

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**RADYOGRAFİK MUAYENE YÖNTEMİ İLE PETROL BORU  
HATLARINDAKİ BORULARDA KAYNAK DİKİŞİ VE DİĞER  
HATALARIN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Cihan DELİGÖZ**

**Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji**

**Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji**

**OCAK 2010**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**RADYOGRAFİK MUAYENE YÖNTEMİ İLE PETROL BORU  
HATLARINDAKİ BORULARDA KAYNAK DİKİŞİ VE DİĞER  
HATALARIN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Cihan DELİGÖZ  
(301041032)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nilgün Baydoğan (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Beril Tuğrul (İTÜ)  
Prof. Dr. Eyüp Sabri Kayalı (İTÜ)**

**OCAK 2010**



## ÖNSÖZ

Profesyonel çalışma hayatımın ilk yıllarında karşılaştığım en basit görünen ancak daha sıklıkla ve yüksek sesle sorduğum soru şuydu. Nasıl daha düşük maliyetle daha iyi yapabilirim? Sanırım bu soruyu sormaya uzun yıllar devam edeceğim, ancak şimdi kalite, sürekli gelişim, toplam kalite yönetimi gibi sanayimizde entegrasyonu devam eden kavramlarının yardımıyla öğrendiğim biricik birikim, daha iyinin yapılmasının ilk zamanlarda düşündüğümünden daha fazla zaman ya da maliyetten ziyade parametrelerin kontrolü olduğuydu.

2007 yılından itibaren, çalışma alanı olarak kendime mühendislikte kalite alanını seçmekle doğru bir karar aldığımı düşünmekteyim. Yüksek lisans öğrenimimin son aşaması olan bu noktada, bahsettiğim bu ilk soruya kaynak dikişlerinin radyografik muayenesi ile cevap bulmaya çalışacağım.

Bu noktada, başta bu aşamaya gelmemde en büyük etken olan aileme sonsuza kadar müteşekkir kalacağım. Tez aşaması boyunca birlikte çalıştığım tez danışman eğitimcim Sn. Doç.Dr. Nilgün Baydoğan'a, tahribatsız muayene laboratuvarlarını kullandığım KAZEN Ltd ve Sn.C.M.Rajendran ve Sn. Ahat Tanış'a teşekkür etmeyi bir borç biliyorum.

Ocak 2009

Cihan DELİGÖZ

Makina Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>xvii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xix</b>
<b>1. RADYASYON TİPLERİ VE MALZEMİYİ ETKİLEME</b>	
<b>MEKANİZMALARI</b> .....	<b>1</b>
1.1 Radyasyon Tipleri.....	1
1.2 Radyasyon Şiddeti ve Ters Kare Kuralı .....	4
1.3 Radyoaktif Bozunma .....	5
1.4 Radyasyonun Malzemeyi Etkileme Mekanizmaları.....	7
1.4.1 Soğurma mekanizmaları.....	9
1.4.1.1 Fotoelektrik olayı .....	9
1.4.1.2 Compton saçılması .....	9
1.4.1.3 Çift Oluşumu .....	10
<b>2. KAYNAK KALİTESİ, TAHRİBATSIZ MUAYENE TEKNİKLERİ VE</b>	
<b>RADYOGRAFİDE KULLANILAN CİHAZLAR İLE RADYASYON</b>	
<b>KAYNAKLARI</b> .....	<b>11</b>
2.1 Kalite Olgusu .....	11
2.1.1 Kalite sistemi.....	12
2.1.2 Tahribatsız muayene yöntemleri ve kalite güvencesi .....	15
2.2 Endüstriyel Tahribatsız Muayene Teknikleri .....	17
2.2.1 Yüzeysel yöntemler.....	17
2.2.1.1 Gözle kontrol teknikleri .....	17
2.2.1.2 Sıvı penetrant yöntemi .....	18
2.2.1.3 Manyetik parçacık yöntemi .....	18
2.2.1.4 Girdap akım yöntemi.....	19
2.2.2 Hacimsel yöntemler.....	20
2.2.3 Birleşik yöntemler .....	22
2.3 Radyografik İmaj Oluşumu, Filmler ve Banyolama.....	25
2.3.1 Radrografi filmleri.....	26
2.3.2 Film tipleri ve radyografik imaj kalitesi.....	27
2.3.3 Ekranlar ve kasetler .....	29
2.3.4 Film banyolama.....	30
2.4 Radyografide Geometrik Koşullar ve Görüntü Kalitesine Etkileri .....	31
2.5 Elektromanyetik Radyasyon Kaynağı Ekipmanları.....	37
2.5.1 X-ışını üreteçleri.....	37
2.5.2 X-ışını tipleri .....	37
2.5.2.1 Katot .....	38
2.5.2.2 Anot.....	38
2.5.2.3 Kontrol kabini ve güç kaynağı .....	40
2.5.3 Gama radyografi ekipmanları.....	40
2.5.3.1 ANSI kategori I gama-ışın cihazı.....	41
2.5.3.2 ANSI kategori II gama-ışını cihazı .....	42

