ürün türüne göre hazırlanmaktadır. Muayene parçasının özelliklerine göre uygun standartlar belirlenerek muayene yapılmaktadır [6].

Bu araştırmada ise doğalgaz boru hatlarında yaygın olarak kullanılan radyografik muayene yöntemi üzerinde durulmuştur. Bunun için değişik çaplardaki doğalgaz borularının, farklı kaynak yöntemleriyle yapılan kaynak dikişlerinin, x ve gama ışını (Ir-192, Se-75) cihazlarıyla, farklı çekim teknikleri (elips, tek cidar, çift cidar) ile görüntüleri alınarak hatalar tanıtılmış ve radyografik film üzerindeki görüntüleri incelenmiştir. Ayrıca bu araştırmalar neticesinde klasik x ve gama ışını ile yapılan uygulamaların dijital radyografi uygulamaları ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Dijital radyografik yöntem, klasik yöntemlerdeki kumanda edilen sistemlere göre daha hassas, hızlı ve güvenilir görüntü değerlendirme imkanları sağlamaktadır.

## 2. RADYOGRAFİ

Endüstriyel radyografi, iyonlaştırıcı radyasyonların nüfuziyet özelliğinden yararlanarak, malzemelerin görüntülerinin film üzerine aktarılması tekniği olup tahribatsız muayene alanında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Günümüzde endüstriyel radyografi uygulamaları çoğunlukla Ir-192, Se-75 veya Co-60 gibi gama ışını yayan iyonlaştırıcı radyasyon kaynaklarını bulunduran cihazlarla veya x ışını üreten cihazlarla yapılmaktadır.

Radyografide kullanılan x ve gama ışınlarının en önemli özellikleri, katı ve saydam olmayan maddelere nüfuz edebilmeleridir. Malzemedan geçen ışınlar, kalınlığa ve yoğunluğa bağlı olarak absorbe edilirler. Yani ışınların bir kısmı malzemenin diğer yüzeyine geçemez ve diğer yüzeye geçen ışınlar da malzemenin iç yapısındaki değişimlerle ilgili bilgiler içerir. İşte bu bilgilerin genellikle bir fotografik kayıt ortamına kaydedilmesi işlemine radyografi denir (Şekil 2.1) [7-9].



Şekil 2.1. Radyografinin şematik gösterilişi [7]

Film üzerine kaydedilen gizli görüntü, film banyo edildiğinde malzemenin iç ve dış yapısının oluşturduğu gölge görüntüsü olarak elde edilir. Bu görüntüde, ince veya az yoğun bölgeler koyu, kalın ve yoğunluğu diğer bölgelerden fazla olan bölgeler de açık olarak görünür. Radyografi, ana malzeme ile yoğunluk farkı oluşturan hacimsel iç hataların tespitinde en uygun yöntemdir [8,9].

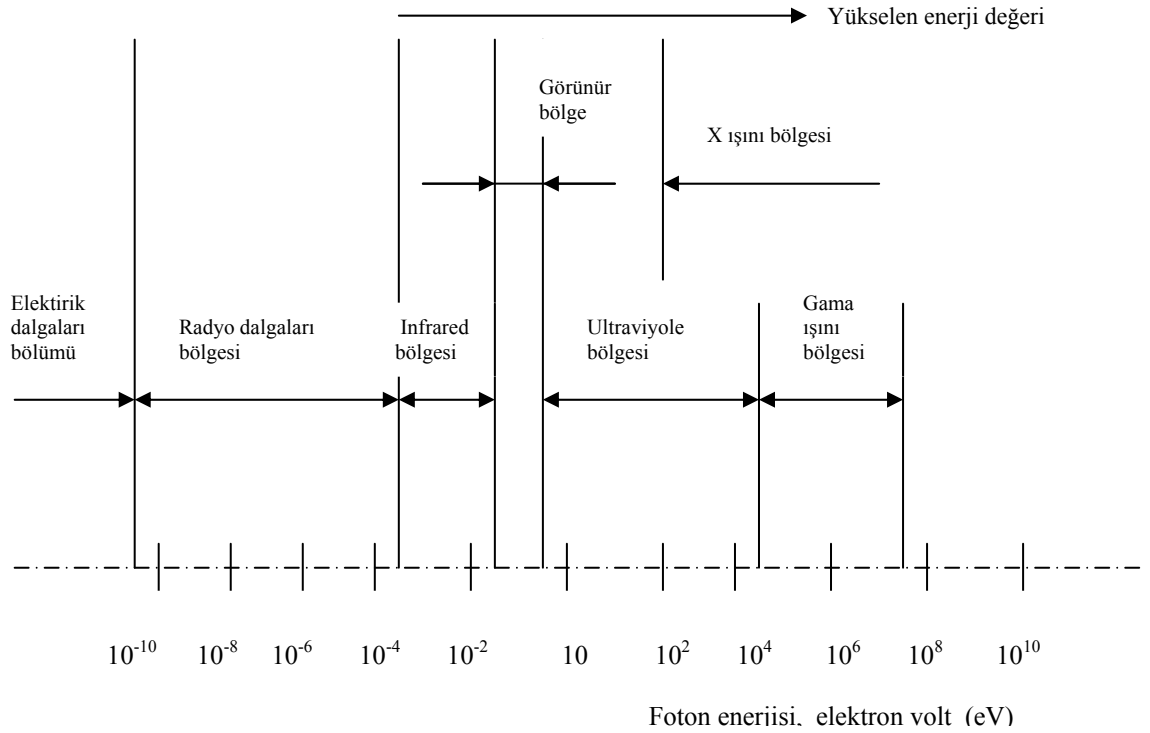
Radyografinin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi verilebilir [9].

1. Kalıcı kayıt elde edilir ve zaman içinde karşılaştırma yapılması mümkündür.
2. İş sahasında kalibrasyon gerekmez.
3. İç süreksizliklerin tespitinde mükemmel bir yöntemdir.
4. Demet yönü geometriden etkilenmez.
5. Nispeten pahalıdır.
6. Radyasyon tehlikesi vardır.
7. Sınırlı nüfuziyet derinliği vardır.
8. Çizgisel süreksizliklerin doğrultusu önemlidir.
9. Parçanın iki tarafından da giriş gereklidir.

## **2.1. X ve Gama Işınları**

Maddeye nüfuz edebilen iyonlaştırıcı radyasyonlar “girici radyasyon” olarak ifade edilir. Radyografide esas itibariyle kullanılan girici radyasyonlar x ve gama ışınlarıdır [10].

Endüstriyel radyografide kullanılan radyasyon, çok yüksek enerjili, maddelere nüfuz edici ve iyonize edici özelliği olan elektromanyetik dalgalardır. Şekil 2.2’de elektromanyetik radyasyonların dalga boylarına göre dağılımı görülmektedir. Bunlardan x ve gama ışınları iyonize edici radyasyon tipleri olup kısa dalga boyuna sahiptirler. Dalga boyu bunların giricilik güçlerini tayin eder. Dalga boyu ile giricilik arasında ters orantı vardır. Gama ışınlarının dalga boyu x ışınlarına göre daha düşük olup daha giricidirler. Aralarındaki tek fark, oluşum yerleridir [11, 10].



Şekil 2.2. Elektromanyetik dalga grubu [12]

X ışınları, hızlandırılmış elektronların durdurulmasıyla veya bir atomun yörünge elektronları arasındaki seviye değişikliğinden meydana gelirler. Gama ışınları ise, bir atomun çekirdeğinin kararlı duruma geçmesi sırasında yayınlanırlar. Spektrumdan da görüleceği gibi x ve gama ışınları spektrumun yüksek enerjili ve kısa dalga boyu içeren bölgesinde bulunur. Diğer ışılardan farkı sadece çok kısa dalga boyuna sahip oluşlarıdır [13].

## 2.2. X ve Gama Işınlarnın Ortak Özellikleri

X ve gama ışınlarının ortak özellikleri aşağıda belirtilmiştir [9,14] :

- Görünmez ve doğrusal olarak hareket eder,
- Kütleleri ve elektrik yükleri yoktur,
- Manyetik alandan etkilenmez,
- Fotoğraf filmine etki eder,

- Maddeleri iyonize edebilir,
- Enerjileri dalga boyu ile ters orantılıdır. Yani, kısa dalga boyuna sahip ışınların enerjileri daha fazladır ve daha nüfuz edicidir,
- Katı maddelere, ışınların dalga boyları ve malzemelerin yoğunluğuna bağlı olarak nüfuz edebilir,
- Işık hızı ile hareket eder ( $3 \cdot 10^8$  m/s),
- Canlı doku, bu ışınları alırken zarar görür.

### **2.3. X ve Gama Işınlarnın Madde ile Etkileşmesi**

X ve gama ışınları, bir madde içinden geçerken şiddetlerini kaybeder. Bu olaya x veya gama ışınlarının madde içinde soğurulması veya emilmesi denir. Kaybedilen radyasyon miktarı, radyasyonun enerjisine, malzeme yoğunluğuna ve kalınlığına bağlıdır. İşte bu olay radyografinin temelini oluşturmaktadır. Örneğin; muayenesi istenen bir malzeme içinde oluşan herhangi bir süreksizlik (gözenek, cüruf gibi) radyasyon demetinde bir değişiklik yapar ve bu değişiklik yani şiddet farkı, radyografi filmini oluşturan gümüş bromür ile etkileşmeye girerek kalıcı görüntü oluşturur [15].

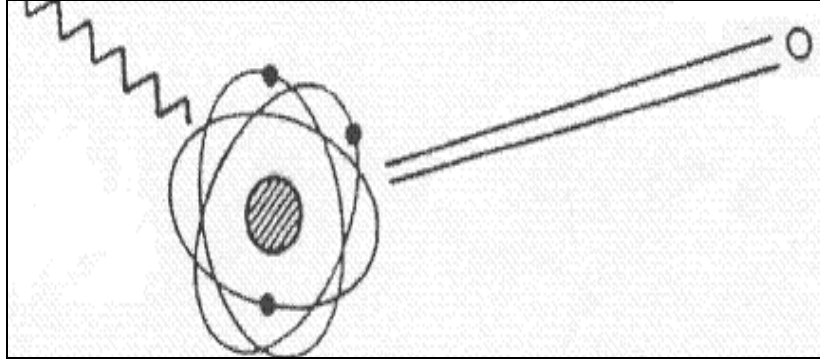
X ve gama ışınları, madde ile etkileşmeleri sırasında başlıca üç olayla enerji kaybederek soğurulur. Bunlar, fotoelektrik olayı, kompton etki ve çift oluşum olaylarıdır [9].

#### **2.3.1. Fotoelektrik olayı**

Foton bir atoma çarptığında, orbital elektronun birine enerjisini transfer eder. Neticede, atomdan elektron koparan foton, atom tarafından tamamen soğurulur. Bu olaya fotoelektrik etki denir. Foto elektrik soğurma 10 keV ile 500 keV arasındaki enerjilere sahip düşük enerjili x ışınları ile oluşur [15].

Düşük- Enerji  
Elektromanyetik Radyasyon  
(Foton)

Atilan elektron  
iyonizasyon



Şekil 2.3. Fotoelektrik etki [9]

Şekil 2.3'de görüldüğü gibi atoma gelen foton, elektronla çarpışır ve elektronun bağlanma enerjisi kadarını elektronu koparmak için harcar. Geri kalan kısmı da elektrona kinetik enerji olarak aktarılır. Kopan iyon negatif iyon ve elektron kaybeden atom da pozitif iyon olur. Elektron koparmak için harcanan enerji, elektronun çekirdeğe yakınlığına bağlıdır. Çekirdeğe yakın elektronların bağ enerjileri daha fazladır ve bu elektronları koparmak için daha fazla enerji harcamak gerekir [15].

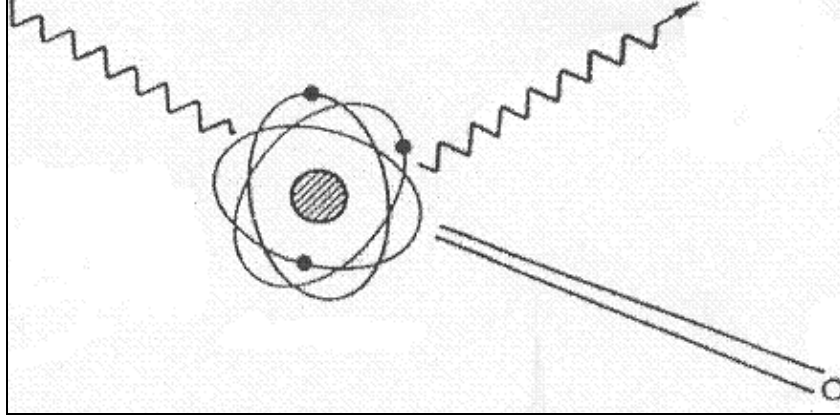
### 2.3.2. Kompton etki

Atomun serbest veya zayıf bağlı elektronları ile fotonun etkileşmesi sonucu meydana gelir (Şekil 2.4). Bu olayda, gelen x ve gama ışını serbest veya zayıf bağlı elektronla etkileşmesi sonucunda enerjisinin büyük bir kısmını elektrona kinetik enerji olarak verir ve elektronu hareketlendirir. Böylece meydana gelen yüksek enerjili elektrona kompton elektronu denir [15].



Ortalama- Enerji  
Elektromanyetik Radyasyon  
(450 keV)

Uzun Dalga Boyuna Sahip Foton



Kurtulan Elektron (80 keV)  
(İyonizasyon)

Şekil 2.4. Kompton olayı [9]

### 2.3.3. Çift oluşum olayı

Foton, elektron arasındaki etkileşimlerden biride çift oluşumdur. Enerjileri 1,02 MeV'in üzerinde olan yüksek enerjili fotonlarla meydana gelir. Bu olayda gelen bir gama ışını bir atom çekirdeğinin yakınından geçerken kaybolur ve yerine bir negatif (elektron) diğeri pozitif (pozitron) bir elektron çifti meydana gelir. Eğer fotonun enerjisi bir elektron çifti oluşturacak miktardan daha fazla ise, bu enerji her iki elektron arasında kinetik enerji olarak paylaşılır ve atomdan büyük bir hızla ayrılır.

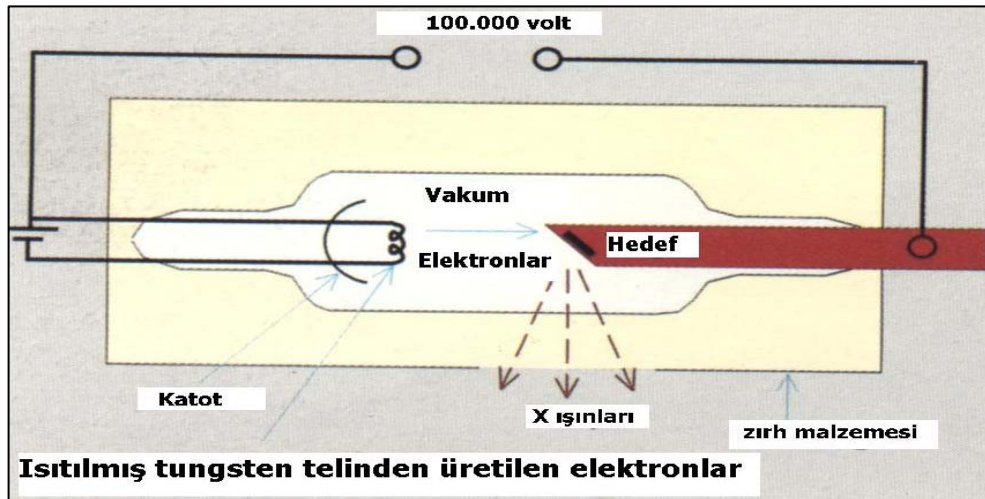
Atomdan ayrılan elektron bütün enerjisini ikincil çarpışmalarla iyon çiftleri meydana getirerek kaybeder. Pozitronlar ise ikincil çarpışmalar sonucunda enerjisini kaybederek yavaşladığında madde içindeki serbest elektronlarla birbirlerini çekerek yok ederler ve kütlelerini enerjiye dönüştürerek 0,51 MeV' lik iki gama ışını ortaya çıkar. Bu gama ışınları Kompton veya Fotoelektrik olaylarında soğrulabilirler [9,15].

## 2.4. X Işını Üretimi

X ışınlarının üretimi fiziksel bir kurama dayanır ve x ışını tüpleri ile 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 ışınarak uzaklaşır. Elektronların çarpma anında hız kaybetmeleri ile kinetik enerjinin diğer büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşür. X ışını üreteçlerinin verimi çok düşüktür, toplam enerjinin % 1' i x ışınına, % 99'u ise ısı enerjisine dönüşür.

X ışını üretimi için üç aşamanın gerçekleşmesi gereklidir [16,17] :

- 1) Elektron üretimi,
- 2) Elektronların hızlandırılması,
- 3) Elektronların frenlenmesi.



Şekil 2.5. X ışını tüpü [18]

### 2.4.1. X ışını tüpü

Endüstriyel radyografide; x ışınlarının üretimi x ışını tüpleri ile elde edilir. X ışını tüpü, cam bir muhafaza içinde bulunan bir anot ve bir katottan ibarettir. İçerisi vakumlanmıştır. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi ısıtılmış bir tel flaman elektron kaynağı görevini yapar. Elektronların yüksek hızda hareket etmeleri için sadece anoda yüksek pozitif yük uygulamak yeterlidir. Ayrıca katodun negatif yükü de elektronları iterek, bir demet halinde anoda yönelmelerini sağlar. Katot, anodun içine gömülü hedefe odaklanmıştır. Hedefte ne tür malzeme olursa olsun x ışını üretilir. Yüksek hızdaki elektronların hedefe çarpması ile devamlı ve karakteristik x ışınları üretilir. Devamlı x ışınları, elektronların tüm enerjilerinin atoma transferi ile ortaya çıkar. Bu işlem Bremstrahlung prosesi olarak bilinir. Bu süreçte çekirdek, elektronlardan aldığı enerjisi, yüksek enerjili x ışınları olarak dışarı yayar. Karakteristik x ışınları ise flamandan çıkan yüksek hızdaki elektronların orbital elektronlarla çarpışması sonucu üretilir, dar bantlı ve yüksek yoğunluktadır. Bu ışınlar düşük enerjili ve istenmeyen saçılmış radyasyon kaynağıdır. Ancak etkili bir x ışını demeti üretebilmek için, hedef malzemenin; yüksek atom numarası, yüksek erime noktası ve düşük buhar basıncı gibi özellikleri taşıması gerekir. Günümüzde üretilen x ışını tüplerinin çoğunda hedef malzeme olarak tungsten tercih edilmektedir [18].

### 2.4.2. Anot ve katot

Anot genellikle bakırdan yapılarak gaz ve gözenek oluşmasını önlemek için vakum altında dökülür. Bakır anot yüksek ısı iletkenliğine sahiptir. Hedefte meydana gelen ısıyı kolayca alır. Anodun katoda bakan yüzü içine metal hedef malzemesi gömülmüştür. Cam muhafaza arasından geçen bir tel, anot için harici elektrik bağlantısı görevini yapar.

Katot diye bilinen kısım filaman ile birlikte elektron kaynağı görevini yapar. Negatif yüklü elektroda odaklama kabı meydana getirecek şekilde uygun bir şekil verilir. Bu odaklama kabının içinde elektron yayan tungsten tel filaman (doğru ve sarmal

şekilde) vardır. Bu filaman yüksek sıcaklıklara ısıtılırsa her yönde elektronlar verir. Fakat negatif yüklü odaklama kabı bu elektronları iter ve pozitif yüklü anot bunları çeker ve bu şekilde elektronlar hedefe doğru bir demet halinde yönelir. Katot malzemeleri genellikle çok saf demir veya nikeldir ve gaz kabarcıkları içermeyip ısıya dayanıklı olmalıdırlar [9,17].

### **2.4.3. Hedef malzemesi**

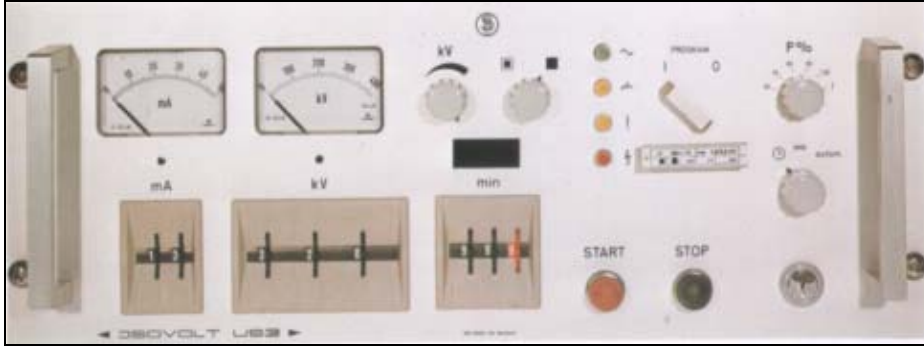
Bombardıman edilen malzemenin cinsine bakılmaksızın x ışınları meydana gelir. Hedef malzemesi katı, sıvı veya gaz olabilir. Fakat x ışını tüpünde kullanılan hedef, elektronun anoda çarptıkları yüzün içine gömülen bir metal parçasıdır. Kullanılan malzemenin yüksek atom numarası, yüksek ısıl iletkenlik, yüksek ergime noktası ve düşük buhar basıncı gibi özelliklere sahip olması gerekir [17].

### **2.4.4. X ışını tüpünün soğutulması**

Hedefe çarpan elektronların sadece çok küçük bir kısmı x ışınına dönüşür. Yüksek hızlı elektronların enerjilerinin büyük kısmı hedefte ısıya dönüşür ve bu x ışını tüpü tasarımında ciddi bir problem oluşturur. Eğer ısı herhangi bir şekilde alınmazsa hedef eriyebilir, çatlayabilir veya çabucak oyuklar meydana gelir ve kullanılmaz hale gelir. X ışını tüplerini soğutmak için su kullanılmalıdır. Suyun ısı absorplama yeteneği yağdan daha fazladır. Sıvı genellikle bir pompa vasıtasıyla dolaştırılır [17].

### **2.4.5. Kontrol paneli**

Bir x ışını kontrol panelinin başlıca iki görevi vardır. Bunlar; üretilecek x ışınlarının enerjisini kontrol etmek ve yüksek voltajdan korumaktır (Resim 2.1).



Resim 2.1. Isovolt x ışını kontrol ünitesi [19]

X ışını kontrol paneli, akım ve voltaj ayar düğmelerini, akım ve voltaj göstergelerini, ikaz ışıklarını ve zaman ayarını içerir. Anoda uygulanan voltaja tüp voltajı denir ve kilovolt (kV) ile ölçülür. Üretilen radyasyonun giricilik gücünü veya enerjisini tayin eder. Tüp akımı, x ışını demetinin şiddetini gösterir ve tüpten geçen akım miktarı kontrol panelindeki miliamper (mA) düğmesi ile ayarlanır. Radyasyonun yayılacağı süreye ışınlama zamanı denir ve kontrol panelindeki saat ile ayarlanır. X ışını radyasyonunun başlamasını veya durmasını tayin eder [9].

## 2.5. X Işını Cihazı

X ışını üretimi için gerekli olan gereksinimler x ışını cihazları içinde gereklidir. Endüstriyel radyografi amacı için özel olarak geliştirilmiş olan x ışını cihazları portatif kumanda ünitesi ile x ışını tüpünden oluşmaktadır. Resim 2.2’de x ışını cihazları görülmektedir.

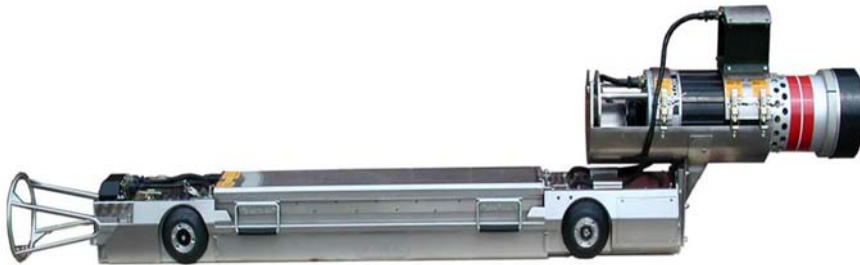
- Laboratuar Tipi: Kurşun kaplı veya beton odalarda kuruludur ve yerinden oynamaz.
- Hareketli Tip: Bina içinde veya binalar arasında hareket edecek şekilde yapılıır.
- Taşınabilir Tip : Herhangi bir yere götürülebilecek şekilde yapılıır.



a)



b)



c)

Resim 2.2. X ışını cihazları [19, 20]

- a) Isovolt 100 tipi x ışını cihazı .
- b) Tüp voltajı : 80-200 kV, tüp akımı: 3 mA, odak boyutu: 2 x 2 mm olan x ışını tüpü ve kontrol paneli.
- c) 10" - 60" boruların kullanımı için geliştirilmiş hareketli x ışını Crawler.

Cihaz seçerken aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır [17] :

- a) Radyasyon giricilik kalitesi; kilo voltajın maksimum değeri muayene edebilecek malzemenin kalınlığını,
- b) Efektif radyasyonun şiddeti veya miktarı; ışınlama zamanını,
- c) Görev süresi; cihazın ömrünü ve üretkenliğini,
- d) Ağırlık, cihazın boyutları ve yayılan radyasyon demetinin şekli uygunluğuna tayin eder.

## 2.6. Gama Işınları

Gama radyografisi, gama ışınları ile yapılır. Gama ışınları, x ışınları gibi farklı dalga boylarıyla yayımlanan elektromanyetik dalgalardır ve bunları x ışınlarından ayıran orijinleridir. Gama ışınları radyoaktif malzemelerin çekirdeklerinin bozunmasıyla yayımlanır. Radyoizotop tarafından yayımlanan gama ışını kalitesi milyonelektronvolt (MeV) cinsinden ifade edilir. Pratikte, gama ışını miktarı Röntgen (R) ve ışın şiddeti (R/s) olarak ölçülür.

Herhangi bir radyoizotopun kendine özgü diğer bir özelliğide, curi başına özgül gama ışını verimi olup gama sabiti diye de bilinir. Kaynaktan bir metre uzaklıkta saatte curi başına ölçülen röntgendir. Bu tanımdan görüldüğü gibi radyoizotopdan yayımlanan gama ışını miktarının artırılması ancak aktivitenin artırılması ile mümkündür [21,22]. Aktivite bir saniyede bozunan atom sayısıdır.  $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10}$  Bozunma/Saniye ve  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ Bozunma/Saniye}$  dir.

Bu teknik için gerekli olan cihazlar taşınabilir özellikte olup inşaat ve montaj alanları gibi zor çalışma koşullarında uzaktan kumandalı olarak kullanılırlar. Gama radyografisi için Ir-192 en uygun radyoizotoptur. Ancak kontrol edilecek malzemenin özelliklerine göre diğer radyoizotoplarda kullanılabilir. Endüstriyel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan radyoizotoplar ve bunların fiziksel özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir [21,23].

Çizelge 2.1. Radyografide kullanılan gama ışını kaynaklarının fiziksel özellikleri.

Kaynak	Yarı Ömrü	Gama Enerjileri (MeV)	Doz Hızı R/hr 1m uzakta - 1 Ci	Tavsiye Edilen Kalınlık	Normal Kaynak Boyutu (mm)
Co-60	5,3 yıl	1,17-1,33	0,3	225 mm çelik	1x1, 4x4 mm
Ir-192	74,3 gün	0,45	0,5	75 mm çelik	0,5x0,5 mm
Cs-137	30 yıl	0,661	0,39	100 mm çelik	1x1, 3x3 mm

Gama ışınlarının avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi verilebilir [23].

1. Maliyeti kilo volt bazında x ışını cihazından daha ucuzdur.
2. Daha kolay taşınabilir.
3. Elektriğe ihtiyaç olmadığından arazide çalışmak daha kolaydır.
4. Hem panoramik hem de doğrusal çekime uygundur.
5. Işın yaklaşık 1" lik bir aralıktan bile geçebilir.
6. Cihazın kullanımı kolaydır.
7. Boyutları küçük olduğundan kısa kaynak-film mesafesi gereken yerlerde kullanıma uygundur.
8. Bazı radyoizotopların çok yüksek nüfuziyet kabiliyetlerinin olması kalın parçaların kontrolünde avantaj sağlar.
9. Sağlık ve emniyet yönünden radyasyonun yayılması durdurulamaz. Yani x ışınları tüplerinde olduğu gibi cihazın kapatılması diye bir şey yoktur. Sadece radyasyon kaynağı emniyetli bir yere konumlandırılarak çalışanların ve diğer canlıların zarar görmesi önlenebilir.
10. X ışını ile üretilen radyograflar kadar yüksek kontrast elde edilemez.
11. Nüfuziyet özelliği, izotopun tipi ile ilgilidir ve ayarlanamaz.

### **2.6.1. Radyografide kullanılan radyoizotopların özellikleri**

İdeal bir radyoizotop aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır.

#### Boyutu

İdeal bir radyasyon kaynağının boyutunun sıfır olması gerekir. Ancak böyle bir şey imkansızdır. Pratikte boyutu ¼" kadar olan kaynaklar ile kaliteli radyograflar elde etmek mümkündür. Gama kaynakları tüm çevrelerinden küresel olarak radyasyon yayarlar. Bu durum ¼" mesafede kameranın sürekli hareket etmesi gibidir. Bu da radyograf kalitesini etkilemektedir. Bu nedenle pratikte mümkün olan en küçük boyutta kaynak tercih edilir [16].



## Enerji

İdeal kaynakların tamamen tek enerjili ışın demeti yayarak, ışınların cismin kalınlığını ve yoğunluğunu saçılmadan geçmesi istenir. Radyoaktif izotoplar sabit enerjili ışınlar yaydıklarından, her radyoizotop için kaliteli radyograf elde edilebilecek kalınlıklar standartlarda belirlenmiştir. X ışını cihazlarında enerjinin ayarlanabilir olması, genellikle x ışını kullanılarak yapılan çekimlerde, gama radyografisine göre daha kaliteli radyograf elde edilmesini sağlar.

## Kaynak boyutuna bağlı ışın yoğunluğu

Işın demetindeki ışın sayısı (yoğunluğu) ile poz süresi birbirine orantılıdır. Kaynağın ışın yoğunluğu (yada aktivitesi-curi) radyografi ekonomik fiyatlarda üretebilmemizi sağlayacak sayıda olmalıdır. Aynı aktiviteye sahip iki radyoizotop farklı sayıda gama ışını yayabilir. Her radyoizotopun belirli bir özel aktivitesi olduğundan, aktivitenin yükselmesi ile kaynak boyutunun büyüyeceği unutulmamalıdır. Bu nedenle radyoizotopun özel aktivitesinin yüksek olması istenir [16].

## Yarı ömür

Bir radyoizotopun aktivitesinin yarıya düştüğü yada atomlarının yarısının bozunduğu süreye yarı ömür denir. Radyoizotopun yarı ömrünün yeterince uzun olması ekonomik açıdan önemlidir [16].

## Kimyasal tepkime durumu

Radyoaktif kaynaklar, diğer maddelerle kimyasal tepkimeye girmemelidirler. Aksi durumda kaplarda veya muhafaza kaplarında radyoaktif kirlenmelere neden olurlar ve enerjinin tümü veya bir kısmı bu işlem esnasında kaybolur .

## 2.7. Gama Cihazları

Bir gama ışını cihazı, radyoaktif kaynak, kaynak tutucu, muhafaza kabı ve kumanda mekanizmasından oluşur. Radyoaktif kaynak sağlam sızdırmaz ve radyoaktif hale gelmeyen malzemedен yapılmış bir kapsül içerisine yerleştirilmiştir.

Gamma ışını cihazları mekanik kumandalı olduklarından x ışını cihazlarına oranla daha basit bir donanıma sahiptir. Donanımın görevi, cihaz kapalı durumda iken radyoaktif kaynağını mümkün olduğunca iyi zırlamak, çekim sırasında ise uygun ışınlama düzeyini sağlamaktır. Bu cihazlarla konik, radyal veya küresel ışınlama sağlanabilir. Gama ışını cihazları, zırh malzemesi olarak kullanılan kurşun yerine tungsten ve özellikle zenginleştirilmiş uranyum kullanılması ile bugün oldukça hafifletilmişlerdir [12,18].

Resim 2.3’de görülen model 880 serisi gama ışını cihazı, endüstride ve boru hatlarında sıkça kullanılan cihazlardır. Bu cihazda kullanılan izotoplar ve özellikleri Çizelge 2.2’ de gösterilmiştir [24].



Resim 2.3. 880 sigma serisi gama radyografi cihazı ve diğerleri [24]

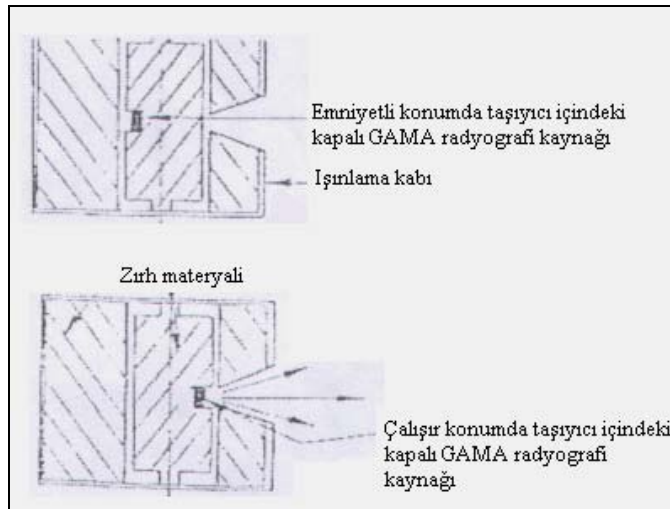
Çizelge 2.2. 880 sigma serisi gama radyografi cihazında kullanılan kaynaklar ve özellikleri [24]

İzotoplar	Se-75	Ir-192	Co-60
Model No	A424 - 25W	A424 - 9	A424 - 19
Gama enerji aralığı	66 - 401 Kev	206 - 612 Kev	1,17 – 1,33 Mev
Yarılanma süresi	120 gün	74 gün	5,27 yıl
Çelik Çalışma kalınlığı	3 - 29 mm	12 - 63 mm	50 - 150 mm
Maksimum enerji kapasitesi	150 Ci, 5,55 TBq	130 Ci, 4,81 TBq	25 mCi, 925 MBq

İzotop cihazları çok tehlikeli olduklarından, kullanılmadıkları durumlarda dikkatli olunmalı ve radyasyon sızmasını önleyecek kaplarda saklanmalıdır. Kaplar herkesin ulaşamayacağı kilitli yerlerde muhafaza edilmelidir.

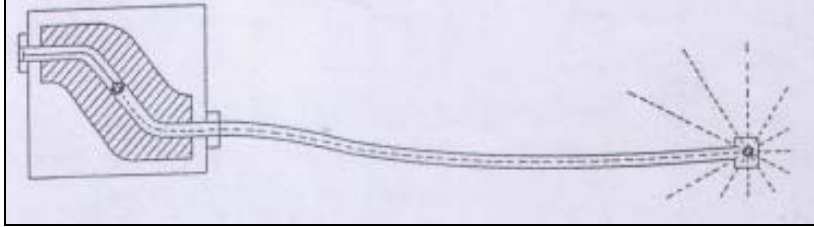
İzotoplar uzaktan kumanda ile çekim noktasına iletilirler. Bu uzaktan kumanda ile çekim noktasına ileti iki şekilde olur. Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’ de gösterilmiştir.

1. İzotop, radyasyon sızmasını önleyen ışınlama kabının merkezinden yüzeyine iletilir.



Şekil 2.6. Döner tip kapalı gama radyografi kaynağı [12]

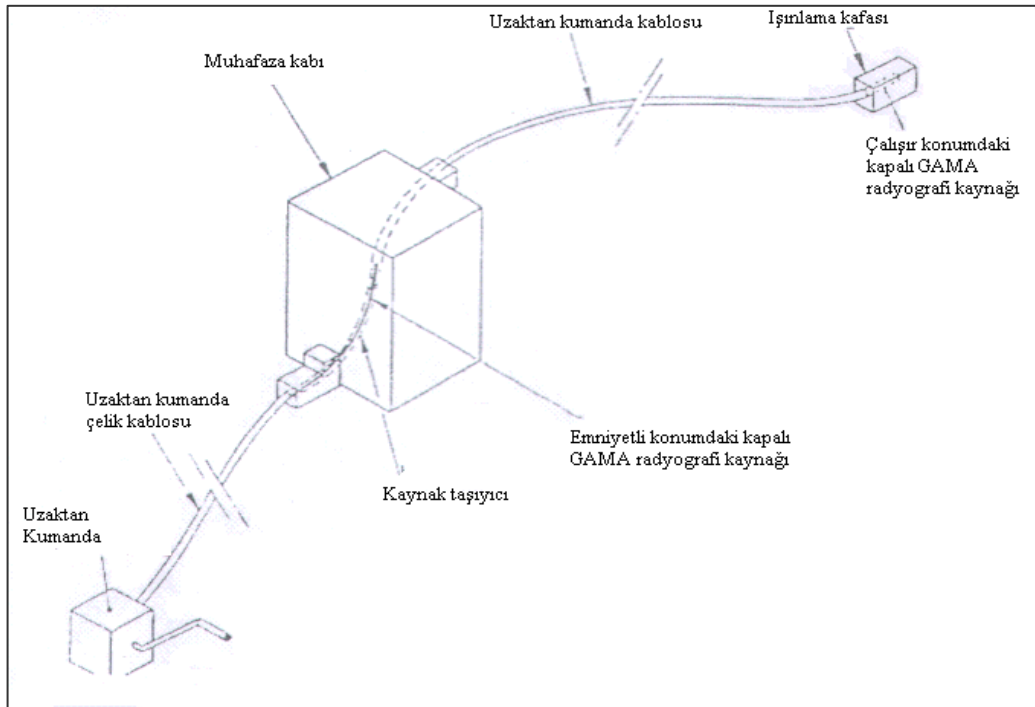
2. İzotop, muhafaza kabının merkezinden daha uzaktaki pozlama noktasına iletilir.



Şekil 2.7. Kaynağı zırhın dışında bir noktaya getirmek [18]

### 2.7.1. Muhafaza kabı veya ışınlama kabı

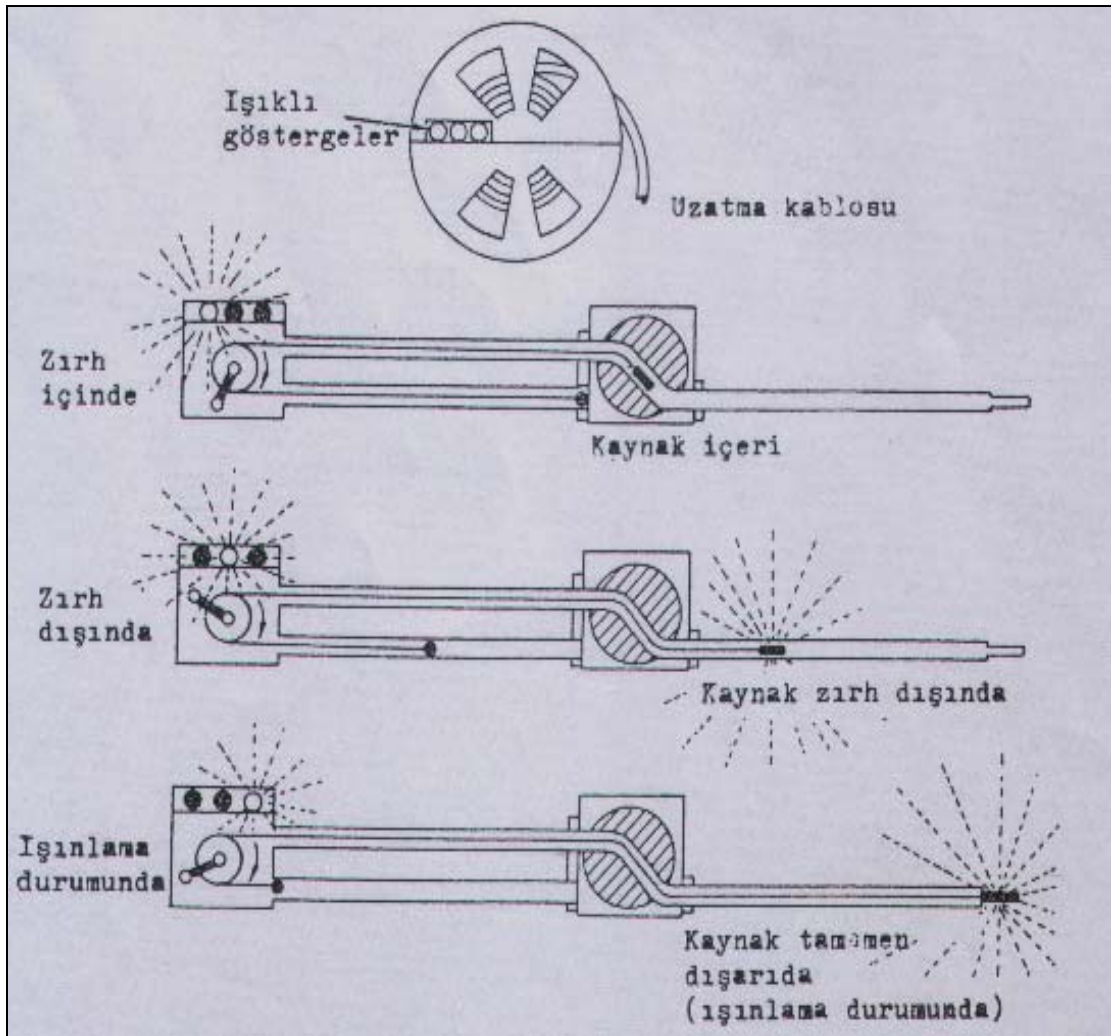
Gama radyografi kaynakları; genel olarak iki kategoride toplanmaktadır. Birincisi kapalı tip gama cihazları olup kapaklı ve döner tip olanları vardır. Diğerleri projeksiyon tipi gama cihazlarıdır ki; günümüzde endüstriyel radyografide bu tip cihazlar kullanılmaktadır ( Şekil 2.8) [25].



Şekil 2.8. Projeksiyon tipi gama ışını cihazı ekipmanları [25]

### 2.7.2. Gönderme (uzaktan kumanda) borusu

Muhafaza kabının önüne takılan ve izotopu pozlama noktasına yönlendiren esnek veya sert bir borudur. Radyoizotopu süren çelik yay ve yayın etrafındaki kablunun sarılacağı makara, radyoizotopu ileri geri sürmeye yarayan kol ve dişli gruplardan meydana gelmiştir. Bu şekilde kaynağın 20-25 m uzaktan kontrolü mümkündür (Şekil 2.9).

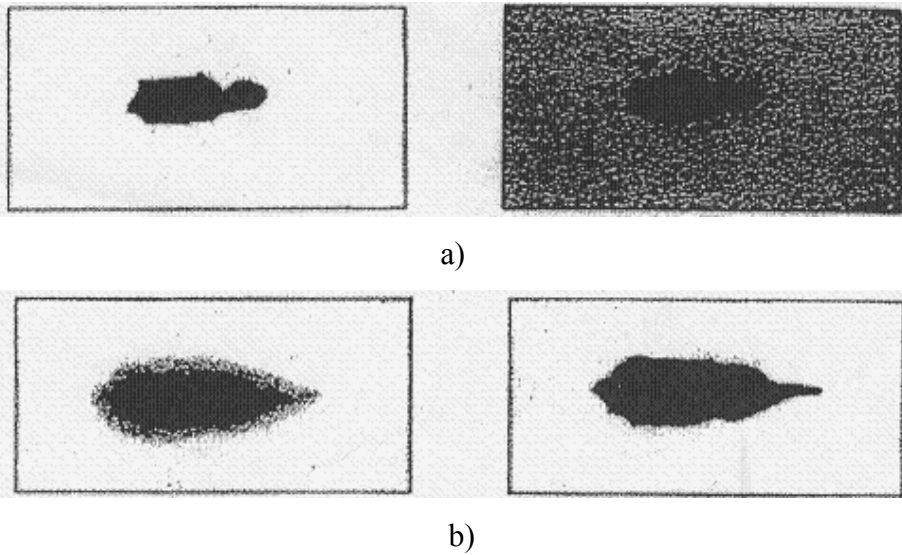


Şekil 2.9. Bir gama radyografi cihazının tipik çalışması [18]

## 2.8. Radyograf Kalitesi

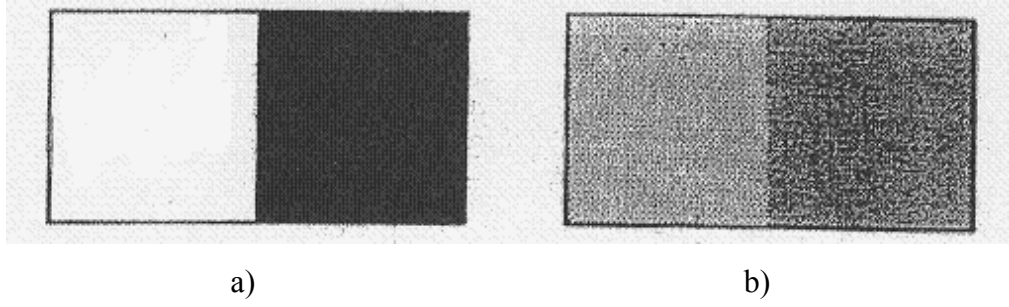
Süreksizlik ve hataların radyograf üzerinde istenen hassasiyette değerlendirilebilmesi, görüntünün belli bir kaliteye sahip olması ile mümkündür. Radyografik görüntü kalitesi, radyografi tekniğinin hassasiyeti ile ilgilidir. Radyografik hassasiyet, kontrast ve netliğin birlikte oluşturduğu sonuçtur. Bir radyografın, filmi çekilen cismin kalitesi ile ilgili yeterli bilgiler taşıyıp taşımadığının belirlenmesi gerekir.

Netlik, iki farklı yoğunluğa sahip bölge arasındaki sınırın keskin olması yani, bir radyograf üzerinde görüntü ayrıntısının belirlenebilme berraklığıdır (Şekil 2.10) [26].



Şekil 2.10. Görüntü netlikleri ile ilgili örnekler a) İyi netlik b) Kötü netlik

Kontrast ise optik yoğunluk farklılıklarının az veya çok olmasına bağlıdır. Optik yoğunluk farklılıkları fazla olan filmin kontrastı yüksek denir (Şekil 2.11). Kontrast, film ve cisim kontrastı olmak üzere iki bileşenin ürünüdür [26].



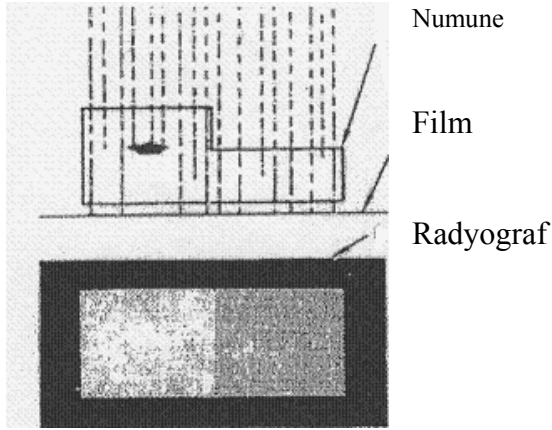
Şekil 2.11. Kontrast ile ilgili örnekler a) Yüksek kontrast b) Düşük kontrast

Cisim kontrastı; kontrol edilen parçanın yoğunluğuna, kalınlık farklarına ve uygulanan radyasyon enerjisine bağlıdır. Matematiksel olarak ise, cismin seçilen kısımlarından geçen radyasyon şiddetlerinin (ışın sayılarının) veya logaritmlerinin oranıdır.

Film kontrastı; belirli bir radyografik poz değişimi sonucunda film yoğunluğunda meydana gelen değişim miktarını etkileyen fotografik malzeme özelliğidir. Filmin optik yoğunlukları gösterebilme kabiliyetidir. Filmde netliğin iyi olmamasının nedenlerinden biri filmde geçen radyasyonun oluşturduğu serbest elektronlardır. Bu elektronlar geçtikleri yerleri pozlayarak filmin netliğinin bozulmasına diğer bir değişle farklı yoğunlukların net olmayan hatlarla ayrılmasına neden olurlar. Ancak bu durumu kontrol etmek imkansızdır [26].

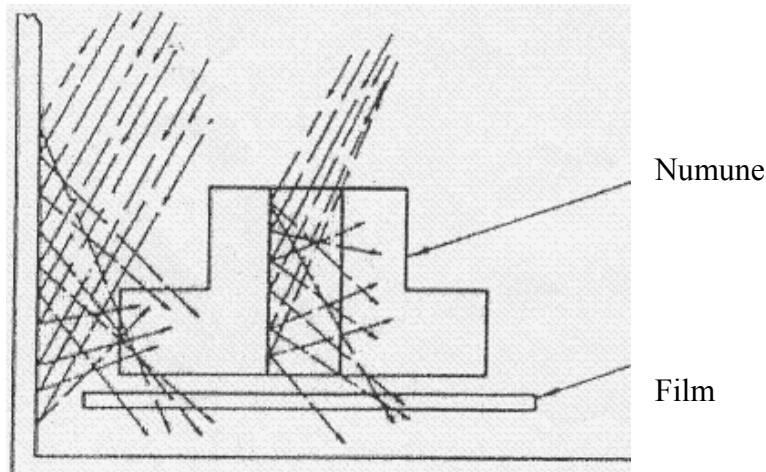
Radyografik filmin üretimi esnasında saçılan ışınların radyografik kontrast ve netlik üzerinde olumsuz etkileri olduğunu artık kolayca tahmin edebiliriz. Saçılan radyasyon nedenleri ile adlandırılır. Bunlar; iç, yan duvar ve geri saçılmadır.

İç saçılma; radyasyonun cismin içinde saçılmasıdır. Saçılan bu ışınların filme ulaşması ile netlik bozulmakta ve bu nedenle radyografin da kalitesi bozulmaktadır (Şekil 2.12) [26].



Şekil 2.12. İç saçılma [26]

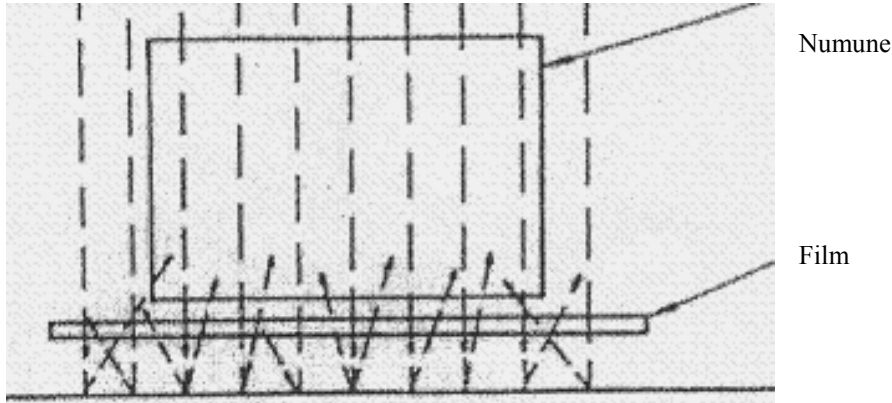
Yan duvardan saçılma; ana radyasyon demetinin, yolu üzerindeki duvar ve diğer nesnelere saçılmasıdır (Şekil 2.13). Bu tür saçılmaya cismin şeklide neden olabilir.



Şekil 2.13. Yan duvardan saçılma [12]

Geri saçılma; radyasyonun filmin arkasındaki duvar veya diğer bir nesneden geri filme saçılmasıdır (Şekil 2.14). Bu tür saçılmanın tespitinin, standartlarda yüksekliği  $\frac{1}{2}$ " olan bir kurşun "B" harfi ile yapılması istenir. "B" harfinin açık olması, geri saçılmanın varlığını, koyu olması da "B" harfinin üzerine fazla basınç uygulandığını gösterir. Geriye saçılan radyasyonun filme ulaşması, film boyutlarında bir kurşun plakanın filmin arkasına konması ile önlenir [12].





Şekil 2.14. Radyasyonun geri saçılması [12]

### 2.8.1. Radyografi Görüntü Kalite Faktörleri

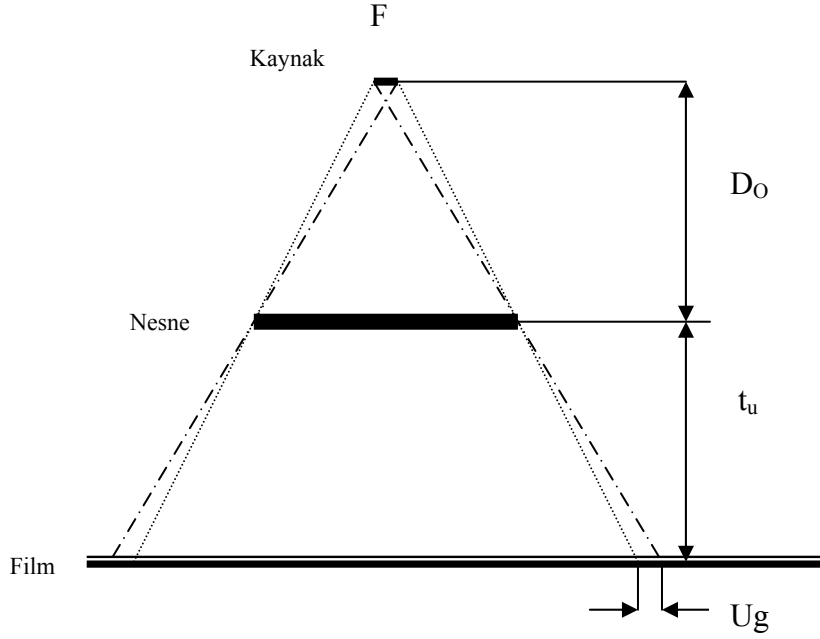
Radyografin kalitesine etki eden başlıca beş faktör söz konusudur. Bunlar geometrik faktör, radyasyon kaynağı faktörü, film faktörü, ekran faktörü ve poz (ışınlama) süresidir [27].

#### Geometrik faktör

Bir radyasyon kaynağı nokta kadar sonsuz küçük olamayacağından, radyografik görüntü hiçbir zaman tam net olmayacaktır. Net olmayan bu kenarlara, radyografide yarı gölge denir.

Geometrik etkenlerle oluşan yarı gölgenin kontrol edilmesi ve daha net bir film elde edebilmek için, radyasyon kaynağının boyutu küçültülmeli, kaynak – film uzaklığı mümkün olduğu kadar büyük tutulmalı, malzeme filmin üzerine yerleştirilmeli ve radyasyonun filme dik gelmesi sağlanarak önlenabilir [28].

Şekil 2.15' de görülen geometri faktörlerinin oluşturduğu yarı gölge genişliği eşitlik 2.1'deki gibi ifade edilir [28].



Şekil 2.15. Radyografik görüntü ve yarı gölge oluşum geometrisi [28]

$$U_g = F \cdot (t_u / D_o) \quad (2.1)$$

$U_g$  : Geometrik yarıgölge (mm),

$F$  : Kaynak boyutu,

$D_o$  : Kaynak malzeme uzaklığı,

$t_u$  : Malzeme film uzaklığıdır.

### Radyasyon kaynağı faktörü

Radyografıya etki eden radyasyon kaynağı faktörleri kaynağın boyutu, şiddeti ve enerjisidir. Radyografide kullanılan radyasyonun x ışını tüpünden veya radyoizotoptan gelmesi, esas itibarıyla radyografik görüntüde herhangi bir değişime neden olmaz [22].

Tüp gerilimi (kV) değiştirilerek x ışınlarının enerjisi değiştirilebilir. Buna karşın, oluşturulan x ışınlarının miktarı, akımı (mA) değiştirerek ayarlanabilir. Bu bağlamda, radyasyonun enerjisi kalite faktörü, şiddeti kantite faktörü olarak ifade

edilebilmektedir. Böylelikle, x ışınlarını kalite ve kantite faktörleri x ışını cihazı kumanda kısmından kolaylıkla değiştirilebilmektedir.

Gama ışınlarının enerjisi veya kalite faktörü, radyoizotop kaynağın enerjisi (MeV) ile ifade edilmektedir. Buna karşın kantite faktörü ise, radyoizotopun aktivitesi (Ci) ile ilgilidir. Gama ışınlarının enerjisi değiştirilmek istendiğinde kaynağın değiştirilmesi, kantite faktörü değiştirilmek istendiğinde ise radyoizotopun aktivitesinin değiştirilmesi gerekmektedir [10,22].

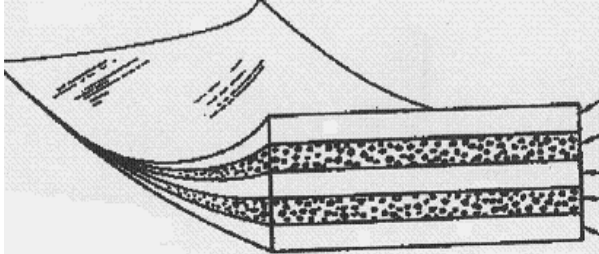
### Radyografik film

Radyografa etki eden film faktörleri arasında filmin hızı ve emülsiyonunda bulunan AgBr kristallerinin boyutlarıdır. Kristal boyutları filmin kontrast ve tanımına etki eder. Diğer faktörler sabit kaldığında filmin hızı, kristallerin boyutlarıyla ters orantılıdır. Bilinen radyasyon poz süresinde filmin hızının bilinmesi ile film yoğunluğu tayin edilir. Hızlı film daha az poz süresi ister. Fakat uygulamalarda hızlı filmler tercih edilmez. Çünkü bu tür filmlerde tanımlama tam sağlanamaz. Yavaş ve orta hızlı filmler tercih edilir [22].

Şekil 2.16'da radyografik filmin hangi tabakalardan oluştuğu şematik olarak gösterilmektedir. Film tabanı olarak saydam asetat veya polyester kullanılır. Filmlerin iki tarafı da elektromanyetik radyasyona ve ışığa duyarlı emülsiyonla kaplanmıştır. Filmin iki tarafının da emülsiyon tabakası ile kaplı olması poz süresini kısaltır ve daha ekonomik sürede film çekmemize olanak sağlar. Bu duyarlı emülsiyon tabakası genellikle gümüş halojenür kristalleri içeren sodyum bromidden meydana gelir. Filmin en dış tabakası ise emülsiyon tabakasını, çizilme ve hasarlara karşı koruyan jelatin tabakasıdır.

Film üzerindeki gizli görüntü AgBr kristallerinin elektromanyetik radyasyon tarafından iyonize edilmesi sonucu oluşur. Ancak bu görüntü geliştirilmeden

görünür hale gelmez. Filmin banyosu esnasında, AgBr tanecikleri siyah metalik gümüş taneciklerine indirgenerek gizli görüntü görünür hale gelir.

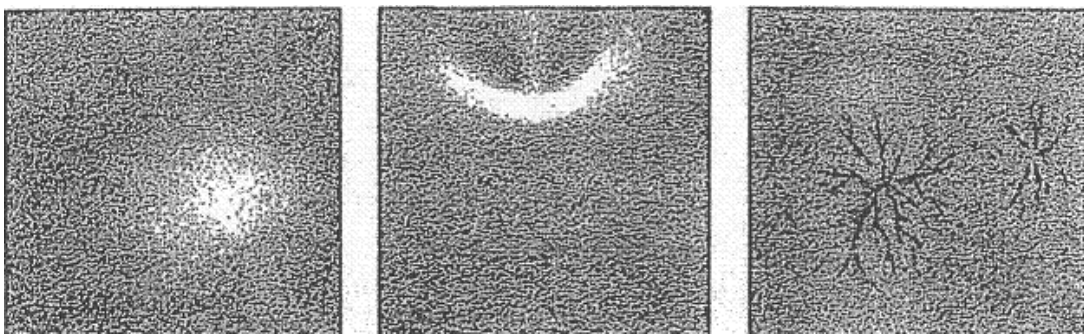


Koruyucu tabaka  
Emülsiyon  
Asetat taşıyıcı  
Emülsiyon  
Koruyucu tabaka

Şekil 2.16. Filmin yapısı [29]

Elektromanyetik radyasyona maruz kalmış (x ve gama ışınları ile pozlanmış) her gümüş taneciği görüntünün oluşmasına katkıda bulunur. Bir taneciğin kısmi pozlanması diye bir şey söz konusu değildir. Filmdeki koyu veya açık olan bölgelerin, o alandaki pozlanmış gümüş taneciklerinin sayısını gösterir. Ne kadar çok sayıda gümüş taneciği etkilenmişse, film o kadar koyu olur.

Çalışma esnasında filmlere azami dikkat gösterilmelidir. Küçük dikkatsizlikler, büyük zahmetlerle çekilmiş bir filmin yeniden çekilmesine neden olabilir. Filmin hatalı kullanılması nedeniyle oluşan bazı işlem hataları Resim 2.4'de gösterilmiştir.



Resim 2.4. Filmdeki işlem hataları [29]

Film çeşitleri, AgBr tanelerinin boyutuna göre sınıflandırılabilir [30] :

- 1) İnce taneli, yavaş filmler.
- 2) Orta taneli, orta hızlı filmler.
- 3) İri taneli, hızlı filmlerdir.

Hızlı filmler iri taneli yapıya sahip olduklarından tane yapıları çıplak gözle dahi görülebilir. İnce taneli filmlerin tane yapısı ancak güçlü bir büyüteç yardımıyla görülebilir. İri taneli filmlerle çekilen radyografya detaylar kaçırılabilir. Endüstriyel uygulamalarda hassas çekimler yavaş, rutin çekimler orta hızlı filmlerle yapılır. Film cinsi radyografik kaliteyi etkileyen önemli bir etkidir [29,30].

Kullanılan film ve ekranlara göre elde edilen kontrast esas olarak yoğunlukla belirlenir. Yoğunluk arttıkça görüntü kalitesi artar. Yoğunluk filmin kararma derecesinin sayısal ölçüsüdür ve filmin ışık geçirgenliği ile ölçülür. Yoğunluk matematiksel olarak eşitlik 2.2'deki gibi gösterilmektedir [23].

$$D = \log (I_0 / I) \quad (2.2)$$

- D = Filmin yoğunluğu,  
 $I_0$  = Filmin üzerine gelen ışık şiddeti,  
 $I$  = Filmi geçen ışık şiddetidir.

#### Ekran faktörü

Radyografik filmler bir ekran çifti ile sandviç yapılmış halde kullanılırlar. Ekranlar, filmin altına ve üstüne konan ince levhalardır. Malzeme ile film arasında yer alan ekran ön ekran filmin arkasına konan ekran arka ekran olarak adlandırılır.

Film üzerine gelen radyasyonun etkisini artırmak için ön ekranlar kullanılır. Gerçekte film üzerine gelen radyasyonun ancak % 1 kadarı filme etki eder. Geri kalan kısmı

filmi etkilemeden geçer. Ön ekran kullanıldığında, ekrana gelen radyasyon ekran atomlarından elektron koparır (foto elektron), bu elektronlar filme etki eder. Bu ikinci etki daha büyüktür ve bu elektronlar sayesinde radyasyonun film üzerindeki etkisi 2-3 kat artar. Bu nedenle ön ekranlar kuvvetlendirici ekran adı da alır.

Endüstriyel radyografide ön ekran olarak metal ekranlar kullanılır. Yaygın olarak kullanılan metal ekranlar, kurşun, yüksek enerjilerde ise çelik veya bakırdır. Zeminden veya başka yerlerden saçılarak film üzerine gelen radyasyonu önlemesi bakımından arka ekranlar kullanılır. Arka ekranlar ön ekranlara göre biraz daha kalın olmalıdır [31].

Uygulamalarda ekranlar, karton, plastik ve metalden yapılan kasetler içerisinde kullanılmaktadır. Kasetlerin ana görevi, filmi ışıktan korumak ve zarar görmesini önlemektir.

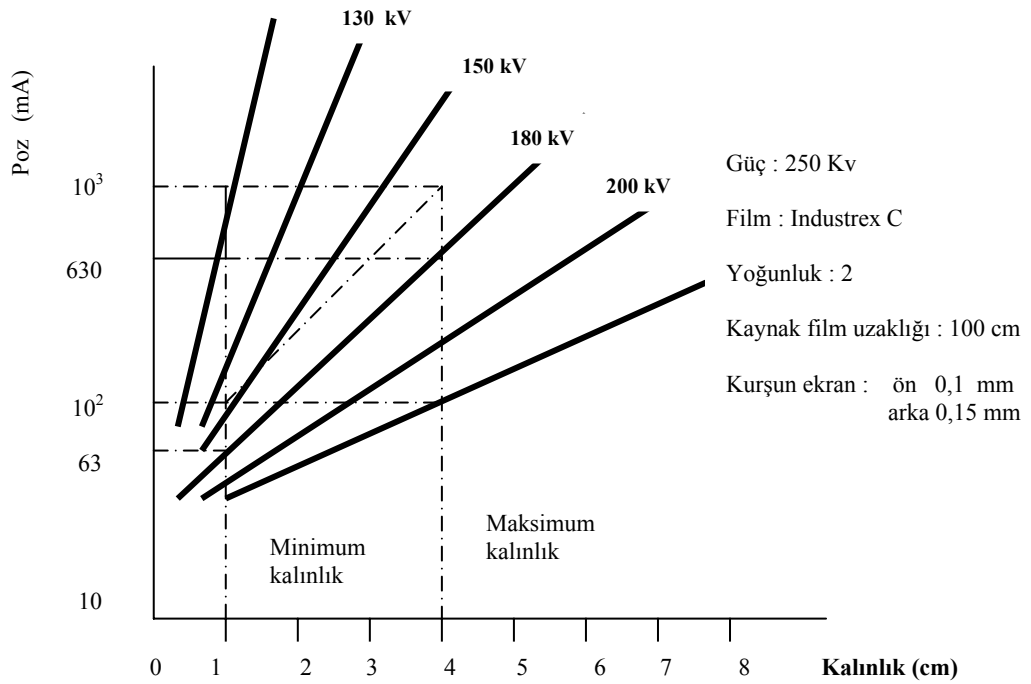
### Pozlama süresi

Radyograf üzerinde istenen film yoğunluğunun elde edilmesi için radyografi çekilen malzemenin belli bir süre radyasyona maruz bırakılması gerekir ve bu süre poz süresi (ışınlama süresi) olarak adlandırılır. Poz süresi, radyografin kalitesine etki eden diğer dört faktör bulunduktan sonra hesaplanan önemli bir faktördür [27].

Herhangi bir malzemedan yapılmış belli bir kalınlıktaki muayene parçasının pozlama süresini hesaplamak için poz çizelgeleri kullanılır. Bu çizelgeler farklı film türleri, gama ve x ışını cihazları, film – odak mesafesi (FFD), belli bir yoğunluk (D) ve belli banyo koşulları için hazırlanmışlardır. Poz çizelgelerinden, belirli malzeme cinsi (Örneğin çelik), banyo koşulları, film cinsi, odak-film uzaklığı ve film yoğunluğu elde etmek için, farklı malzeme kalınlıklarına göre gerekli ışınlama süreleri hesaplanabilir. Işınlama tabloları genellikle x ışını cihazı üreticileri tarafından deneysel olarak oluşturulup yayınlanmaktadır. X ışınları için poz tablosunun hazırlanmasında aşağıdaki parametrelerin sabit tutulması gerekir [10].

- X ışını tüpü,
- Film tipi ve yoğunluğu,
- Developman ve malzeme,
- Güçlendirici ekran ve kaynak film mesafesi.

Geliştirilecek poz tablosu için radyografi alınacak malzemenin cinsinden basamaklı görüntü kalite göstergesine ihtiyaç vardır. Bunların kalınlığı x ışını tüpünün menziline olması gerekir. Her bir basamağın yoğunluğu yoğunluk ölçer ile ölçülür ve ilgili basamak kalınlığına göre grafiklenir. Her farklı kV için bir poz süresi ortaya çıkar. Şekil 2.17'de x ışını ışınlamasına ilişkin bir poz grafiği görülmektedir.



Şekil 2.17. X ışını için poz grafiği [10]

### 2.8.2. Penetremetreler

Penetremetreler radyografik kalite seviyesini (hassasiyetini) tayin etmek için kullanılan diğer bir değişle kullanılan tekniğin yeterli olup olmadığını radyograf üzerinde belirlemeye yarayan ve görüntüsü film üzerinde gözükken bir alettir. Bunlar, ne malzemeler için kabul-ret kriterlerinin oluşturulmasında ne de süreksizliklerin boyutlarının değerlendirilmesinde kullanılmazlar [31].

Radyografi tekniğinin yeterli olup olmadığını kontrol etmek için, standart bir muayene parçası genelde her radyografa eklenir. Bu standart muayene parçası Amerika'da "penetremetre", Avrupa'da ise "görüntü kalite göstergesi" adı verilir [30].

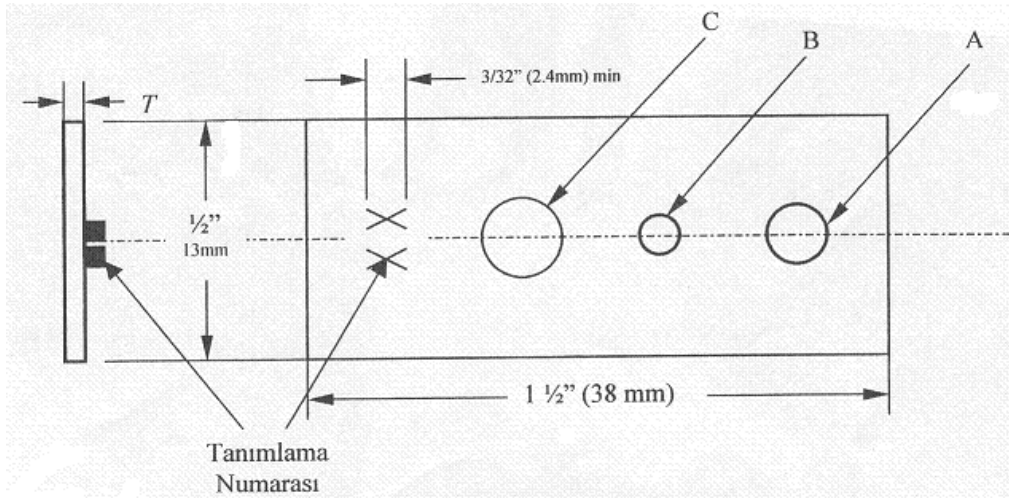
Görüntü kalite göstergeleri çeşitli çaplarda teller veya çeşitli çaplardaki delik açılmış metal levhalar ya da basamaklı levhalar halindedir. Basamakların kalınlığı veya delik ve tellerin çapı T ile ölçülür. Burada T malzeme kalınlığının % 2'sine eşittir. Örneğin içinde T, 2T ve 3T çapında üç delik olan metal levhada eğer bütün delikler radyografda görülürse duyarlılık % 4,1, iki delik görülürse % 2 ve bir delik görülürse %2,8'dir. Penetremetreler normal olarak muayene edilen parçanın üzerine, kaynak tarafına yerleştirilir [10].

#### Delikli tip penetremetreler

ASTM dizaynı penetremetrelerdir. Şekil 2.18'de ASTM tipi bir penetremetre görülmektedir. Bu penetremetreler üç delikli dikdörtgen şeklinde bir metalden yapılmıştır. Penetremetreler üzerlerindeki kurşundan yapılmış rakamlarla tanınırlar. Kurşun harflerle yazılmış bu sayı penetremetre kalınlığının 1000 katıdır. Penetremetre, muayene edilen muayene malzemesi ile aynı malzemeden yapılır ve genellikle malzeme kalınlığının % 2 si kadar bir kalınlığa sahiptir [31].



Standart bir penetremetrenin kalınlığı (T), penetremetreyi tanıma işaretinin gösterdiği kalınlığın yüzde ikisidir. Delik çapları A : 2T , B:T , C: 4T dir. Standart penetremetre boyutları aşağıda Çizelge 2.3’de verilmiştir [31].



Şekil 2.18. ASTM tipi delikli penetremetre [32]

Çizelge 2.3. Standart delikli tip penetremetre ölçüleri

Malzeme kalınlığı (in)	Penetremetre no	T	1T delik çapı(in)	2T delik çapı (in)	4T delik çapı (in)
0,250	25	0,005	0,010	0,020	0,040
0,375	37	0,008	0,010	0,020	0,040
0,500	50	0,010	0,010	0,020	0,040
0,625	62	0,013	0,013	0,025	0,050
0,750	75	0,015	0,015	0,030	0,060
0,875	87	0,018	0,018	0,035	0,070
1,100	1,0	0,020	0,020	0,040	0,080
1,125	1,1	0,023	0,023	0,045	0,090
1,250	1,2	0,025	0,025	0,050	0,100
1,500	1,5	0,030	0,030	0,060	0,120

### Telli penetreler

Almanya'da DIN 54109 normu ile telli penetreler standartlaştırılmıştır. Bu penetreler plastik bir muhafaza ile kaplanmış ve birbirine paralel farklı çaplarda bir çok telden meydana gelmiştir. En kalın tel 3,2 mm'den başlar ve çap geometrik olarak azalarak 0,1 mm'ye kadar iner. Şekil 2.19 telli penetre, Çizelge 2.5'de ise tel kalınlıklarına ait bilgiler görülmektedir [23,31].

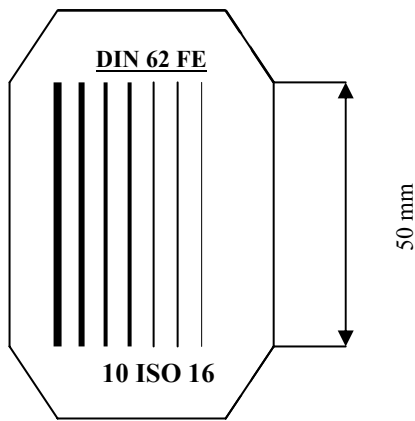
Telli penetre ile radyografik hassasiyetin tayini yapılırken muayene edilen malzeme görüntüsünün ilgilenilen kısımda görülebilen en ince telin görüntüsü tespit edilir. Bulunan bu tel çapı o noktadaki muayene parçasının kalınlığına oranlanır [23]. Yani;

$$\text{Hassasiyet(\%)} = [\text{Görülebilir en ince tel çapı(mm)} / \text{Test parçasının kalınlığı (mm)}] \times 100$$

Örnek: Hassasiyet 0,02 (%2) , malzeme 12,7 mm, kaynak yüksekliği 2 mm olsun;

$$0,02 \times (12,7 \times 2) / 100 = 0,314 \rightarrow \text{yaklaşık } 0,32 \rightarrow \text{bu çap 11.telin çapıdır. Çizelge 2.5}$$

Böylece 6/12 penetre kullanılır ve 6. tel görünür.



Şekil 2.19. Tel tipi penetre [23]

Bu şekilde, DIN 62 standardın kabul edildiği yılı, FE penetremetrenin yapıldığı malzemeyi, 10 ISO 16, Uluslararası Standartlar Enstitüsü işareti ISO ile en kalın ve en ince tel numaralarını gösterir. Toplam 16 farklı çaptaki telden oluşan penetremetre takımı Çizelge 2.4’de görüldüğü gibi üç gruba ayrılır. Her grupta birbirini takip eden 7 tel numarası vardır.

Çizelge 2.4. Telli penetremetreler (DIN 54 109) [31]

Gösterim	Tel no	Tel uzunluğu (mm)	Tel malzemesi	Muayene edilen malzeme
DIN FE 1/7	1 2 3 4 5 6 7	50	Alaşım-sız çelik	Demir alaşım-ları
DIN FE 6/12	6 7 8 9 10 11 12	50 veya 25		
DIN FE 10/16	10 11.....16	50 veya 25		

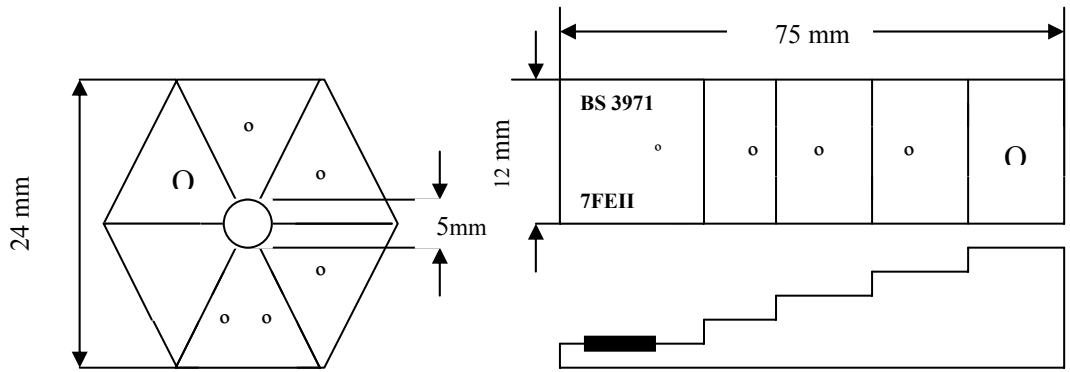
Çizelge 2.5. Penetremetrelerdeki tellerin çap ve görüntü kalite numaraları [23] (DIN 54 109)

Görüntü Kalite No	Tel Çapı (mm)	
	Tolerans	Ø
1	± 0,03	3,2
2		2,5
3		2
4	± 0,02	1,6
5		1,25
6		1
7		0,8
8	± 0,01	0,63
9		0,5
10		0,4
11		0,32
12		0,25
13		0,2
14	0,16	
15	± 0,005	0,125
16		0,1

### Basamaklı penetremetre

Basamaklı penetremetreler, Şekil 2.20’de görüldüğü gibi çeşitli kalınlıkta basamaklardan oluşan penetremetrelerdir. BS 3971’e göre imal edilmiş basamaklı penetremetreler basamaklarda, basamak düzlemine dik ve basamak kalınlığına eşit çapta bir veya iki delik bulunur. Deliklerin basamak kenarından olan uzaklığı yaklaşık 3 mm dir. Basamak ve delik çapı Çizelge 2.6’da verilmiştir [31].

Basamaklı penetremetrelerde hassasiyet, film üzerinde görülen en küçük deliğin çapının numune kalınlığına oranının yüz ile çarpımına eşittir.



Şekil 2.20. İngiliz basamaklı penetremetre [31]

Çizelge 2.6. İngiliz penetremetresinin basamak kalınlıkları ve delik çapları [31]

Basamak no	Çap ve basamak kalınlığı (mm)	Basamak no	Çap ve basamak kalınlığı (mm)
1	0,125	10	1
2	0,16	11	1,25
3	0,2	12	1,6
4	0,25	13	2
5	0,32	14	2,5
6	0,4	15	3,2
7	0,5	16	4
8	0,63	17	5
9	0,8	18	6,3

## 2.9. Radyografik Işınlama ve Film Çekim Teknikleri

### 2.9.1. Radyografide kullanılan ışınlama hesapları

Kaynaktan belirli mesafedeki radyasyon miktarı, ışınlama zamanı ile radyasyon şiddetinin çarpımına eşittir.

$$Q = I \times T_x \quad (2.3)$$

Q= radyasyon miktarı (röntgen), I= röntgen / s ,  $T_x$ = zaman (saniye)

Eşitlik 2.3’de görüldüğü gibi ışınlama şiddeti doğrudan doğruya tüpten geçen akımla ve radyoaktif maddenin aktivitesi ile ilgilidir. Akım artarsa, şiddet akımla doğru orantılı olarak artacaktır.

$$M1 / M2 = I1 / I2 \quad (2.4)$$

M1 = birinci durum için tüp akımı (Ma)      M2 = ikinci durum için tüp akımı (Ma)  
I1 = birinci durum için şiddet (R/s)      I2 = ikinci durum için şiddet (R/s)

Eşitlik 2.4’de şiddetle akım arasındaki ilişki matematiksel olarak gösterilmektedir .

Akım, şiddetle orantılı olduğu için eşitlik 2.3’de şiddet (I) yerine akım (M) konulursa eşitlik 2.5 şekline dönüşür. Bu değere ışınlama denir ve “E” ile gösterilir.

$$Q = M \times T_x \quad (2.5)$$

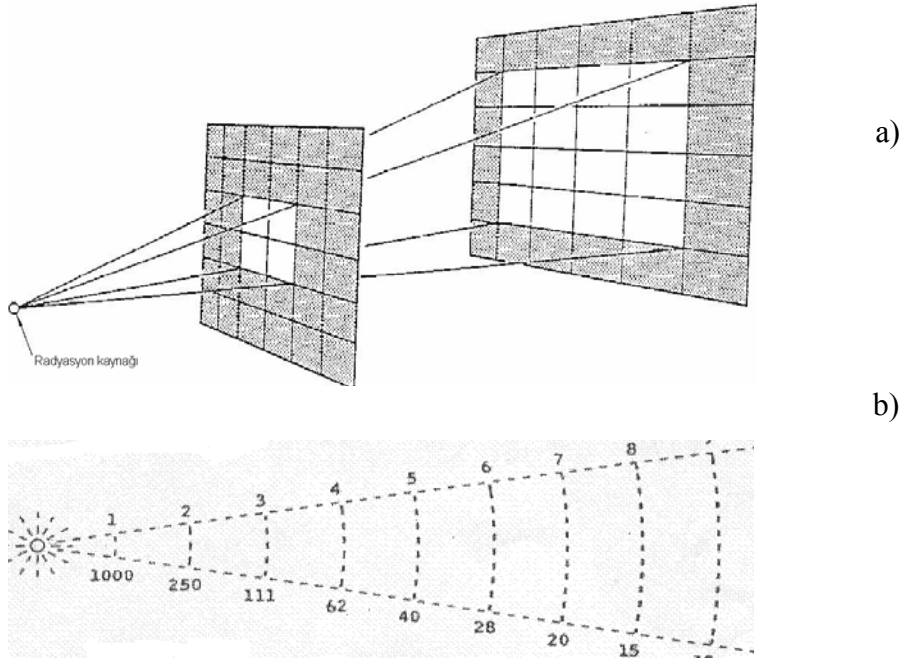
$E = M \times T_x$  Işınlama birimi miliamper – s’dir. Işınlama kaynağı olarak radyoizotop kullanıldığında tüp akımı yerine radyoizotopun aktivite değeri  $M = C$  alınır [29].

Radyasyon şiddeti, mesafenin karesi ile ters orantılı olarak değişir. Bu durum matematiksel olarak ters kare kanunu olarak adlandırılır ve eşitlik 2.6'da olduğu gibi ifade edilir [33].

$$I_1 / I_2 = D_2 / D_1 \quad (2.6)$$

$I_1 = D_1$  noktasındaki radyasyon şiddeti,  $I_2 = D_2$  noktasındaki radyasyon şiddeti,  
 $D_1 =$  Birinci nokta ile kaynak arasındaki mesafe,  
 $D_2 =$  İkinci nokta ile kaynak arasındaki mesafedir.

Bu kanun, mesafeyi iki katına çıkardığımızda, alacağımız radyasyon dozunun  $\frac{1}{4}$ 'e düşeceğini belirtir. Şekil 2.21 a'da diyagramda uzaktaki kare grubu birinci kare grubunun radyasyon kaynağından uzaklığının iki katı mesafede olduğu görülmektedir. Şekil 2.21 b'de ise mesafenin radyasyon emniyeti açısından ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Radyasyon kaynağına yaklaşıldıkça da aynı kanun geçerlidir [33].

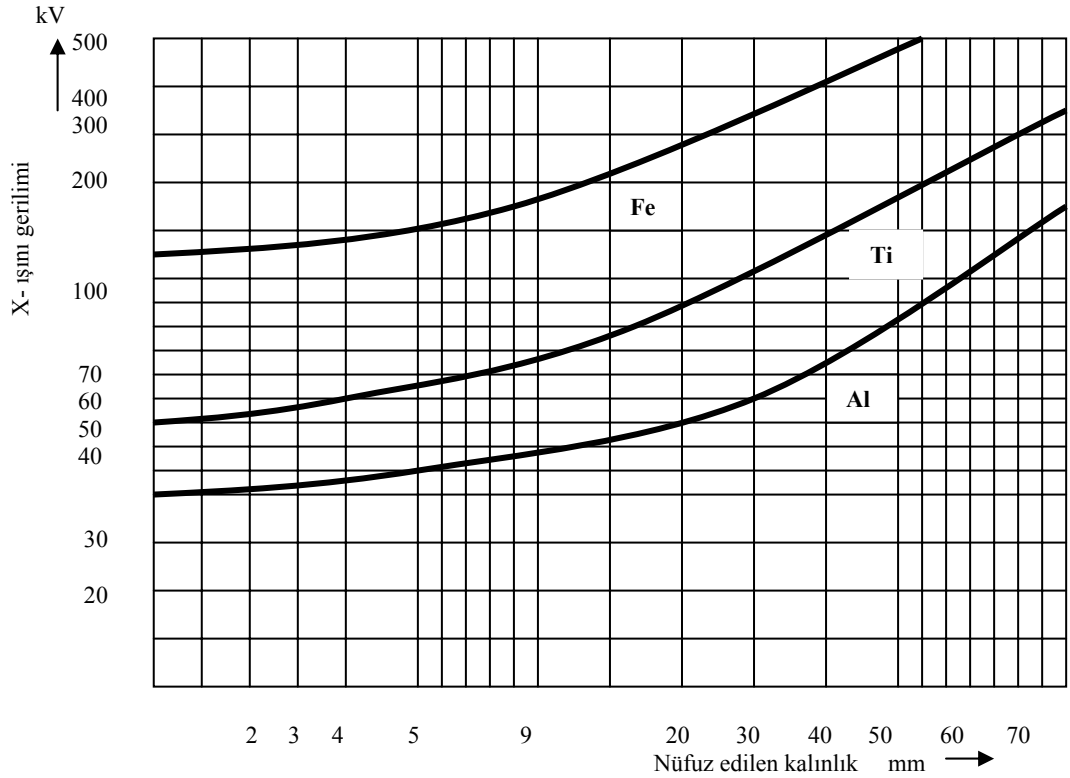


Şekil 2.21. Ters kare kanunu a) Radyasyon şiddeti b) Radyasyon etkisi

### 2.9.2. Tüp gerilimi ve radyasyon kaynağının seçimi

X ve gama ışının seçimi muayene edilecek malzemenin kalınlığına, cinsine, kullanılacak ışınlama düzenine ve gerekli olan muayene sınıfına göre yapılır. Radyografik teknikler hatayı algılayabilme hassasiyetine göre muayene sınıfı A ve B olmak üzere iki gruba ayrılır. Genel amaçlı muayeneler için A sınıfı, yüksek hassasiyet gerektiren durumlar için B sınıfı muayene metotları kullanılır.

Hata tespit hassasiyetini iyi bir durumda muhafaza etmek için x ışınları tüp gerilimi mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır. Tüp geriliminin en büyük değerleri Şekil 2.22'de verilmiştir [34].



Şekil 2.22. X ışınları cihazları için en büyük x ışını gerilimleri [34]

Gerilimin arttırılması ile x ışınlarının sertliklerine ilişkin değişimi Çizelge 2.7’de ifade edilmektedir [10].

Çizelge 2.7. X ışını sertlik değerleri

Radyasyon	Voltaj
Çok yumuşak	20 kV den az
Yumuşak	20-60 kV
Orta	60-150 kV
Sert	150-400 kV
Çok sert	400-3000 kV
Ultra sert	3000 kV üzeri

İzotoplar ve hızlandırıcılar için nüfuz edilen kalınlık aralıkları aşağıdaki Çizelge 2.8’de verilmiştir [34].

Çizelge 2.8. Çelik, bakır ve nikel esaslı alaşımlar için tüp gerilimi 1 Mev ve üzerinde olan x ışın teçhizatı ve gama ışın kaynaklarının kalınlık aralığı

Radyasyon kaynağı	Nüfuziyet kalınlığı mm, (W)	
	Muayene sınıfı A	Muayene sınıfı B
Yb 169	$1 \leq W \leq 20$	$5 \leq W \leq 15$
Ir 192	$10 \leq W \leq 100$	$20 \leq W \leq 100$
Co 60	$40 \leq W \leq 200$	$60 \leq W \leq 150$
1 MeV’den 4 MeV’ye Eg’ li x ışını cihazı	$30 \leq W \leq 200$	$50 \leq W \leq 180$
4 MeV’den 12 MeV’ye Eg’ li x ışını cihazı	$W \geq 50$	$W \geq 80$
12 MeV üzerinde Eg’ li x ışını cihazı	$W \geq 80$	$W \geq 100$

Farklı radyasyon kaynakları için en küçük ekran ve film sistem sınıfları Çizelge 2.9’da verilmiştir.



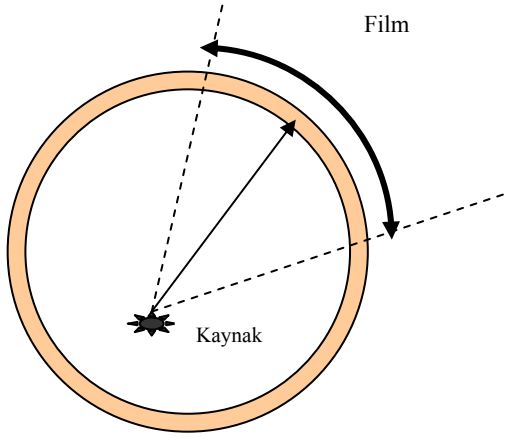
Çizelge 2.9. Çelik, bakır ve nikel esaslı alaşımlar için metal ekranlar ve film sistem sınıfları [34]

Radyasyon kaynağı	Nüfuziyet derinliği W	Film sınıf A	Film sınıf B	Metal ekranın tipi ve kalınlığı	
				Sınıf A	Sınıf B
X ışını gerilimi $\leq 100$ kV		G3	G2	Ekranlı veya 0,03 mm' ye kadar kurşun ön ve arka ekran	
X ışını gerilimi 100 kV ila 150 kV				0,15 mm'ye kadar kurşun ön ve arka ekran	
X ışını gerilimi 150 kV ila 250 kV				0,02 ila 0,15 mm kurşun ön ve arka ekran	
Yb 169	$W < 5$ mm	G3		Ekranlı veya 0,03 mm' ye kadar kurşun ön ve arka ekran	
	$W \geq 5$ mm			G2	0,02 ila 0,15 mm kurşun ön ve arka ekran
X ışını gerilimi 250 kV ila 500 kV	$w \leq 50$ mm	G3	G2	0,02 ila 0,15 mm kurşun ön ve arka ekran	
	$W > 50$ mm		G3	0,1 ila 0,2 mm kurşun ön ekran 0,02 ila 0,2 mm kurşun arka ekran	
Ir 192		G3	G2	0,02 ila 0,2 mm kurşun arka ekran	0,1 ila 0,2 mm kurşun ön ekran
Co 60	$w \leq 100$ mm	G3	G2	0,25 ila 0,7 mm çelik veya bakır ön ve arka ekran	
	$w > 100$ mm		G3		
Hızlandırıcı 1 MV ila 4 MV x ışınları	$w \leq 100$ mm	G3	G2	0,25 ila 0,7 mm çelik veya bakır ön ve arka ekran	
	$w > 100$ mm		G3		
Hızlandırıcı ile 4 MV ila 12 MV x ışınları	$w \leq 100$ mm	G2	G2	1 mm ye kadar bakır, çelik veya tantal ön ekran - 1 mm kadar bakır veya çelik ve 0,5 mm' ye kadar tantal arka ekran	
	$100 \text{ mm} < w \leq 300 \text{ mm}$	G3	G2		
	$w > 300$ mm		G3		
Hızlandırıcı ile $> 12$ MV x ışınları	$w \leq 100$ mm	G2	G2	0 mm ye kadar tantal ön ekran	
	$100 < w \leq 300 \text{ mm}$	G3	G2	Arka ekran yok	
	$w > 300$ mm		G3	1 mm ye kadar tantal ön ekran 0,5 mm ye kadar tantal ön ekran	

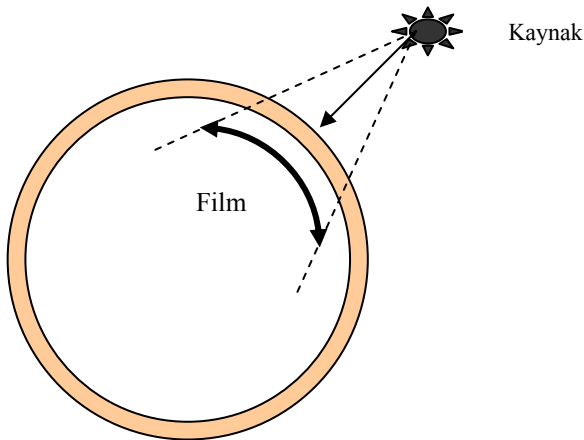
### 2.9.3. Boru kaynakları - Radyografik film çekim teknikleri

#### Tek cidar tekniği (T-271.1)

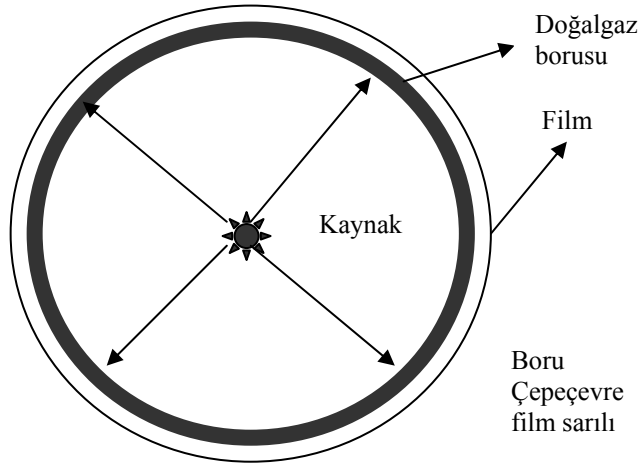
Tek-cidar tekniğinde; radyasyon sadece kabul için radyografıta görünmesi istenen sadece bir cidardan geçer. Şekil 2.23, Şekil 2.24, Şekil 2.25' de boru dış çapı  $> 3^{1/2}$  inç (89 mm) olan malzemelerde bu çekim teknikleri uygulanabilir [14, 35].



Şekil 2.23. Film dışarıda, radyasyon kaynağı içerde tek cidar ışınlama [14,28]



Şekil 2.24. Film içerde, radyasyon kaynağı dışarıda tek cidar ışınlama [14,28]



Şekil 2.25. Film dışarıda, radyasyon kaynağı parçanın merkezinde tek cidar ışınlama [14,28]

#### Çift cidar tekniği (T-271.2)

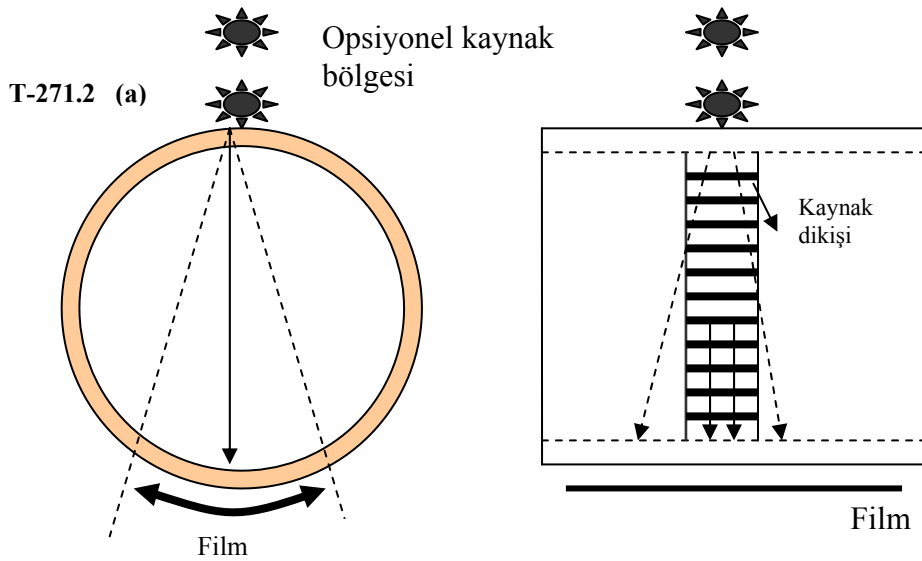
Tek cidar tekniğini kullanmak pratik değilse aşağıdaki çift cidar tekniklerinden biri uygulanacaktır;

a) Tek-cidar görüntüsü ; malzemelerdeki kaynaklar için radyasyonun her iki cidardan geçtiği sadece film tarafındaki cidarda bulunan kaynağın (veya malzemenin) radyograf üzerinde kabul için izlenebildiği bir teknik kullanılabilir. Çevresel kaynakların tamamını kapsaması istenildiğinde en az 120° aralıkla üç ışınlama yapılacaktır (Şekil 2.26). Boru dış çapı  $> 3^{1/2}$  inç (89 mm) olan malzemelerde bu çekim teknikleri uygulanabilir [35].

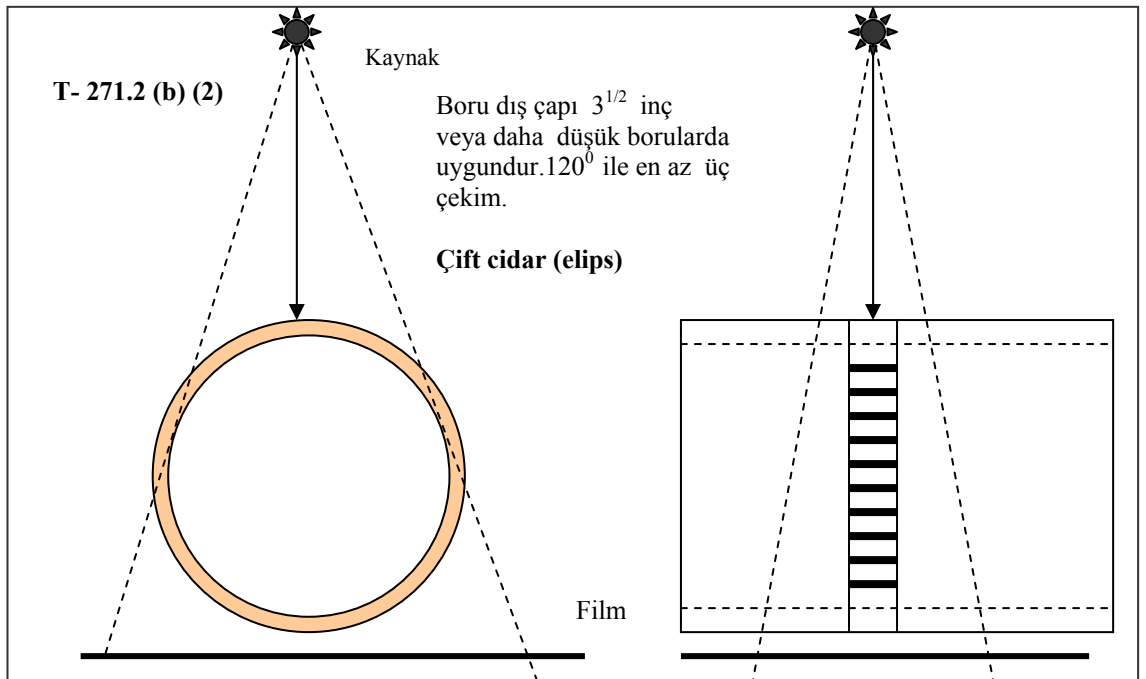
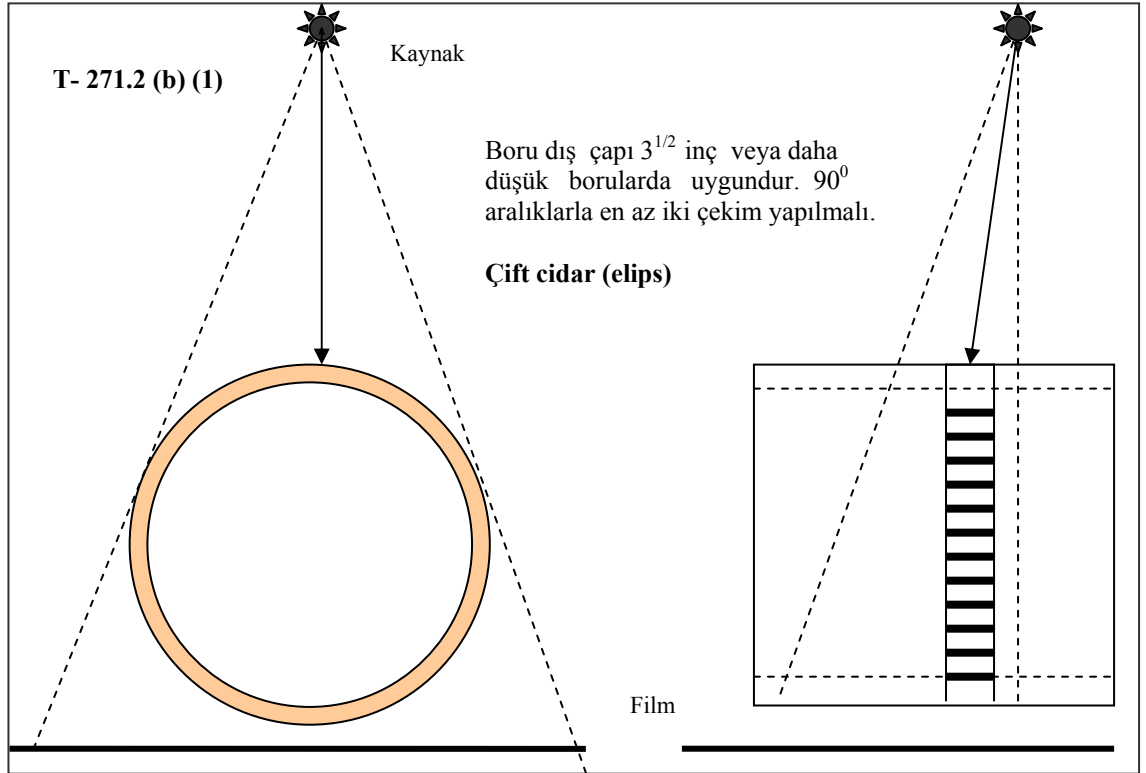
b) Çift - cidar görüntüsü; nominal dış çapı  $3^{1/2}$  inç (89 mm) veya daha az olan malzemelerde ve parçalardaki kaynaklarda radyasyonun her iki cidardan geçtiği ve her iki cidardaki kaynağın aynı radyograf üzerinde kabul için izlenebildiği bir teknik kullanılabilir (Şekil 2.27). Çift-cidar görüntü için sadece kaynak tarafı penetremetre kullanılacaktır. İstenilen geometrik düzgünlük değerinin aşılmadığından emin olmak için dikkat edilmelidir. Eğer geometrik düzgünlük şartı sağlanamaz ise tek-cidar görüntüsü uygulanmalıdır [35].

1) Kaynaklar için; değerlendirme yapılacak bölgede bindirme olmaması için radyasyon ışını, kaynak düzleminde (film ve kaynak tarafı görüntülerini ayırmak için yeterli olacak bir açıda) kaçırılabilir. Kaynağın tamamının kontrolü istenildiğinde her bir birleştirme için birbirinden  $90^\circ$  farklı en az iki ışınlama yapılacaktır

2) Alternatif olarak; kaynak, her iki cidarın (kaynak tarafı ve film tarafı) görüntüsü üst üste gelecek şekilde radyasyon ışını pozisyonlandırılarak radyografi alınabilir. Kaynağın tamamının kontrolü istenildiğinde; her bir dikiş için birbirine  $60^\circ$  veya  $120^\circ$  aralıkla yapılmış en az üç ışınlama yapılacaktır [35].



Şekil 2.26. Film ve radyasyon kaynağı dışarıda çift cidar - tek görüntü ışınlama teknikleri [14,28]



Şekil 2.27. Film ve radyasyon kaynağı dışarıda çift cidar – çift görüntü ışınlama teknikleri [14,28]

## **2.10. Radyografik Film – Banyo Teknikleri**

### **2.10.1. Karanlık oda**

Işınlanmış filmin karanlık odadaki işlemlerinin filmin kalitesi ve dayanıklılığı üzerinde önemli etkisi vardır. Karanlık oda işlemlerinin doğru yapılması görüntü kalitesini artırır. Görüntü kalitesi yüksek filmler elde etmek için tüm karanlık oda şartlarının periyodik olarak kontrolünün yapılması gerekir. Bunun için karanlık odada ıslak ve kuru alanlar birbirinden ayrı tutulmalı ve banyo tanklarının boyutu film boyutuna uygun olmalıdır [36].

### **2.10.2. Banyo kimyasalları**

Kimyasal maddeler ve çözeltiler film üzerine tamamen farklı etkiler yaparlar. Bu etkilerin toplamı kalıcı radyografik görüntü meydana getirir. Üç banyo çözeltisi vardır ve bunlar belli bir sıra ile kullanılarak, ışınlanmış filmi faydalı radyografa çevirir.

Birinci banyo geliştirme banyosudur. Filmdeki gizli görüntüyü görünür hale getirir. Geliştiricinin içindeki özel bir madde, ışınlanmış filmdeki gizli görüntüye etki eder. Bu iş AgBr taneciklerinin siyah metalik Ag'ye indirgenmesi ile olur. İndirgeyici reaktif fonksiyonuna başlamadan önce, geliştirici dış koruyucu tabakadan içeriye doğru nüfuz ederek görüntü tabakasında taneciklerle temas etmelidir. Geliştirme çözeltisi kimyasal maddelerin karışımıdır ve bunların her birinin önemli görevleri vardır. Bir bütün olarak bu kimyasal maddeler geliştirme işlemi yapar.

Yani, ışınlanmış AgBr taneciklerini metalik Ag'ye indirger. Geliştirme çözeltisindeki kimyasal maddelerden biri bir alkalidir. Bunun görevi, giricilik işlemini hızlandırmak ve geliştiricinin indirgeyicisini emülsiyona sokmaya yardım etmektir. Alkali madde, giriciliği artırdığı için, hızlandırıcı diye adlandırılır. Buradan da geliştirme çözeltisinin bazik bir çözelti olduğu anlaşılır.

Geliştirme işleminde hem sıcaklık hem de geliştirme süresi çok önemlidir. Eğer normalden yüksek sıcaklıkta geliştirme işlemi yapılacaksa, geliştirme süresini kısa tutmak gerekir. Bunun tersinin de doğru olacağı açıktır. Zaman-sıcaklık tabloları imalatçı firma tarafından verilir (Çizelge 2.10) [36].

Çizelge 2.10. Geliştirici sıcaklığına bağlı olarak geliştirme işlemi süresi

Geliştirme Sıcaklığı <sup>0</sup> C	Geliştirme süresi, dakika
15,6	8,5
18,3	6
20	5
21,1	4,5
23,9	3,3

Durdurma banyosu asidik karakterlidir. Filmdeki geliştirme işlemini durdurmak ve filmdeki alkali geliştiriciyi nötralize ederek daha sonra daldırılacak olan tespit banyosuna alkali taşınması önlemek görevi vardır.

Tespit banyosu asidiktir. Görüntüyü kalıcı olarak filme tespit eder ve ışınlanmamış bütün AgBr taneciklerini filminden giderir. Tespit banyosunun görüntüyü sabitlemeden önce ilk görevi, ışınlanmamış AgBr taneciklerini çözmektir. Bunu için sodyum tiosülfat, amonyum sülfat kullanılır. Bu iki kimyasal maddeye kısaca hipo denir. Radyografik filmlerin dayanıklı olması için tespit banyosu içine sertleştirici bir madde potasyum şapı ilave edilir. Bu madde filmi sertleştirir, çizilmesini önler ve film kurutulması sırasında ısıya dayanıklılığını artırır. Zamanla tespit banyosu zayıflar. O zaman temizleme süresi artar. Asitlik azalınca radyografıta kahverengi lekeler görülür. Ayrıca yeter derecede filmi sertleştiremez [36].

### 2.10.3. Film banyosu

Banyo işleminde yapılacak ilk iş banyo sıcaklıklarını kontrol etmektir. Tank metoduyla geliştirmede bütün çözeltilerin sıcaklıkları aynı olacağından, ısıtıcı suyun sıcaklığını kontrol etmek yeterlidir. Isıtıcı suyun sıcaklığı 20 °C olmalıdır. Film yavaş ve dikkatli bir şekilde geliştirme tankında ortalama 5 dakika tutulur, ilk 30 s den sonra film 4-5 defa 10'ar s arayla çalkalanır, zaman dolunca film çıkarılır ve bir iki sn sonra durdurma banyosuna alınır. Durdurma banyosu, filme hapsolan geliştirici etkisini nötralize ederek durdurur. Durdurma banyosunda geçen süre 30-60 s'dir. Durdurma çözeltilerinin filme iyi temasını sağlamak için orta hızla çalkalama yapılmalıdır. Durdurma banyosundan çıkarılan film tespit banyosuna daldırılır. Tespit banyosunun ana görevi, emülsiyondaki ışınlanmamış AgBr taneciklerini çözmek ve emülsiyondan gidermektir. Film tespit banyosuna daldırılır daldırılmaz hiç durmadan devamlı 30 s çalkalanır. Filmin tespit banyosunda tutulma süresi geliştirme banyosunda tutulma süresinin iki katıdır. Tespit banyosundan çıkarılan film yıkama banyosuna sokulur. Yıkama süresi genel olarak 10 dakika civarındadır. Bu sürede tespit banyosundan geçen bütün kimyasal maddeler emülsiyondan giderilmiş olur. Yıkama işleminden sonra da film kurutulur. Bundan önce filmdeki su lekelerini azaltmak için, film leke önleyici bir çözeltiliye daldırılır. Film bu çözeltilide 1-2 dakika bekletilir ve filmin banyo işlemi tamamlanır [36].

### 2.11. Raporlar

Muayene raporu, her bir radyograf veya radyograf seti için, kullanılan radyografik teknikle ve sonuçların daha iyi anlaşılmasını sağlayacak diğer özel şartlarla ilgili bilgi vermelidir. Muayene raporu en az aşağıdaki bilgileri ihtiva etmelidir [34] .

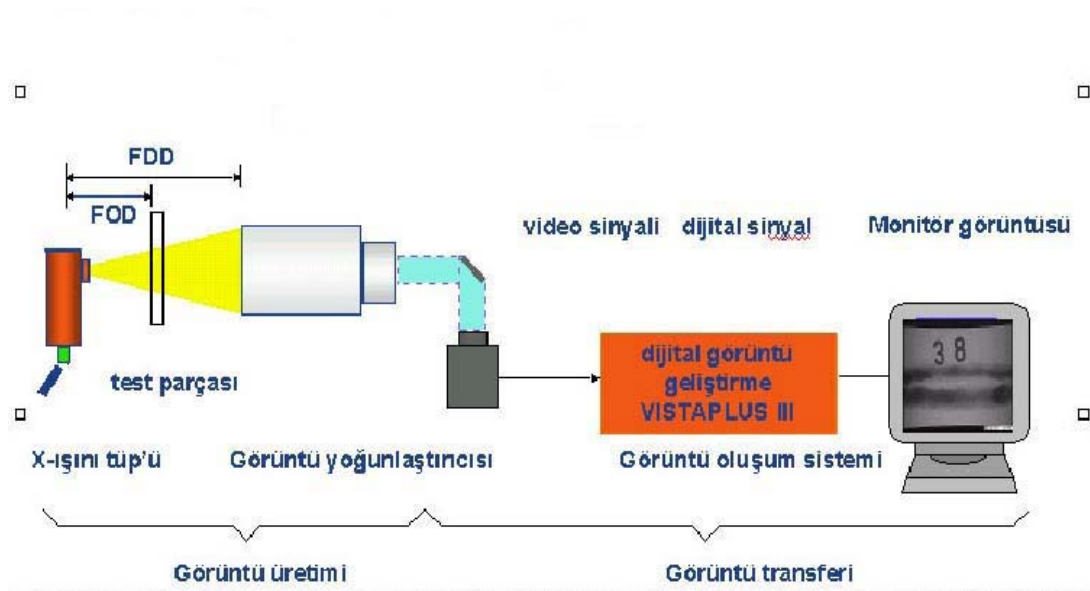
- Muayene eden kuruluşunun adı,
- Muayene cinsi,
- Malzeme,
- Isıl işlem,



- Kaynak geometrisi,
- Malzeme kalınlığı,
- Kaynak işlemleri,
- Kabul şartları dahil, muayenede aranacak özellikler,
- Muayene düzenleme tekniği ve sınıfı, bu standarda göre gerekli IQI hassasiyeti,
- Kullanılan işaretleme teknikleri,
- Film konum planı,
- Radyasyon kaynağı,
- Film, ekran ve filtreler,
- Kullanılan tüp gerilimi ve akımı veya kaynağın etkinliği,
- Poz süresi ve kaynak film mesafesi,
- İşlem tekniği (Elle / otomatik),
- Görüntü kalite göstergesinin tipi ve konumu,
- Film yoğunluğu,
- Sorumlu kişinin/kişilerin adı ve belgelendirmesi,
- Poz ve rapor tarihi.

### 3. DİJİTAL RADYOGRAFİ

Dijital radyografi bir malzemenin radyografik görüntüsünün doğrudan bilgisayar ortamına aktarılıp değerlendirildiği veya görüntüleme plakalarından bilgisayar ortamına aktarılarak görüntü işleme tekniklerinin uygulandığı bir radyografik muayene yöntemidir. Dijital radyografide anında görüntüleme işlemine radyoskopi denilmektedir. Bu yöntem günümüzde hafif metal alaşımlarından imal edilen dökümlerin, karışık geometriye sahip parçaların ve kaynaklı boruların otomatik olarak muayenesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de bu sistemin çalışması görülmektedir [5,37].



Şekil 3.1. Radyoskopik sistem [37]

Bir radyoskopi sistemi genelde görüntü oluşturucu ve görüntü aktarıcı olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Görüntü oluşturucu bir radyasyon kaynağı, muayene malzemesi ve görüntü kuvvetlendiriciden oluşur. Görüntü aktarıcısı ise optik kamera, dijital dönüştürücü ve monitör veya bilgisayardan meydana gelir. En basit radyoskopi sistemi floreskopi düzeneğidir. Bu düzenekte x ışını tüpü, floresan ekran ve CCD kamera kombinasyonundan oluşan bir kutu buna bağlı bilgisayar vardır. Muayene malzemesinden geçen x ışını floresan ekran üzerinde oluşturduğu görüntü

CCD kamera aracılığı ile bilgisayara aktarılır ve burada istenilen değerlendirme işlemi uygulanarak gerekirse görüntü elektronik ortamda arşivlenir [38].

Bu yöntem son yıllarda geliştirilen ve gelecekte yaygın olarak kullanılacak tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir. Prensip olarak normal film radyografisine benzemekle birlikte, bu yöntemde görüntü radyografik film yerine direkt olarak monitöre aktarılmakta ve değerlendirme monitör üzerinden yapılmaktadır. Ayrıca radyoskopik muayene yönteminin normal film radyografisine göre pek çok üstünlükleri vardır. Bunlar;

1. Film ve banyo masrafı yoktur.
2. Çekim esnasında görüntü alındığından hızlı bir yöntemdir.
3. Büyütme yapılarak ince detaylar ve küçük hatalar kolayca tespit edilir.
4. Karmaşık geometriye sahip parçalarda ince ve kalın bölgeler aynı anda incelenir.
5. Çekim esnasında parça hareket ettirebildiğinden, yüzey hataları ve iç hatalar aynı hassasiyette tespit edilebilir.

Bu yöntem, ilk aşamada yatırım maliyetinin yüksek olması bir dezavantaj oluştursa da uzun vadede oldukça ekonomik ve etkili bir tahribatsız muayene yöntemidir [39,40].

### **3.1. Radyoskopik Muayene Metodunun Temel Özellikleri**

Genel olarak bakıldığında radyografi ile radyoskopik muayene arasında üç temel farklılık vardır. Pozlama (x - ışınına maruz kalma süresi), görüntü oluşturma kayıt tekniği ve muayene mekaniğidir [41].

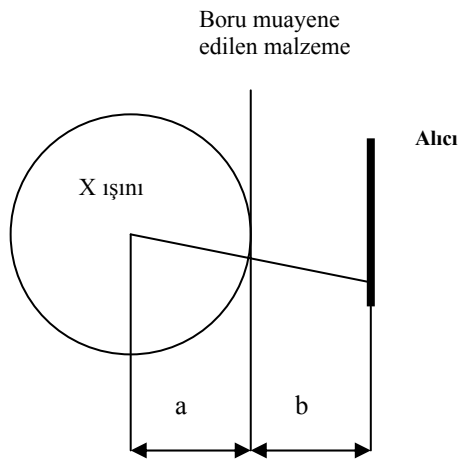
Film tekniğinde, görüntünün oluşması için filmin belli süre x ışınına maruz kalması gerekmektedir. Bu süre muayene koşullarına göre değişmekte dakika ile belirlenmektedir. Radyoskopide ise bu süre mili saniyeler seviyesindedir. Her iki yöntemde de değerlendirme, film veya monitör üzerinde elde edilen görüntüden

görsel olarak yapılmaktadır. Doğru değerlendirme için görüntü kalitesi önem taşımaktadır. Radyoskopik muayene de görüntü kalitesi şu faktörlere bağlıdır;

X ışını tüpünün odak boyutu; ideal görüntü geometrisi için x ışını kaynağının nokta şeklinde olmasıdır.

Görüntünün büyültme miktarı; radyoskopik muayene sisteminde görüntü oluşturmadaki geometrik düzenek film radyografisine göre farklılık göstermektedir. Radyoskopide film radyografisinin tam tersi olarak alıcı ile muayene edilen malzeme arasında belli bir mesafe olmak zorundadır. Bu mesafenin olması görüntünün geometrik olarak büyütülmesini sağlamakta ve x ışını tüpünün odak boyutuna bağlı olarak ta görüntü kenarlarında ki yarı gölgelerin daha fazla artışına neden olmaktadır (Şekil 3.2).

Geometrik büyütme; büyültme miktarı genellikle küçük detayların tespit edilmesinde oldukça yararlıdır. Ancak bu durum görüntü çözünürlüğünü azaltmaktadır. İdeal büyültme oranı 2,0 dir. Büyültme miktarı eşitlik 3.1'deki gibi hesaplanır [41]:



Şekil 3.2. Muayene sisteminde geometrik ilişkilerin görüntüsü [41]

$$M = (a+b) / a \quad (3.1)$$

M = Büyültme

a = X ışını kaynağı ile muayene edilecek malzeme arasındaki mesafe

b = Muayene edilen malzeme ile alıcı arasındaki mesafe

Radyoskopide alıcı sisteminin performansı ise görüntü güçlendirici, kamera ve monitör ile ilgilidir.

Görüntü elde etmek için görüntü güçlendirici dedektörler kullanılır. Görüntü güçlendirici, bir yüzü Ces (Sezyum iyodit) gibi floresan malzeme ile kaplı vakumlanmış bir cam tüpten oluşur. Çalışma prensibi, muayene edilen malzemedan geçen x ışınlarındaki fotonu elektrona çevirmesi, hızlandırması ve elektronların görünür ışığa dönüştürülmesinden ibarettir. Daha sonra bu görünür ışık bir kamera vasıtası ile algılanarak video sinyaline dönüştürülür. Kamera vasıtası ile de farklı akım ve voltaja çevrilen ışınlar monitörde analog görüntüyü oluşturur. Analog görüntü daha detaylı ve hassas incelenmek üzere bir bilgisayar yardımıyla sayısal görüntüye dönüştürülür ve bilgisayar ortamında muhafaza edilecek duruma getirilir [40,41].

Aşağıdaki Çizelge 3.1’de film radyografisi ile radyoskopik muayene uygulamalarının özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir [41].

Çizelge 3.1.Radyoskopi ile film radyografinin görüntü özelliklerinin karşılaştırılması

	Film Radyografi	Radyoskopi
Çözünürlük	0,1 – 0,06 mm	0,5 – 0,25 mm
Kontrast	1 – 2 %	3 – 4 %
Hız	5 – 15 dak/ film	Anında görüntü
Muayene düzeneği	Sabit	Esnek
Görüntü geometrisi	Büyültme 1:1 Odak boyutunun etkisi az	Büyültme 1:1,5 veya daha fazla. Odak boyutunun etkisi çok fazla.

### 3.2. Sistem Performansı

Muayene tekniği, sistem sınıfları, dedektör için minimum şartlar, muayene parametrelerinin belirlenmesi ve sistemin performansı TS EN 13068-3 standardından belirlenir. Buna göre radyoskopik teknikler iki sınıfa ayrılır [37].

Muayene sınıfı SA : Temel teknikler

Muayene sınıfı SB : Gelişmiş teknikler

Sistem performansının belirlenmesinde kontrast için delikli (ASTM E 1025) veya tel görüntü kalite göstergeleri / penetremetre (ASTM E 462-1), uzamsal çözünürlük için çift telli penetremetre kullanılır (TS EN 462-5). Ölçümler, TS EN 13068-1 ve TS EN 13068-2 standartlarına göre yapılmalıdır. Radyoskopide kullanılan cihaz, muayene sisteminin tipine bağlı olarak sonuçların kalitesinde farklılığa yol açabilir. Performans ölçümünde kullanılan çift telli penetremetre Resim 3.1'de gösterilmiştir [37,41].



Resim 3.1. Çift telli penetremetre [41]

Örneğin: Kontrol sonucu 2,8 LP/ mm olarak tespit edilmiş ise, bu bize 1 mm'lik mesafede en fazla 2,8 tel çiftinin ayırt edildiğini vermektedir. Bu değerın eşdeğer hata olarak boyutu ise yaklaşık 0,18 mm'dir. Bu da en fazla 0,18 mm boyutundaki bir hatanın ayırt edilebileceğini ifade eder.

#### 4. DOĞALGAZ BORULARI

Doğalgaz boru hatları toplama hattı, iletim hattı ve dağıtım hattı olmak üzere üç grupta toplanır. Gaz toplama boru hattı, kuyudan çıkarılan gazı gaz işleme tesislerine veya daha büyük toplama tesislerine taşır. Gaz iletim boru hattı, kuyulardan çıkarılmış ve işlenmiş temiz, kuru doğalgaz bu hat vasıtasıyla dağıtım bölgelerine, fabrika ve bireysel kullanıcılara taşır. Gaz boru hatlarında gazın hareket ettirilmesi kompresörlerle yapılır ve yüksek basınçlarda çalıştırılırlar.

Boru hattı yapımında kullanılan çelik boruları kazık ve muhafaza olarak kullanılan veya petrol ve gaz kuyularının açılmasında kullanılan çelik borulardan ayırt etmek için hat borusu olarak adlandırılırlar. Hat boruları diğer borulardan farklıdır. Korozyonun azaltılması için hat borularına genellikle iç ve dış yüzeyden kaplama uygulanır. Hat boruları çok farklı çaplarda ve boyutlarda imal edilebilir. Ayrıca farklı bileşime ve mekanik özelliklere sahip çeliklerden bir çok farklı yöntem kullanılarak imal edilebilirler [42].

##### 4.1. Hat Borularının İmal Usulleri

Günümüzde üretilen hat borularının imalatında kullanılan ana standart API Spec 5L'dir. Bu standart dikişsiz ve boyuna dikişli çelik boruları kapsamaktadır. API Spec 5L; A, B ve X kalite gruplarını ihtiva etmektedir [42,43].

Tüm API hat boruları Psi olarak verilen minimum akma mukavemetleri ile gösterilir. Akma mukavemeti çelik muayene numunesinde belirli bir miktar kalıcı deformasyon oluşturan çekme gerilmeleri olarak tanımlanır. A kalite sınıfı 30.000 Psi'lik minimum akma mukavemetine, B kalite sınıfı 35.000 Psi'lik minimum akma mukavemetine sahiptir. API standardına göre X42, X46, X52, X60, X65 gibi semboller Psi olarak minimum akma dayanımlarını gösterir. Örneğin: X46 gösteriminden; akma dayanımı 46.000 Psi olan malzeme anlaşılır. API standardına

göre üretilen hat borusu çelikleri elektrik ark ocaklarında ve bazik oksijen konvertörlerinde üretilmektedir [42,44].

Hat boruları, imalatında uygulanan yönteme göre dikişli ve dikişsiz olmak üzere iki şekilde üretilir. 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 dikişi 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 [43,44].

Dikişsiz boru şekillendirilebilen çeliklerden kaynak yapılmadan imal edilen borudur. Dikişsiz boru çeliğin sıcak işlenmesi ile imal edilir. Gerekirse, istenilen şekil, boyut ve özellikleri elde etmek için sıcak işlenmiş boruya, daha sonra soğuk veya sıcak haddeme uygulanabilir. Elektrik kaynak dikişli boru, elektrik direnç veya elektrik indüksiyon kaynağı ile dışarıdan herhangi bir metal ilave edilmeksizin imal edilen boyuna dikişli borudur. Sınıfı X 52'den daha yüksek kaliteli çelikten imal edilen, elektrik direnç ve indüksiyon kaynaklı boruların kaynak dikişleri, kaynak işleminden sonra en az 538 C° sıcaklıkta ısıtılmalı ve tabii tutulmalıdır. Sınıfı X 52 ve daha düşük kaliteli çelikten imal edilmiş boruların kaynak dikişi benzer şekilde ısıtılmalı ve tabii tutulmalı veya kaynak bölgesinde martenzit fazı kalmayacak şekilde ısıtılmalı ve işlem uygulanmalıdır [44].

Toz altı kaynaklı borular, otomatik toz altı ark kaynağı tezgahı ile imal edilen boyuna dikişli borudur. Spiral kaynaklı boru üreten makinelerde ana prensip, rulo sac halinde gelen haddelenmiş yassı çelik form verilerek spiral hareket yapması sağlanarak boru üretilir. Kaynak, içte ve dışta en az bir paso olmalıdır. Gaz metal ark kaynak dikişli



boru, sürekli gaz metal ark kaynağı ile imal edilen boyuna dikişli borudur. Kaynak, içte ve dışta en az birer sıradan ibaret olmalıdır. Gaz metal ark kaynağı ve toz altı ark kaynağının beraber kullanılmasıyla üretilen boru, bu iki yöntemin ard arda kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Bu metod da önce gaz metal ark kaynağı sonra toz altı ark kaynağı uygulanır. Çift kaynak dikişli boru, toz altı ark kaynak işlemi veya gaz metal ark yöntemi yahut da bu iki yöntemin birlikte uygulanmasıyla imal edilen borudur. Spiral kaynak dikişli boru toz altı ark kaynağı yöntemiyle imal edilen helis (spiral) dikişli borudur. Alın kaynaklı boru dikiş kenarlarının kaynak sıcaklığına kadar ocakta ısıtılmasından sonra, kaynağı yapmak için mekanik basınç uygulanmasıyla imal edilen boyuna dikişli borudur. Çizelge 4.1’de çelik sınıflarına göre imalat metotları verilmiştir [44,45].

Çizelge 4.1. Çelik sınıflarına göre boru imalat metotları [44]

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
Toz altı ark kaynaklı		x	x
Gaz metal ark kaynaklı		x	x
Gaz metal ark ve toz altı ark kaynaklı			x
Çift dikişli*		x	x
Spiral dikişli**			
Spiral toz altı 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 sınırlandırılmışlardır.			

## 4.2. Kimyasal ve Mekanik Özellikleri

Boru hattı tesislerinde en çok kullanılan boruların kimyasal ve mekanik özellikleri standartlarda belirlenmiştir. API 5L'ye göre boru tesislerinde en çok kullanılan boruların kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Dikişli ve dikişsiz boruların kimyasal bileşimi [44]

Boru imalat şekli	Çelik sınıfı	%C max	% Mn		% P		% S max
			min	max	min	max	
<b>Dikişsiz Boru</b>							
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	A 25 - I	0,21	0,3	0,6	-	0,03	0,06
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	A 25 - II	0,21	0,3	0,6	0,045	0,08	0,06
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	A	0,22	-	0,9	-	0,03	0,05
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	B	0,27	-	1,15	-	0,03	0,05
Genişletilmemiş	X 42	0,29	-	1,25	-	0,03	0,05
Genişletilmemiş	X 40, X 52	0,31	-	1,35	-	0,03	0,05
Soğuk genişletilmiş	X 42, X 46, X 52	0,29	-	1,25	-	0,03	0,05
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X 56, X 60	0,26	-	1,35	-	0,03	0,05
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X 65, X 70, X 80	İmalatçı ile müşteri arasındaki anlaşmaya göre					
<b>Dikişli Boru</b>							
Yalnız elektrik veya alın kaynaklı	A 25 - I	0,21	0,3	0,6	-	0,045	0,06
Yalnız elektrik veya alın kaynaklı	A 25 - II	0,21	0,3	0,6	0,045	0,080	0,06
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	A	0,21	-	0,9	-	0,04	0,05
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	B	0,26	-	1,15	-	0,04	0,05
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X 42	0,28	-	1,25	-	0,04	0,05
Genişletilmemiş	X 46, X 52	0,3	-	1,35	-	0,04	0,05
Soğuk genişletilmiş	X 46, X 52	0,28	-	1,25	-	0,04	0,05
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X 56, X 60	0,26	-	1,35	-	0,04	0,05
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X65	0,26	-	1,40	-	0,04	0,05
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X70	0,23	-	1,60	-	0,04	0,05
Genişletilmemiş veya soğuk genişletilmiş	X80	0,18	-	1,80	-	0,03	0,018

Çizelge 4.3. API- 5L' ye göre boruların mekanik özellikleri [43]

Çelik Sınıfı	Minimum akma mukavemeti		Minimum çekme mukavemeti	
	Psi	MPa	Psi	MPa
A 25	25000	172	45000	310
A	30000	207	48000	331
B	35000	241	60000	413
X 42	42000	289	60000	413
X 46	46000	317	63000	434
X 52	52000	358	66000	455
X 56	56000	386	71000	489
X 60	60000	413	75000	517
X 65	65000	448	77000	530
X 70	70000	482	82000	565
X 80	80000	551	90000	620

## 5. HAT BORULARINDA UYGULANAN KAYNAK METODLARI

Uzun mesafeli boru hatlarının oluşturulmasında çelik boruların kaynağı, günümüzde güncel ve önemli bir uygulamadır. Su, doğalgaz ve ham petrol nakil hatlarının artan önemi, bu hatlarda kullanılan çelik boruların kaynağı için yeni teknikler ve ilave malzemeler geliştirilmesine aynı zamanda işlemlerin daha hızlı ve daha güvenilir olması için çalışılmasına neden olmaktadır [46].



Resim 5.1. Doğalgaz boru hattının görünüşü [47]

Çelik boruların kaynağı, pek çok disiplinin bir arada düşünülmesi ve uygulanması gereken bir konudur. Öncelikle boruların üretiminde başlar ve boruların uç uca çevresel kaynağındaki tekniklerle devam eder. Boruların kaynağında çalışacak kaynakçıların ve yapılan kaynak işlemlerinin kalifikasyonu, kaynakların yapılması ve dikişlerin tahribatsız muayenesi ile son bulur [48,49].

Boru hatları kaynaklarında en çok kullanılan iki yöntem gaz metal ark kaynak (GMAW) ve örtülü elektrotla ark kaynak (SMAW) yöntemidir. Toz altı ark kaynak (SAW) ve gaz tungsten ark kaynak (GTAW) teknikleri arazi uygulamalarında çeşitli başarısızlıklar gösterir. Oksi-asetilen kaynak tekniği ise büyük çaplı borularda yetersiz ertirme sebebiyle kullanılamaz. Ayrıca toz altı ark kaynak ve gaz tungsten

ark kaynak teknikleri, servis dışı kalmış olan boruların atölyede yapılan ön onarım işlemlerinde kullanılabilir [50].

Kullanılan bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır [51].

a) Örtülü elektrodla elektrik ark kaynağı yöntemi:

- Avantajları

- 1) Ekipman maliyeti düşük ve temini kolaydır.
- 2) Kaynak ağzı hataları kolaylıkla düzeltilir.
- 3) Kaynakçı temini kolaydır.
- 4) Otomatik olmadığından ayar deneme çalışması problemleri yoktur.
- 5) Bakım ve onarım sorunları en az seviyededir.

- Dezavantajları

- 1) Yavaş bir yöntemdir.
- 2) Hata ihtimali fazladır.
- 3) Kaynakçıya çok bağlıdır (hız-kalite).

b) Otomatik MAG kaynak yöntemi:

- Avantajları

- 1) Hızlı bir yöntemdir.
- 2) Hata ihtimali azdır.
- 3) Operatöre çok bağlı değildir.
- 4) Cüruf temizlemesi yoktur.

- Dezavantajları

- 1) Kaynakçı eğitimi gerektirir.
- 2) Yatırım maliyeti fazladır.
- 3) Özel bakım ve onarım personeli ve yedek parça gerektirir.

- 4) Deneme çalışmaları ve ayar gerektirir.
- 5) Kaynak ağızlı hatalarını tolere edemez.
- 6) T - birleştirmelerde ve özel yerlerde (dik tepe vb) kullanılamaz.

c) Toz altı kaynak yöntemi:

- Avantajları

- 1) Hızlıdır.
- 2) Hata ihtimali azdır.
- 3) Operatöre çok bağlı değildir.

- Dezavantajları

- 1) Sadece düz pozisyonda kaynak yapabilir.
- 2) Operatör eğitimi gereklidir.
- 3) Yatırım maliyeti yüksektir.
- 4) Özel yetiştirilmiş bakım ve onarım personeli gerektirir.
- 5) Deneme çalışmaları ve ayar gerektirir.
- 6) Kaynak ağızlı hatalarını tolere edemez.

Tozaltı kaynak yöntemi spiral veya düz kaynak dikişli büyük çaplı ve kalın cidarlı boruların imalatında kullanılan bir yöntemdir. Kaynak pozisyon sınırlaması nedeniyle boru hattı inşaatlarındaki simetrik kaynak ağızlarında uygulanamaz. Bu yöntem ile ana hat kaynağı denemeleri de vardır, ancak yukarıda belirtilen nedenlerle tercih edilmemektedir [45,51].

### **5.1. Örtülü Elektrod İle Ark Kaynağı**

Örtülü elektrod ile ark kaynağı uygulaması bir ergitme kaynak yöntemidir ve bu yöntemde ark örtülü elektrod ile iş parçası arasında yanar. Bu şekilde örtülü elektrodun teli, örtüsü ve iş parçası ergiyerek kaynak metalini oluşturur. Bu esnada

açığa çıkan gaz ark bölgesini korur ve oluşan cürufta kaynak dikişini örtterek kaynak bölgesinin korunmasını sağlar.

Bu yöntem 1,2 mm'den kalın demir veya demir dışı malzemelerin tüm kaynak pozisyonlarında uygulanabilmektedir. Ayrıca, elektrod örtüsüne katılan alaşım elementleri yardımı ile kaynak metalini alaşımlandırarak istenen özelliklerde kaynak bağlantısı elde edilebilmektedir [52].

### 5.1.1. Çelik boruların kaynağında kullanılan örtülü elektrodlar

Örtülü elektrodlar arkin oluşturulmasında, sürekliliğini sağlamada ve gerekse kaynak metalinin sağlanmasında kullanılan bir kaynak sarf malzemesidir. Ark kararlılığı, nüfuziyet derinliği, dolgu oranı ve pozisyonda kullanılabilme yeteneği elektrod örtüsünün kimyasal bileşiminden büyük ölçüde etkilenir .

Günümüz teknolojisinde birleştirme kaynağında kullanılan örtülü elektrodlar, genel olarak örtülerinin karakteristiğine göre beş ayrı türe ayrılırlar [52];

- Rutil örtülü elektrodlar
- Asit karakterli örtülü elektrodlar
- Bazik karakterli örtülü elektrodlar
- Oksit karakterli örtülü elektrodlar
- Selülozik karakterli örtülü elektrodlar

Röntgen kalitesinde kaynak istenildiğinde bazik ve selülozik elektrod olmak üzere iki alternatif vardır. Selülozik elektrodlar genellikle daha hızlı ve daha derin nüfuziyet sağladığı için tercih edilir. İnce cüruf yukarıdan aşağıya düşen pozisyonda kaynak sağlar. Ancak yüksek kaliteli malzemelerde hidrojen difüzyonunun yol açacağı çatlakları önlemek üzere düşük hidrojen bazik elektrod kullanılır [51].

### 5.1.2. Boru hatlarının örtülü elektrod ile kaynağında uygulanan teknikler

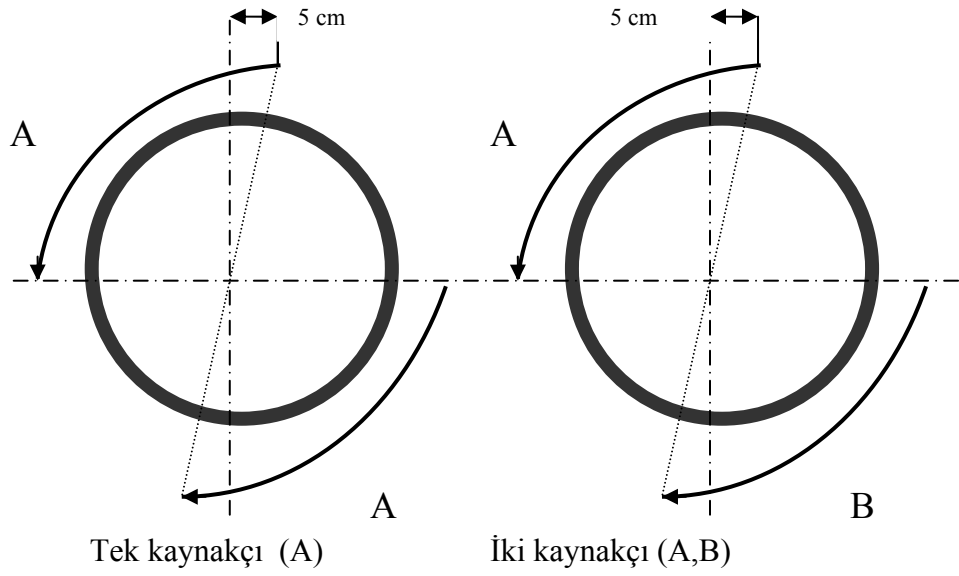
Boru hatlarında borular yere paralel olarak döşenir. Bu uygulamada boru daima sabittir. Kaynakçı borunun çevresini dolanarak kaynak yapar. Doğal olarak yere paralel deyimini ile borunun tamamen yatay pozisyonda döşendiği şeklinde bir yanlış anlama olmamalıdır. Boru hatlarının örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı kullanarak döşenmelerinde genel olarak aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı olmak üzere iki farklı teknik uygulanır. Yukarıdan aşağı teknik genel olarak alaşimsız çeliklerden yapılmış ve et kalınlığı 12,5 mm'den (1/2 inç) daha ince borulara ancak selülozik elektrodlar kullanılarak uygulanabilir.

Alaşımli çeliklerden yapılmış kalın cidarlı borularda ise bazik elektrodlar kullanarak uygulanan aşağıdan yukarı kaynak tekniği tercih edilir. Bazı hallerde ise iki yöntemin karışımı da uygulanmaktadır [51,53].

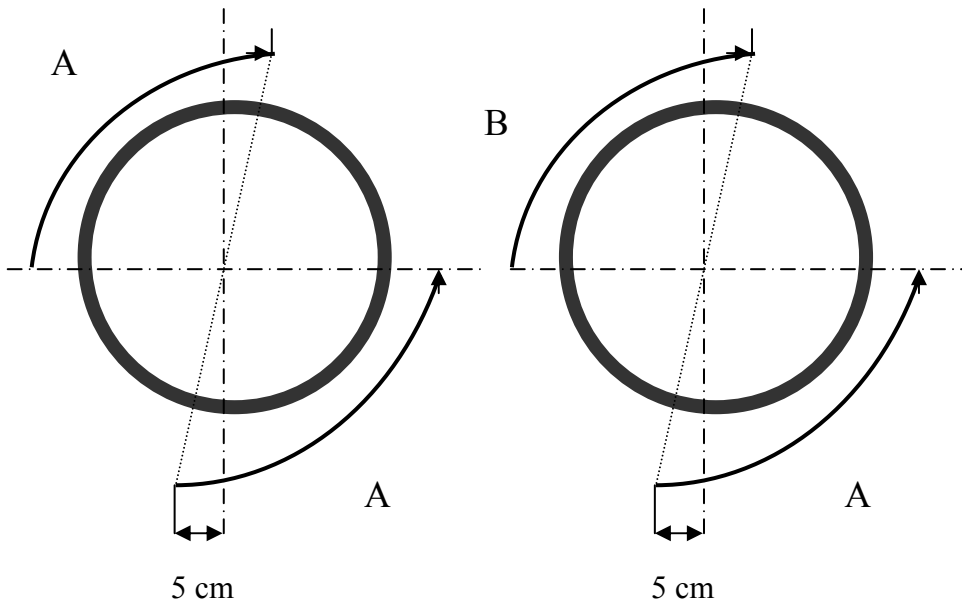
Kaynaklar sertifikalı kaynakçılar tarafından yapılmalıdır. Kaynaklar küçük çaplı ( 4"-12" dahil ) borularda tek kaynakçı tarafından yapılır. Büyük çaplı (16"-30" ) boruların kaynaklanması sırasında oluşabilecek gerilme ve genleşmeler homojen olarak kaynak ağzına dağıtılmalıdır. Bu sebeple iki kaynakçı aynı anda karşılıklı pozisyonlarda çalışmalıdır. Kaynakçı ekibinde, iki kaynakçı, bir borucu, iki kaynakçı yardımcısı, bir veya iki amper ayarı yapan kişi bulunmalıdır. 8" ve daha büyük çaplı orijinal kaynak ağızlı boruların montajında tüm çevrede 1,6 mm ağız açıklığı ve 1,6 mm kaynak ağızı yüksekliği olduğundan kök paso yukarıdan aşağı (PG) pozisyonunda yapılabilir (Şekil 5.1).

Lokal tamirlerin kaynaklarında çevrede farklı boşluklar olması nedeniyle kök paso aşağıdan yukarı (PF) pozisyonunda yapılmalıdır (Şekil 5.2). Diğer pasolar yukarıdan aşağı yöntemiyle yapılmalıdır. Burada dikkat edilecek husus her pasonun başlangıç yeri bir önceki pasonun bitiş yerinden 5 cm uzak olmalıdır [54].





Şekil 5.1. Kök paso yukarıdan aşağıya (PG) kaynak yöntemi [55]



Şekil 5.2. Kök paso aşağıdan yukarıya (PF) kaynak yöntemi [55]

### Elektrik ark kaynağı ile yukarıdan aşağı kaynak tekniği

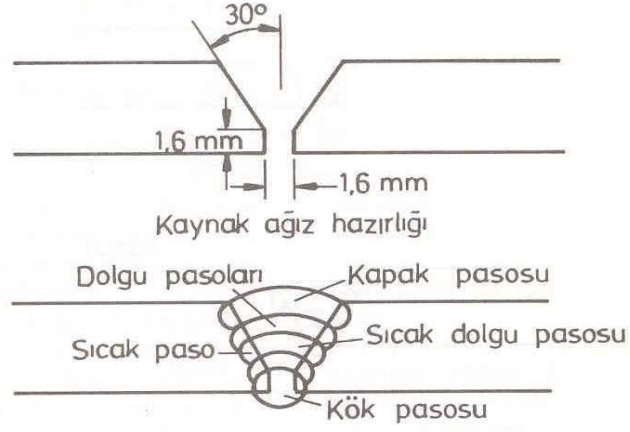
Yukarıdan aşağıya kaynak uygulaması aşağıdan yukarı doğru yapılan alışılmış uygulamadan büyük farklılık gösterir. Sıvı haldeki kaynak banyosu kaynak sırasında yukarıdan aşağıya doğru kaynak arkının hareketi yönünde akma eğilimindedir. Doğal olarak banyo üzerindeki cürufta aynı doğrultuda akma eğiliminde olmasına karşın bu kolaylıkla kaynakçı tarafından önlenebilmektedir. Buna dikkat edilmez ise, kaynak dikişinde, bağlantının mukavemetini azaltan cüruf kalıntılarına rastlanır. Sağlıklı bir kaynak dikişi elde edebilmek için bu tür bir uygulamada, kaynak arkı daima aşağıya doğru akan sıvı kaynak metalinin önünde tutulmalıdır. Bu ise yüksek akım şiddeti ve yüksek bir kaynak hızı ile elde edilebilir .

Kaynak akım şiddeti düşük seçildiğinde yüksek olan kaynak hızı nedeniyle esas metal ergimez ve nüfuziyet azalır. Bu pozisyonda uygun bir çalışma tekniği sonucunda aşağıdan yukarı kaynak pozisyonu ile karşılaştırıldığında oldukça ince görülen fakat sağlıklı kaynak dikişleri elde edilir. İşlem süresi daha kısadır ve elektrod tasarrufu sağlar [51,53].

Yukarıdan aşağıya kaynakta selülozik elektrotlar öncelikle kullanılır. Ancak bazı özel bazik elektrotlar da kullanılmaktadır. Minimum akma dayanımı  $415 \text{ N/mm}^2$  veya daha büyük olan borulara yumuşak kaynak metali oluşturan bir elektrod kullanmak en uygun çözüm olarak tespit edilmiştir .

Verilen bir akım için selülozik elektrodla elde edilen nüfuziyet derinliği diğer elektrotlara nazaran % 70 fazladır. Cürufu ince ve çabuk kalkar. Bunlardan dolayı selülozik elektrotlar boru hattı kaynağının en önemli özelliği olan yukarıdan aşağıya kaynak yapma pozisyonuna uygundur [51,53].

Yukarıdan aşağıya kaynak tekniği



Paso Sırası



Şekil 5.3. Boru hatlarında bir contada yukarıdan aşağıya kaynak halinde pasoların görünüşü [51]

### Elektrik ark kaynağı ile aşağıdan yukarı kaynak tekniği

Et kalınlığı fazla olan alaşımlı çeliklerden yapılmış borulara uygulanan ve de bazik örtülü elektrodlar kullanılarak yapılan bir kaynak uygulamasıdır. Bu tekniğin uygulanmasında bazik elektrod kullanma koşullarının tümüne uyulması gerekir. Genel olarak ön tav uygulanmış borulara kurutulmuş elektrodlar kullanılarak gerçekleştirilen bu yöntemin fazla tercih edilmemesinin nedeni kaynak süresinin daha uzun olması ve elektrod sarfiyatının fazla olmasıdır. Burada kök aralığı biraz daha fazladır. Nüfuziyeti sağlayabilmek için kök pasoda 2,5 mm çok kalın etli borularda ise 3,25 mm çapında elektrodlar kullanılır. Dolgu ve kapak pasolarında ise 3,25 ve 4 mm' lik elektrodlar tercih edilir [51,55].

Bu teknikte selülozik elektrotların aksine, kök paso çekilirken elektrodun ucuna bir salınım hareketi verilir. Elektrod daima kısa ark boyu ile olabildiği kadar boru yüzeyine dik tutulur. Kaynak sırasında kaynak yapılan yerin yağmur ve rüzgardan korunması, cüruf temizleme işlemine de çok özen gösterilmesi gereklidir [51,53].

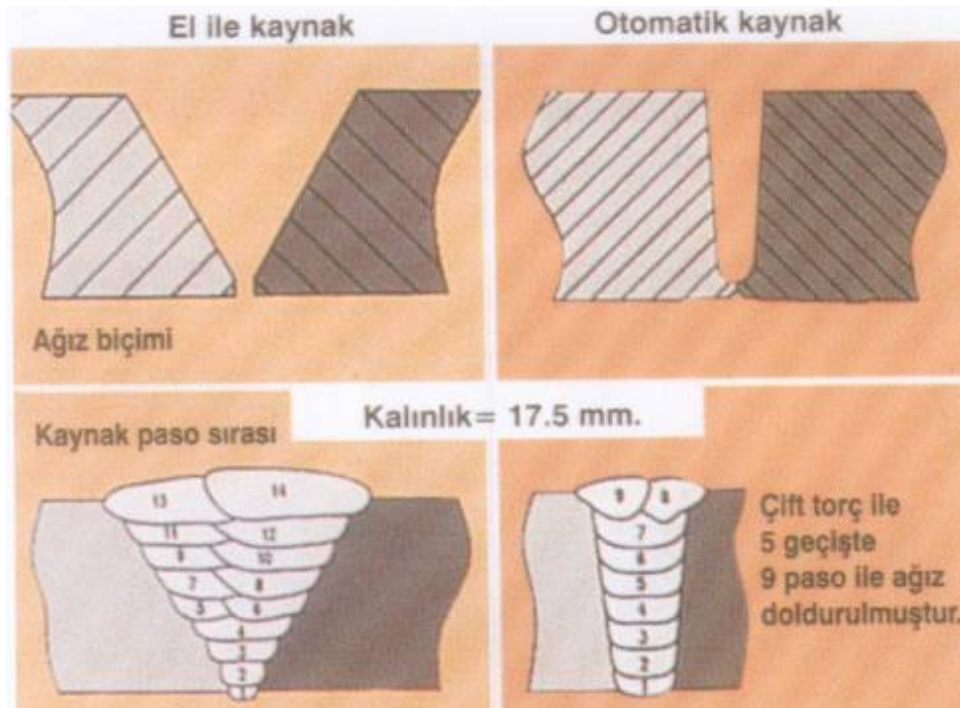
### **5.2. Otomatik MİG / MAG Kaynağı**

MIG-MAG kaynak yönteminde kaynak için gerekli olan ısı, sürekli beslenen ve ergiyen bir tel elektrodla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark ve elektrodta geçen kaynak akımının elektroda oluşturduğu direnç ısıtması yoluyla üretilir. Elektrod çıplak bir tel olup, bir elektrod besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızda sevk edilir. Çıplak elektrod, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak metaline komşu olan bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı, dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur [56].

Boru hatlarında alışılmış olarak uygulanan örtülü elektrod ile ark kaynağına alternatif olarak MIG/MAG kaynak yönteminin kullanımı ile ilgili ilk uygulamalar 1950'li yılların sonlarında başlamıştır. Orbital kaynak adı ile anılan bu yöntemlerde

geliştirilen makineler yardımı ile borunun dışarıdan da kaynağı rahatlıkla yapılabilmektedir. Yöntemde kullanılan koruyucu gazın arazi koşullarında esen rüzgarlar ile koruyucu etkisini kaybetmesi, kaynak yerini örten ve taşınabilen portatif kulübe sistemi ile ortadan kaldırılmıştır .

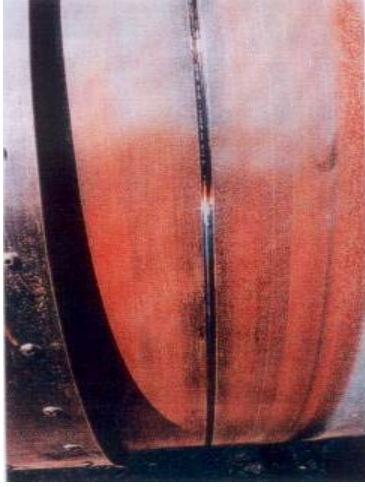
Boru hatlarında kullanılan otomatik MIG / MAG kaynak makineleri kök pasoyu da iç kısımdan yapabilecek konstrüksiyonlarda geliştirilerek makinelerin sahip olduğu donanım sayesinde hem ağzlaşma hem de kaynak problemi ortadan kaldırılmıştır. Otomatik boru kaynağında hazırlanacak olan kaynak ağzı örtülü elektrod için hazırlanan ağza nazaran daha dardır, zira kullanılan teller 0,9 mm çaplarında olduğundan ağzın kök bölgesine telin ulaşmasında bir sorun yoktur (Şekil 5.4). Bu şekilde bir uygulama ile kaynak hızı arttığı gibi yığılan kaynak metali de az olacağından birim conta kaynağı başına düşen kaynak maliyeti de düşmektedir [57,58].



Şekil 5.4. Boru çeliklerinin kaynağında el ile yapılan kaynak ile otomatik kaynağa kaynak ağzlarının karşılaştırılması [57]

Boruların otomatik MIG/MAG kaynağında kullanılan sistemin üç ana ünitesi bulunmaktadır. Bunlar; boru ağızlama makinesi, içten kaynak (kök paso kaynağı) ve merkezleyici makine ile dış kaynak makinesidir .

Özel olarak talaşlı işlem ile dar aralık kaynak ağzı açılmış olan boruların hassas bir biçimde uç uca getirilmesi ve dikişlerin merkezlenmesinin yapılması gerekmektedir. Bunun için özel olarak geliştirilmiş hidrolik tahrikli makineler çeşitli firmalar tarafından üretilmiştir. Bu makinelerin kullanımı ile ağızlama işlemi 2 ila 5 dakika içinde yapılabilmekte olup, 4" (100mm) çapında 60" (1524mm) çapa kadar borular için geliştirilmiş ağızlama makineleri bulunmaktadır. Zira, pasoların tam ağız eksenine göre kaliteli olarak yapılması çok büyük bir öneme sahiptir [50,57].

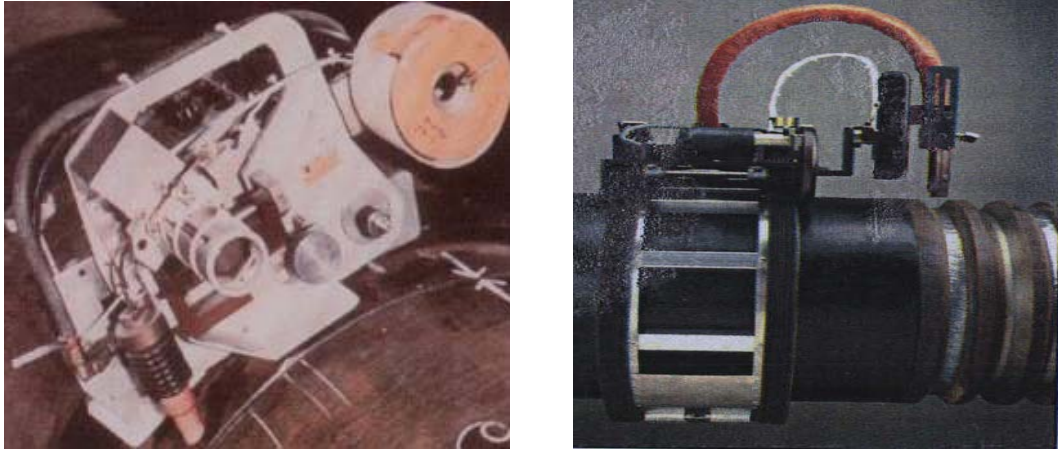


Resim 5.2. İç kaynak işlemi ile kök pasonun yapılışında arkın dıştan görünümü [57]

Boruya açılmış kaynak ağzının kök pasonun kaliteli olarak iç kısımdan kaynak edilmesini sağlamak üzere boru içi kaynak makinesi geliştirilmiştir. Bu makine, borunun hidrolik tahrikle ağızlanmasını ve kaymaları önleyecek bir ekipman sistemi ile kombine edilmiştir. Özel olarak tasarlanmış birden fazla MIG/MAG torcunun (4 ila 6 adet torç) kök ağzı eksenini takip ederek yörüngesel olarak döndüğü bu makinede 24" (610 mm) ila 60" (1524mm) çaplı borularda rahatlıkla kullanılabilir. Dört kaynak torçlu sistemde iki torç bir tarafta diğer iki torçta diğer tarafta kaynak

yaparak örneğin 42" (1067 mm) çapında bir borunun kök paso işlemi yaklaşık 1,5 dakikada tamamlanır. Boruya açılan kaynak ağzının dışa bakan üst kısmının kaynak edilmesi için geliştirilen kaynak makineleri ise, iyice ağızlanmış ve kök pasosu gerçekleştirilmiş dikiş üzerine sıcak paso, dolgu pasoları ve kapak pasonun yapılabilmesi esasına göre tasarlanmışlardır (Resim 5.2) [51,57].

Boru çevresine monte edilen kramayer dişli bir sistem veya özel olarak dizayn edilmiş ray üzerinde yörüngesel olarak hareketli arabaya monte edilmiş bir veya iki MIG/MAG torcu aynı anda hareket ederek ve aynı zamanda dalga hareketi yaparak sürekli beslenen tel ile ve sürekli beslenen gaz altında kaynak işlemini yapar (Resim 5.3).



Resim 5.3. Tek torçlu otomatik boru kaynak makinesi ve kullanımı [57,46]

Otomatik kaynak işlemi ile hız ve güvenilirlik artırılmış ve kaynakçıların daha az yorulması sağlanmıştır. Ayrıca, bu konuda kaynakçıların yetiştirilmeleri çok daha kolay hale gelmiştir [57].

### 5.2.1. Boru hatlarının otomatik kaynağında kullanılan koruyucu gazlar

Bu yöntemde alışılmış MIG/MAG kaynağında az alaşımlı çelikler için geliştirilmiş olan koruyucu gazlar kullanılır. Bu yöntemin ilk geliştirildiği yıllarda kök pasoların saf CO<sub>2</sub> ile kısa arka metal geçişi çok yaygın olarak kullanılmaktaydı ve son

pasalarda argonca zengin karışım gazlar tercih ediliyordu. Ancak, zaman içinde boru malzemelerindeki gelişmeler ve darbeli MIG/MAG kaynağının kullanıma girmesi ile tüm pasoların yapılmasında Ar+CO<sub>2</sub> gaz karışımları kullanılmaya başlanmıştır. Bu karışımlar ile kaynak metalinin gözenek oluşum tehlikesi hemen hemen ortadan kalkar iken daha mukavemetli ve az sıçrıntılı kaynak yapmak mümkündür. Günümüzde %80Ar+%20 CO<sub>2</sub> karışım gazları daha çok tercih edilmektedir [57,58].

### **5.2.2. Boru hatlarının otomatik kaynağında kullanılan elektrodlar**

Boru hatlarında özellikle doğalgaz borularında basıncın yüksek olması dolayısı ile daha yüksek kalitede (X 70 veya X 80) boru çelikleri kullanılarak boru et kalınlığının azaltılması ile kalın etli borularda ortaya çıkan gevrek kırılma problemi önlenmeye çalışılmıştır. Bu gelişmeler otomatik kaynakta daha mukavemetli kaynak metali veren tellerin kullanımını gerektirmiştir. Genellikle, kaynak torcunu taşıyan araba üzerine takılan küçük boyutlu makaralara sarılmış olan tellerde 0,9 mm çaplı olanlar çok sık kullanılır. Bu teller AWS standardına göre ER 70S-6 kalitesinde üretilirler ancak mukavemet özelliklerini iyileştirmek için ve kaynak metalinin tanelerini inceltmek için de Ti ile modifiye edilmişlerdir [50,51].

X 80 kalite boru çeliklerinin kaynağında çentik–darbe mukavemet değerlerini elde edebilmek için bazik örtülü elektrodlar kullanmak gerekmektedir. Ancak bu tür elektrodlar ile yukarıdan aşağıya kaynak yapmak gerekmektedir ki bu da boru kaynağında zor kabul edilen bir uygulamadır ve tercih edilmez. Dolayısı ile, bu tür uygulamalar için metal özlü tel elektrodlar geliştirilmiştir ve E81T1-Ni1 teli en çok tercih edilen teldir [50].

Bu özlü teller, karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin her pozisyonda kaynağı için üretilmişlerdir. İçeriklerinde yaklaşık olarak % 1 civarında Ni vardır. Özellikle, düşük sıcaklıklarda çentik darbe mukavemeti yüksek kaynak metali oluştururlar. Mükemmel ark kararlılığı vermelerinin yanı sıra düşük sıçrıntı özellikleri ve hızlı katılaşılan cürufları çok kolay kalkar. Tek pasolu ve çok pasolu kaynak uygulamaları



için idealdir. %100 CO<sub>2</sub> ile kullanılabilirlerinin yanı sıra %75 Ar-%25CO<sub>2</sub> karışım gazı ile kullanılabilir ve karışım gaz kullanımı ile oksitlenme ile oluşacak alaşım elementi kaybı azalacağından kaynak dikişinin mukavemet özellikleri de artar [57].

### 5.3. Tozaltı Conta Kaynağı

Bu yöntem, ergiyebilir granül bir toz altında meydana gelen fiziksel ve kimyasal olaylar dizisidir. Ergimeyi sağlayacak olan elektrik arkı çıplak tel elektrod ile kaynatılacak metal malzeme arasında meydana gelmektedir. Elektrod malzemeye yaklaştırıldığında kısa devre oluşur ve ısı artışı meydana gelir. Böylece malzeme ergir ve bir kısmı buharlaşır. Bu şekilde ısı daha da yükselir ve zincirleme devam eder.

Bu yöntemde kullanılan kaynak tozları, ergimiş metal ve sıcak kaynak dikişini atmosferin kötü etkilerinden korur ve gerektiğinde bir alaşım elemanı gibi kaynak dikişine katkıda bulunarak, kaynak kalitesi ve dayanımı üzerinde etkin bir rol oynar.

Tozaltı kaynağında iyi bir kaynak dikişi elde etmenin ön koşulu uygun kaynak parametreleri ile çalışmaktır. Bu parametreler; kaynak akım şiddeti, toz tipi ve tane dağılımı, kaynak hızı ve gerilimi, elektrod çapı ve mesafesi, toz tabakasının genişliği ve derinliği sayılabilir [45].

Aşağıda tozaltı kaynağı ile yapılan conta kaynağını diğer kaynak pozisyonlarından ayıran üç temel özellik verilmiştir .

İlk olarak kaynak tozu ve metalinin önemine değinilecektir . Kaynak tozu ve kaynak metali iş parçasının eğiminden dolayı yer çekiminin etkisiyle kaynak bölgesinden uzaklaşmak ister. Bu olumsuzluğu önleyebilmek amacıyla;

- Tel pozisyonu doğru ayarlanmalı

- Düşük amper ve/veya düşük voltaj ve/veya kaynak hızı vasıtasıyla kaynak metalinin akışkanlığının sınırlanması toz akışının sürekli kaynak metali üzerine olması sağlanmalıdır.

İkincisi de cürufun önemidir. Eğer çok pasolu kaynak yapılacaksa sonraki pasoya geçmeden önce cüruflar temizlenmelidir. Bu da conta kaynağının düzgünlüğünü ve şeklini kontrol altına almaya yarar. Üçüncü olarak da borudaki ovallik ve yerçekiminin kaynağı etkilemesidir [46].

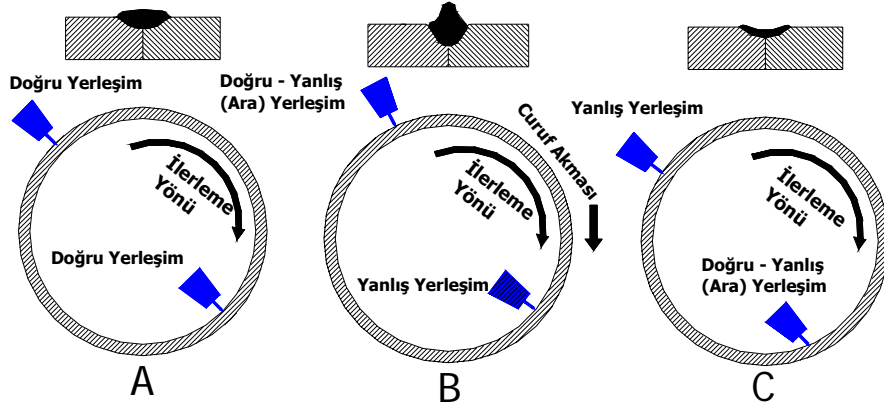
### **5.3.1. Kaynak akmasının engellenmesi**

Conta kaynağında kaynak havuzu, kaynak metali ve cüruf kaynak bölgesinden akarak uzaklaşma aynı zamanda sıçrıntı oluşturma eğilimi gösterir. Kaynak metali ergiyik durumundayken yer çekiminin ve boru meylinin etkisi ile akarak normalden daha değişik geometriler oluşmasına sebep olur. Ancak katılma hızlı olursa kaynak geometrisi normale döner.

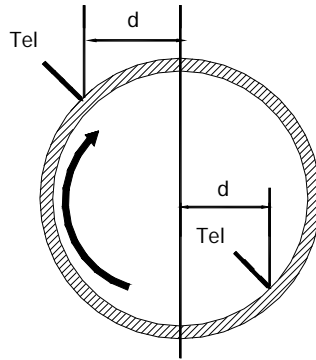
### **5.3.2. Tel pozisyonun kaynağa etkisi**

Kaynak akıntısını ve kaynak şeklinin bozukluğunu engellemek için kaynak dikey merkezde yapılmalı ve o konumda soğuması sağlanmalıdır. Şekil 5.5'de çeşitli tel pozisyonlarının kaynak geometrisine etkisi gösterilmiştir. Yukarıda söylenenler Şekil 5.5. A' da açıkça gösterilmiştir [46].

Şekil 5.5. B' de A' ya göre daha fazla nüfuziyet ve daha fazla ark kararlılığı sağlanır. Şekil 5.5. C' de ise bunun tam tersi görülür. Önerilen tel mesafeleri Şekil 5.6'da gösterilmiştir .



Şekil 5.5. Torç konumlarına göre kaynak geometrisinin değişimi [46]



Çevre Çapı İnç (mm)	Kaynak torcunun dikey merkeze (d) konumlandırma mesafesi İnç (mm)
1-3 (25-76)	3/8-3/4 (9,5-19,1)
3-18 (76-457)	3/4-1 (19,1-25,4)
18-36 (457-914)	5/4-3/2 (31,7-38,1)
36-42 (914-1067)	3/2-7/4 (38,1-44,4)
42-48 (1067-1219)	7/4-2 (44,4-50,8)
48-72 (1219-1829)	2-2,5 (50,8-63,5)
>72 (1829)	3 (76,2)

Şekil 5.6. Kaynak torcunun dikey merkeze (d) konumlandırma mesafesi [46]

### 5.3.3. Kaynak hızı ve kaynak akımının kaynağa etkisi

Eğer kaynak havuzu iş parçasının çapına oranla fazla büyük olursa kaynak gerekli hızda soğuyamayacağından dolayı akar. Kaynağın geometrisi kullanılan amper ve

hızına bağlıdır. Akımı düşürmek ve/veya kaynak hızını artırmak kaynak geometrisini zayıflatır. Voltaj değerini düşürmek ise kaynaktaki cürufun hacmini artırır . Küçük çaplardaki boruların kaynağında eğer mümkünse saat 3:00 pozisyonunda kaynak yapılmalıdır .

Çok pasolu kaynaklarda, cüruf temizleme önemlidir. Eğer aralıksız kaynaklama işlemleri yapılıyorsa cüruf kesinlikle diğer pasodan önce temizlenmelidir. Cürufun temizlenmesinde özellikle iki faktör önemlidir. Bunlar dikişin boyutu ve şeklidir.

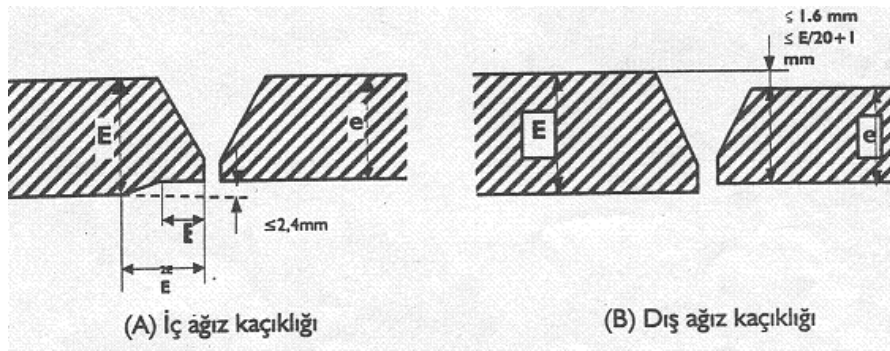
- Küçük dikişlerde cüruf miktarı azaldığından daha çabuk soğuma eğilimindedir.
- Düz dikişlerde cüruf temizlenmesi daha kolay olduğu için, konveks dikişlerden daha önemlidir. Konveks dikişlerde dikiş kenarlarında cüruf pasolar arasına sıkıştığı için zor temizlenir.

Dikiş şeklindeki düzelme ve cürufun temizlenmesinin kolaylıkla sağlanması ark voltajının düşürülmesi ile gerçekleşir. Kullanılan akımın miktarı metal telin ergime miktarını belirler. Bu nedenle birleştirmenin hızı dolgu (yığılan kaynak metali) miktarını da belirler. Kaynak hızı yavaş ise dikiş geniş (büyük) olur. Kaynak hızı yüksekse dikiş küçük (dar) olur. Yığılan kaynak miktarı bununla ilgilidir [46].

## 6. BORU HATLARININ KAYNAĞI

### 6.1. Kaynak İşlemine Hazırlık

Borular toz, yağ ve paslardan arındırılmalıdır. Kaynak işleminden önce borunun iç ve dış bölgeleri temizlenmelidir. Boru iç çapı en az iki bölgeden ölçülmeli ve ovalite olup olmadığı tespit edilmelidir. İki boru arasındaki dış yüzeydeki kaçıklık, maksimum 1,6 mm'yi geçmemelidir. Eğer ağız kaçıklığı 1,6 mm'yi geçerse kaynağa izin verilmemelidir. Saha mühendisinin onayı ile 1,6 mm'den daha büyük lokal kaçıklık bronz kaplı çekiçle dövülerek düzeltilmelidir. İki boru arasındaki iç ağız kaçıklığı 2,4 mm'den daha büyük olmamalıdır. Boru ve bağlantı malzemelerinin kaynak ağız fabrikada açılmış şekilde sahaya gelmektedir. Kaynaktan önce tüm çevrede kaynak ağız yüksekliği 1,6 mm, olup olmadığı incelenmelidir. Gerekirse taşlanıp eşitlenmelidir [51,54].



Şekil 6.1. İç ve dış ağız kaçıklığı [54]

#### 6.1.1. Isıl işlem aşamaları

Gerek tamirat işleminde gerekse ilk montaj anında kaynak sırasında ana metalin soğuk çatlamasına engel olmak için, kaynak bölgesini ön ısıtmaya tabi tutmak yararlıdır.

Ön ısıtma soğuma hızını yavaşlatmak için yapılır. Özellikle  $Ceş d > 0,45$  olan, alaşım ve kalın malzemelerde önemlidir. Hızlı soğuma;

- a) Metalurjik yapıyı daha sert yapar.
- b) Hidrojenin ve diğer gazların kaçmasına zaman vermez. Kaim parçalarda ise deformasyon imkanı az olduğundan soğurken çekme nedeniyle çatlaklara yol açma tehlikesi vardır. Dolayısıyla ön ısıtmaya, kimyasal bileşim ve kalınlığa bakılarak karar verilir. Genel bir kural olarak  $Ceş d > 0,45$  ise 150-200 °C;  $Ceş d > 0,60$  ise 200-400 °C sıcaklık aralığında ön ısıtma uygulanır.

Kaynağın ısı işlemi aşağıdaki işlemlerin tümünü içeren bir genel deyimdir.

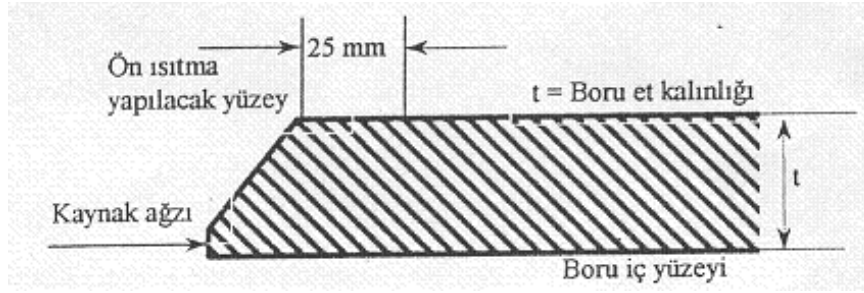
- Parçanın kaynak öncesi ısıtılması
- Pasolar arasının sıcak tutulması
- Gerilme giderme

Gerilme giderme; kaynak sırasında oluşan iç gerilmeleri minimize etmeyi amaçlar. Ancak bu arada kopma mukavemetinde bir miktar düşme söz konusudur. Bu nedenle mukavemet iç gerilme durumu optimize edilmelidir. Boru hatların da gerilme giderme olayı çok pahalı bir olaydır. Bu nedenle dizaynda dikkat edilir ve gerilme giderme tavlamasını gerekli kılacak gerilmelere yol açmamaya çalışılır.

Bir kaynak işleminde bütün bu ısı işlem aşamalarının uygulanması gerekmez. Şartlar bu aşamalardan bazılarının veya tümünün uygulanmasını gerektirebilir veya aksine hiçbirinin uygulanmasını gerektirmeyebilir [51,54].

### 6.1.2. Çevre şartları

Çevre sıcaklığı  $5^{\circ}\text{C}$ 'nin altında ise borunun veya bağlantı elemanlarının kaynak yapılacak uçlarında uygun bir ısıtıcı ile kaynak ağzından en az 25 mm uzaklığa kadar olan bölgeler ön ısıtma yapılmalıdır [51] (Şekil 6.2).



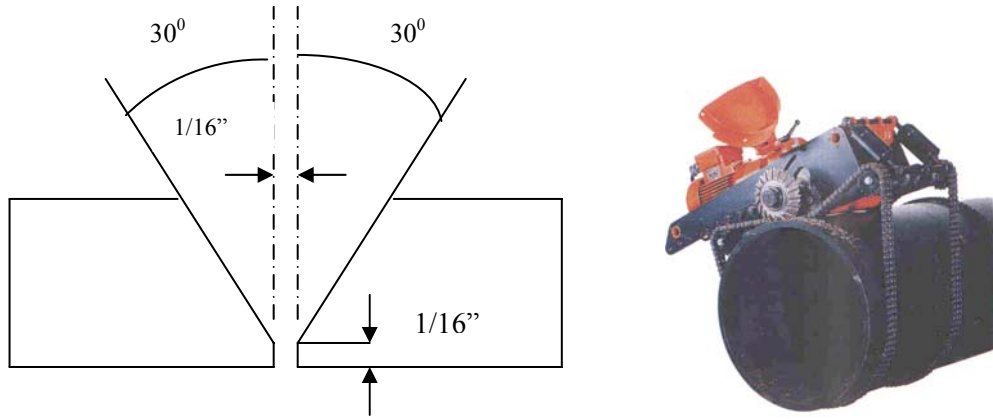
Şekil 6.2. Ön ısıtmaya tabi tutulacak kaynak bölgesinin şematik gösterimi [54]

Ön ısıtma sıcaklığı boru et kalınlığı 0,275 inç'den (7mm) az ise  $95^{\circ}\text{C}$  olmalıdır. Boru et kalınlığı 0,275 inç'den (7 mm ) büyük ise  $150^{\circ}\text{C}$  olmalıdır. Çevre sıcaklığı  $+5^{\circ}\text{C}$ 'nin üstünde olmasına rağmen yağmurlu günlerde sabah saatlerinde rutubetin alınması için boru  $20-30^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmalıdır. Hava koşulları uygun olana kadar veya hava koşullarının üstesinden gelmeyi mümkün kılacak önlemler alınana kadar kaynak yapılmasına izin verilmemelidir [54,51].

### 6.1.3. Boruların kaynaklanmasında kaynak ağzı hazırlığı

Boru hatlarında hatasız ve kaliteli bir kaynaklı birleştirme elde etmenin ön koşulu kaynak ağzının gereken şekilde hazırlanmasıdır. Boruların birbirini ağızlayabilmesi için çevre geometrilerinin birbirleriyle uyum sağlaması gereklidir. Zira, spiral kaynaklı borularda üretim yönteminden kaynaklanan bir ovalite vardır. Boyuna kaynaklı borularda ise kaynak dikişinin bulunduğu kısımda bir düzlük görülür. Boru hatlarının döşenmesinde kaynak öncesi boruların birbirlerini ağızlayıp ve puntaların yapılabilmesi için özel tutturma tertibatları kullanılır. Kaynak ağzı açılmış borular

bu tutturma ve merkezleme tertibatı içinde birbirlerini ağızlar iken kaynak ağzının kök aralığı da standardın öngördüğü ölçüde olmalı ve bu aralık bütün çevre boyunca korunmalıdır [51,53,55].

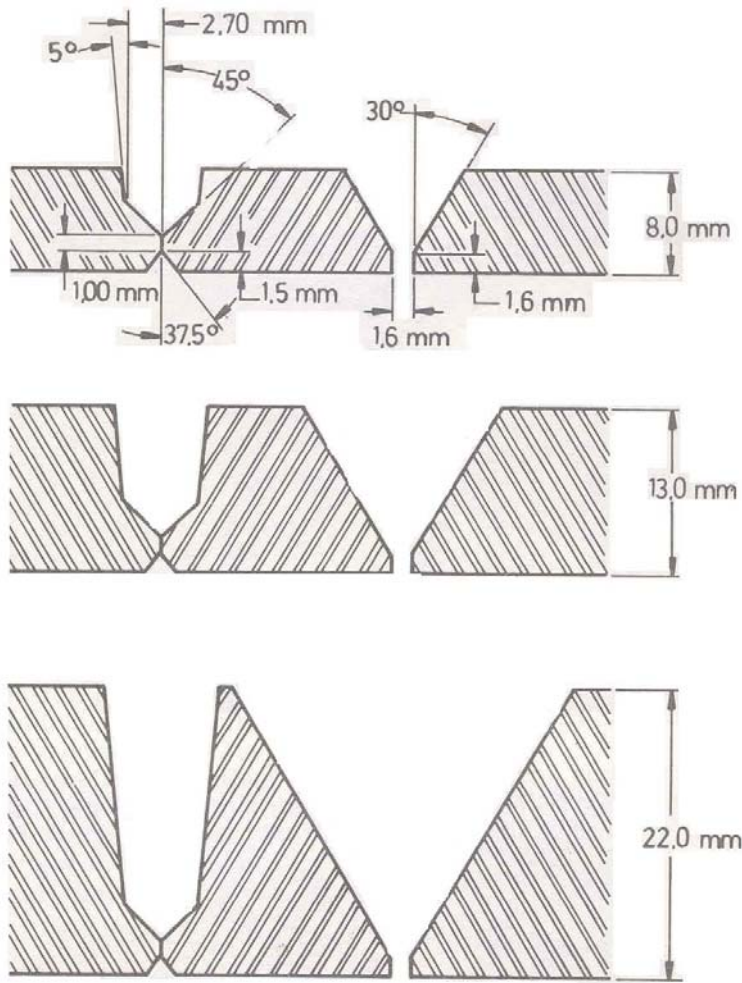


Şekil 6.3. Kaynak ağzı şekli ve kaynak ağzı açma aparatı [59,46]

Kök nüfuziyeti açısından kök yüksekliği ve aralığı çok önemlidir. Yükseklik az olursa içeriye akma yapar, çok olursa nüfuziyet sağlanamaz. Açı dar olursa yanlarda ergime eksikliği, cüruf sıkışması olabilir. Kök aralığı çok olursa yanlarda yanma çentigi ve akma meydana gelir, az olursa nüfuziyet sağlanamaz. Boru kaynaklarında, kaynak ağzı tercihen mekanik olarak açılmalıdır. Kaynakçı, duruma göre ark boyu, hız ve elektrod yönlendirmesi ile nüfuziyeti ayarlayabilmelidir [51].

Özellikle boru hattı kaynağı için geliştirilen küçük çaplı tel kullanılan MAG (Metal-Aktif-Gaz) kaynağıdır. Fabrikadan 30° lik V kaynak ağzı açılarak sevk edilen borular, bu tip kaynak için uygun değildir. Kaynak ağzında olabilecek küçük kaçıklıklar el kaynağında sorun çıkarmayabilir, fakat otomatik MAG kaynağında çok ciddi sorunlar yaratabilir. Bu yüzden kaynaktan önce makinenin özel tornası ile özel kaynak ağzı açılır (Şekil 6.4). Kaynatılacak olan borular otomatik MAG kaynak makinesinin kendi iç kelepçesiyle ağız ağıza getirildiğinde arada hiçbir aralık bırakılmaz. Dolayısıyla gerekli kaynak metali miktarı, el kaynağına göre daha az olur [51].

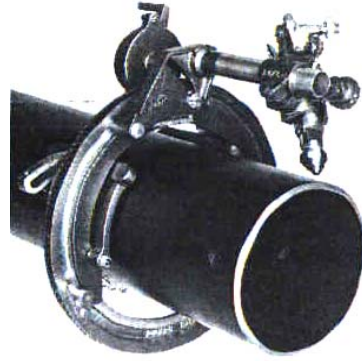
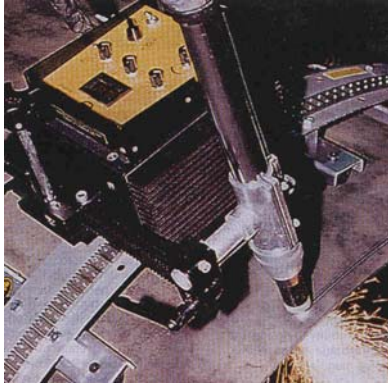




Şekil 6.4. 30° lik standart kaynak ağızları (sağ) ile otomatik MAG kaynağı, kaynak ağızı mukayesesi [51]

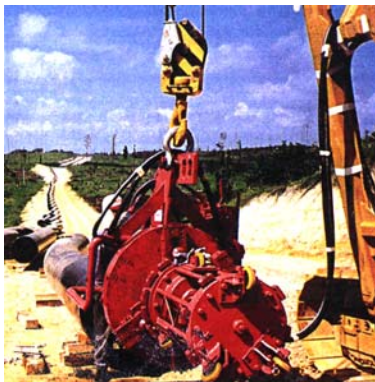
Otomatik MAG kaynağında kök paso içerden çekilir, bu suretle kök pasoda olabilecek yanma çentikleri en aza indirilir. Diğer bir avantaj da, kök paso bitmeden, dışarıdan sıcak paso kaynağına başlanabilir. Bu suretle kaynak işlemi hızlandığı gibi iç kelepçe sökülmeden daha mukavemetli bir kaynak elde edilir [51].

Uygulamada boru hatlarının kaynağında mekanik olarak talaş kaldırarak hazırlanmış kaynak ağızları tercih edilir. Borular döşenecekleri hatta, kaynak ağızları boru imalatçısı tarafından hazırlanmış olarak getirilir. Nakliye sırasında da boru ucunun her hangi bir yere çarparak zedelenmemesine özen gösterilir .



Resim 6.1. Boruların plazma kesme aparatları [46]

Borular birbirlerine kaynak öncesi puntalanmalıdır. Bu puntalama işlemi boruları ağızlayıp merkezleyen tertibat yardımı ile yapılmalıdır ve kök alın aralığı parça kalınlığına ve uygulanan kaynak yöntemine göre 1/16 ile 1/8 inç. (1,6 ila 3,2 mm.) arasında seçilmeli ve bu değer tüm çevre boyunca sabit tutulmalıdır. Boru çapının 350 mm' yi aştığı hallerde merkezleme tertibatı içten takılan hidrolik tahrikli türden olmalıdır. Zira boru hatlarında kök alın aralığı 1,6 mm olarak sınırlanmıştır. Kalın çaplı borularda bu koşul ancak içten takılan ve hidrolik tahrikli merkezleme tertibatları ile sağlanabilmektedir [51,59].



Resim 6.2. Conta kaynaklarının merkezleme tertibatı [46]

## 6.2. Boru Kaynağında Kullanılan Kaynak Sırası

Boru kaynağında uygulanan paso sıraları, malzeme et kalınlığı 3 ile 4 mm arasında ise işlem üç pasoda kök, sıcak ve kapak şeklinde, et kalınlığı 4 mm'yi geçen borularda kaynak işlemi en az; kök, sıcak, dolgu, kapak olarak 4 paso halinde yapılmalıdır.

### 6.2.1. Kök pasosu

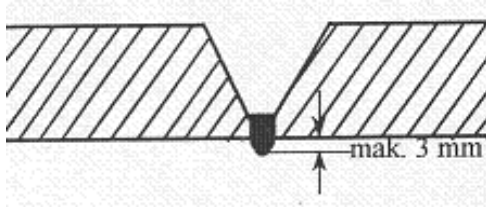
Kök pasoda nüfuziyet ve süreklilik çok önemlidir. Boru et kalınlığına uygun çapta elektrod seçilir. Çapı 4" ten 12" e kadar olan borularda 2,5 mm'lik elektrod kullanılır [51]. Çizelge 6.1'de boru çapı ve et kalınlığına bağlı olarak kullanılan elektrod çapları verilmiştir.

Çizelge 6.1. Boru çapları ve et kalınlıklarına uygun elektrod çapları [54]

Boru çapı, inç	Boru cidar Kalınlığı,mm	Kök	Sıcak	Dolgu 1	Dolgu 2	Kapak
4	4,37	2,5	2,5	3,25	-	3,25
6	4,37	2,5	2,5	3,25	-	3,25
8	4,78	2,5	3,25	3,25	-	4
12	5,56	2,5-3,25	3,25	3,25	-	4
16	6,35	3,25	3,25	4	-	4
20	7,14	3,25	3,25	4	-	4
24	7,92	3,25	3,25	4		4-5
28	9,52	3,25	3,25	4	4	5

Kaynak ağzı, fabrikasyon olarak hazırlanmış boru-boru kaynağında kök paso yukarıdan aşağıya (4 ve 6" hariç) doğru yapılması durumunda elektroda kesinlikle salınım hareketi verilmemelidir. Elektrodun arkı tamamen borunun iç tarafında

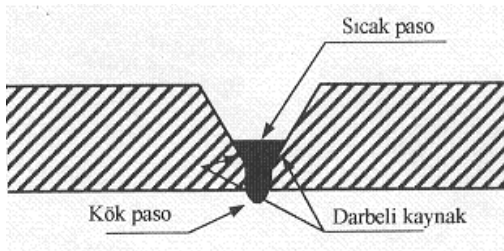
oluşmalıdır. Kök paso tamamlandıktan sonra cüruf tüm kaynak boyunca metal parlaklığı görülüne kadar titizlikle temizlenmelidir. Kök paso cürufunun giriciliği fazladır. Bu yüzden temizlik sırasında kaynak metali ile ana metalin birleşme noktalarına dikkat edilmeli, taş kaçırmadan ve pasoyu fazla inceltmeden cüruflar temizlenmelidir. Kök pasoda elektrod eksi kutuplanabilir. Boru bağlantısı kök pasonun bitmesinden sonra yapılacak paso tamamlana kadar kesinlikle hareket ettirilmemelidir. Çapı 12 " den büyük olan borularda kök kaynağı yapılırken kelepçe takılı durumda olmalıdır. Kök pasoda müsaade edilebilecek sarkma en fazla 3 mm olmalıdır (Şekil 6.5) [53,54,55].



Şekil 6.5. Kök pasoda sarkma [54]

### 6.2.2. Sıcak pasosu

Sıcak pasoda doğru akım elektrod (+) kutupta kullanılır. Paso yukarıdan aşağı yöntemiyle yapılır. Kök pasonun taşla en kısa sürede temizlenmesinden sonraki 5 dakika içinde sıcak pasonun atılması gerekir. Aksi takdirde soğumanın etkisiyle kılcal çatlaklar meydana gelebilir (Şekil 6.6) .



Şekil 6.6. Sıcak paso [54]

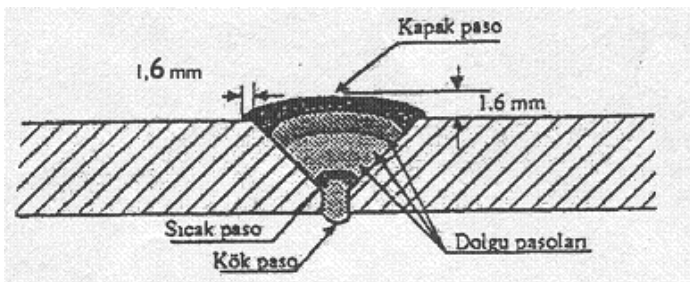
Sıcak paso yüksek amperle çekilir ve özellikle kenar kısımlarda (ana metal ile kök pasonun birleşme bölgeleri) darbeli uygulanır. Böylece yüksek amperle çalışıldığında kök paso tamamen temizlenmiş ve aynı zamanda temperlenmiş olur. Bu durumda kök pasonun delinme riskine karşı dikkatli olunmalıdır. Sıcak paso düşük amperle çekildiği zaman kök ve ana metal arasında sıralı cüruf hataları kalabilir [51,53,54].

### 6.2.3. Dolgu pasosu

Dolgu pasosu et kalınlığına bağlı olarak birden fazla olabilir. Farklı pasoların başlangıç noktaları bir önceki pasonun bitiş noktasından en az 5 cm uzaktan başlamalıdır. Dolgu pasoları, elektrod çapına uygun amper ve dolgu için gerekli el hareketi ile yapılmalıdır. Her paso tamamlandıktan sonra cüruf kalmayacak şekilde tel fırça veya uygun aletlerle temizlenmelidir. Dolgu pasoları tamamlandıktan sonra kaynak metali boru yüzeyi ile aynı seviyede olmalıdır. Düşük olan bölgelerde kısa ek pasolar takviye yapılmalı ve boru yüzeyiyle aynı hizaya getirilmelidir [51,53,54].

### 6.2.4. Kapak pasosu

Kapak pasosunun düzgün olması için elektroda çok düzgün bir salınım verilmesi gerekir. Kapak yüksekliği ve kenar bindirmeleri 1,6 mm civarında olmalıdır. Tamamlanmış kaynak yüzeyi, orijinal kaynak ağzı genişliğinden 2–3 mm daha büyük olmalıdır (Şekil 6.7) [53,54].



Şekil 6.7. Tamamlanmış kaynak kesiti [54]

### 6.2.5. Kaynak sonrası yapılan işlemler

Sıcak, dolgu ve kapak pasoları atıldıktan sonra cüruflar tel fırça ile titizlikle temizlenmelidir. Kaynak sırasında oluşan sıçrantılar boruya hasar vermeden bir keski ile temizlenmelidir. Taşlamalar sırasında kaynak ağız bölgesi dışında taş kaçırmalarına müsaade edilmemelidir [54,55].

Sıcak, dolgu ve kapak pasoda ortaya çıkan hataların tamirinde dikkat edilmesi gereken konular aşağıda belirtilmektedir;

- Hatanın bulunduğu yer taşlanarak yok edilir, taşlama derinliği ve genişliği hata içeren kaynak pasosunun tümünü kapsayacak boyutta olmalı ve boyu da 100 mm' den az olmalıdır. Tamir yapılacak bölgeye ön tav uygulanır. Ön tav ile kaynak edilen borular tamir edilecek ise tamir ön tav sıcaklığı, birincil ön tav sıcaklığının altında olmalıdır.
- Tamir işleminde esas metalin özellikleriyle uyum gösteren rutil veya selülozik örtülü elektrod kullanılabilir. Rutil elektrod kullanılması halinde, elektrod çapı 3,25 mm seçilmeli ve aşağıdan yukarıya pozisyonda bir kaynak tekniği uygulanmalıdır [51,53].

## 7. KAYNAK HATALARI

Tüm kaynak hataları kaynak dikişinde bir zayıflama ve süreksizlik oluşturduklarından bağlantının servis esnasında kırılmasına ve bazı hallerde telafisi imkansız kazalara neden olduklarından kaynaklı bağlantıların hatasız olması gereklidir. Bu bakımdan kaynaklı konstrüksiyonlarda, kaynak dikişlerinin kontrolü son derece önemlidir [58].

Bir kaynağın fiziki yapısındaki kesintilere süreksizlik denir. Bu süreksizlik mekanik, metalurjik veya fiziki özelliklere sahip olabilir. Kaynaklı birleştirmelerde oluşan bir süreksizlik her zaman bir kaynak hatası olarak kabul edilmez. Kaynaktaki bir süreksizlik kaynaklı birleştirmenin kullanım amacı uygunluğuna engel teşkil ederse, kaynak hatası olarak tanımlanır. Hataların kabul ve red kriterleri ilgili standartlar tarafından belirlenmiştir [60,61].

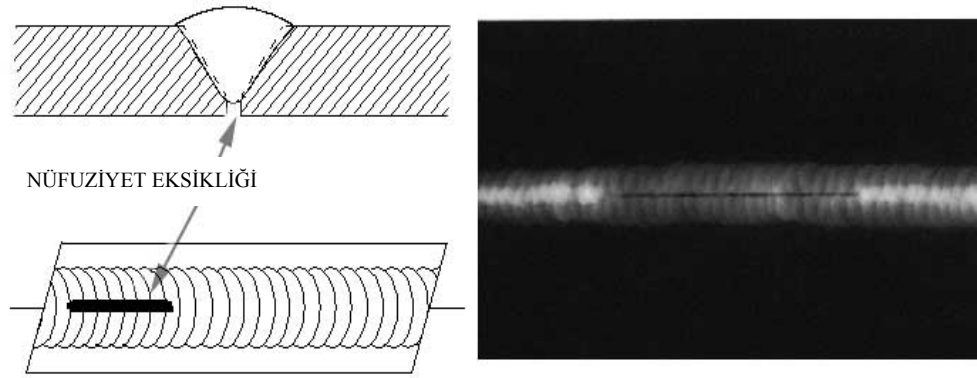
### 7.1. Nüfuziyet Eksikliği

Kök bölgesinde bulunan ergimemiş alanlardır. Kaynak ağzı yüzeylerinin her ikisinin de ergimemesi sonucu oluşur. Neden olan bazı faktörler aşağıda verilmiştir.

- Alın kaynaklarında aşırı alın yüksekliği,
- Kök aralığının veya açıklığının çok küçük olması,
- Kaynak dikişlerinin eksenlerinin kaçık olması,
- Kökteki ardışık pasalarda uygun başlangıcın yapılmaması,
- Ark enerjisinin yani ısı girdisinin çok düşük olması
- Elektrod çapının çok büyük olmasıdır.

Bu tür hatalar genellikle MIG, MMA, ve SAW gibi yöntemlerde meydana gelmektedir. Bu yöntemlerde kaynak metali kaynak arkının, elektrodu veya kaynak

telinin ergitmesinden dolayı otomatik olarak yığılır. Kaynakçı yığılan kaynak metalinden bağımsız olarak kaynak banyosu nüfuziyetini sınırlı ölçüde kontrol edebilmektedir. Film üzerindeki belirtisi, kaynak görüntüsünün ortasında kenarları birbirine paralel olan tam doğrusal yüksek yoğunluklu koyu şerit halinde görünür. [61,62].



Şekil 7.1. Nüfuziyet eksikliği ve radyografik görüntüsü [62]

MIG-MAG kaynağında nüfuziyet azlığının oluşmasına aşağıdaki nedenler yol açar.

- Birleştirme yerinin geometrisine uygun bir elektrod çapının seçilmemesi,
- Akım şiddetinin uygun seçilmemesi,
- Uygun bir kaynak ağzının açılmaması,
- Kök pasosunun kötü çekilmesidir.

Nüfuziyet azlığının neden olduğu hataların giderilmemeleri halinde; özellikle dikişin yorulma dayanımı ciddi bir şekilde düşer ve dikiş bükülmeye zorlandığında dipteki oyuk ve çentikler kırılma eğilimini artırır ve birleştirme bu kısmından çatlayarak kolayca kırılır [58].

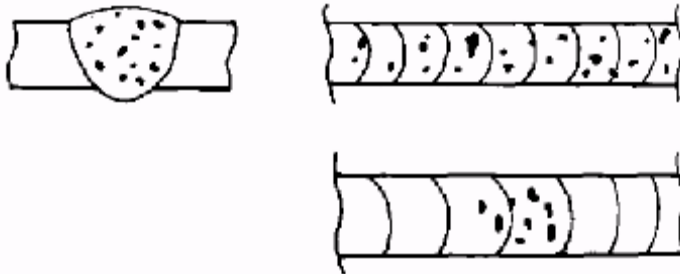


## 7.2. Gözenek

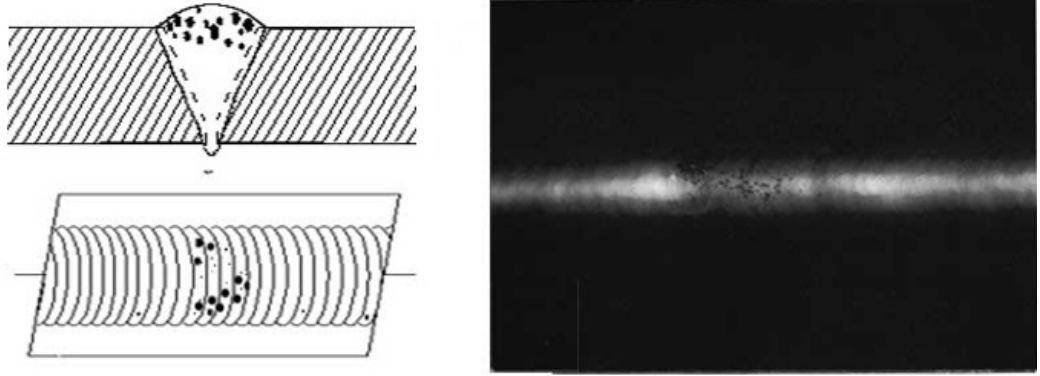
Bu hatalar; kaynak esnasında meydana gelen gazların dikişi terk edemeyip, içerde hapsolmesi veya tam yüzeyde iken katılaşmanın tamamlanması neticesinde ve bazen de metalin kendini çekmesi dolayısıyla meydana gelir. Boşluklar düzenli veya gelişigüzel dağılmış, yuvarlak şekilli, kanallar şeklinde, metal içerisinde veya dikiş yüzeyinde bulunabilir. Kaynak dikişinde bulunan gözenekler; dikiş kesitini azaltmanın yanında, gerilme yığılmalarına ve çentik teşekkülüne sebep olurlar. Bu nedenle bağlantının mukavemetini azaltırlar [58,61,62].

Kaynak metalinde meydana gelen boşlukların teşekkülü üzerinde, aşağıdaki faktörler etkili olmaktadır:

- Esas metal kimyasal bileşimi,
- İlâve metalin (kaynak teli veya elektrod) kimyasal bileşimi,
- Esas metal ve ilâve metalin, kükürt miktarının fazla olması,
- Elektrod örtüsünün rutubetli olması,
- Düşük akım şiddeti ile kaynak yapılması,
- Çok uzun veya kısa ark boyu ile kaynak yapılması,
- Kaynak ağızlarının kirliliğidir.



Şekil 7.2. Düzensiz gözenek dağılımı [52]

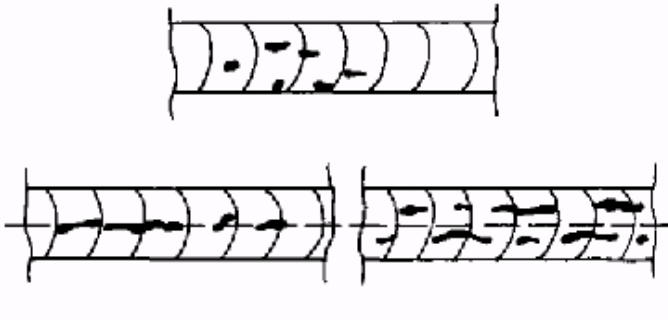


Şekil 7.3. Kümeleşmiş gözenek grubu ve radyografik görüntüsü [62]

### 7.3. Cüruf Kalıntıları

Cüruf kalıntıları; örtülü elektrod, tozaltı ve özlü tel kullanılarak yapılan kaynaklarda daha çok görülür. Kaynak pasosu sonunda meydana gelen cürufun mekanik olarak çıkarılmamasından kaynaklanan bir hata türüdür. Bu kalıntılar birleşmeyi ve nüfuziyeti olumsuz yönde etkiler, mukavemet yetersizliğine sebebiyet verir [61,62].

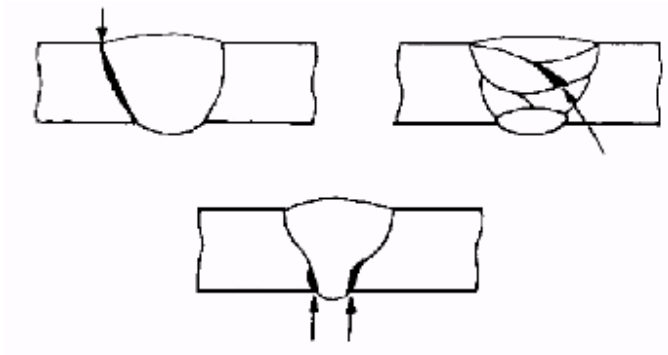
Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağında iki tür kalıntı ile karşılaşılır; bunlar cüruf ve oksit kalıntılarıdır. Kalıntılar gerek kaynak kesitini zayıflatmaları ve gerekse de çatlak başlangıcına neden olduklarından varlıkları arzu edilmezler. MIG-MAG kaynak yönteminde cüruf kalıntısı problemi örtülü elektrod halinde olduğu gibi büyük bir sorun değildir, zira kaynak banyosu cüruf örtüsü yerine bir koruyucu gaz atmosferi tarafından korunmaktadır. Yalnız özellikle çeliklerin kaynağında kullanılan bazı tür elektrodlar dikiş üzerinde çok az miktarda camsı bir cüruf oluştururlar; çok pasolu kaynakta bir sonraki pasoya başlamadan önce bunların temizlenmesi özellikle önerilen bir konudur [58].



Şekil 7.4. Cüruf kalıntıları [52]

#### 7.4. Birleşme Eksikliği

Kaynak metali ile esas metal veya üst üste yığılan kaynak metaline ait pasolar arasında birleşmeyen kısımların bulunması sonucunda bu hata ortaya çıkar. Bu hataların oluşmasına neden olan temel sebepler; kaynak ağzının dar olması, kaynak parametrelerinin doğru seçilmemesi, kaynak tekniğinin zayıf olması, manyetik ark üflemesi ve kaynak ağzı yüzeyinin yağ, çapak ve pisliklerden tam olarak arındırılmamasıdır. Bu tür hatalar en çok düşey pozisyonda kaynak yaparken meydana gelmektedir [61].



Şekil 7.5. Yan cidara birleşme eksikliği [52]

Kaynak ağzı hazırlığının uygun olmaması, kaynak ağzının dar olması, arkın kaynak ağzı yüzlerinden biri tarafından çekilmesine neden olur. Bu da, hem diğer cidarda

yetersiz ergime hem de bir önceki paso üzerine yetersiz nüfuziyet oluşumuna neden olur. Ark boyunun çok büyük olması, kaynak ağzı yüzleri üzerinde tercihli ergimeye sebebiyet verir ve yeterli nüfuziyetin elde edilmesini engeller [61].

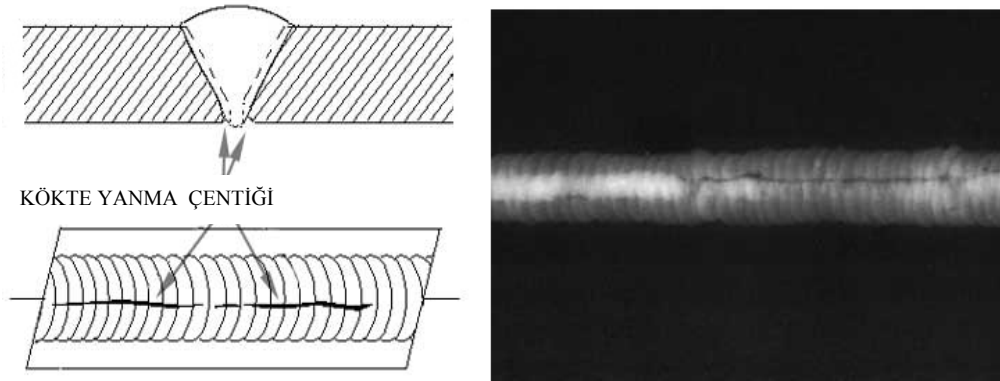
Arkın, kaynak ağzı yan yüzeylerine tam olarak etki etmesi için akım yeterince yüksek seçilmelidir. Kaynak hızının çok yüksek olması bu hatanın oluşumuna yardımcı olur. Akımın çok yüksek veya kaynak hızının çok yavaş olması kaynak banyosunun arkın önüne akmasına neden olur ve bunun sonucu olarak da homojen olmayan bir nüfuziyet elde edilir.

Elektrodun veya kaynak torcunun yanlış açı ile tutulması yan cidara kaynama hatasının oluşmasına neden olabilir. Zig zag hareketi yapmak ve yan cidarlar üzerinde bir süre beklemek kaynak metalinin ana metal üzerine akmasına ve iyi bir yan cidara kaynamanın elde edilmesine olanak sağlar. Radyografik görüntü olarak tek yüksek yoğunluklu koyu çizgi ve noktalar şeklinde görünür [58,62,63].

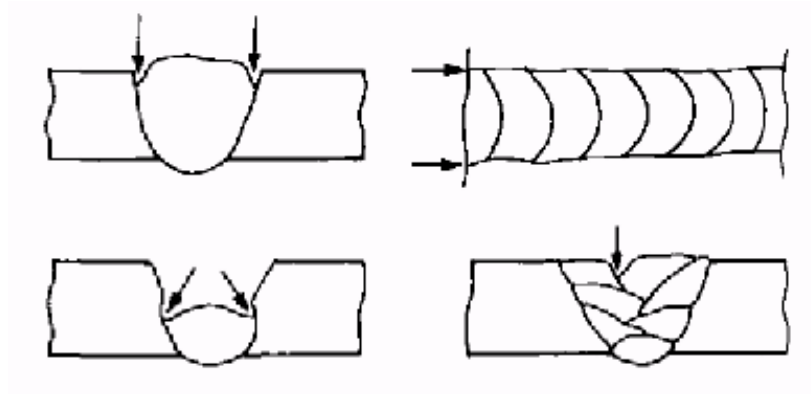
### **7.5. Yanma Çentiği / Oluğu**

Bu hata, kaynaktan sonra esas malzemede ve dikişin kenarındaki oyuk veya çentik şeklinde gözükür. Bunlar dikiş boyunca sürekli veya kesintili olarak devam eder. Kapak paso yakınındaki yanma çentiğine dış yanma çentiği, kök paso yakınındaki yanma çentiğine iç yanma çentiği denir. Kaynak hatalarının içerisinde en yaygın ve en sorunlu olan iç yanma çentiğidir. İç yanma çentiği borunun iç kısmında kaldığı için, kaynakçı bu hatanın meydana gelmesini fark edemez ve bu nedenle giderilmesi içinde derhal müdahale edemez. Yanma çentiği oluşumuna neden olan faktörler; akım şiddetinin yanlış seçilmesi, kaynakçının aşırı hızla çalışması, elektrotun fazla zik zak hareketler yapması, kaynak anında elektrotun yanlış bir açıyla tutulması, esas metalin aşırı derecede paslı olması, kaynak ağzı ölçüsünün yanlış seçilmesidir. Çentikli kaynak dikişlerinin dinamik zorlamalara karşı dayanımı çok zayıftır, bu nedenle en ufak bir çentik bulunmasına izin verilmemelidir [61,62,60].

İç yanma çentiği, kaynak görüntüsü genişliğinin merkezine yakın ve kök paso görüntüsünün kenarı boyunca düzensiz yüksek yoğunluklu koyu bölgeler şeklinde film üzerinde gözükür. Dış yanma çentiği ise kaynak görüntüsünün kenarı boyunca düzensiz yüksek yoğunluklu koyu bölgeler halinde belirti verir [61,62].



Şekil 7.6. İç yanma çentiği ve radyografik görüntüsü [62]



Şekil 7.7. Dış yanma çentiği [52]

## 7.6. Çatlaklar

En tehlikeli kaynak hatasıdır. Ergitme kaynağında; esas metalde, kaynak metalinde veya ısının tesiri altında ki bölgede ortaya çıkabilir. Film üzerinde düz, ince koyu çizgi olarak görünür [58,63].

Genellikle, bu çatlaklara dikişteki bölgesel gerilmeler neden olmaktadır. Kaynak anındaki çarpılma ve çekmelere karşı koyan kuvvetler, iç gerilmelerin dağılmasında önemli rol oynar. Bu bakımdan parçaların olabildiğince serbest hareket edebilecek konumda olmaları istenir. Kaynak yerinin bir hava akımı ile çabuk soğutulması veya düşük ortam sıcaklıkları çatlama meylini arttırır.

Çatlaklar görünüşleri bakımından aşağıdaki biçimde sınıflandırılır [60]:

- a) Boyuna çatlaklar,
- b) Enine çatlaklar,
- c) Yıldız çatlaklar,
- d) Krater çatlaklar,
- e) Dağınık çatlaklar,
- f) Mikro (kıl) çatlaklar.

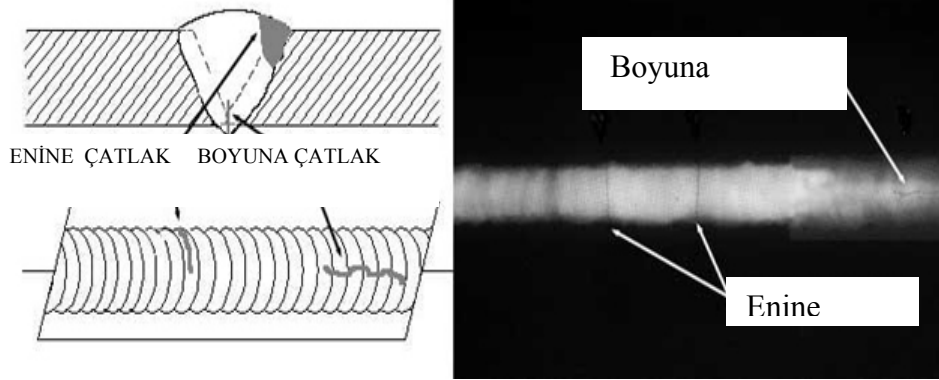
### **7.6.1. Kaynak metali çatlakları**

Kaynak metalinde görülen çatlaklar, şekil bakımından enlemesine, boylamasına ve krater çatlakları (yıldız çatlaklar) diye sınıflandırılabilir. Boylamasına çatlaklar genellikle kök pasolarda oluşurlar. Eğer bu kök pasolar tamamen sökülüp yeniden kaynak yapılmaz ise, çatlak sonraki pasolarda da kendini gösterir. Boylamasına çatlaklar bazen dikişlerde krater çatlaklarının devamı olarak da oluşabilirler. Enine çatlaklar, kaynak anında hareket olanağı en az olan dikişlerde ortaya çıkarlar. Oluşum zamanına göre de çatlaklar sıcak ve soğuk çatlaklar olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Sıcak çatlaklar, kaynak banyosu katılaşmaya başladığı anda oluşan, soğuk çatlaklar ise kaynak metali katılaştıktan sonra (hatta haftalar sonra da ortaya çıkabilir) ortaya çıkan çatlaklardır.

Sıcak çatlaklara çelikler halinde esas metalin fazla miktarda kükürt, fosfor ve kurşun, demir dışı metallerde ise kükürt ve çinko içermesi sonucu karşılaşılr. Ayrıca kaynak dikiş kesitinin esas metalin kalınlığı yanında çok küçük olması da bu çatlaklara

neden olur. Sıcak çatlakların oluşumuna aşağıda belirtilmiş olan önlemler alınarak mani olunabilir [58].

1. Sıcak çatlak oluşumunu teşvik eden elementler içermeyen esas metal kullanmak,
2. Çelikler halinde yüksek manganezli kaynak elektrodu kullanmak,
3. Kaynak dikişinde oluşan gerilmeleri azaltmak gayesi ile ön tav uygulamak,
4. Temiz koruyucu gaz kullanmak,
5. Kaynak dikişinin boyutlarını arttırmak (kök pasonun),
6. Kaynak ağız geometrisini, dikiş formunu değiştirmek.



Şekil 7.8. Enine ve boyuna çatlak görünümü [62]

### 7.6.2. Esas metal çatlakları

Esas metalde oluşan çatlaklara sade karbonlu ve az alaşımlı yumuşak çeliklerde nadiren, yüksek karbonlu ve alaşımlı, yüksek mukavemetli çeliklerde daha sık olarak rastlanır; bu olaya kaynaktan sonra ısının tesiri altında kalan bölgenin sertleşmesi neden olmaktadır. Esas metalin bileşimi, soğuma hızı ve çekme gerilmeleri bu tür çatlakların başlıca nedenleridir; bu etmenlerden en şiddetlilerinden birisi olan soğuma hızı, parça kalınlığına, kaynak anında parçaya uygulanan ısı girdisine ve parçanın sıcaklığına bağlı olarak değişir. Çeliklerin sertleşme eğilimlerini bileşimleri tayin eder; sertleşme eğilimine sahip bir çelikte ısının tesiri altında kalan bölgenin

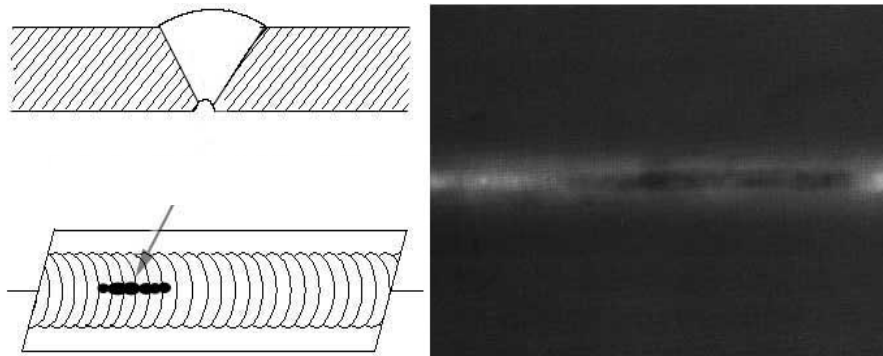
hızlı soğuması, sertleşmeye neden olur. Özellikle kalın parçalarda ısı çabuk dağıldığından, parça kalınlığı arttıkça çatlak oluşma olasılığı da artar. Isının tesiri altında kalan bölgenin sertleşmesini önlemek için soğuma hızını olabildiğince yavaşlatmak gereklidir [58].

Esas metalde ortaya çıkan çatlakların önlenmesi için, şu tedbirler alınmalıdır:

- a) Parçaların kaynaktan önce ve sonra, uygun sıcaklıklarda tavlınması.
- b) Parçalara verilen ısı miktarının artırılması. Bunun için, kalın çaplı elektrod kullanılması veya uygun bir kaynak usulünün seçilmesi.
- c) Çok pasolu kaynaklarda, pasolar soğumaya fırsat bırakılmadan birbiri ardına çekilmelidir.
- d) Düşük sıcaklıklarda çalışılırken, bazik elektrodlar kullanılmalıdır.

### 7.7. İç Konkavite

Kök paso yüzeyinin merkezinde çukurlar vardır. Film kaynak görüntüsü genişliğinin tam ortasında düzensiz uzunlamasına koyu yoğunluk şeklinde görünür. Yüksek akım değerlerinde küçük çaplı elektrod kullanılması, yanlış elektrod açısı ve hareketleri nedeniyle oluşur [62].

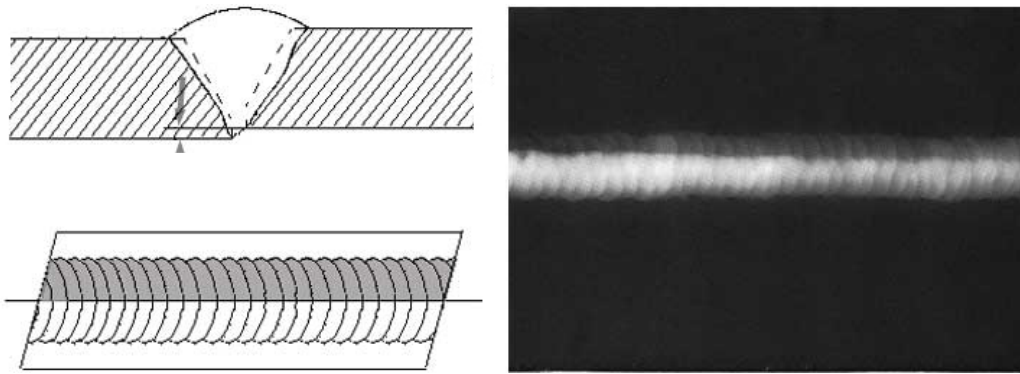


Şekil 7.9. İç konkavite ve radyografik görüntüsü [62]



### 7.8. Eksen Kaçıklığı

Kaynaklanacak parçaların yanlış hizalanması nedeniyle oluşur. Filmde kaynak dikişinin görüntüsünün genişliği boyunca film yoğunluğunda ani değişme şeklinde görünür [62].



Şekil 7.10. Eksen kaçıklığı ve radyografik film görüntüsü [62]

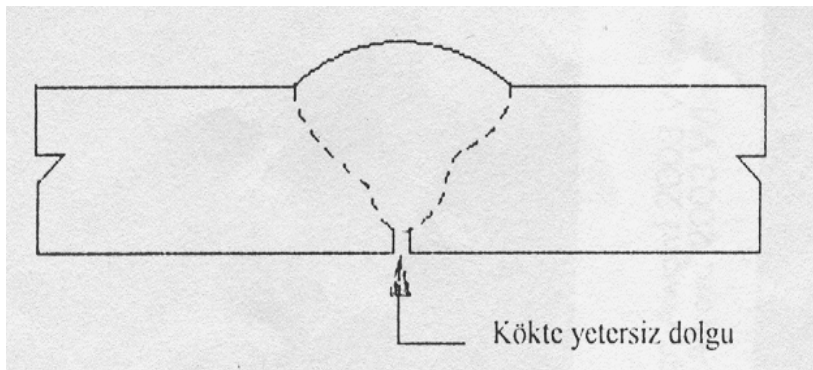
## 8. TAHRİBATSIZ MUAYENELER İÇİN API 1104 KABUL STANDARTLARI

Tahribatsız muayeneler için kabul standartları; radyografi, manyetik parçacık, sıvı penetrant ve ultrasonik muayene metotları ile tespit edilen süreksizliklere uygulanır. Bunlar gözle muayenede de uygulanabilir.

### 8.1. Eksen Kaçıklığı Olmayan Durumda Yetersiz Nüfuziyet (IP)

Eksen kaçıklığının olmadığı bir kaynakta yetersiz nüfuziyet, kaynak kökünün doldurulmaması olarak tanımlanır. Bu durum Şekil 8.1'de şematik olarak gösterilmiştir. Aşağıdaki şartlardan herhangi biri mevcut olduğunda IP reddedilecektir [64].

- Tek IP belirtisi uzunluğu 1" (25 mm) geçerse,
- 12" (300 mm) uzunluğunda bir kaynakta IP belirtilerinin toplam uzunluğu 1" (25 mm) geçerse,
- 12" daha az uzunlukta herhangi bir kaynakta IP belirtilerinin toplam uzunluğu kaynak uzunluğunun % 8 ini geçerse kabul edilmeyecektir.

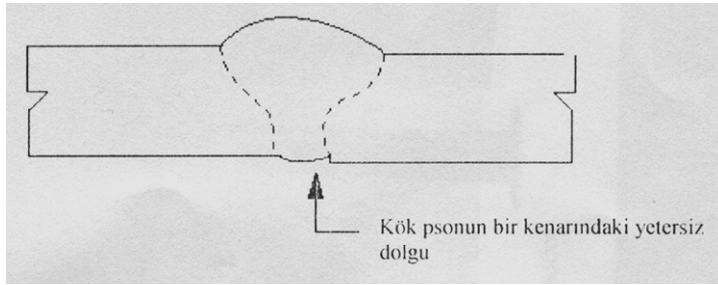


Şekil 8.1. Eksen kaçıklığı olmayan durumda yetersiz nüfuziyet [28]

## 8.2. Eksen Kaçıklığı Olan Durumda Yetersiz Nüfuziyet (IPD)

Eksen kaçıklığı olan durumda yetersiz nüfuziyet (IPD), boru veya bağlantı kaynakların da birleşiminin kaçık ayarlanması nedeniyle kaynak kenarlarından birinin kök pası tarafından dolmaması yada yapışmaması halde kalması olarak tanımlanır. Bu durum Şekil 8.2’de şematik olarak gösterilmiştir. Aşağıdaki durumlardan herhangi biri mevcut olduğunda IPD kabul edilmeyecektir [64].

- Tek IPD belirtisi uzunluğu 2" (50 mm ) geçerse,
- 12 " (300 mm ) uzunluğunda bir kaynakta IPD belirtilerinin toplam uzunluğu 3" (75 mm) geçerse kabul edilmeyecektir.

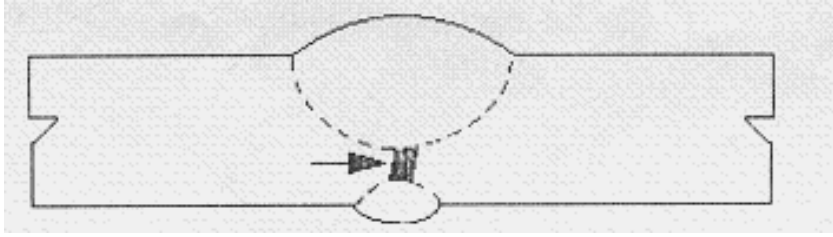


Şekil 8.2. Eksen kaçıklığına bağlı yetersiz nüfuziyet [28]

## 8.3. Kaynaklar Arası Yetersiz Nüfuziyet (ICP)

Kaynaklar arası yetersiz nüfuziyet (ICP), ilk iç paso ile ilk dış paso arasında dikey kaynak yüzeylerinde oluşan yetersiz nüfuziyet olarak tanımlanır. Bu durum Şekil 8.3’de şematik olarak gösterilmiştir. Aşağıdaki durumlardan herhangi biri mevcut olduğunda ICP kabul edilmeyecektir [64].

- Tek ICP belirtisi uzunluğu 2" ( 50 mm ) geçerse,
- 12" (300 mm ) uzunluğunda bir kaynakta ICP belirtilerinin toplam uzunluğu 3" (75 mm) geçerse kabul edilmeyecektir.

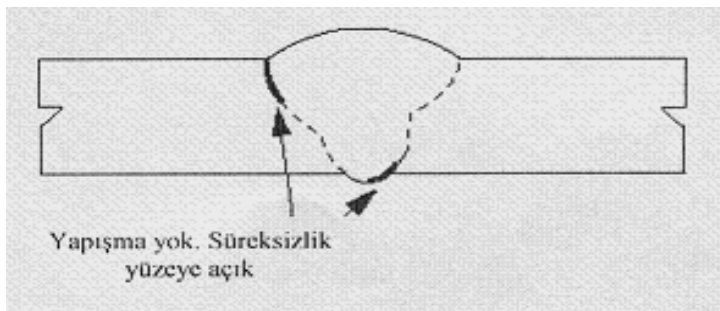


Şekil 8.3. Kaynaklar arası yetersiz nüfuziyet [28]

#### 8.4. Yetersiz Ergime (IF)

Yetersiz ergime kaynak metalini ile ana metal arasında ve yüzeye açık bir süresizlik olarak tanımlanır. Bu durum Şekil 8.4'de şematik olarak gösterilmiştir. Aşağıdaki durumlardan herhangi biri mevcut olduğunda IF kabul edilmeyecektir [64].

- IF in bireysel belirtisinin uzunluğu 1" ( 25,4 mm ) geçerse,
- IF belirtilerinin toplam uzunluğu, 12" ( 300 mm) uzunlukta sürekli bir kaynakta 1" (25,4 mm) geçerse,
- IF belirtilerinin toplam uzunluğu 12" (300 mm) daha kısa herhangi bir kaynak uzunluğunda kaynak uzunluğunun % 8 ini geçerse kabul edilmeyecektir.

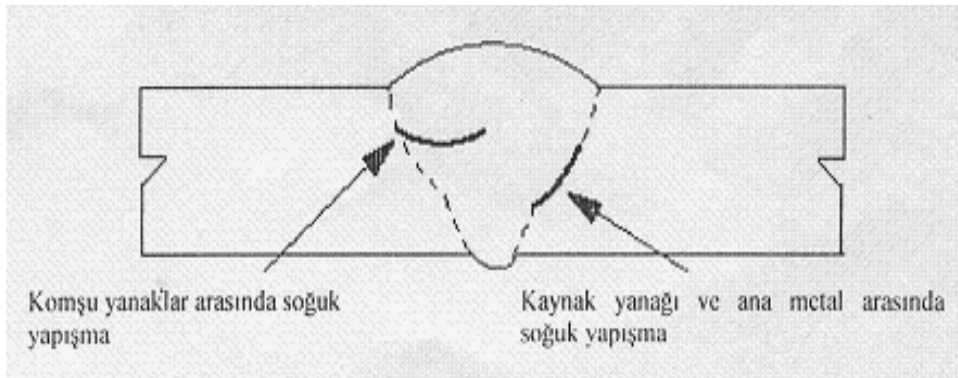


Şekil 8.4. Kaynağın kapak pasosunda yada kaynak kökünde yetersiz ergime [28]

### 8.5. Ergime Noksanlığı (IFD)

Ergime noksanlığı iki komşu kaynak pasosu arasında yada yüzeye açık olmayacak şekilde kaynak metali ve ana metal arasında oluşan süreksizlik olarak tanımlanır. Bu durum Şekil 8.5’de şematik olarak gösterilmiştir. Aşağıdaki durumlardan biri mevcut olduğunda IFD kabul edilmeyecektir [64].

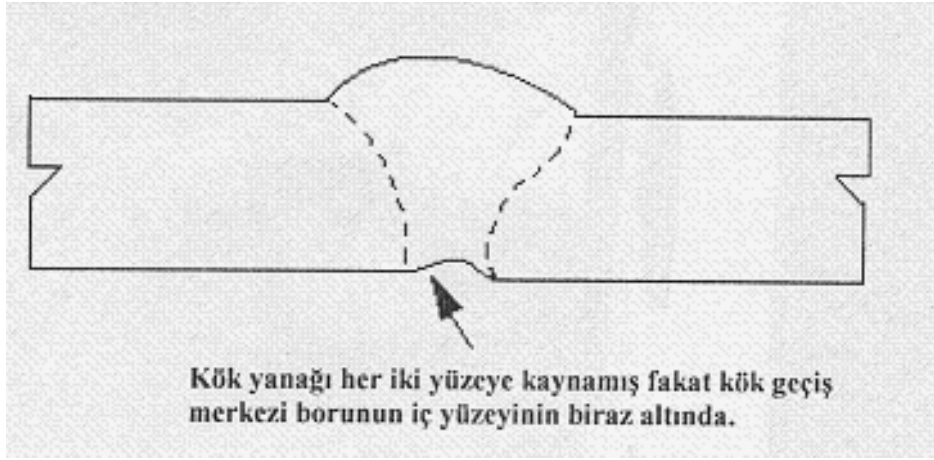
- Bireysel IFD belirtisinin uzunluğu 2" (50,8 mm ) geçerse,
- 12 " (300 mm) kaynak boyunda IFD belirtilerinin toplam uzunluğu 2" (50,8 mm) geçerse,
- IFD belirtilerinin toplamı, kaynak boyunun % 8 ini geçerse kabul edilmeyecektir.



Şekil 8.5. Ergime noksanlığı [28]

### 8.6. Kökte İçbükeylik (IC)

Kökte içbükeylik Şekil 8.6’da şematik olarak gösterilmiştir. Kaynak kalınlığının yoğunluğu, kaynatılan ana metallere göre ince olanının yoğunluğunu geçmedikçe tüm kaynak boyunda bile olsa kabul edilir. İçbükeylik, kaynatılan ana metallere göre ince olanının yoğunluğunu geçerse, yakıp delme kriterleri uygulanır [64].



Şekil 8.6. Kökte içbükeylik [28]

### 8.7. Yakıp-Delme (BT)

Yakıp delme (BT) kök pasonun bir kısmının fazla nüfuziyet dolayısıyla ergimiş kaynak metalinin boru içine doğru patlaması olarak tanımlanır [64].

- 2,375" (60,3 mm) ye eşit yada daha büyük dış çaplı borular için aşağıdaki durumlardan biri mevcut ise BT kabul edilmeyecektir.

- BT belirtisinin maksimum boyutu  $\frac{1}{4}$ " (6 mm) geçerse ve BT belirtisinin yoğunluğu kaynatılan ana metallere göre ince olanının yoğunluğunu geçerse,
- BT belirtisinin maksimum boyutu ve yoğunluğu, kaynatılan ana metallere göre ince olanını geçerse,
- 12" (300 mm) veya toplam kaynak boyunda hangisi küçükse, belirti yoğunluğu kaynatılan ana metallere göre ince olanın yoğunluğunu geçen BT belirtilerinin toplamı  $\frac{1}{2}$ " (13 mm) geçerse kabul edilmeyecektir.

### 8.8. Cüruf Kalıntısı (SI)

Bir cüruf kalıntısı kaynak metali içinde yada kaynak metali ile ana metal arasında sıkışmış metal olmayan kalıntı olarak tanımlanır. Uzunlamasına cüruf kalıntıları (ESI) sürekli yada kesik kesik cüruf hatları genellikle ergime bölgesinde bulunur. Tek cüruf kalıntıları (ISI), düzensiz şekillidirler ve kaynağın herhangi bir yerinde bulunabilirler. Değerlendirmek için kullanılacak radyografik belirti boyutu, cüruf belirtisinin maksimum boyutu olmalıdır [64].

- 2,37" veya daha büyük dış çaplı bir boru için cüruf kalıntısı; aşağıdakilerden biri mevcut olduğunda kabul edilmeyecektir.
  - a. ESI belirtisinin uzunluğu 2 " geçerse (50 mm),
  - b. 12" (300 mm) herhangi bir sürekli kaynak uzunluğunda ESI belirtisinin toplamı 2" (50 mm) geçerse,
  - c. Bir ESI belirtisinin genişliği 1/16 " (16 mm) geçerse,
  - d. 12 " herhangi bir sürekli kaynak uzunluğunda ISI belirtilerinin toplam uzunluğu 1/2" geçerse (13 mm),
  - e. Bir ISI belirtisinin genişliği 1/8" (3 mm ) geçerse,
  - f. 12 " (300 mm) kaynak boyunda maksimum genişliği 1/8 " (3mm) den fazla dörtten fazla ISI belirtisi varsa,
  - g. Toplam ESI ve ISI belirtilerinin toplam uzunlukları kaynak uzunluğunun % 8 ini geçerse kabul edilmeyecektir.

### 8.9. Gözenek

Gözenek, gazın ergimiş kaynak metalinin yüzeyine çıkmasına fırsat vermeden kaynak metalinin katılaşması ile kaynak bölgesi içinde kalan gaz boşlukları olarak tanımlanır. Gaz boşlukları genellikle küreseldir ancak düzensiz şekilde veya kurt deliği gibi uzamış şekilde de olabilir. Bir gözenekğin radyografik görüntüsü

değerlendirilirken, belirtinin maksimum boyutu aşağıda verilen kriterler ile karşılaştırılacaktır [64].

- Tek yada dağılmış gözenekler aşağıdaki durumlardan biri mevcut olduğunda kabul edilmeyecektir.

- a. Tek bir gözeneğin boyutu 1/8" (3mm ) geçerse,
- b. Tek bir gözeneğin boyutu kaynatılan ana metallere göre ince olanının et kalınlığının % 25 ini geçerse,
- c. Saçılmış gözenek dağılımı Şekil 8.7 veya Şekil 8.8'de müsaade edilen konsantrasyonu geçerse kabul edilmez.

- Kapak pasodaki grup gözenek (CP) hariç diğer pasodaki grup gözenekler önceki paragraftaki seçeneklere uygun olmalıdır. Kapak pasodaki grup gözenek (CP) aşağıdaki durumlardan biri mevcut ise kabul edilmeyecektir.

- a. Grup gözenek çapı 1/2" ( 13 mm ) geçerse,
- b. 12" (300 mm ) kaynak boyunda CP toplam uzunluğu 1/2" ( 13 mm) geçerse,
- c. Grup gözenek içindeki gözeneklerden biri 1/16" ( 2 mm ) geçerse kabul edilmez.

### 8.10. Çatlaklar (C)

Çatlaklar (C) aşağıdakilerden herhangi biri mevcut olduğunda kabul edilmeyecektir.

- a. Derin olmayan (yüzeysel) krater çatlağı veya yıldız şeklindeki krater çatlağı hariç, çatlağın boyuna ve kaynaktaki yerine bakılmaksızın tüm çatlaklar.
- b. 5/32" ( 4 mm ) büyük yüzeysel krater çatlakları veya yıldız çatlaklar.



### 8.11. Yanma Çentiği /Oluğu

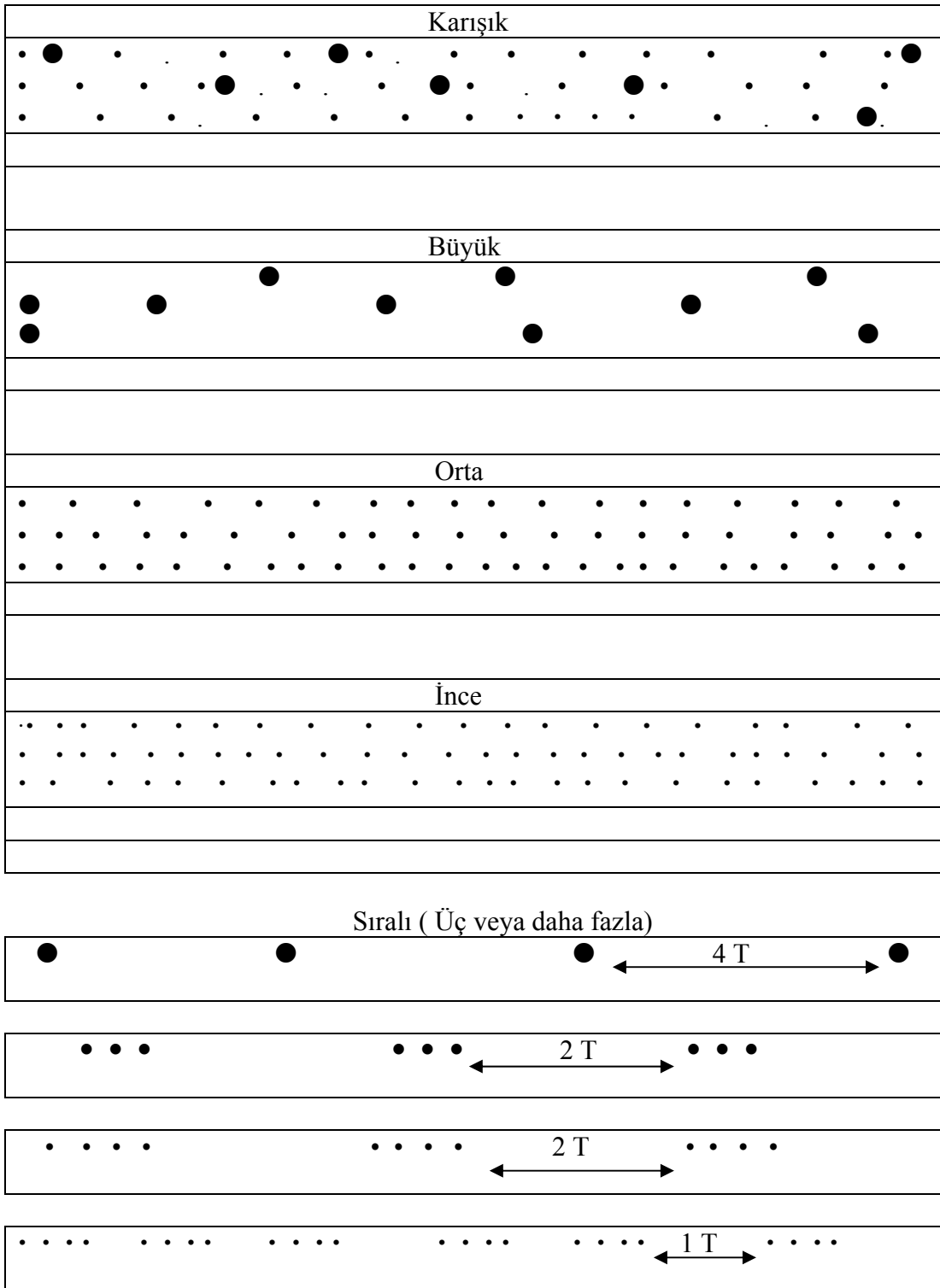
Kaynağın kapak veya kök pasosunun ana metalle birleştiği yerin oyuk şeklinde ergitilerek doldurulmadan bırakılması olarak tanımlanır. Aşağıdaki durumlardan herhangi biri mevcut olduğunda kapak paso veya kök pasodaki yanma çentiği kabul edilmeyecektir [64].

- a. EU ve IU belirtilerinin toplam uzunluğu, herhangi bir kombinasyonda, 12" (300 mm) kaynak boyunda 2" (50 mm) geçerse,
- b. EU ve IU belirtilerinin toplam uzunluğu, herhangi bir kombinasyonda, toplam olarak uzunluğunun 1/6'ni geçerse kabul edilmeyecektir.

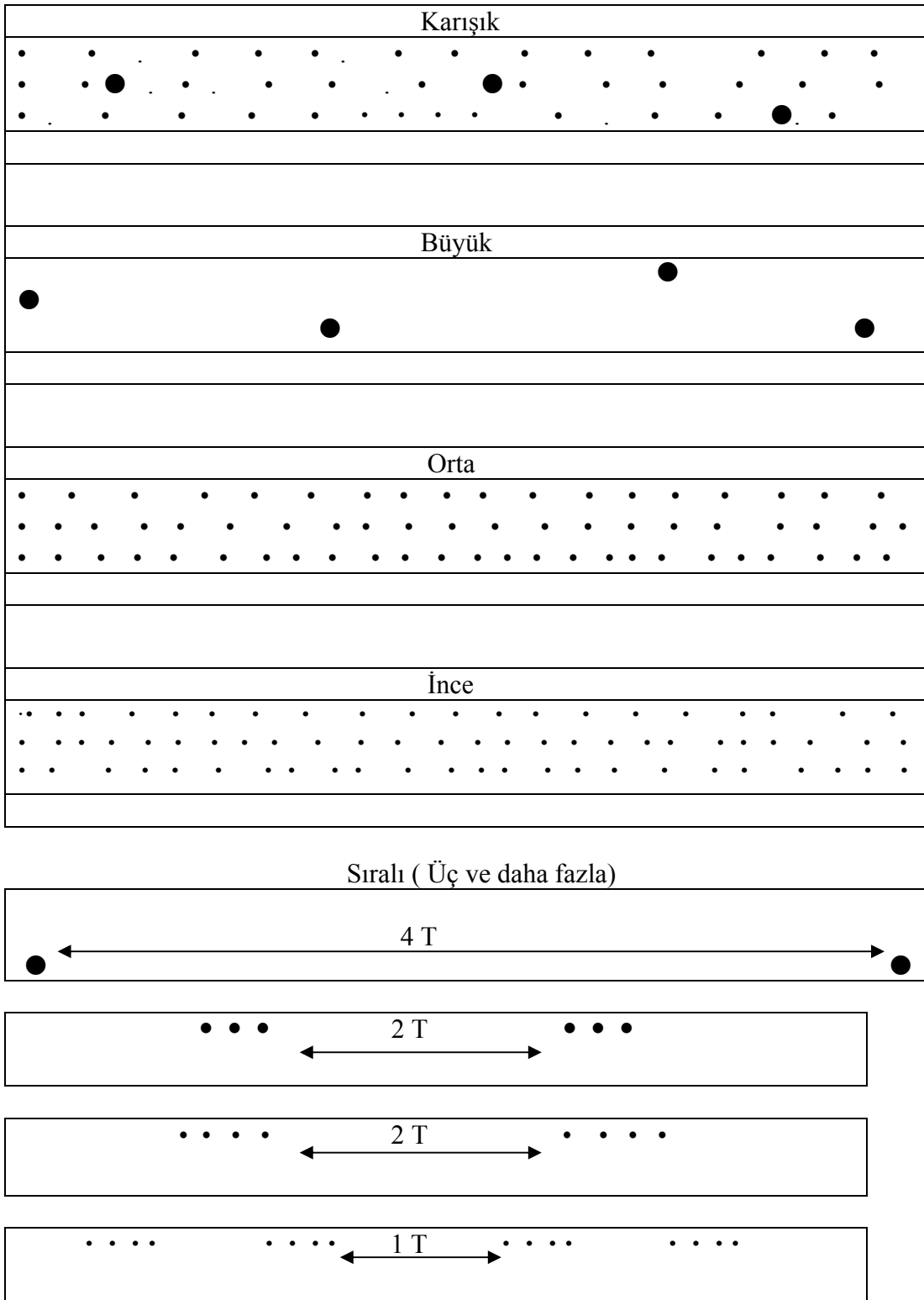
### 8.12. Kaynak Hatalarının Toplanması

Eksen kaçıklığı olan durumdaki nüfuziyet noksanlığı ve yanma çentiği haricindeki süreksizliklerin toplamı (AI) aşağıdaki durumlardan biri mevcut olduğundan kabul edilmeyecektir [64].

- a. 12" (300 mm) kaynak boyunda belirtilerin toplam uzunluğu 2" (50 mm) geçerse,
- b. Belirtilerin toplam uzunluğu kaynak uzunluğunun % 8 ni geçerse kabul edilmeyecektir.



Şekil 8.7. Dağınık gözenek maksimum dağılımı :  $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm) veya daha ince olan borularda. [28]



Şekil 8.8. Dağınık gözenek maksimum dağılımı :  $\frac{1}{2}$  " (12,7mm) den kalın borularda [64].

## 9. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada doğalgaz, petrol boru hatları ve benzeri yerlerde kullanılan değişik çaplardaki ( 1½", 2", 2 ½", 3", 4", 6", 16", 24", 28" ) çelik boruların farklı kaynak teknikleri (SMAW, GTAW, SAW) kullanmak suretiyle, mukavemet açısından en kritik nokta olan kaynaklı bölgelerin radyografik ve radyoskopik muayene işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler neticesinde en sık karşılaşılan hatalar tanıtılmış, radyografik film ve radyoskopi görüntüleri incelenmiştir.

Radyografik çekimler, elips, çift ve tek cidar tekniği kullanılarak gama ışını (Ir192, Se75) ve X ışını cihazları ile yapılmıştır. Deneyler, Bursa Gaz Dağıtım A.Ş. adına çekimler yapan Bursa Röntgensan Ltd. Şti. ve İzmit Borusan Mannesmann fabrikasında gerçekleştirilmiştir.

Borular API 5L Gr B grubu ve API 5L X65, X70 tipi olup kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Çizelge 9.1 ve Çizelge 9.2 'de verilmiştir.

Çizelge 9.1. API 5L Gr B çeliğinin mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimi

İmalat	Standart	Sınıflandırma	Mekanik Özellikleri		Kimyasal Bileşimleri			
			Akma muk. Min. MPa	Çekme muk. Min. MPa	C max.	Mn max.	P max.	S max.
Dikişli borular	API 5L	GR B	241	413	0,26	1,15	0,04	0,05

Çizelge 9.2. API 5L X65 çeliğinin mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimi

İmalat	Standart	Sınıflandırma	Mekanik Özellikleri		Kimyasal Bileşimleri			
			Akma muk. (MPa)	Çekme muk. (MPa)	C max.	Mn max.	P max.	S max.
Dikişli borular	API 5L	X 65	450	550	0,26	1,40	0,04	0,05

Film çekimleri için gerekli olan teçhizat ve malzemeler temin edilerek çekimler yapılmıştır. Filmler (Kodak MX 125 - D5) önce boru çaplarına göre karanlık oda şartlarında 10x12, 10x16, 10x24 ve 10x48 mm ebatlarında kesilerek, kurşun ekran (0,2 mm) arasında plastik kasetlere yerleştirilmiştir. Daha sonra kasetlerin üzerine kaynak ve ısı etkileşim bölgesini maskeleyecek şekilde kurşun harf ve rakamlarla markalama işlemi yapılmıştır. Penetremetre radyasyon kaynağı tarafına yerleştirilmiştir. Daha sonra boru çaplarına göre uygun çekim tekniği belirlenerek borular pozlama işlemine hazır hale getirilmiştir. Pozlama süreleri, mesafe, cidar kalınlığı ve enerji parametreleri dikkate alınarak hesap cetvelinden bulunmuştur. Daha sonra çekilen filmler Kodak M 35 (otomatik banyo) makinesinde banyo işlemleri yapılarak değerlendirmeye hazır hale getirilmiştir.

Radyoskopik muayene işleminde ise böyle bir hazırlık işlemine gerek yoktur. Çünkü muayene işlemine hazır hale getirilen çelik boru için kontrol panelinden akım, voltaj, odak boyutu ve görüntü büyültme işlemleri kontrol odasından cihaz üzerinden ayarlanarak anında görüntü değerlendirme işlemleri yapılmıştır.

### 9.1. Deneyde Kullanılan Cihazlar

Bu araştırmada radyografik film ve radyoskopik görüntü oluşturmada kullanılan cihazlar aşağıda gösterilmiştir.



Resim 9.1. Deneylerde kullanılan Baltospot x ışını cihazı ve Sentinel 880 Delta gama ışını cihazı

Gama cihazı olarak, uzaktan kumanda ile çalışan projeksiyon tipi hafif, taşınabilir cihazlar kullanılmıştır. Gama kaynağı olarak deney sırasında aktivitesi 20 Ci olan Ir 192 ve aktivitesi 5 Ci olan Se 75 radyoizotopları ile çalışılmıştır.

X ışını cihazı olarak, Baltospot marka 300 kV, 5 mA ve 2x2 mm odak boyutuna sahip endüstriyel X ışını cihazı kullanılmıştır.



Resim 9.2. Tozaltı kaynaklı spiral boruların radyoskopi tekniği ile yapılan kontrol işlemi

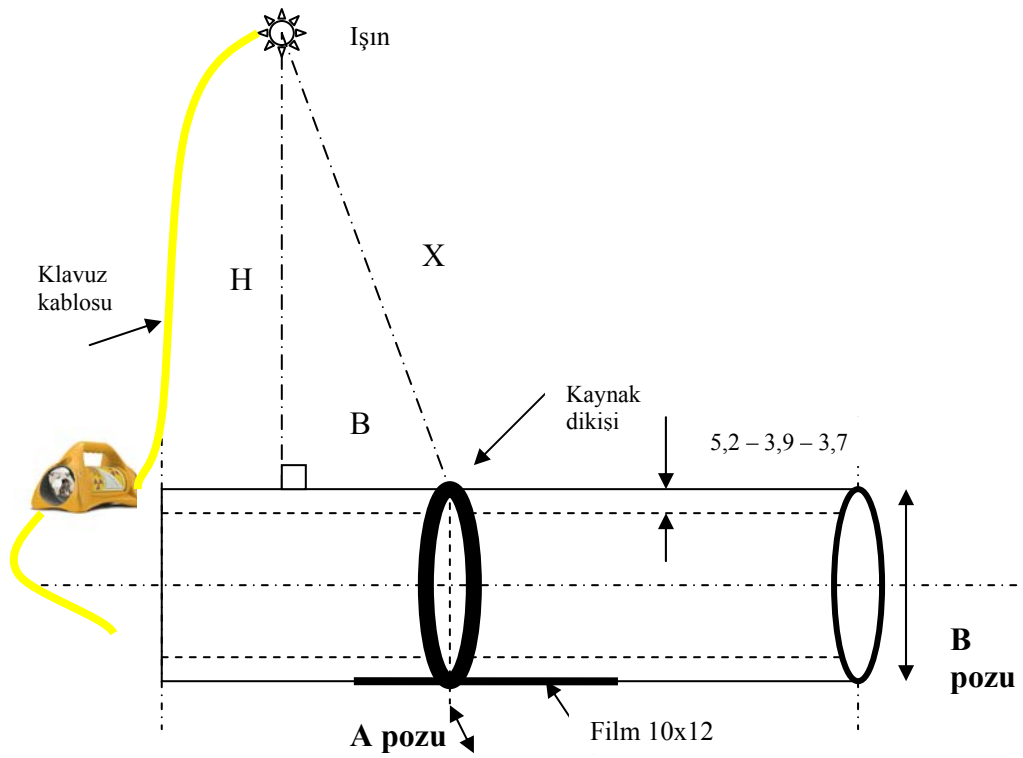


Resim 9.3. Radyoskopik görüntü kontrol ve değerlendirme odası

## 9.2. Deneyde Kullanılan Film Çekim Geometrileri

### 9.2.1. Bir nolu numuneler için ( $1^{1/2}$ " - 2" - $2^{1/2}$ " ) elips çekim pozisyonu

Bu bölümde üç farklı boru çapı kullanılmıştır. Her bir kaynak contası için film ve ışın kaynağı  $90^\circ$  döndürülerek A-B iki adet ışınlama yapılmıştır.



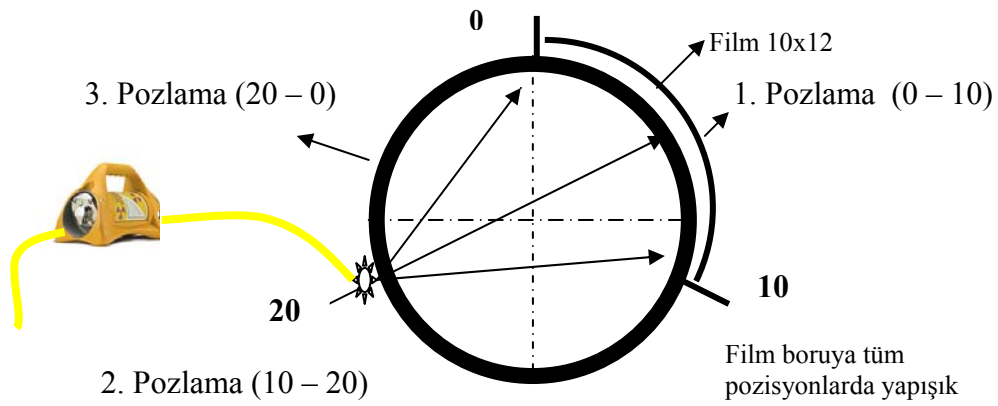
Şekil 9.1. Bir nolu numuneler için elips çekim pozisyonu

Çizelge 9.3. Bir nolu numuneler için elips çekim pozisyonu ölçüleri

Boru çapı ( inç)	B (cm)	H (cm)	X (cm)
$1^{1/2}$ "	19	48	51
2"	18	56	58
$2^{1/2}$ "	17	64	66

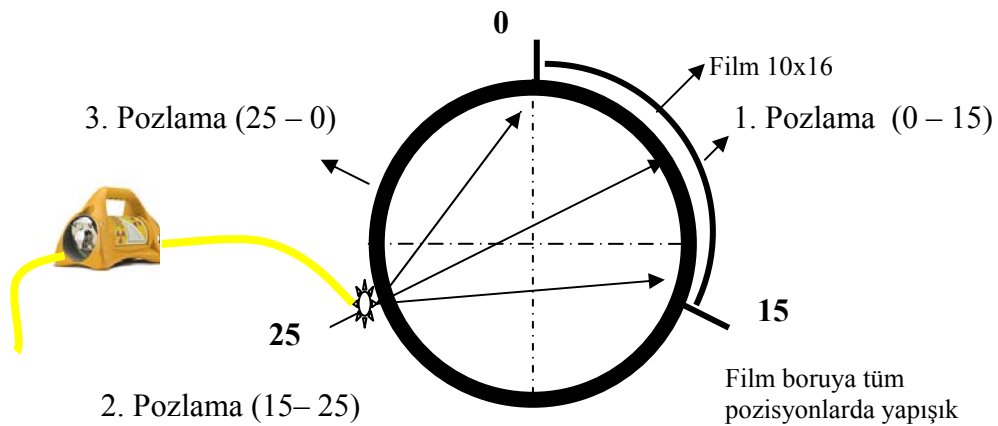
### 9.2.2. İki nolu numuneler için ( 3'' ) çekim pozisyonu

Her bir kaynak contası için film ve ışın kaynağı 120° döndürülerek üç adet ışınlama yapılmıştır. Filmler arasında 2 cm bindirme vardır.



Şekil 9.2. İki nolu numuneler için çekim pozisyonu

### 9.2.3. Üç nolu numuneler için ( 4'' ) çekim pozisyonu

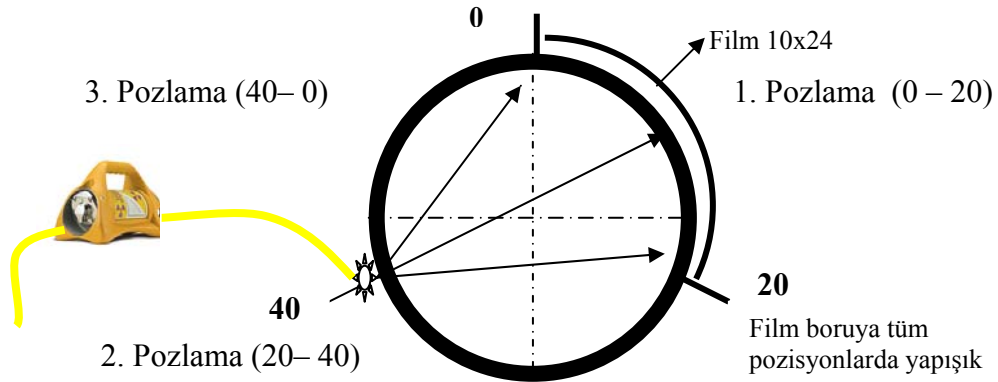


Şekil 9.3. Üç nolu numuneler için çekim pozisyonu



### 9.2.4. Dört nolu numuneler için ( 6'' ) çekim pozisyonu

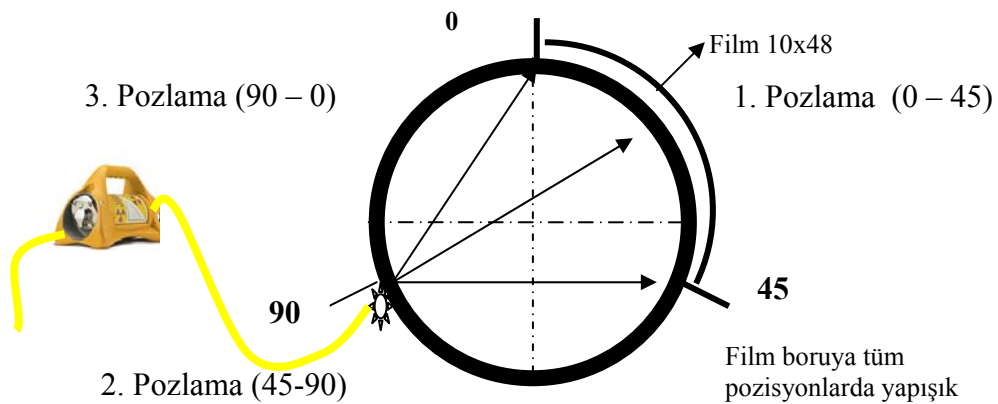
Her bir kaynak contası için film ve ışın kaynağı 120° döndürülerek üç adet ışınlama yapılmıştır. Filmler arasında 3 cm bindirme vardır.



Şekil 9.4. Dört nolu numuneler için çekim pozisyonu

### 9.2.5. Beş nolu numuneler için ( 16'' ) çekim pozisyonu

Her bir kaynak contası için film ve ışın kaynağı 120° döndürülerek üç adet ışınlama yapılmıştır. Filmler arasında 3 cm bindirme vardır.

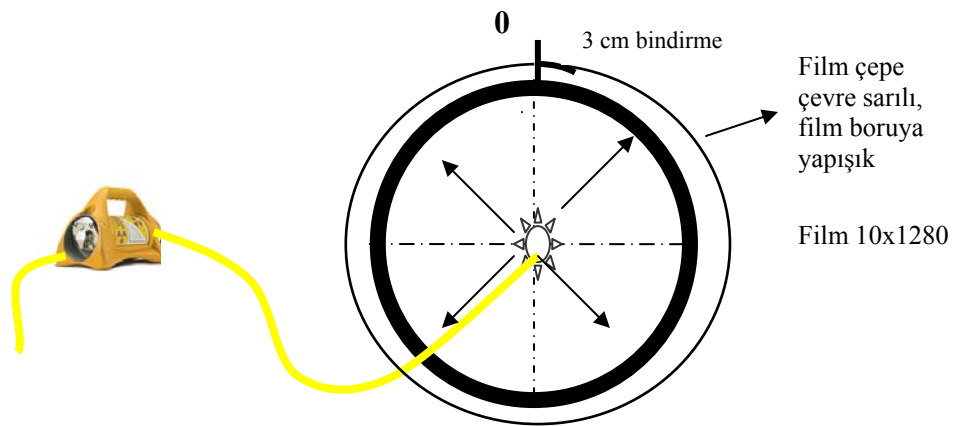


Şekil 9.5. Beş nolu numuneler için çekim pozisyonu

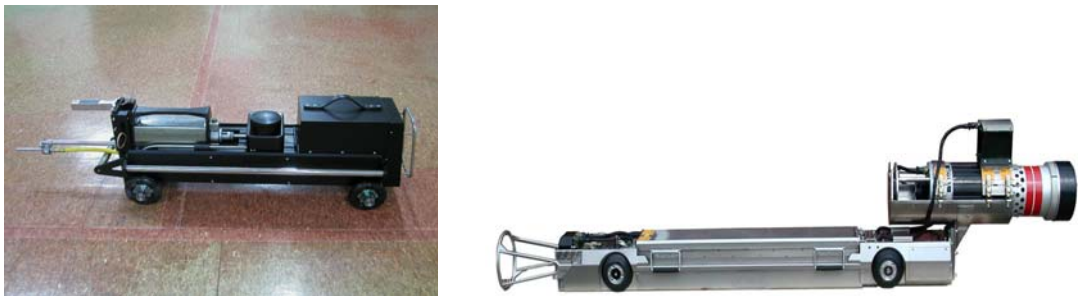
### 9.2.6. Altı nolu numuneler için ( 16" ) çekim pozisyonu

Bu çekim pozisyonunda ışın kaynağı kaynaklı borunun merkezine sabitlenerek, film bir referans noktası alınarak çepeçevre dikişin üzerine yapışacak şekilde 3 cm bindirme yapılarak sarılmıştır. Tek ışınlama ile film elde edilmiştir.

Uzun iletim hatlarında ise bu işlem için geliştirilmiş boru içinde hareket edebilen Crawler olarak isimlendirilen X ve gama ışınları ile çalışabilen cihazlar geliştirilmiştir (Resim 9.4).



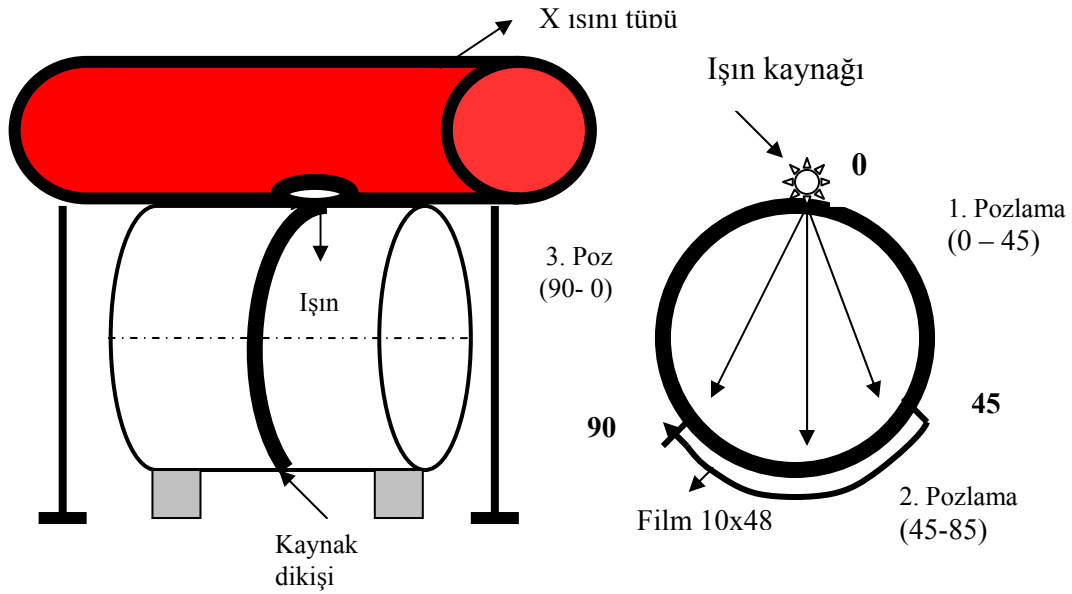
Şekil 9.6. Altı nolu numune için panoramik çekim pozisyonu



Resim 9.4. Boru hatları için özel geliştirilmiş X ve gama crawler cihazları

### 9.2.7. Yedi nolu numuneler için ( 16" ) çekim pozisyonu

Her bir kaynak contası için film ve boru 120° döndürülerek üç adet ışınlama yapılmıştır. Filmler arasında 3 cm bindirme vardır.

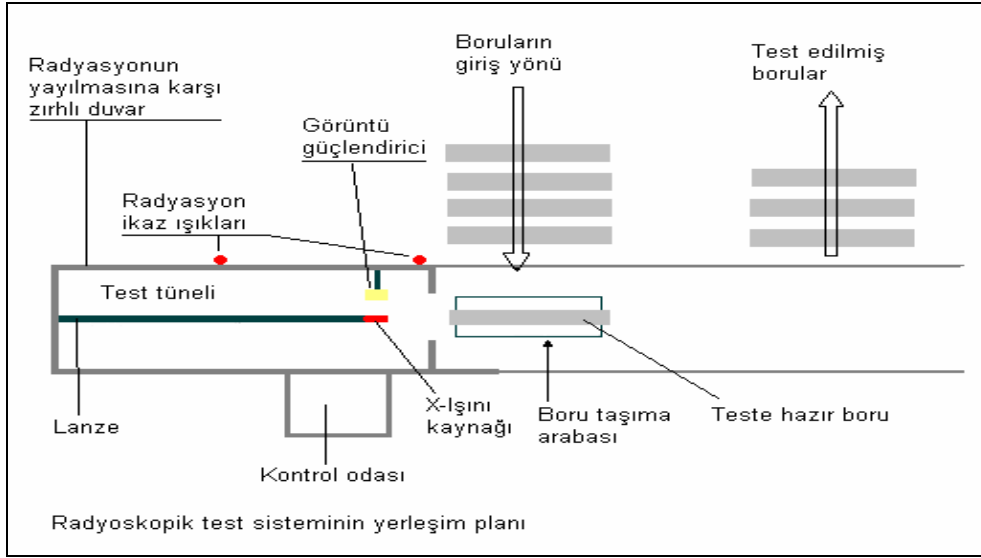


Şekil 9.7. Yedi nolu numuneler için çekim pozisyonu

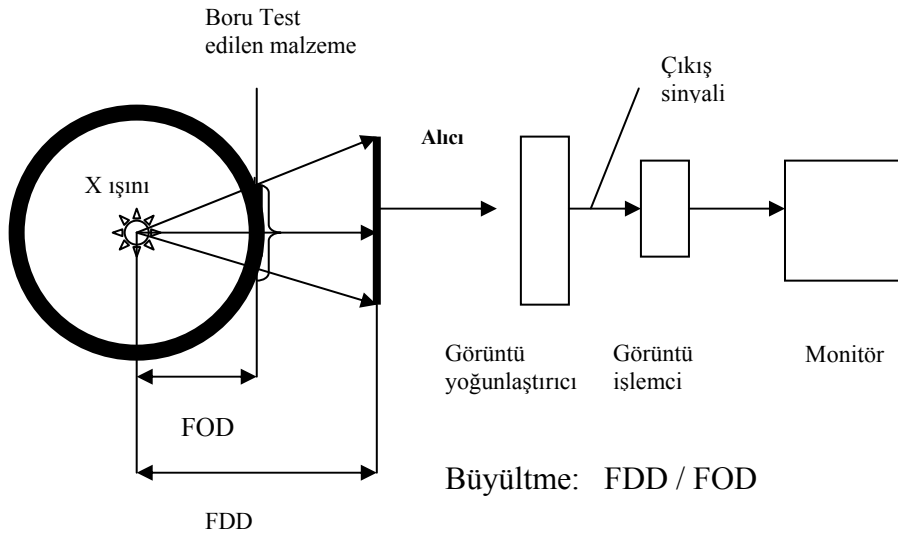
### 9.2.8. Sekiz nolu numuneler için çekim pozisyonu

28", 24", 16" çapında spiral tozaltı kaynak yöntemi ile üretilen boruların kaynaklı bölgeleri aşağıdaki düzenekte olduğu gibi radyoskopi tekniği ile incelenmiştir.

Radyoskopik muayenede görüntü çözünürlüğü filme göre daha düşük olmaktadır. Çözünürlükteki bu dezavantaj, görüntünün geometrik olarak büyütülmesi ile bir miktar önlenmiştir. Büyültme miktarı, küçük detayların tespit edilmesinde oldukça yararlı olmaktadır. Yapılan araştırmalarda ideal büyültme oranınının 2,0 olduğu tespit edilmiş ve uygulamalarda büyültme oranı boru dış çapına bağlı olarak 1,7 – 2,3 arasında değişmektedir.



Şekil 9.8. Radyoskopik muayene yöntemi ile kaynak dikişi kontrol düzeneği



Şekil 9.9. Test sisteminde geometrik ilişkilerin şematik görüntüsü

Muayene sisteminin performans ölçümü ile ilgili kriterler ASTM E 1411 standardında öngörülen kurallar esas alınarak yapılmıştır. Sistemin performansının belirlenmesinin temelinde çözünürlük ve kontrast ölçümünün yapılması esas alınmaktadır.

İzmit - Borusan Mannesmann fabrikasında gerçekleştirilen kalite kontrol işlemlerinde sistemin performans kontrollerinde ki genel durum şöyle özetlenebilir:

- Çözünürlük değerleri: 2,5 – 2,8 LP/mm (Eş değer hata boyutu 0,18 – 0,20 mm : Yani, en fazla 0,18 - 0,20 mm boyutundaki hataların ayırt edilebileceğini gösterir. Çözünürlük, EN 462-5 normuna göre üretilen çift telli penetre metreler kullanılarak LP/mm (line pair/mm) olarak belirlenir.
- Kontrast hassasiyeti : % 1
- Görüntü hassasiyeti: Test edilen malzemenin et kalınlığına bağlı olarak % 1,1 –1,3 arasındadır.

### 9.3. Gama ve X Işını Radyografi Çekimi Deney Koşulları

Çizelge 9.4. Gama ışını radyografi çekimi deney koşulları

Numune	Çap ( inç)	Kaynak film mesafesi (mm)	Kalınlık (mm)	İzotop Aktivite	Film miktarı Poz adedi	Süre
1	2 <sup>1/2</sup>	660	5,2	Ir 192 20 Ci	A –B 2 adet	9 dakika
1	2	580	3,9	Ir 192 20 Ci	A –B 2 adet	6 dakika + 30 s
1	1 <sup>1/2</sup>	510	3,7	Ir 192 20 Ci	A –B 2 adet	5 dakika
2	3	88,9	5,50	Se 75 5 Ci	0-10, 10-20, 20-0, 3 adet	1 dakika + 20 s
3	4	114,3	6,00	Se 75 5 Ci	0-15, 15-25, 25-0, 3 adet	2 dakika + 10 s
4	6	168,3	5,20	Se 75 5 Ci	0-20, 20-40, 40-0, 3 adet	4 dakika + 40 s
5	16	406	7,9	Ir 192 20 Ci	0-45, 45-85, 85-0, 3 adet	4 dakika + 15 s
6	16	203	7,9	Ir 192 20 Ci	0-45, 45-85, 85-0, 3 adet	55 s

Çizelge 9.5. X ışını radyografi çekimi deney koşulları

Numune	Çap (inç)	Kalınlık (mm)	Gerilim kV	Akım mA	Mesafe (mm)	Film miktarı Poz adedi	Süre
7	16	7,9	200	3	406,4	0-45, 45-85, 85-0, 3 adet	1 dakika + 30 s
7	16	9,5	150	2,5	406,4	0-45, 45-85, 85-0, 3 adet	2 dakika

Çizelge 9.6. Dijital radyografi deney koşulları

Numune	Ebat	mA	kV	FOD	FDD	Ortalama Büyültme FDD/FOD	Penet. Tipi	Görülen en ince tel çapı (mm)	Hassasiyet %
8	711x8x14	3	118,5	385	655	1,7	10/16	0,125	1,5
8	609x9,5x12	3	120	325	655	2	10/16	0,1	1
8	711x12,7x13	3	125	385	655	1,7	10/16	0,16	1,2
8	406,4x11,1x14	3	115	280	425	1,5	6/12	0,25	2,2

#### 9.4. Deneyde Kullanılan Çelik Boruların Kaynağı

Çelik hat borularında uygun ve hatasız kaynaklar elde edebilmek için önceden belirlenmiş ilgili kaynak prosedürlerine uyulması şarttır. Bu çalışmada İGDAŞ'nin boru hatlarında kullandığı teknik şartnameler göz önüne alınarak kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir.

SMAW tekniği ile kaynak yapılırken, borular önce ağzılama durumuna getirilerek, boru kaynak ağzıları aralığının boyu ve düzgünlüğü sağlanmıştır. Bu durum ne kadar iyi yapılırsa kaliteli kaynak işlemi için o kadar iyi olanak sağlanmış olur. Kaynaklar belirtilen dolgu malzemeleri ile yapılmışlardır. Kök paso kaynakları aşağıdan yukarı pozisyonda yapılarak elektrod bitim yerleri taşlanmıştır. Kök paso tamamlanınca, curuf spiral taş ile tüm kaynak boyunca metal parlaklığı sağlanıncaya kadar temizlenmiştir. Kaynak pensesi DC (-) kutupta tutularak iyi nüfuziyet elde edilmeye çalışılmıştır. Bu işlemden sonra boru hareket ettirilmeyerek çatlama riski azaltılmıştır. Sıcak paso ise DC (+) kutupta, kök pasodan 5 dakika sonra yukardan aşağı pozisyonda yüksek amperde yapılarak temizlenmiştir. Dolgu kaynağı da DC (+) kutupta yukardan aşağı pozisyonda, boru yüzeyine kadar yapılmıştır. Kapak paso ise elektrod DC (+) kutupta yukardan aşağı pozisyonda, kapak yüksekliği boru seviyesinden 1,6 mm olacak şekilde yapılmıştır. Bu şekilde yapılmış ve yapılan değişik çaplardaki kaynaklar, radyografi tekniği ile muayene edilmiştir.

Çizelge 9.7. Elektrod sınıfları ve özellikleri

AWS SINIFI	ÖRTÜ TİPİ	KAYNAK POZİSYONU	AKIM TİPİ VE KUTBU	AÇIKLAMA
E 6010	SELÜLOZİK	PF,PG,PC	DC(+) KUTUP	PF : Aşağıdan yukarı, PG : Yukarıdan aşağı PC : Yan kaynak
E 7010	SELÜLOZİK	PF,PG,PC	DC(+) KUTUP	
E 6013	RUTİL	PF,PG,PC	AC, DC(+)(-) KUTUP	
E 7014	RUTİL	PF,PG,PC	AC, DC(+)(-) KUTUP	
E 7018	BAZİK	PF,PG,PC	AC, DC(+) KUTUP	

E 6010, E 6013, E 7018 ve E 7014 AWS 5.1 standardına uygun, E 7010-G ise AWS 5.5 standardında belirtilen özelliklere uygun olmalıdır.

Çizelge 9.8. Elektrodların mekanik özellikleri

DOLGU MALZEMESİ		
AWS SINIFI	KALİFİKASYON	MEKANİK ÖZELLİKLER (min)
E 6010	AWS A5.1: E 6010	Akma day.(N/ mm <sup>2</sup> ) :331 Çekme day. (N/ mm <sup>2</sup> ) :436 % uzama : 22 Çentik darbe day.(j) : 29°C de 27 J
E 6013	AWS A5.1: E 6013	Akma day.(N/ mm <sup>2</sup> ) :387 Çekme day. (N/ mm <sup>2</sup> ) :471 % uzama : 17 Çentik darbe day.(j) :-
E 7010-G	AWS A5.5: E7010	Akma day.(N/ mm <sup>2</sup> ) :480 Çekme day. (N/ mm <sup>2</sup> ) :560 % uzama :20 Çentik darbe day.(j) :-30°C de 27 J
E 7018	AWS A5.1: E 7018	Akma day.(N/ mm <sup>2</sup> ) :399 Çekme day. (N/ mm <sup>2</sup> ) :482 % uzama :25 Çentik darbe day.(j) :-46°C de 27 J
E 7014	AWS A5.1: E 7014	Akma day.(N/ mm <sup>2</sup> ) :399 Çekme day. (N/ mm <sup>2</sup> ) :482 % uzama :17 Çentik darbe day.(j) :-

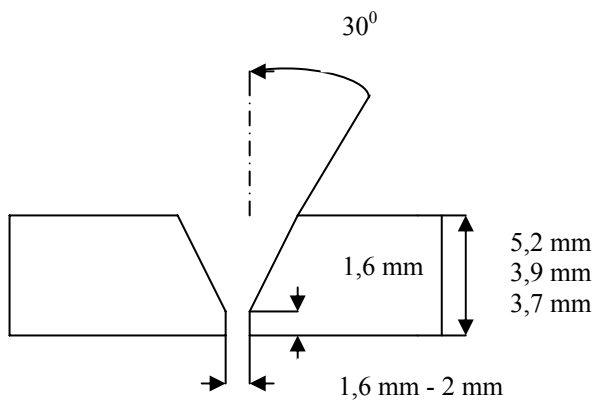
#### 9.4.1. Bir nolu numuneler için malzeme ve kaynak bilgileri

Malzeme:

Cinsi	: API 5L GR.B
Şekli	: Kaynaklı boru
Çap	: 2 1/2" (73 mm) - 2" (60,3 mm) - 1 1/2" (48,3 mm)
Malzeme Et Kalınlığı	: 5,2 mm - 3,9 mm - 3,7 mm
Borunun Çevresi	: 229,22 mm - 189,34 mm - 151,66 mm
Kabul Kriterleri	: API 1104 (paragraf 9)

Malzeme Kaynak Bilgileri:

Kaynak Tipi	: Manuel
Kaynak Yöntemleri	: GTAW - SMAW
Kaynak Birleştirme Tekniği	: V- Alın
Dolgu Malzemeleri	: E 6010 (AWS 5.1) – E 7018 (AWS 5.1) Ø2,5 - Ø 3,25 tipi. ER 70 S-2 (A 5.18) Ø2,38
Kritik Bölge	: Tüm kaynak alanı ve ısı etki bölgesi



Şekil 9.10. Bir nolu numune kaynak ağzı gösterimi



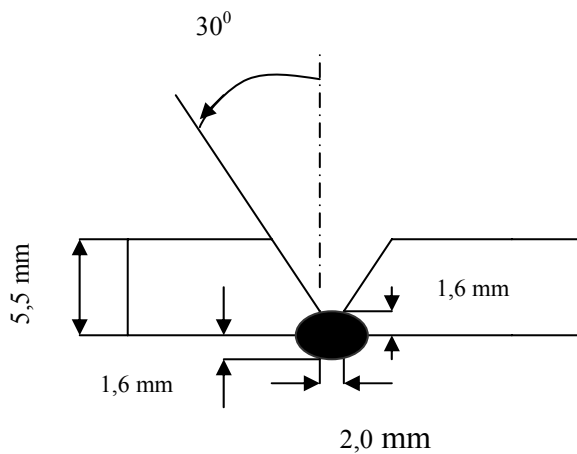
#### 9.4.2. İki nolu numuneler için malzeme ve kaynak bilgileri

Malzeme:

Cinsi	: API 5L GR.B
Şekli	: Kaynaklı boru
Çap	: 3" (88,9 mm)
Malzeme Et Kalınlığı	: 5,50 mm
Borunun Çevresi	: 279,14 mm
Kabul Kriterleri	: API 1104 (paragraf 9)

Malzeme Kaynak Bilgileri:

Kaynak Tipi	: Manuel
Kaynak Yöntemi	: SMAW
Kaynak Birleştirme Tekniği	: V-Alın
Dolgu Malzeme	: E 6010 (AWS 5.1) – E 8010-G (AWS 5.5)
	Ø2,5 - Ø 3,25 tipi
Kritik Bölge	: Tüm kaynak alanı ve ısı etki bölgesi



Şekil 9.11. İki nolu numune kaynak ağzı gösterimi

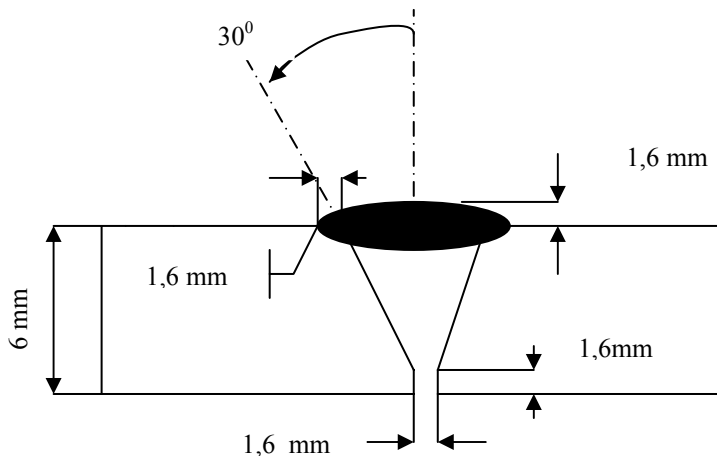
### 9.4.3. Üç nolu numuneler için malzeme ve kaynak bilgileri

Malzeme:

Cinsi	: API 5L GR.B
Şekli	: Kaynaklı boru
Çap	: 4" (114,3 mm)
Malzeme Et Kalınlığı	: 6,00 mm
Borunun Çevresi	: 358,90 mm
Kabul Kriterleri	: API 1104 (paragraf 9)

Malzeme Kaynak Bilgileri:

Kaynak Tipi	: Manuel
Kaynak Yöntemleri	: GTAW - SMAW
Koruyucu Gaz	: %99,9 Argon
Kaynak Birleştirme Tekniği	: V- Alın
Dolgu Malzeme	: SG 2 (AWS 5.18) tipi Ø 2,4 mm E 6010 (AWS 5.1) – E 8010-G (AWS 5.5) Ø2,5 - Ø 3,25 tipi
Kritik Bölge	: Tüm kaynak alanı ve ısı etki bölgesi



Şekil 9.12. Üç nolu numune kaynak ağzı gösterimi

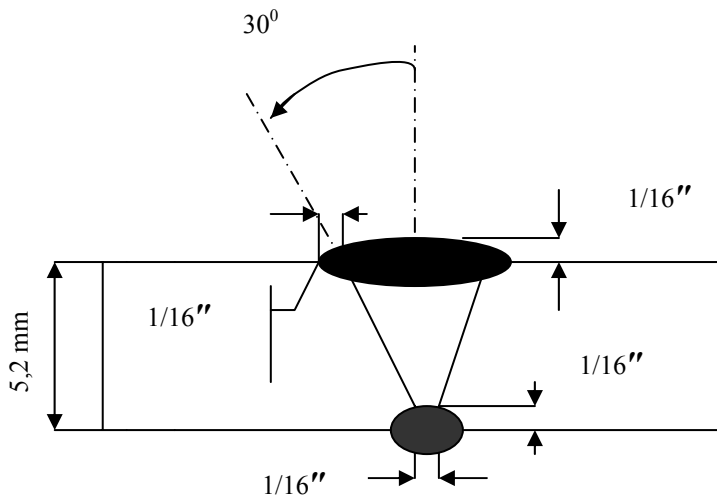
#### 9.4.4. Dört nolu numuneler için malzeme ve kaynak bilgileri

Malzeme:

Cinsi	: API 5L GR.B
Şekli	: Kaynaklı boru
Çap	: 6" (168,3 mm)
Malzeme Et Kalınlığı	: 5,20 mm
Borunun Çevresi	: 528,46 mm
Kabul Kriterleri	: API 1104 (paragraf 9)

Malzeme Kaynak Bilgileri:

Kaynak Tipi	: Manuel
Kaynak Yöntemi	: SMAW
Kaynak Birleştirme Tekniği	: V-Alın
Dolgu Malzeme	: E 6010 (AWS 5.1) – E 8010-G (AWS 5.5)
	Ø2,5 – 3,25 tipi
Kritik Bölge	: Tüm kaynak alanı ve ısı etki bölgesi



Şekil 9.13. Dört nolu numune kaynak ağzı gösterimi

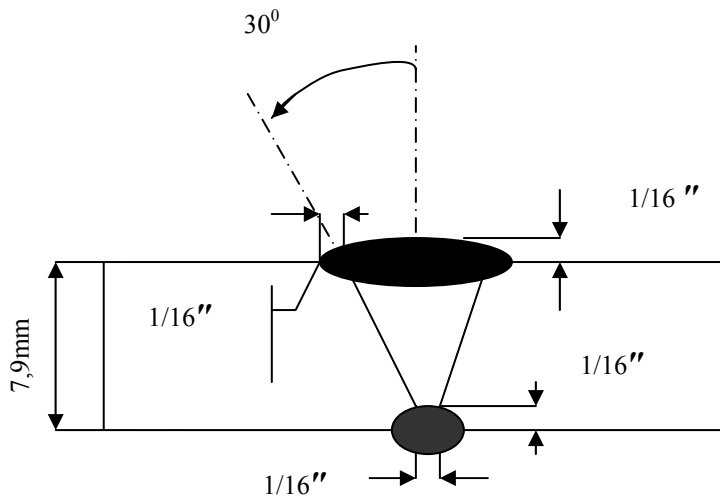
#### 9.4.5. Beş, altı ve yedi nolu numuneler için malzeme ve kaynak bilgileri

Malzeme:

Cinsi	: API X 65, X 70
Şekli	: Spiral kaynaklı (SAW)
Çap	: 16 " (406,4 mm)
Malzeme Et Kalınlığı	: 7,9 mm – 9,5 mm
Borunun Çevresi	: 1276,09 mm
Kabul Kriterleri	: API 1104 (paragraf 9)

Malzeme Kaynak Bilgileri:

Kaynak Tipi	: Manuel
Kaynak Yöntemi	: SMAW
Kaynak Birleştirme Tekniği	: V- Alın
Dolgu Malzeme	: E 6010 (AWS 5.1) – E 7018 (AWS 5.1)
	Ø2,5 – 3,25 tipi
Kritik Bölge	: Tüm kaynak alanı ve ısı etki bölgesi



Şekil 9.14. Beş, altı ve yedi nolu numunelerin kaynak ağzı gösterimi

#### 9.4. 6. Sekiz nolu numuneler için malzeme ve kaynak bilgileri

Bu bölümde spiral tozaltı kaynak yöntemi ile üretilen boruların malzeme ve kaynak bilgileri üzerinde durulmuştur. Bunun için değişik API 5L X65, X70 mekanik özelliklere sahip spiral boruların radyoskopi yöntemi ile kaynaklı bölgeleri incelenmiştir.

Spiral kaynaklı boru üreten makinelerde ana prensip, rulo sac halinde gelen haddelenmiş yassı çelik, form verilerek spiral bir hareket yapması sağlanarak boru üretilmektedir.

Spiral tozaltı kaynağının ilk aşaması, boruya spiral form verilen bölgede yapılan iç kaynaktır. Malzeme kalınlığına bağlı olarak I, Y veya X tipinde açılan kaynak ağzı iki veya daha fazla kafa ile tozaltı kaynağı ile birleştirilir. Spiral yöntemle boru üretiminde genelde çift taraftan ayrı ayrı bölgelerde kaynak işlemi uygulanır. İç kaynaktaki seçilen parametrelerin kaynağın kalitesine etkisi büyüktür. Büyük ölçüde nüfuziyet eksikliği ve gaz boşluğu bu bölgedeki kötü kaynak koşullarından dolayı meydana gelmektedir. Bu nedenle boru imalatında iç kaynağa özen gösterilir ve sürekli bir operatör kontrolü altındadır.

Dış kaynak, iç kaynaktan farklı ve ileriki bir aşamada yapılır. I, Y veya X şeklinde açılan kaynak ağzının alın kısmına uygulandığından, nüfuziyet açısından önlemlerin düşünülmesi gereken bir işlemdir. Genelde birden fazla kafa ile tozaltı kaynak işlemi uygulanır. İlk kafa DC ters kutuplama akım türü ile yapılması nüfuziyet açısından önemlidir. Diğerleri AC akım türü ile uygulanır. Bu aşamadaki bir diğer önemli nokta iç kaynaktaki yapılan bir hatanın veya kökte kalan kalıntı ve cürufun burada yok edilmesi gerekliliğidir. Aksi takdirde kaynak kalitesi kötüleşir.

Bu şekilde kaynak işlemi tamamlanan çok sayıda farklı ebatlardaki borulardan, 711 x8x14 m, 711x12,7x13 m, 609x9,5x13 m, 406,4x11,10x14 m ebatlarındaki borularda kaynak hataları tespit edilerek hatalar incelenmiştir.



Resim 9.5. Spiral kaynaklı elik borunun dış kaynağı

## 10. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu araştırmada radyografik çekimlerde elde edilen görüntülerin sadece kaynak hatası olan kısımları ele alınmıştır. Ayrıca radyografi filmlerinin siyah beyaz görüntüleri, ışık kasasından dijital fotoğraf makinesi ile alınarak jpg formatında bilgisayara kaydedilerek düzenlenmiştir.

### 10.1. Bir nolu numunelerin radyografik muayeneleri

Aşağıda belirtilen film çekim talimatı ile Resim 9.6, Resim 9.7 ve Resim 9.8'deki radyografik görüntüler elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

Kullanılan Teçhizat Ve Malzemeler:

Cihaz	: Gama ışını (Ir-192)
Şiddeti	: 20 Ci
Boyutu	: 2x2 mm (2,8 mm efektif)
Film Sınıfı	: Kodak MX 125, D5 ( orta hızlı )
Film Ebadı	: 10x12 cm
Film Miktarı	: İki adet, A ve B pozu (90 <sup>0</sup> çevrilerek)
Kurşun Ekran	: Ön: 0,2 mm Arka: 0,2 mm
Densitometre	: X-RITE
Değerlendirme Teçhizatı	: 0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde
Rad. Emniyet Teçhizatı	: Radyakmetre, dozimetre
Film Banyo Teçhizatı	: Kodak M35 (otomatik banyo)
Film Çekimi	: Çift cidar - Elips
Görüntü	: Çift cidar çekim - Çift görüntü
Mesafe	: 66 cm - 58 cm - 51 cm
Malzeme Et Kalınlığı	: 5,2 mm - 3,9 mm - 3,7 mm
Poz Süresi	: 9 dakika - 6 dakika + 30 s - 5 dakika

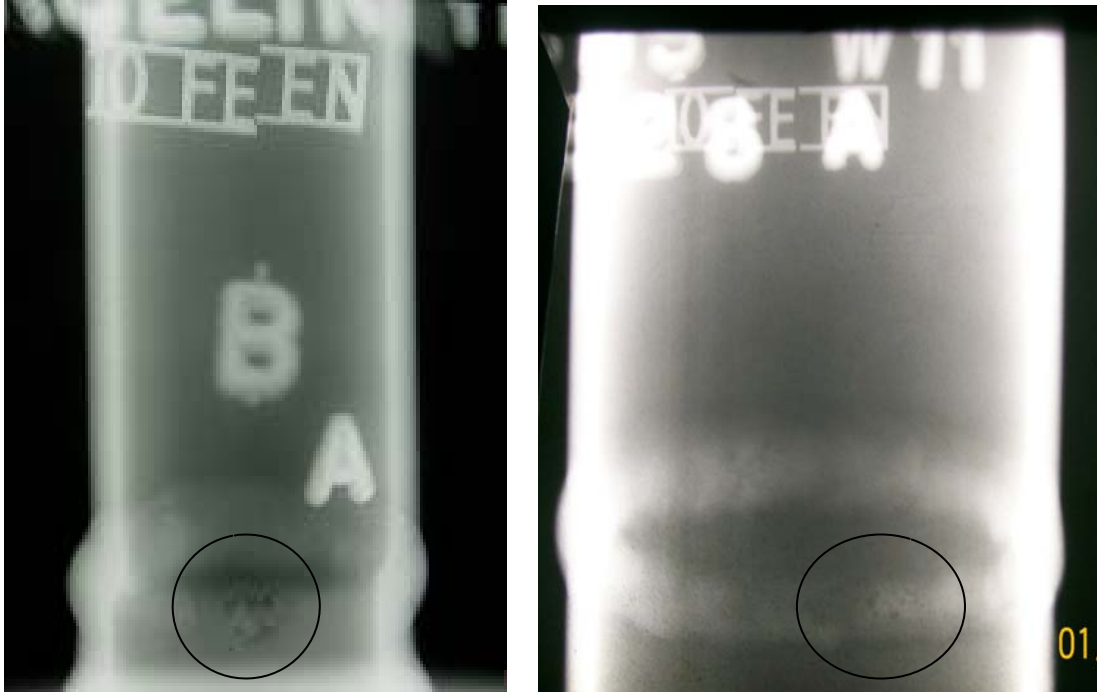
Film Yoğunluğu	: 2,0 ile 3,5 arası olacaktır.
Görüntü Kalite Belirleyici	: EN 462 tablosuna göre FE 10 – 16
Okunan tel no	: 16 nolu tel
Penetremetre Yerleştirilmesi	: Film tarafında
Penetremetre Sayısı	: Bir adet
Hassasiyet	: % 1,9 - % 2,5 - % 2,7
Test Sınıfı	: EN 1435 Sınıf “B”
Markalama	: Kurşun harf ve rakamlar
Film Markalama İşlemi	: Filmi tanıma işlevi görür Şekil 9.15.
Kullanılan Standartlar	: API 1104, ASME Section V Article 2, EN- 1435

PROJE ADI - KAYNAK NO B3DGH – 0W01		<b>F EN FE</b> <b>10 / 16</b>			
		KAYNAK			
		KAYNAK			
0	5	10	15	20	
TARİH 03.04.2009					

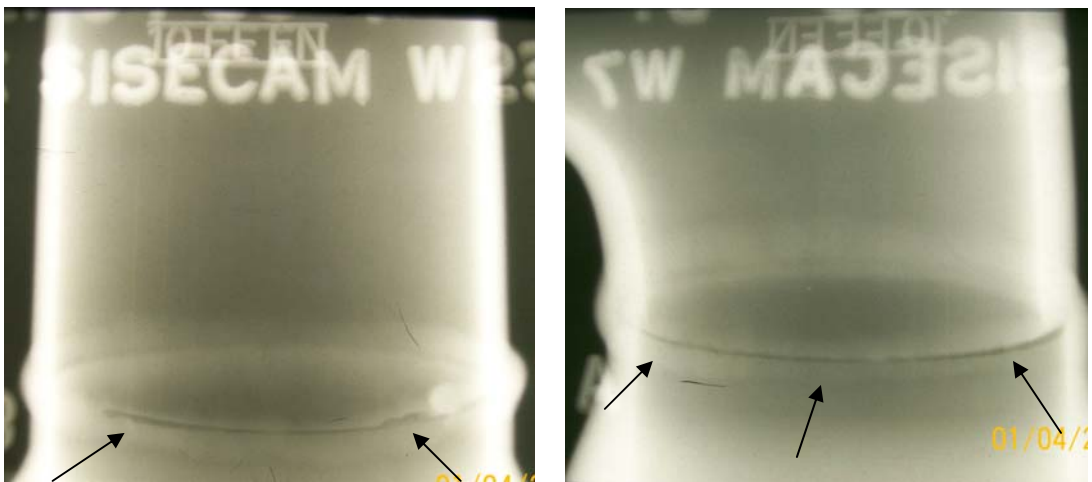
Şekil 9.15. Film markalama işlemi



### 10.1.1. Bir nolu numunelerin radyografik görüntüleri



Resim 9.6. Gözenek radyografik film görüntüleri



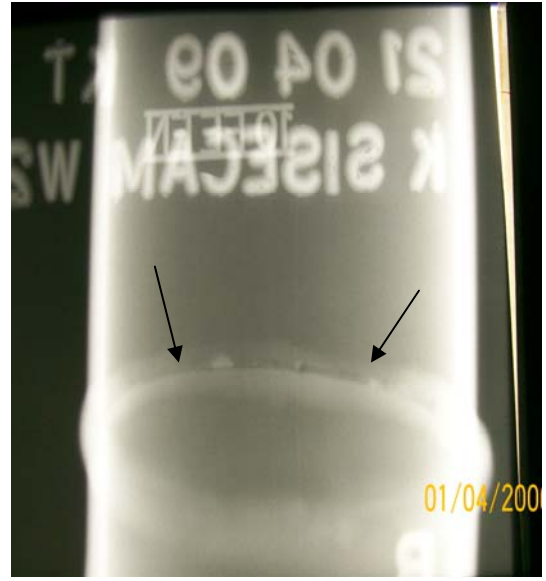
a)

b)

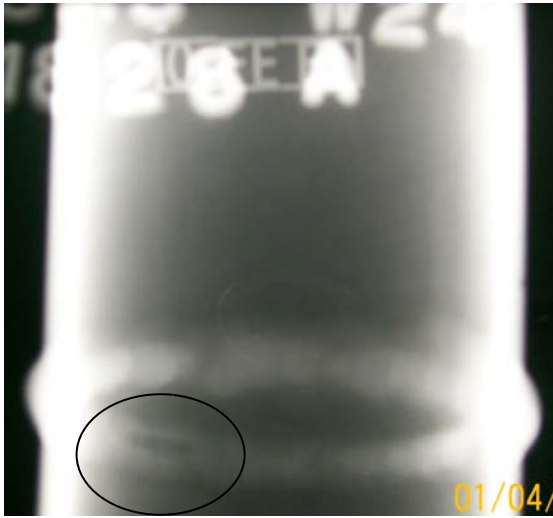
Resim 9.7. Nüfuziyet eksikliği radyografik film görüntüleri



c)



d)

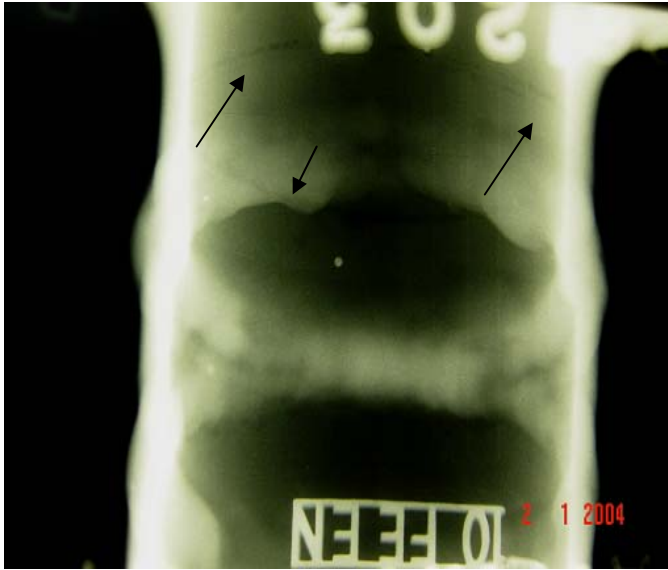


e)



f)

Resim 9.7. (Devam) Nüfuziyet eksikliği radyografik film görüntüleri



Resim 9.8. Hatalı bağlantı borusu (ana malzemede) radyografik film görüntüsü

Bir nolu numunelerin radyografik film çekimleri, elips yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Boru dış çapı 88,9 mm'den küçük borular için pozlama tekniği elips şeklinde olmalıdır [35]. Kaynak dikişini sağlıklı bir şekilde incelemek için bu yöntem kullanılmalıdır. Işın kaynağı boru çapının en az 3 katına eşit bir mesafede boru dışına yerleştirilmiştir. Yerleştirilmiş ışın kaynağına göre  $90^\circ$  ve kaynağa dikey yüzeye göre yaklaşık  $5^\circ$  dönük pozisyonda çekimler yapılmıştır. Bunun için boru ile ışın Şekil 9.1'deki gibi konumlandırılmıştır. Kullanılan cihazın enerjisi, malzemenin et kalınlığı ve mesafe parametreleri ile poz süresi hesaplanarak bulunarak filmler elde edilmiştir. Boru  $90^\circ$  çevrilerek A ve B olmak üzere her kaynak contası için ikişer pozlama yapılmıştır.

Resim 9.6'da kaynak dikişinde yuvarlak noktalar ve koyu tonda rastgele boyutta oluşan küme halindeki gözenekler görünmektedir. Bunlar, kaynak banyosunda veya ana metal içerisinde çökelen ve hapsolunan gazlar veya boşluklar nedeniyledir.

Bu gözeneklerin meydana gelmesine tesir eden faktörler; aşırı salınımlı kaynak, elektrod örtüsündeki çok düşük nem miktarı (selülozik tip elektrotlar için), elektrod örtüsündeki çok yüksek nem miktarı (bazik tip elektrotlar için), düşük akım şiddeti,

çok uzun veya çok kısa ark boyları ile kaynak yapma, ergimiş kaynak banyosunun çabuk katılaşması ve kaynak ağızlarının kirli olmasıdır.

Bir kaynak içerisinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcı kesitini azalttığından mukavemetini düşürür ve aynı zamanda mahalli gerilmelerin oluşmasına sebep olur. Dolayısıyla bağlantının mekanik özelliklerini kötüleştirir. Bilhassa yorulma mukavemetini azaltır.

Kaynak banyosunun soğuma hızı kontrol edilerek, elektrodu kurutarak, kaynak hızı düşürülerek, elektrot çapı ve akım şiddeti boru et kalınlığına göre seçilerek ve kaynak bölgesi temizlenerek bu tip hatalar önlenir. Resim 9.6'daki süreksizliklerin boyutları 8. bölümdeki API 1104 standardına göre bu hali ile kabul edilemez [64].

Resim 9.7'de görüldüğü gibi yetersiz nüfuziyetden kaynaklanan bir hata vardır. Filmde kaynak görüntüsünün ortasında tam doğrusal yüksek yoğunluklu koyu şerit şeklinde görünmektedir. Bu hata, ergimenin bütün malzeme kalınlığı boyunca oluşmaması sonucunda meydana gelir ve bağlantının alt kısımlarında kırılmayı teşvik eden oyuk ve çentikler oluşur. Bunlar kırılmayı teşvik eder ve kaynak bu kısımdan çatlayarak kolayca kırılır. Nüfuziyet azlığı hatasının başlangıçta meydana gelmemesi için, alın birleştirmelerinde ağızların titizlikle hazırlanması ve iki parça arasında uygun bir aralığın bırakılması gerekir. Ayrıca birleştirme yerinin şekline uygun bir elektrod çapının seçilmesi, akım şiddetinin uygunluğu nüfuziyet eksikliğinin önlenmesi için gereklidir. Resim 9.7'de görüldüğü gibi hata kaynak metali boyunca devam ettiğinden 8. bölümdeki API 1104 standardına göre bu hali ile kabul edilemez [64]. Kaynak işlemi yeniden yapılmalıdır.

Resim 9.8'de görüldüğü üzere kaynaklı bölgede bir hata gözlenmemiştir. Fakat ana malzemede (boru) bazen imalat hatası gözlenmektedir. Bu hatalı kısım kesilmek suretiyle kaynak yapılmalıdır veya hattın tamamen çıkarılmalıdır.

## 10.2. İki nolu numunelerin radyografik muayeneleri

Aşağıda belirtilen film çekim talimatı ile Resim 9.9, Resim 9.10, Resim 9.11'deki radyografik görüntüler elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

Kullanılan teçhizat ve malzemeler:

Cihaz	: Gama ışını (Se-75)
Şiddeti	: 5 Ci
Boyutu	: 2x2 mm
Film Sınıfı	: D5 ( orta hızlı )
Film Ebadı	: 10x12 cm
Film Miktarı	: Üç adet, 120 <sup>0</sup> çevrilerek
Film Bindirme	: 2 cm
Kurşun Ekran	: Ön:0,2 mm Arka: 0,2 mm
Densitometre	: X-RITE
Değerlendirme Teçhizatı	: 0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde
Rad. Emniyet Teçhizatı	: Radyakmetre, dozimetre
Markalama	: Kurşun harf ve rakamlar
Film Markalama	: Şekil 9.15'de belirtildiği gibi
Film Banyo Teçhizatı	: Kodak M35 (otomatik banyo)
Görüntü	: Çift cidar çekim- Tek cidar Görüntü
Mesafe	: 3" (88,9 mm)
Malzeme Et Kalınlığı	: 5,5 mm
Poz Süresi	: 1 dakika + 20 s
Film Yoğunluğu	: 2,0 ile 3,5 arası olacaktır.
Görüntü Kalite Belirleyici	: FE 10-16
Okunan tel no	: 15 nolu tel
Penetre Yerleştirilmesi	: Film tarafı
Penetremetre Sayısı	: Bir adet
Hassasiyet	: $0.125 / 5,5 \times 100 = \% 2.2$

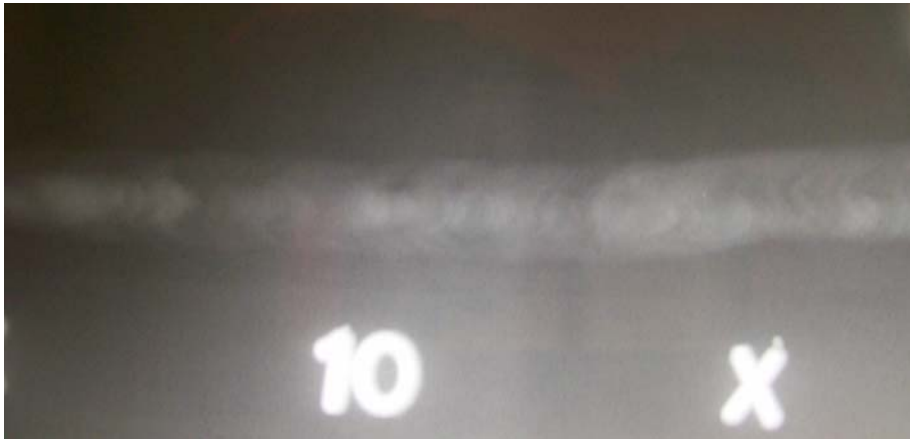
Test Sınıfı : EN 1435 Sınıf "B"

Kullanılan Standartlar : API 1104, ASME Section V Article 2, EN – 1435

### 10.2.1. İki nolu numunelerin radyografik görüntüleri

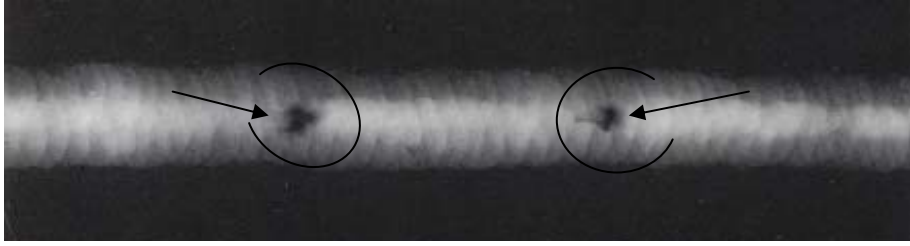


a)

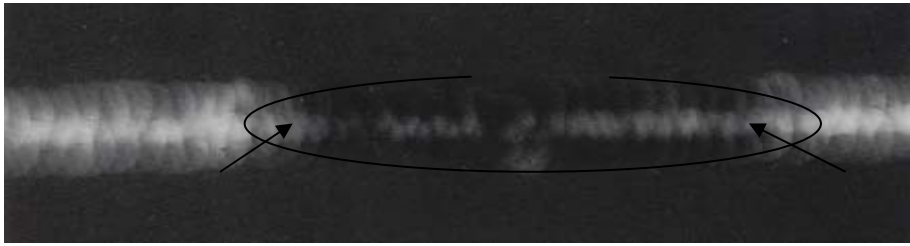


b)

Resim 9.9. Hatasız radyografik film görüntüleri



Resim 9.10. Yakıp delme radyografik film görüntüsü



Resim 9.11. Dış içbükeylik radyografik film görüntüsü

İki nolu numunelerin radyografik film çekimleri, çift cidar - tek görüntü yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Boru, ışın ve film Şekil 9.2'deki gibi konumlandırılmıştır. Her bir kaynak için 0-10, 10-20, 20-0 aralıklarında, boruyu 120° çevirerek üç pozlama yapılmıştır. Işın - film mesafesi olarak, borunun çapı alınmıştır. Kullanılan cihazın enerjisi, mesafe ve malzemenin et kalınlığı dikkate alınarak poz süresi bulunmuş ve filmler elde edilmiştir.

Resim 9.10'da görüldüğü gibi kök pasonun bir kısmının fazla nüfuziyet dolayısıyla ergimiş kaynak metalinin boru içine doğru patlaması şeklinde, sıcak geçiş sırasında fazla amperden dolayı meydana gelmiştir. Filmde kaynak görüntüsü genişliğinin ortasında lokal yoğunluklu bölgeler şeklinde görünür ve bu bölge genişliği kök paso görüntüsünün genişliğinden daha büyük olabilir. Bu belirtinin boyutu 6 mm bulunduğu ve yoğunluğu ana malzemenin yoğunluğundan fazla olduğundan 8. bölümdeki API 1104'e göre kabul edilemez. Kaynak hatası grubu içersindedir. Bu nedenle kaynak bölgesinin tamiri yapılmalıdır.

Resim 9.11’de görülen dış içbükeylik ve yetersiz doldurma, kaynağın üst bölümünde çukur veya kapak pasoda normal kalınlıktan daha ince olarak görünmektedir. Bu hata kaynak ağızlarının büyüklüğü, gerilim ve akım şiddetinin büyüklüğü, kaynak hızının yüksekliği, ark boyunun büyüklüğü ve elektrodun pasoları yeterli ölçüde oluşturmaması gibi sebepler nedeniyle meydana gelmiştir. Bu tip hatalar, kaynak ağız açısının daha küçük yapılması, daha büyük çapta elektrod seçilmesi, kaynak hızının azaltılması, gerilim ve akım şiddetinin düşük olması ve ark boyunun küçük seçilmesiyle önlenabilir. Filmde radyografik görüntü; kaynaklı bölgelerde, kaynak yoğunluğu daha yoğun ve kaynak genişliği boyunca devam eder. Belirtinin yoğunluğu ana malzemenin yoğunluğundan fazla ve uzun olduğundan 8. bölümdeki API 1104’e göre kabul edilemez [64]. Tamir yapılmalıdır. Ayrıca dış içbükeylik göz muayenesi ile tespit edilebilir.

### 10.3. Üç nolu numunelerin radyografik muayeneleri

Aşağıda belirtilen film çekim talimatı ile Resim 12, Resim 13, Resim 14 ve Resim 15’deki radyografik görüntüler elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

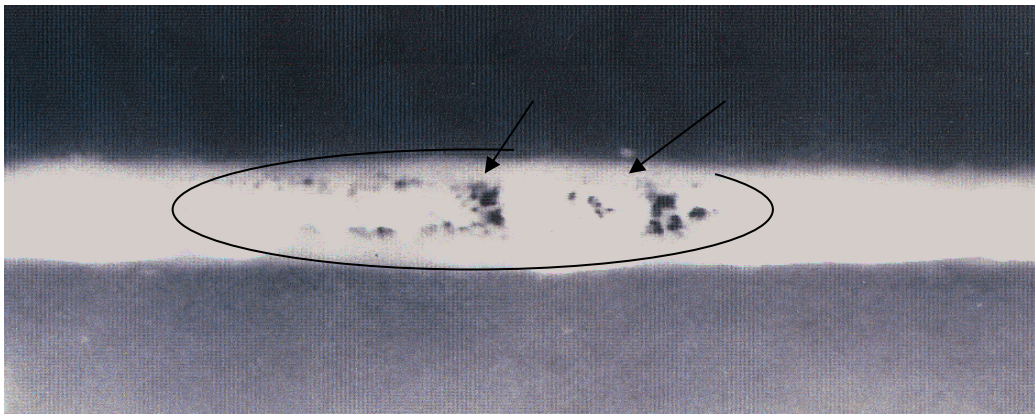
Kullanılan Teçhizat Ve Malzemeler:

Cihaz	: Gama ışını (Se-75)
Şiddeti	: 5 Ci
Boyutu	: 2x2 mm (2,8 mm efektif)
Film Sınıfı	: D5 ( orta hızlı )
Film Ebadı	: 10x16 cm
Film Miktarı	: Üç adet, 120 <sup>0</sup> çevrilerek
Film Bindirme	: 2 cm
Kurşun Ekran	: Ön:0,2 mm Arka: 0,2 mm
Densitometre	: X-RITE
Değerlendirme Teçhizatı	: 0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde
Rad. Emniyet Teçhizatı	: Radyakmetre, dozimetre



Markalama	: Kurşun harf ve rakamlar
Film Markalama	: Şekil 9.15’de belirtildiği gibi
Film Banyo Teçhizatı	: Kodak M35 otomatik banyo
Görüntü	: Çift cidar-Tek görüntü
Mesafe	: 4" (114,3 mm)
Malzeme Et Kalınlığı	: 6,00 mm
Poz Süresi	: 2 dakika + 10 s
Film Yoğunluğu	: 2,0 ile 3,5 arası olacaktır.
Görüntü Kalite Belirleyici	: EN 462 tablosuna göre, FE 10-16
Okunan tel no	: 15 nolu tel
Penetre Yerleştirilmesi	: Film tarafı
Penetremetre Sayısı	: Bir adet
Hassasiyet	: $0,125 / 6 \times 100 = \% 2$
Test Sınıfı	: EN 1435 Sınıf "B"
Kullanılan Standartlar	: API 1104, ASME Section V Article 2, EN – 1435

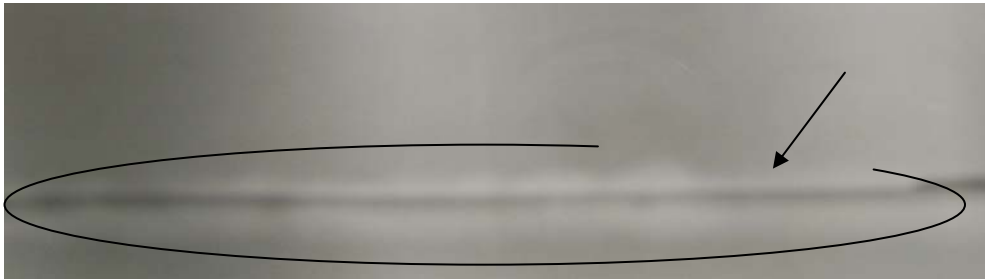
### 10.3.1. Üç nolu numunelerin radyografik görüntüleri



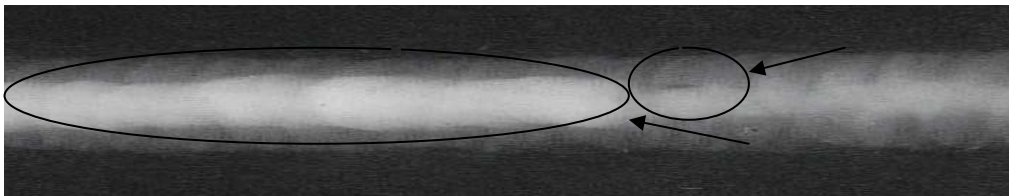
Resim 9.12. Kaynak bölgesinde hapsolan gazlardan kaynaklanan kurt deliği şeklinde uzamış gözeneklerin radyografik film görüntüsü.



Resim 9.13. Kökte içbükeylik radyografik film görüntüsü



Resim 9.14. Kök pasoda nüfuziyet eksikliği radyografik film görüntüsü



Resim 9.15. Kök pasonun aşağı doğru aşırı sarkması radyografik film görüntüsü

Üç nolu numunelerin radyografik film çekimleri, çift cidar - tek görüntü yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Boru, ışın ve film Şekil 9.3'deki gibi konumlandırılmıştır. Her bir kaynak için 0-15, 15-25, 25-0 aralıklarında, boruyu 120° çevirerek üç pozlama yapılmıştır. Işın - film mesafesi olarak, borunun çapı alınmıştır. Kullanılan cihazın enerjisi, mesafe ve malzemenin et kalınlığı dikkate alınarak poz süresi hesaplanarak bulunmuş ve filmler elde edilmiştir.

Resim 9.12'de görüldüğü gibi gazın ergimiş kaynak metalinin yüzeyine çıkmasına fırsat vermeden kaynak metalinin katılaşması ile kaynak bölgesi içinde kalan gaz

boşluklarının meydana getirdiği, dikiş yüzeyinde kurt deliği gibi uzamış şekilde oluşan hata türü görünmektedir. Kaynak dolgusundaki gecikmiş deoksidasyon, elektrod örtüsündeki çok düşük veya çok yüksek nem oranı en önemli nedenleridir. Bu tür hatalar, aşırı dolgudan kaçınılarak, elektrodlar belli bir nem oranına haiz depolarda muhafaza edilerek, elektrodlar kullanılmadan önce elektrod kurutma fırınında 300-350 °C'de iki saat süreyle kurutularak önlenir. Aksi takdirde dikişin taşıyıcı kesitini azaltacağından mukavemeti düşürür ve gerilmeler oluşturarak borunun yorulma dayanımını azaltacaktır. 8. bölümdeki API 1104'e göre kabul edilemez hata türündendir. Bu nedenle bu bölge taşlanarak tamir edilmelidir.

Resim 9.13'de görüldüğü gibi kök paso yüzeyinin merkezinde çukurluk nedeniyle, kaynak genişliği görüntüsünün ortasında uzunlamasına koyu yoğunluk şeklinde kendini göstermiştir. İçbükeylik, yüksek akım değerlerinde küçük çaplı elektrod kullanılması, yanlış elektrod açısı ve hareketleri nedeniyle oluşmaktadır. Kök pasosu çekilirken elektrod hareketi ve çapı uygun seçilerek önlenir. Hata yoğunluğu ana malzemenin yoğunluğundan fazla ve 8. bölümdeki API 1104'e göre kabul sınırlarının dışındadır. Bu bölge taşlanarak tamir edilmelidir.

Resim 9.14'de kök pasoda nüfuziyet eksikliğinden kaynaklanan bir hata görülmektedir. Resim 9.7'de ifade edilen hata türüdür. 8. bölümdeki API 1104'e göre kabul sınırlarının dışındadır. Bu bölge taşlanarak tamir edilmelidir.

Resim 9.15'de ise kök pasonun aşırı derecede aşağıya doğru sarkması ve aşırı nüfuziyet nedeniyle oluşan bir durum söz konusudur. Kaynak tekniklerinde ifade edildiği gibi bu yükseklik 1,6 mm geçmemelidir. Filmde kaynak görüntüsünün merkezinde düşük yoğunluklu, kaynak bölgesi boyunca ya da ayrı ayrı damlalar halinde kendini göstermektedir. Akım şiddetinin çok yüksek olması, kaynak dikiş eksenlerinin kaçıklığı, kök yüksekliğinin küçüklüğü, kaynak ağız açısının çok büyük olması ve elektrod çapının büyük seçilmesi en önemli nedenleridir.

#### 10.4. Dört nolu numunelerin radyografik muayeneleri

Aşağıda belirtilen film çekim talimatı ile Resim 16, Resim 17 ve Resim 18'deki radyografik görüntüler elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

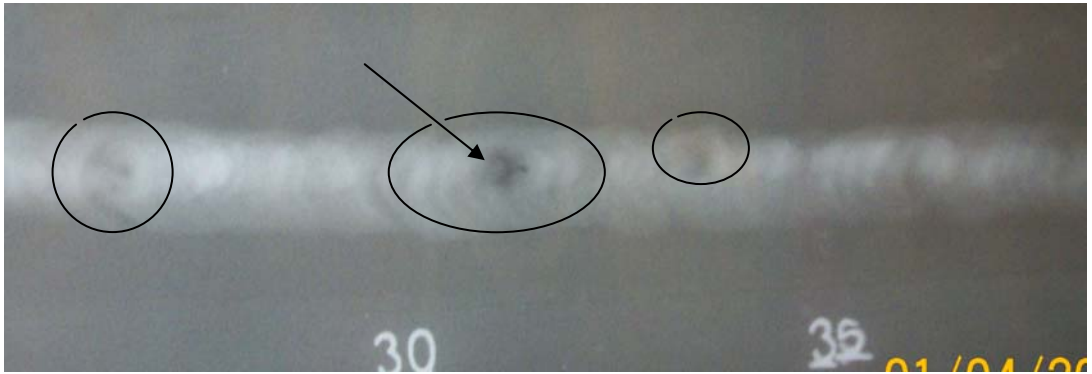
Kullanılan Teçhizat Ve Malzemeler:

Cihaz	: Gama ışını (Se-75)
Şiddeti	: 5 Ci
Boyutu	: 2x2 mm (2.8 mm efektif)
Film Sınıfı	: D5 ( orta hızlı )
Film Ebadı	: 10x24 cm
Film Miktarı	: Üç adet, 120 <sup>0</sup> çevrilerek
Film Bindirme	: 2 cm
Kurşun Ekran	: Ön:0,2 mm Arka: 0,2mm
Densitometre	: X-RITE
Değerlendirme Teçhizatı	: 0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde
Rad. Emniyet Teçhizatı	: Radyakmetre, dozimetre
Markalama	: Kurşun harf ve rakamlar
Film Markalama	: Şekil 9.15'de belirtildiği gibi
Film Banyo Teçhizatı	: Kodak M35 (otomatik banyo)
Görüntü	: Çift cidar – Tek görüntü
Mesafe	: 6" (168.3mm)
Malzeme Et Kalınlığı	: 5,20 mm
Poz Süresi	: 4 dakika + 40 s
Film Yoğunluğu	: 2,0 ile 3,5 arası olacaktır.
Görüntü Kalite Belirleyici	: EN 462 tablosuna göre, FE 10-16
Okunması gereken tel no	: 16 nolu tel
Penetre Yerleştirilmesi	: Film tarafı
Penetremetre Sayısı	: Bir adet
Hassasiyet	: $0,1 / 5,2 \times 100 = \% 1,9$

Test Sınıfı : EN 1435 Sınıf "B"

Kullanılan Standartlar : API 1104, ASME Section V Article 2, EN – 1435

#### 10.4.1. Dört nolu numunelerin radyografik görüntüleri

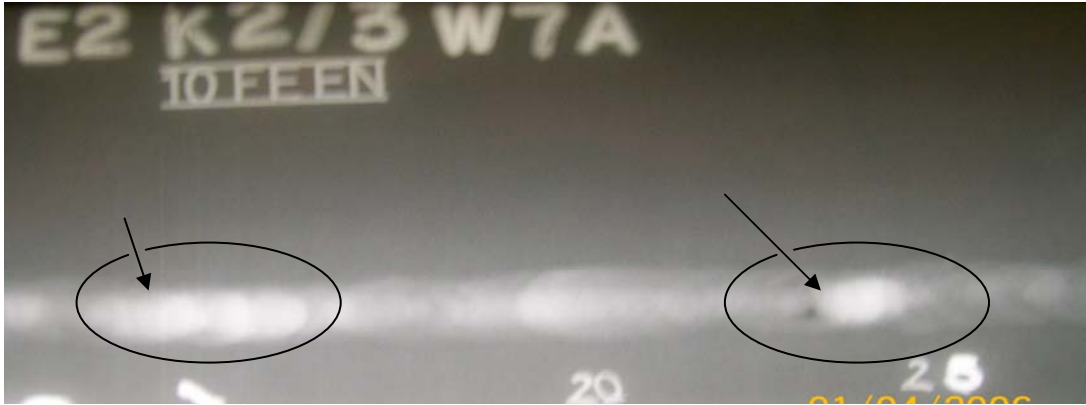


a)

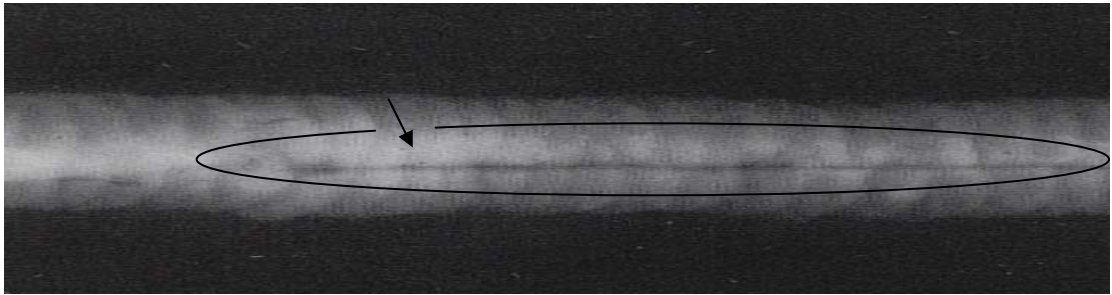


b)

Resim 9.16. Yakıp delme radyografik film görüntüleri



Resim 9.17. Kök pasonun aşağı doğru kısmi aşırı sarkması radyografik film görüntüsü.



Resim 9.18. Kök pasoda yanma oluşu radyografik film görüntüsü

Dört nolu numunelerin radyografik film çekimleri, çift cidar - tek görüntü yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Boru, ışın ve film Şekil 9.4'deki gibi konumlandırılmıştır. Her bir kaynak için 0-20, 20-40, 40-0 aralıklarında, boruyu 120° çevirerek üç pozlama yapılmıştır. Işın - film mesafesi olarak, borunun çapı alınmıştır. Kullanılan cihazın enerjisi, mesafe ve malzemenin et kalınlığı dikkate alınarak poz süresi hesaplanarak bulunmuş ve filmler elde edilmiştir.

Resim 9.16'da Resim 9.10'da olduğu gibi kök pasonun bir kısmının fazla nüfuziyet dolayısıyla ergimiş kaynak metalinin boru içine doğru patlaması şeklinde, sıcak geçiş sırasında fazla amperden dolayı meydana gelmiş yakıp delme radyografik film görüntüsü görülmektedir. Görülen hata yoğunluğu ana malzemeden daha yoğun

olduğundan 8. bölümdeki API 1104'e göre kabul sınırlarının dışındadır. Bu bölgeler taşlanarak tamir edilmelidir.

Resim 9.17'de Resim 9.15'de olduğu gibi kök pasoda bölgesel olarak görülen, aşırı nüfuziyet nedeniyle oluşan, kökün aşırı derecede aşağıya doğru sarkması şeklinde oluşan bir hata gözlenmektedir.

Resim 9.18'de ise görüldüğü gibi kaynağın kök bölgesinin kenarı boyunca ana malzemede çentikler ve oyuklar şeklinde oluşan hatadır. Filmde kaynak görüntüsü genişliğinin merkezine yakın ve kök paso görüntüsünün kenarı boyunca ince ve koyu bir çizgi olarak görünmektedir. Eksen kaçıklığının fazla olması, kök aralığının geniş tutulması ve yüksek kaynak akımlarından dolayı meydana gelmektedir. 8. bölümdeki API 1104'e göre kabul sınırlarının dışındadır. Bu bölgeler taşlanarak tamir edilmelidir.

### **10.5. Beş ve altı nolu numunelerin radyografik muayeneleri**

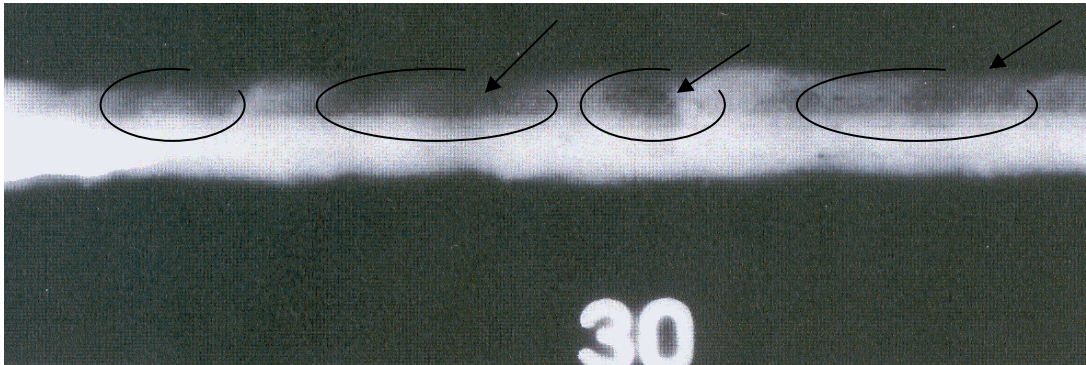
Aşağıda belirtilen film çekim talimatı ile Resim 9.19, Resim 9.20, Resim 9.21, Resim 9.22 ve Resim 9.23 arasındaki radyografik görüntüler elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

Kullanılan Teçhizat ve Malzemeler:

Cihaz	: Gama ışını (IR 192)
Şiddeti	: 20 Ci
Boyutu	: 2x2 mm (2.8 mm efektif)
Film Sınıfı	: D5 ( orta hızlı )
Film Ebadı	: 10x48 cm
Film Miktarı	: Üç adet, 120 <sup>0</sup> çevrilerek
Film Bindirme	: 3 cm
Kurşun Ekran	: Ön:0.2 mm Arka: 0.2mm

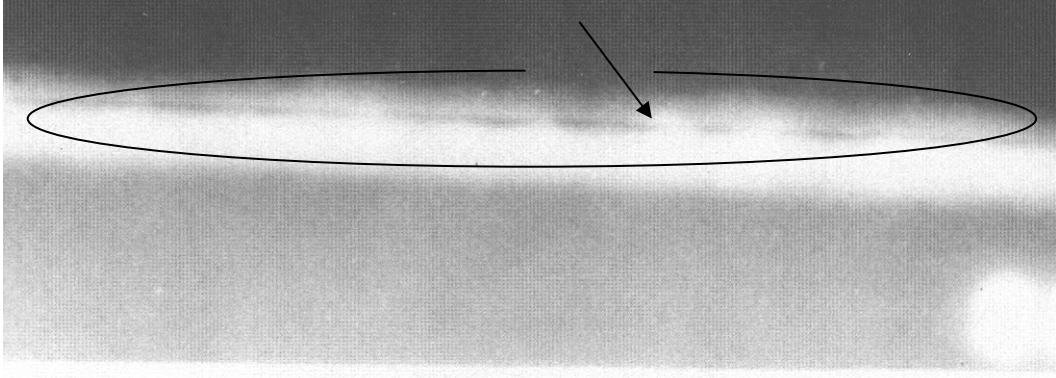
Densitometre	: X-RITE
Değerlendirme Teçhizatı	: 0 ile 4.0 yoğunluk okuyacak şekilde
Rad. Emniyet Teçhizatı	: Radyakmetre, dozimetre
Markalama	: Kurşun harf ve rakamlar
Film Markalama	: Şekil 9.15’de belirtildiği gibi
Film Banyo Teçhizatı	: Kodak M35 (otomatik banyo)
Görüntü	: Çift cidar – Tek görüntü, Tek cidar (Panoramik)
Mesafe	: 16 inç ( 406 mm), 16 inç (203 mm)
Malzeme Et Kalınlığı	: 7,9 mm
Poz Süresi	: 4 dakika + 15 s, 55 s
Film Yoğunluğu	: 2.0 ile 3.5 arası olacaktır.
Görüntü Kalite Belirleyici	: EN 462 tablosuna göre, FE 10-16
Okunan tel no	: 14 nolu tel
Penetre Yerleştirilmesi	: Film tarafı
Penetremetre Sayısı	: Bir adet
Hassasiyet	: $0,16 / 7,9 \times 100 = \% 2$
Kullanılan Standartlar	: API 1104, ASME Section V Article 2, EN – 1435

#### 10.5.1. Beş ve altı nolu numunelerin radyografik görüntüleri



Resim 9.19. Kaynak metalı ile ana metal arasında yapışma noksanlığı ile oluşan yetersiz ergime

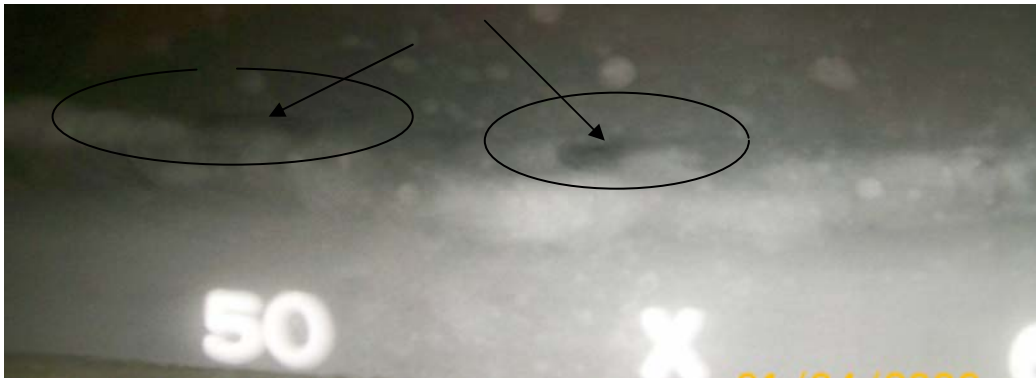




Resim 9.20. Kök dikişinde bir tarafta tamamlanmamış dolgu

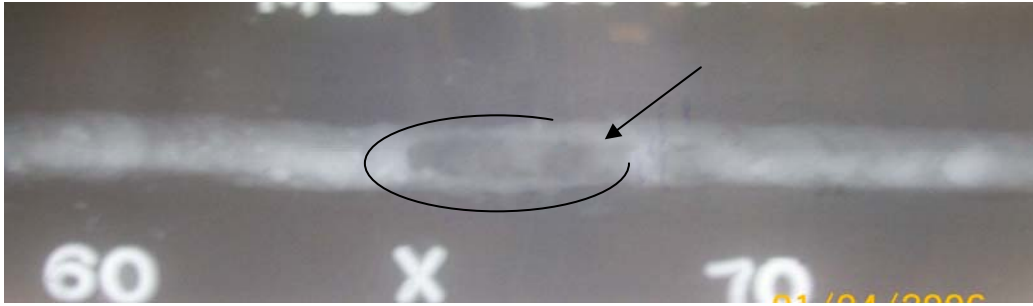


a)

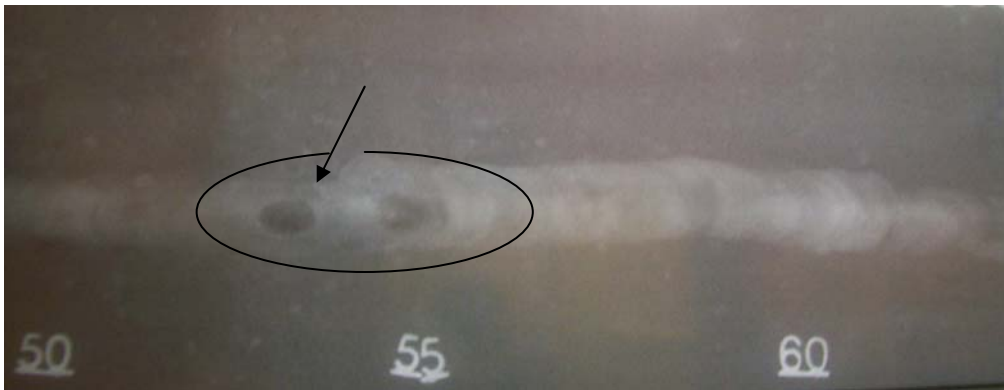


b)

Resim 9.21. Dış yanma oluğu radyografik film görüntüsü



Resim 9.22. Kökte içbükeylik radyografik film görüntüsü



Resim 9.23. Yakıp delme radyografik film görüntüleri

Resim 9.19’de görüldüğü gibi iki komşu kaynak pasosu arasında kaynak metali ile ana metal arasında oluşan bir süreksizlik izlenmektedir. Filmde görüldüğü gibi kaynak yönü boyunca kaynak görüntüsünün kenarlarında yüksek yoğunluklu olarak görünmektedir. Ergime azlığından meydana gelen bir hata türüdür. Düşük kaynak akımından ve kaynak ağızlarının kirli olmasından meydana gelir. Temizliğe ve uygun kaynak akımına dikkat edilmelidir. 8. bölümdeki API 1104’e göre kabul sınırlarının dışındadır. Bu bölgeler taşlanarak tamir edilmelidir.

Resim 9.20’de görüldüğü gibi kaynak genişliğinin merkezinde kaynak boyunca ani yoğunluk değişimiyle beraber doğrusal yoğun çizgi olarak gözükür. Kaynaklı bileşimin kaçık ayarlanması nedeniyle kaynak kenarlarından birinin kök pası

tarafından dolmaması ya da yapışmaması nedeniyle oluşur. 8. bölümdeki API 1104'e göre tek belirtinin uzunluğu 50 mm geçtiğinden tamir edilmelidir.

Resim 9.21'de görüldüğü gibi filmde kaynak görüntüsünün kenarı boyunca düzensiz yüksek yoğunluklu koyu bölgeler şeklinde görünmektedir. Bu hata kaynağın üst bölgesinin kenarı boyunca ana malzemede çentik ve oyuklar meydana getirmektedir. Bu hata kaynak hızı artırılarak, ark gerilimi azaltılarak, uygun kaynak ağzı açısı kullanarak ve ark boyu azaltılarak önlenabilir. Hata bölgelerindeki yoğunluklar ana malzemenin yoğunluğundan daha yüksek fakat 8. bölümdeki API 1104'e göre kabul sınırlarının içindedir.

Resim 9.22'de Resim 9.13'de olduğu gibi kök paso yüzeyinin merkezinde çukurluk nedeniyle, kaynak genişliği görüntüsünün ortasında uzunlamasına koyu yoğunluk şeklinde kendini göstermiştir. Fakat 8. bölümdeki API 1104'e göre kabul sınırlarının içindedir.

Resim 9.23'de Resim 9.10'da olduğu gibi görülen hata yoğunluğu, ana malzemeden daha yoğun olduğundan 8. bölümdeki API 1104'e göre kabul sınırlarının dışındadır. Bu bölgeler taşlanarak tamir edilmelidir.

## 10.6. Yedi nolu numunelerin radyografik muayeneleri

Aşağıda belirtilen film çekim talimatı ile Resim 9.24, Resim 9.25, Resim 9.26, Resim 9.27 ve Resim 9.28'deki radyografik görüntüler elde edilmiştir.

Kullanılan Teçhizat ve Malzemeler:

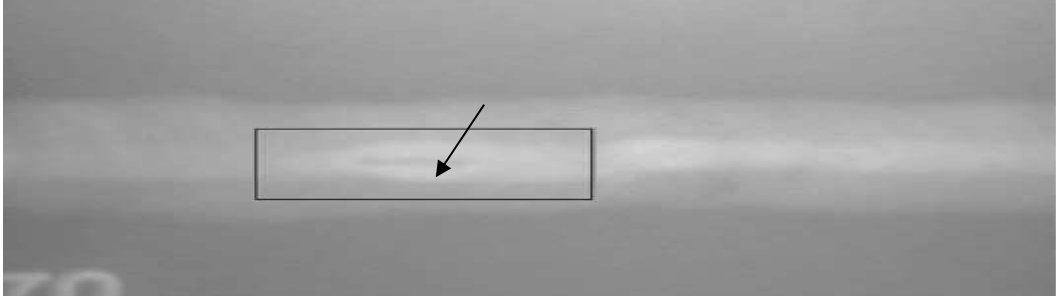
Cihaz	: X- ışını
Şiddeti	: 200 kV , 3 mA - 150 kV, 2,5 mA
Malzeme Et Kalınlıkları	: 7,9 mm - 9,5 mm
Film Sınıfı	: D5 (orta hızlı )

Film Ebadı	: 10x48
Film Miktarı (1 conta için)	: Üç adet, 120° çevrilerek
Film Bindirme	: 4 cm
Kurşun Ekran	: Ön:0,2 mm Arka: 0,2 mm
Densitometre	: X-RITE
Değerlendirme Teçhizatı	: 0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde
Markalama	: Kurşun harf ve rakamlar
Film Markalama	: Şekil 9.15’de belirtildiği gibi
Film Banyo Teçhizatı	: Kodak M35 otomatik banyo
Çap	: 16" (406,4 mm)
Mesafe	: 406,4 mm
Poz Süreleri	: 1,5 dakika - 2 dakika
Film Yoğunluğu	: 2,0 -3.5
Görüntü Kalite Belirleyici	: EN 462 tablosuna göre, FE 10-16
Okunan tel no	: 14 nolu tel
Penetre Yerleştirilmesi	: Film tarafı
Penetremetre Sayısı	: Bir adet
Hassasiyet	: % 2
Kullanılan Standartlar	: API 1104, ASME Section V Article 2, EN – 1435

#### 10.6.1. Yedi nolu numunelerin radyografik görüntüleri



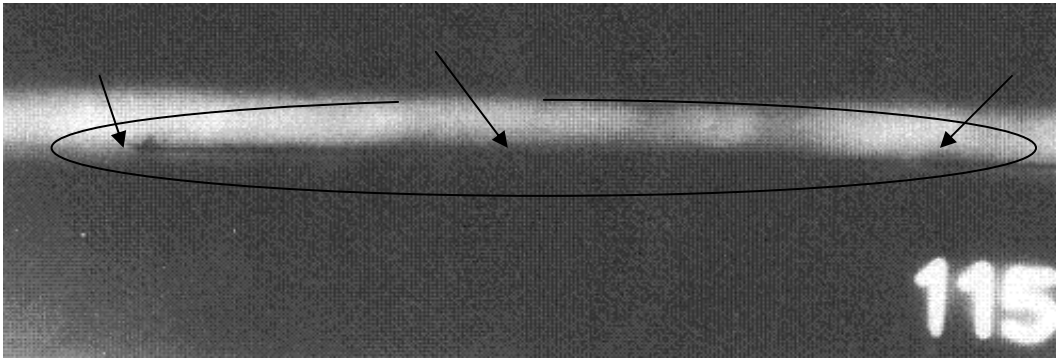
Resim 9.24. Hatasız kaynak dikişi görüntüsü



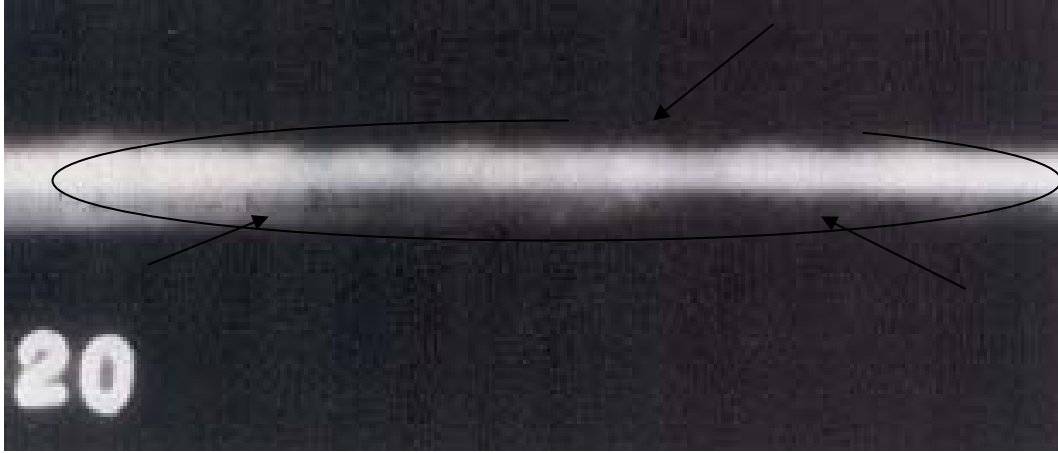
Resim 9.25. Kök pasoda nüfuziyet eksikliği



Resim 9.26. Pasolar arası soğuk binme hata görüntüsü



Resim 9.27. Tek taraflı soğuk yapışma ile oluşan yetersiz nüfuziyet



Resim 9.28. İki taraflı soğuk yapışma ile oluşan yetersiz nüfuziyet

Yedi nolu numunelerin radyografik film çekimleri, çift cidar - tek görüntü yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Boru, ışın ve film Şekil 9.7'deki gibi konumlandırılmıştır. Her bir kaynak için 0-45, 45-85, 85-0 aralıklarında, boruyu 120° çevirerek üç pozlama yapılmıştır. Işın - film mesafesi olarak boru çapı alınmıştır. Kullanılan cihazın enerjisi, malzemenin et kalınlığı ve mesafe parametreleri ile poz süresi hesaplanarak bulunarak filmler elde edilmiştir.

Resim 9.25'de kaynak görüntüsünün ortasında kenarları birbirine paralel olan tam doğrusal koyu şerit şeklinde yüksek yoğunluklu kısmi yetersiz nüfuziyet belirtisi görülmektedir. Resim 9.7'de belirtilen hata türüdür. Bireysel hata belirtilerinin uzunluğu 8. bölümdeki API 1104'e göre kabul sınırlarının içindedir.

Resim 9.26'da filmde kaynak yönü boyunca kaynak görüntüsünün kenarlarında hafif uzamış yüksek yoğunluklu koyu noktalar şeklinde görünmektedir. Erime azlığından meydana gelen hata türüdür. Düşük kaynak akımından, kaynak ağızlarının ve pasolar arası kirliliğinden meydana gelir. Temizliğe ve uygun kaynak akımına dikkat edilerek önlenir. Bireysel hata belirtilerinin uzunluğu 8. bölümdeki API 1104'e göre kabul sınırlarının içindedir.

Resim 9.27 ve Resim 9.28’de kaynak yanağı ile ana metal arasında tek ve çift taraflı soğuk yapışma oluştuğu görünmektedir. Bu hata filmde uzanmış cüruf şeridi gibi kıvrımsız ve uzunluğu boyunca tam doğrusal olan yan cidara kaynamama hattı boyunca dağılmış uzunlamasına paralel veya tek, yüksek yoğunluklu koyu çizgiler ve noktalar şeklinde görünmektedir. Bu hataların oluşmasına neden olan temel sebepler; kaynak ağzı yüzeyinin cüruf, oksit, yağ gibi yabancı maddelerden arındırılmamış olması, kaynak ağzının darlığı, kaynak hızının ve kaynak akımının çok fazla olması, ark boyunun uzun olması, elektrod tipinin yanlış seçilmesi bu hataları meydana getirmektedir. Kaynak ağzının temizlenmesi ve uygun aralık verilmesi, kısa ark boyu, derin nüfuziyetli elektrodların kullanılması, kaynak ilerleme hızının düşürülmesi ve kaynak ısısının artırılması ile bu hatanın önlenmesi mümkündür. Bireysel hata belirtilerinin uzunluğu 8. bölümdeki API 1104’e göre kabul sınırlarının dışındadır. Bu bölgeler taşlanarak tamir edilmelidir.

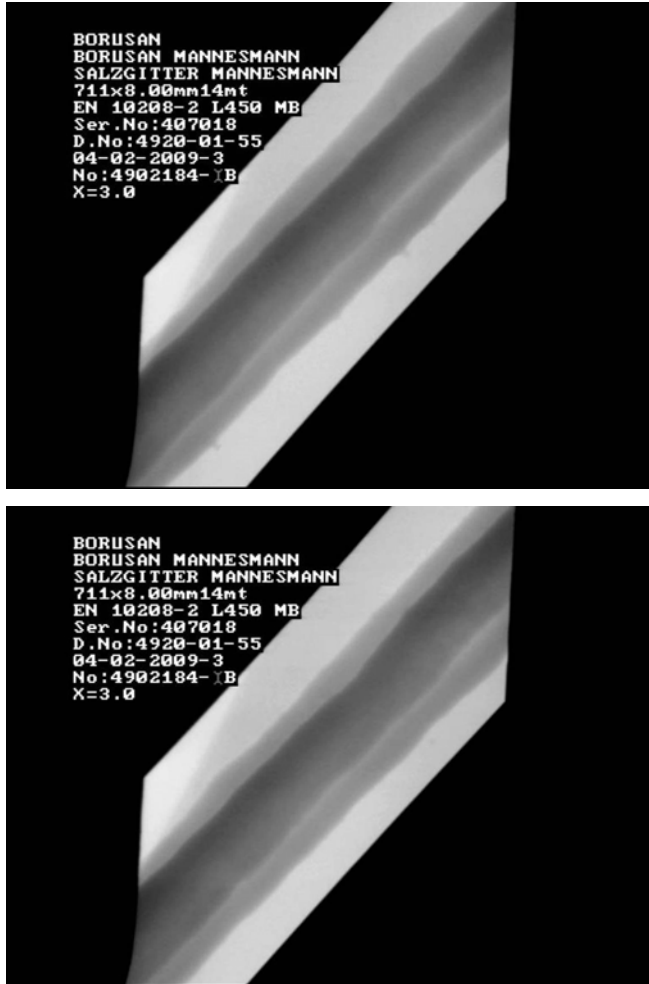
### **10.7. Sekiz nolu numunelerin dijital radyografi yöntemi ile kontrolü**

Radyografideki gibi muayene parçası üzerine düşürülen x ışınları, parçanın iç durumuna göre yer yer az veya çok zayıflamış olarak ortaya çıkar. Ancak ışınlar ekran üzerinden görüntülü alıcı bir kamera ile algılanarak monitör ekranına düşürülür ve burada anında görüntülenen hatalar değerlendirilir.

Test mekaniği açısından bakıldığında ise; film radyografisi statik test metodu iken radyoskopik test mekanize hale getirilerek sürekli ve dinamik test olanağı sağlamaktadır.

Aşağıda bu yöntem kullanılarak elde edilmiş görüntüler incelenmiştir. API 1104 göre kabul sınırlarının dışında olan kaynak hatalarıdır.

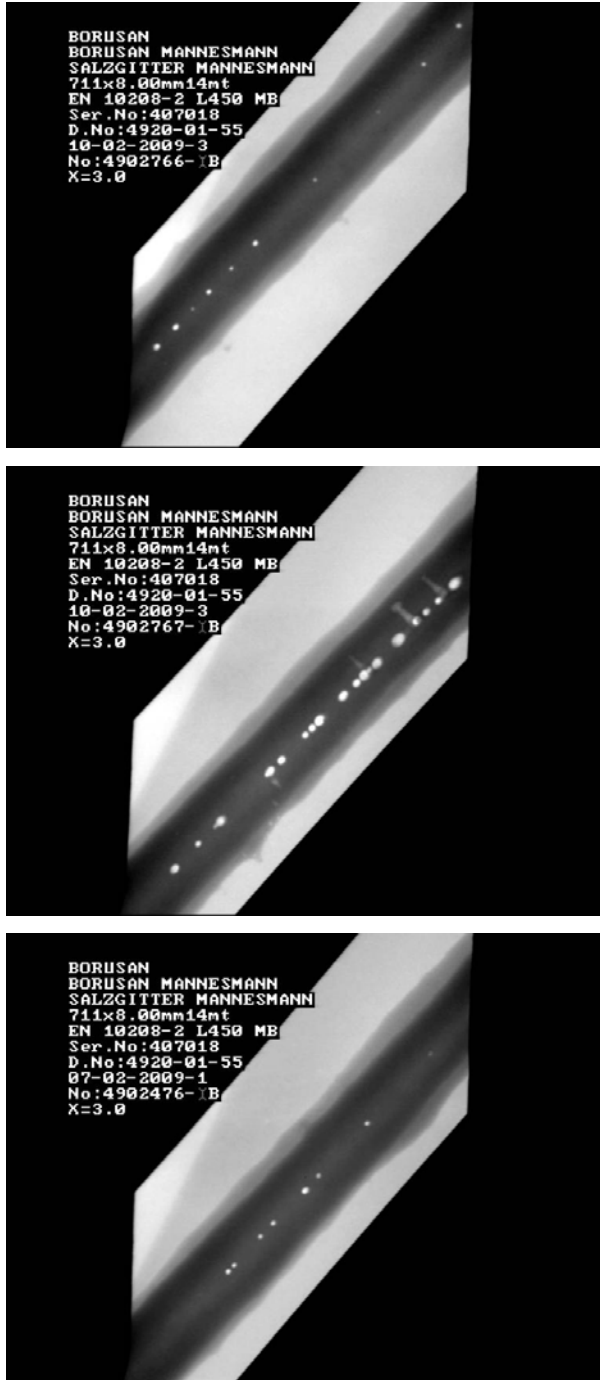
### 10.7.1. Sekiz nolu numunelerin radyografik görüntüleri



Resim 9.29. Eksen kaçıklığından kaynaklanan yetersiz nüfuziyet görüntüsü

Kaynaklanacak parçaların yanlış hizalanmasından dolayı kaynağın kök bölgesinin bir kenarının birleşmemesi sonucu meydana gelen hatadır. Resim 9.29’da görüldüğü gibi kaynak dikişinin genişliği boyunca film yoğunluğunda ani değişme ve bu yoğunluk değişiminin kenarı boyunca kaynak görüntüsünün ortasında doğrusal boyuna koyu yoğun çizgi şeklinde görünür.

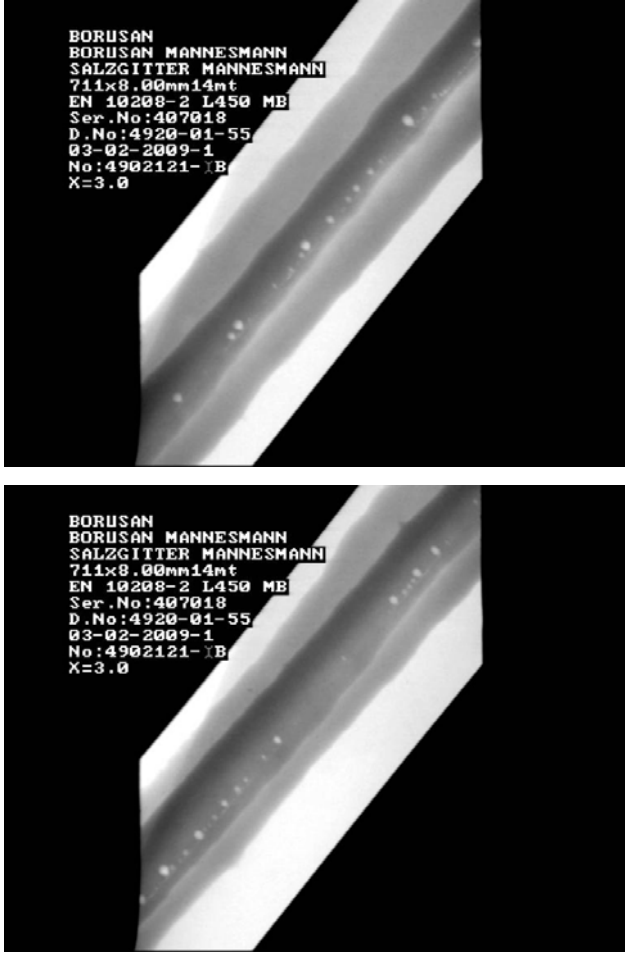




Resim 9.30. Kök pasoda sıralı ve dağınık halde bulunan gözenek görüntüsü

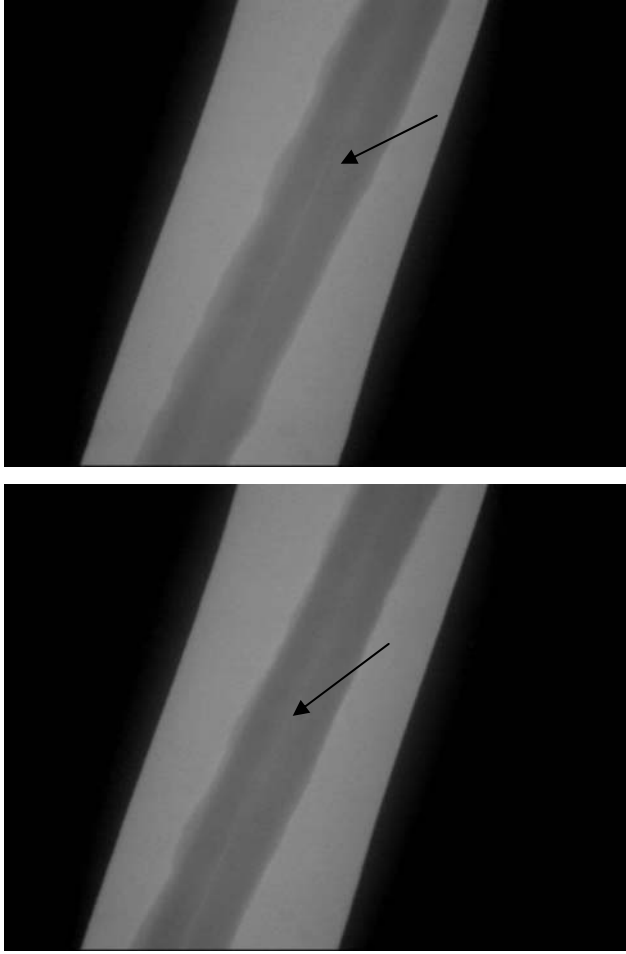
Bu hata kök pasoda kaynak merkezi boyunca sıralanmış uzun ve sıralı boşluklardır. Resim 9.30'da gibi kaynak görüntüsünün ortasında doğrusal bir hat şeklinde ayrı ayrı veya birleşmiş yüksek yoğunluklu açık renkli noktalar şeklinde görünmektedir. Bu hatanın oluşumun da kaynak edilecek bölgenin kirliliği, kaynak telinin kirlenmesi,

yetersiz toz beslemesi, toz içindeki yabancı maddeler, kaynak bölgesinde toz kalması, segregasyon, yanlış kutuplama ve yüksek kaynak hızı gibi birçok nedenden meydana gelmektedir.



Resim 9.31. Pasolar arası cüruf kalıntıları görüntüsü

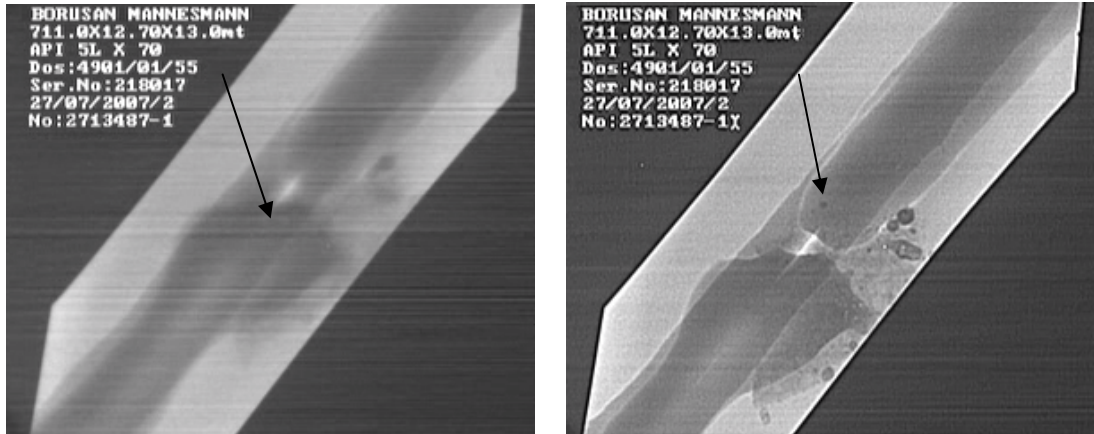
Kaynak metalinin üzerinde katılaşıp ve temizleme ile uzaklaştırılamayan metalik olmayan kalıntılardır. Resim 9.31’de görüldüğü gibi sıralanmış ve hafifçe uzanmış düzensiz şekilli yüksek yoğunluklu koyu noktalar şeklinde görünmektedir. Bu hatanın oluşumunda cürufun veya deoksidasyon ürünlerinin kaynak metaline hapsolmesi, kaynak ağzı kirliliği, ark boyu ve düşük akım şiddeti gibi nedenlerden meydana gelmektedir. Bu olumsuzlukların giderilmesi ile önlenabilir.



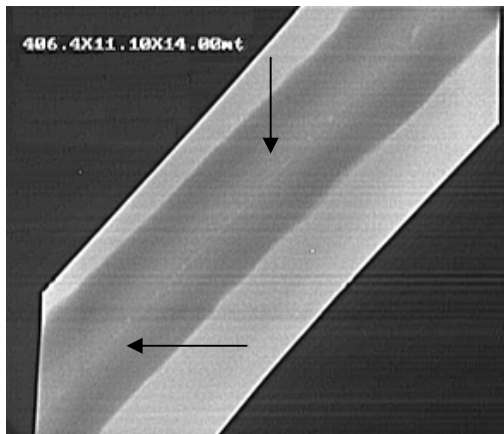
Resim 9.32. Kaynak metalinde oluşan boyuna çatlak görünümü

Boyuna çatlaklar, kaynak yönü boyunca uzanan çatlaklardır. Resim 9.32’de ilk pasoda meydana gelen çatlak görünmektedir. Bu hatanın oluşumunda soğuma hızı, parçalar arası kaynak açıklığı, yanlış kutuplama, ilk pasoda yanlış elektrod kullanımı ve pasolar arası ısı değişimleri neden olmaktadır. Bu olumsuzlukları gidermek için; akım ve gerilimin ayarlanması, negatif kutuplama, kök açıklığının ayarlanması, ön ısıtma ve pasolar arası ısının ayarlanması gerekmektedir.

Bazı durumlarda kaynak metalinde oluşan hatalar kaynak operatörünün dikkatsizliği nedeniyle meydana gelmektedir. Resim 9.33’de bu durum gösteren bir örnek verilmiştir.



Resim 9.33. Duruş noktasında meydana gelen hata görünümü



Resim 9.34. Nüfuziyet eksikliği görünümü

Nüfuziyet eksikliği olan kaynaklarda kaynaklanacak parçaların kenarları birbirine tam olarak kaynamamıştır. Resim 9.34’de görüldüğü gibi hata kaynak görüntüsünün ortasında kenarları birbirine paralel olan tam doğrusal yüksek yoğunluklu koyu şerit şeklinde görünür. Bu hatanın oluşumunun en önemli nedenleri, düşük akım şiddeti ve yüksek kaynak hızıdır. Bunun yanında yanlış kutuplama ve kaynak ağız dizaynı da etkilidir. Bunu gidermek için; kaynak akımının yükseltilmesi, kaynak hızının düşürülmesi, DC pozitif kutuplama veya kaynak ağız açısı artırılarak giderilebilir.

## 11. SONUÇLAR

Günümüzde, doğalgaz ve petrol nakil hatlarının gitgide artan önemi, bu hatlarda kullanılan çelik boruların muayenesi için yeni teknikler ve ilave malzemeler geliştirilmesine ve işlemlerin daha hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılması için bu konular üzerinde araştırmalar yapılmasına neden olmaktadır.

Yüksek basınçlarda ürün taşıyan doğalgaz boru hatlarının kalite, mamül garantisi, insan ve çevre güvenliği açısından son derece güvenilir olmalıdır. Bunu başarabilmenin yolu, tamamlanmış kaynağın ilgili kaynak prosedürüne uygun olarak üretilip üretilmediği ve ilgili standarda göre kabul edilip edilmeyeceğini tayin etmek için tahribatsız olarak muayene edilmektedir. Kaynak dikişi kontrollerinde hata tespitine ilişkin olarak yapılan araştırmada, standartlarda belirtilen hata tiplerinin ayrıntılı bir şekilde radyografik muayene ile tespit edilebildiği görülmüş ve neticede aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Radyografi ile hataların kalıcı olarak film üzerinde görünmesiyle normal koşullarda hataların hemen doğrulanabildiği görülür ve filmler uzun süreli olarak bekletilebilmektedir.
- Endüstride, radyografi yönteminin uygulamasında muayenesi yapılacak parçanın geometrik yapısı önemlidir, testi yapılacak malzemenin iki tarafına da ulaşılmalıdır.
- Boru kaynaklarının radyografisinde, hatalar daha çok kökte oluşmaktadır. Bu nedenle film, eğer mümkünse, mutlaka kaynak kökünün bulunduğu tarafa yerleştirilmelidir.
- Radyografi uygulaması açısından radyasyon kaynağı önemlidir. Bunun için X ve gama ışınları kullanılır. Ama her ikisiyle de alınan sonuçlar, standartlarda istenen

şartları sağlayabilmektedir. Bu bakımdan radyasyon kaynağının X veya gama ışını olması kaynak dikişi muayenesi açısından önemli bir ayrıcalık oluşturmaz. Fakat X ışını radyografisiyle elde edilen radyografların normal şartlarda kontrastının daha iyi olduğu gözlenmektedir. Çünkü; X-ışını ile çalışırken parça kalınlığı ve yoğunluğuna bağlı olarak ayarlamaların her defasında duruma uygun olarak yapılabilmektedir.

- Gama radyografi yöntemi elektrikten bağımsız olarak yapıldığından, kaynağın taşınma kolaylığı nedeniyle X ışını tüpüne göre avantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle, boru hatlarının kaynak dikiş kontrollerinde gama cihazları tercih edilmektedir.
- Radyografik değerlendirmede, kaynak tekniği ve kaynak birleştirme tipleri önemsenecek bir farklılık göstermemektedir. Radyografi tekniği uygulaması değişmemekte, değerlendirme kriterleri ve hata değerlendirilmesi de ayrıcalık göstermemektedir.
- Hat borularının kaynağında, kaynakçı ve kontrolör boru içersinde yabancı malzemelerin kalmamasına ve boru yüzeyinde derin çiziklerin olup olmadığına çok dikkat etmelidir. Aksi takdirde yanlış değerlendirmelere yol açar, bu da malzemenin gereksiz yere deforme edilmesine neden olur.
- Kaynak dikişinde rastlanan her türlü hata, değerlendirmeyi yapan tarafından aynı kolaylıkta tespit edilememektedir. Örneğin; cüruf, gözenek, nüfuziyet gibi kaynak hataları nispeten kolay belirlenirken çatlak gibi kimi kaynak hataları hemen fark edilememektedir.
- Kaynak metalindeki cüruf, gaz boşlukları, küçük çatlaklar kaynağın sonucuna tesir eden faktörlerdir. Bu tür hatalar genellikle kaynak metalinin tam temizlenmemesi, kaynak uzunluğunun ve akım şiddetinin tam ayarlanmaması sonucu ortaya çıkmaktadır.

- Kaynak esnasında dikişlerin ve pasoların uygun bir sıra dâhilinde çekilmesi, kaynağa tesir eden faktörlerdendir. Bu nedenle asgari bir sertlik elde edilerek çatlama riski büyük çapta önlenmiş oluyor.
- Boruların kök paso kaynağı uygun elektrod, elektrod çapı ve amper ayarı ile yapıldıktan sonra borunun hareket ettirilmemesi çok önemlidir. Çünkü bu sırada meydana gelen bir oynama kaynağın çatlmasına sebep olacağı görülmüştür. Kök paso kaynağı yapıldıktan sonra mekanik taşlarla taşlanarak cüruf kalıntılarında arındırılmalı ve kaynak diğer sıra kaynakların yapılmasına hazır hale getirilmelidir.
- Doğalgaz borularının kaynaklı birleştirmeleri ve radyografik çekimleri zor şartlar altında yapılmaktadır. Bu nedenle filmin banyo işlemlerinde ve değerlendirmelerinde azami dikkat gösterilmelidir. Standartlar içinde her hataya tamir verilmemelidir. Kabul edilebilir hatalar eğer tamir edilirse, hem zaman hem ekonomik hem de kullanılan malzemenin gereksiz yere deforme edileceği bir gerçektir, tamir edildiği takdirde görülen küçük bir hata daha da büyüyebilir ve neticede boru en baştan kaynak yapılması gerekebilir. Sonuç olarak her hataya tamir vermek uzmanlık değildir.
- Kaynak dikişinde rastlanan bir noktadaki hataya tamir kararı verildi ise ikinci bir kez emniyet açısından bu noktaya tamir verilmemelidir. Çünkü ısıdan dolayı malzeme deforme edilmiştir. Boru belli mesafeden kesilerek kaynak tekrar yapılmalıdır.
- Radyografiye başlamadan önce insanlara ve çevreye zarar vermemek için geniş bir alan emniyet altına alınmalıdır. Ayrıca, kaza sonucu radyasyona maruz kalan kişi ya da kişiler varsa ivedili olarak bu durum onlara iletilmelidir. Aksi takdirde kısa sürede radyasyona maruz kaldıklarını bilmeyeceklerdir.

- Dijital radyografi muayene yöntemi ile yapılan uygulamalar kısa sürede kolay, istenen hassasiyette hata belirlemede en uygun yöntemdir. Bu durum olası bir sistematik hata durumunda, üretime hızlı bir geri bildirim sağlayarak önlemlerin zamanında alınmasını sağlamaktadır. Ayrıca görüntü kayıtlarının bilgisayar ortamında arşivlenebilmesi büyük kolaylık oluşturmaktadır. İlk aşamada yatırım maliyetinin yüksek olması dezavantaj gibi görünse de uzun vadede ekonomik ve etkili bir tahribatsız muayene yöntemidir.
- Doğalgaz boru hatlarının kaynaklarının güvenilirliği açısından istenen API standartlarında belirtilen tüm koşullara uymak gerekmektedir. Muayene ve kontrol elemanlarının konu ile ilgili eğitim almış olması ve belgeli olmaları aranmalıdır. Kaynakçı eğitim testleri mutlaka yapılmalı ve uzun süre kaynak işlemine ara veren kaynakçılar mutlaka tekrar eğitimden geçirilmelidir.

Son olarak çelik doğalgaz borularındaki kaynak hataları; kaynakçı personelinin dikkatsizliği, bilgi yetersizliği, temizlik şartlarına uyulmaması ve ilgili kaynak prosedürlerine gereken özenin gösterilmemesinden dolayı meydana geldiği tespit edilmiştir.



## KAYNAKLAR

1. Hellier, C. "Handbook of Nondestructive Evaluation" *Mc Graw Hill Professional Publishing*, USA, 21 (2001).
2. Rontgensan, " NDT, Welding engineering, natural gas systems and consultant services", *Röntgensan*, Bursa, 2-3 (2004).
3. Tuğrul, A.B., Baydoğan, N., "Otomotiv parçalarının radyografik incelenmesi", *III. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu*, İstanbul, 126-127 (2008).
4. İnternet: Ortadoğu Teknik Üniversitesi " Tahribatsız Muayene Birimi " <http://www.wtndt.metu.edu.tr/ndt/tr/node/8> (2009).
5. Ekinci, Ş., Bingöldağ, M., Aksu, M., " Dijital radyografi ", *II. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu*, İstanbul, 34 (2003).
6. Güneş, E.E., "Metal kaynaklı birleştirmelerin endüstriyel radyografik muayene prosedürünün bilgisayar programı haline getirilmesi ", Yüksek Lisans Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makine Müh. Bölümü*, Ankara, 6-7 (2004).
7. İnternet: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu "Endüstriyel Radyografi" [http://www.taek.gov.tr/bilgi/elkitabi\\_brosur/brosurler/endustriyel\\_rad/endustriyel\\_rad.html](http://www.taek.gov.tr/bilgi/elkitabi_brosur/brosurler/endustriyel_rad/endustriyel_rad.html) (2009-04-10).
8. Bulubay, Ü., "Co ile çelik parçaların radyografisi için oluşturulan tek ve çift ön ekranların ağırlıklı ortalama yöntemi ile değerlendirilmesi", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü*, 15-16, 19 (1995).
9. Staton, J., Radiographic muayeneing classroom training book, ISBN 1-57117-120-7", *Published by the American Society for Nondestructiv Muayeneing, Inc.,America*, 3, 11, 22-23, 30-31-36 (2005) .
10. Bilge, A. N., Tuğrul B., " Endüstriyel radyografinin esasları ", İTÜ, *Nükleer Enerji Enstitüsü*, 19-21, 85-88-89 (1990).
11. Tepe, E., " Endüstriyel radyografide radyasyon güvenliği ", *Müh. Ve Makine*, 49 (582) : 19-20 (2008).
12. General Dynamics, "Nondestructive muayeneing - radiography muayeneing", Clasroom training handbook, *Convair Division CT-6-6 Second Edition*, 2-8, 2-19, 3-20, 3-21 (1983).

13. Yaşar, S., Köksal E. M., Yüce, Ö., “Radyasyondan Korunma Kurs Notları”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul, 14 ,(2002).
14. Manuel for the Syllabi Contained in IAEA – TECDOC - 628, Industrial Radiography, “Training guidelines in nondestructive muayeneing technig”, *International Atomic Energy Agency*, Vienna, 102-103, 275, 292-293 (1992).
15. Aksu, M., Kurtcebe, T., Bingöldağ, M., “Radyografi için radyasyon fiziği”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul, 16-18, 20-21 (1990).
16. Akyüz, S. , Gümrükçüoğlu, M., ‘Tahribatsız muayene yöntemleriyle süreksizliklerin tespiti ve değerlendirilmesi’, *Mühendis ve Makine* , 40 (476): 40-42 (1999).
17. Akgün, A., F., Baş, N.,Yıldırım, A., “Tahribatsız muayene: Radyografik donanım”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul, 11-12 (1990).
18. General Dynamics, “Programmed instruction handbook”, Nondestructive muayeneing, Radiographic equipment, Vol III, *Convair Division Second Editon PI-4-6*, 3-6 (1983).
19. Seifert, R., “ Seifert Eresco Program”, *Röntgenwork*, Ahrensburg, 3-5-14 (2000).
20. İnternet:Sentinel NDT, <http://sentinel.thomasnet.com/product/pipeline-crawler-systems/ction-pipeline-crawler-systems-10-60-x-ray-crawl-3?&bc=100|1020> (2009).
21. Gözbebek, F., Hızarcı, S., “Gama Radyografi”, *TAEK*, 9-10 (1990).
22. Bilge, A. N., “ Nükleer tekniklerin endüstriye uygulanması ”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul, 118-119-126 (1985).
23. Raj, B., Venkataraman, B., “Practical radiograpy”, *Alpha Science International Ltd.*, Pangbourne, U.K. , 57-58, 63-65, 93-95 (2004).
24. İnternet: Enkon NDT , “ Non Destructive Inspection Equipments ” [http://www.enkon.com.tr/NDT\\_CATALOGUE\\_ENKON.pdf](http://www.enkon.com.tr/NDT_CATALOGUE_ENKON.pdf) (01.04.2009).
25. *International Atomic Energy Agency*, “Radiation protection and safety in industriyal radiograpy”, *IAEA*, Safety Reports Series No:13, Vienna, 24 – 25 (1999).

26. General Dynamics, “ Programmed instruction handbook ”, Nondestructive muayeneing, making a radiograph, Volume IV, *Convair Division Second Edition PI-4-6*, 2-4, 2-14, 3-1 (1983).
27. Şahin, N.,“X ışını radyografi tekniğine ilişkin görüntü kalite değerlendirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü*, 14 (2003).
28. Becker, G. L., Radiographic NDT, *Du Pont NDT Systems*, E.I. du Pont de Nemeours & Co.,Inc. 264-265, 434-435, 475-479 (1990).
29. Aksu, M., Akgün, A.F.,“Tahribatsız muayene: Radyografi film çekimi”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul, 2-5, 28-32 (1991).
30. Yılmaz, G., “Radyografik hata tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü*, 30-41 (1999).
31. Aksu, M., Akgün, A.F., “ Radyografi tekniği seviye 1”, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul, 10-11, 25 (1992).
32. *API 1104*, “ Welding of Pipelines and Related Facilities ”, 19. Edition Part 11.1., Sept., 32-33 (1999).
33. General Dynamics, “Programmed Instruction Handbook”, Nondestructive Muayeneing, Radiograph Voloun II- Radiation Safety, *Convair Division Second Editon, PI-4-6*, 6-17, 6-19, 6-21 (1983) .
34. TS 5127, Pr EN 1435 / Nisan 1996, “Kaynaklı birleştirmelerin radyografik muayenesi, ICS 19.100/25.160.40”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 11-13,17 (1996).
35. *ASME* Section V, “Radiographic Examination”, Article 2., T-270 (1996).
36. Akgün, A., F., Baş, N., Yıldırım, A., “ Tahribatsız muayene: Radyografi için karanlık oda ve banyo işlemleri”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul 1-2, 9-12-18 (1990).
37. MAHMUTYAZICIOĞLU, N. “Dijital radyografi – radyoskopi”, *III. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu*, İstanbul, 274-275 (2008).
38. EKİNCİ, Ş., BİNGÖLDAĞ, M., AKSU, M., DOĞRUÖZ, M., “ Kaynak dikişi hatalarının dijital radyografik yöntemle değerlendirmesi” TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi*, İstanbul, 2-3 (2003).

39. Aygün, H., “ Döküm hatalarının radyografik ve radyoskopik muayene yöntemleri ile belirlenmesi” **I. Uluslar arası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi**, Ankara, 189 (1999).
40. Yi Sun, Peng Bai, Hong-yu Sun, Ping Zhou, “Real-time automatic detection of weld defects in steel pipe”, **NDT&E International** , 38 : 522–528 (2005).
41. Akın, Ü., Nurlu, M., “Spiral kaynaklı çelik hat borularının kaynak dikişlerinin radyoskopik muayene yöntemi ile muayenesi ” **III. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi**, İstanbul, 138-139, 140-141 (2008).
42. YILDIZ, M., “Doğalgaz boru hatlarının kaynağı ve tahribatsız muayenesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 4-10 (2000).
43. Gürsel, A., “Petrol Borularının kaynaklarında kullanılan radyografik ve ultrasonik metodlarının karşılaştırılması ”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** , Ankara, 3-4 (1999).
44. Özaltun, H., “ Boru hatlarında hasar oluşumu ve hasarların çeşitli kaynak teknikleri kullanılarak tamir edilme usulleri”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 154-160 (1999).
45. GÜLOĞLU, H., “Tozaltı kaynaklı spiral boru imalinde kaynak parametrelerinin boru kalitesine etkisi” Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** , İstanbul, 1-5, 11-12 , (1997).
46. CANDAN, İ., “Çelik boruların MİG-MAG kaynağında kaynak pozisyonunun nüfuziyet mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 32, 41-43 (2004).
47. İnternet: Taksan NDT, “Boru hattı görünümleri”  
[http://www.google.com.tr/search?hl=tr&q=boru+hatt%C4%B1+resimleri&meta= \(04.04.09\).](http://www.google.com.tr/search?hl=tr&q=boru+hatt%C4%B1+resimleri&meta= (04.04.09).)
48. Walton C., “Bohler pipeline welding with safe result&lower costs”, **Pipeline&Gas**, 11:70-76 (1995).
49. Karakaş, E., “Quality and automation in welding of tubes orbital welding systems”, **International Pipeline**, 18:222-228 (1998).
50. İnternet: Meriç, C., “Doğalgaz Boru Hatlarının Kaynakla Birleştirilmesi”  
[http://209.85.129.132/search?q=cache:Fv8wrsqBnrwJ:www.linsaat.com/uploads/TrbBlogs/docs\\_2/24463\\_1199261794\\_367.doc+borullar%C4%B1n+kaynakla+birle%C5%9Ftirilmesi&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr \(2009\).](http://209.85.129.132/search?q=cache:Fv8wrsqBnrwJ:www.linsaat.com/uploads/TrbBlogs/docs_2/24463_1199261794_367.doc+borullar%C4%B1n+kaynakla+birle%C5%9Ftirilmesi&cd=1&hl=tr&ct=clnk&gl=tr (2009).)

51. İnternet: Madazalıoğlu, A., “Boru hattı inşaatında kaynağın yeri ve önemi”  
[http://www.oerlikon.com.tr/pls/oerlikon/Tec\\_Pkg.download?filename=F26722/4\\_BORU\\_HATTI\\_PIPE-LINE\\_INŞAATINDA\\_KAYNAĞIN\\_YERİ\\_VE\\_ÖNEMİ.pdf](http://www.oerlikon.com.tr/pls/oerlikon/Tec_Pkg.download?filename=F26722/4_BORU_HATTI_PIPE-LINE_INŞAATINDA_KAYNAĞIN_YERİ_VE_ÖNEMİ.pdf) (2009).
52. Anık, S., Tülbençci, K., Kaluç, E., “Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı”  
**Gedik Eğitim Vakfı**, İstanbul, 22-23, 86-88 (1991).
53. Olgun, S., “Doğal gaz ve petrol taşıyan boruların kaynağında kaynak hatalarının tesbiti ve alınması gereken tedbirler”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 3-8, 9-17 (1998).
54. İGDAŞ, “İstanbul Doğalgaz Dağıtım Projesi Yapım İşleri”, **Teknik Şartnamesi**, İstanbul, 21-30, 33-34 (2003).
55. OĞUZ, B., “Boru hattı kaynağı”, **Oerlikon yayını**, İstanbul, 2-6 -10 (1989).
56. Eryürek, İ. B., “Gazaltı MİG-MAG kaynağı” 1.baskı, **As Kaynak Yayınları**, İstanbul, 1-10 (1998).
57. Kaluç, E., Tülbençci, K., “Boru hatlarında otomatik Mig / Mag kaynak yönteminin kullanımı”, **Mühendis ve Makine**, 43 (513) : 11-15 (2002).
58. Tülbençci, K., “MIG-MAG ergiyen elektrod ile ark kaynağı”, **GEV**, 27-28, 35-36, 155-157, 159 (1990).
59. Kennedy, I. J., “Oil and Gas Pipeline Fundamentals, Second Edition”, **Pen Well Publishing Company**, Oklahomo, 1999-200 (1993).
60. Akgün, A.F., Baş, N., Yıldırım, A.,”Tahribatsız muayene: Malzeme süreksizlikleri”, TAEK, **Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi**, İstanbul, 8-9, 38-39 (1991).
61. Oflaz, İ., “Tahribatsız muayene yöntemleri ile çelik boru kaynak hatalarının incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 80-94 (2001).
62. İnternet : Ortadoğu Teknik Üniversitesi “ Tahribatsız Muayene Birimi ”  
<http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/TechCalibrations/RadiographInterp.htm> (2009).
63. Mix, P.E., “Introduction To Nondestructive Muayeneing: A Training Guide”, Second Edition, **Wiley- Interescience**, New Jersy, 398-399 (2005).
64. API 1104, “Standard for welding pipelines and related facilities, 19. Edition”, **American Petroleum Ensttu**, 1-15 (1999).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KABA, Sedat  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 02.12.1978 Kastamonu  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 506 356 4556  
Faks : -  
e-mail : [sdtkaba78@hotmail.com](mailto:sdkaba78@hotmail.com).

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Metal Eğitimi Bölümü	2002
Lise	Endüstri Meslek Lisesi- Elektronik	1995

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-2004	Bursa - Röntgensan	Teknik eleman
2004-2005	Bursa - Bursa gaz	Kontrolör

### Hobiler

Futbol, Tenis, Yüzme