<b>3. KAYNAK DİKİŞLERİNDE KULLANILAN STANDARTLARA GÖRE RADYOGRAFİK HATA TİPLERİ VE KABUL KOŞULLARI .....</b>	<b>45</b>
3.1 ISO 6520-1 Standardına Göre Kaynak Kusurlarının Sınıflandırılması .....	45
3.2 ASME B31.3 Standardına Göre Kaynak Kusurlarının Kabul Koşulları .....	46
3.2.1 Akışkan servis koşulları.....	46
3.2.1.1 Normal akışkan servisi ve kategori M akışkan .....	47
3.3 ASME BPV Code, Sec. VIII Div.1 App. 4 Kaynak Kabul Koşulları.....	50
<b>4. GAMA RADYOGRAFİSİ İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>53</b>
4.1 Çalışılan Film Tipleri, Penetrametre, Ekran ve Kasetler .....	53
4.1.1 Kullanılan filmler .....	53
4.1.2 Ekran, kasetler ve filmin yerleştirilmesi.....	53
4.1.3 Kullanılan IQI (penetrametre) tipleri ve sensitivite kabul koşulları.....	54
4.2 Iridium 192 Radyoizotopu .....	57
4.3 Işınlama Düzenekleri .....	58
4.3.1 Lokasyon işaretlerinin konumlandırılması .....	58
Tek cidar görüntüleme ( I ).....	58
Çift cidar görüntüleme ( II ) .....	59
4.3.1.1 IQI konumlandırılması ve sayısı .....	59
4.3.2 Tek cidar tekniği (Single Wall) .....	59
4.3.3 Çift cidar tekniği (Double Wall).....	60
4.3.3.1 Tek cidar görüntüleme (Single Imaging) .....	61
4.3.3.2 Çift cidar görüntüleme (Double Imaging).....	61
Eliptik İmaj Tekniği .....	61
Süperimpoze İmaj Tekniği .....	61
4.4 Banyolama .....	63
4.5 Filmin incelenmesi ve kullanılan ekipmanlar .....	63
4.6 Kaynak Dikişlerinde Hata Analizi .....	64
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI .....</b>	<b>65</b>
5.1 Radyografik Çekimi Yapılan Parçaların Kaynak Dikiş Parametrelerinin Tespiti ve Kaynak Tekniklerine Göre Sınıflandırmaları .....	65
5.2 Yapılan Çalışmalarda Elde Edilen Kaynak Dikişlerinin Kaynak Yöntemine, Malzeme Tipi, Çap Ve Et Kalınlığı, Akışkan Cinsi, Pozlama Teknikleri.....	68
5.3 İncelenen Kaynak Dikişlerinin Radyografik Görüntülenmesi.....	70
5.3.1 Grup I tipi kaynak dikişlerinin radyografik görüntülenmesi.....	70
5.3.1.1 Dikiş 1'in radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi .....	70
5.3.1.2 Dikiş 2'in radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi .....	73
5.3.1.3 Dikiş 3'üm radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi .....	74
5.3.1.4 Dikiş 4'ün radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi.....	75
5.3.1.5 Dikiş 5'in radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi .....	76
5.3.2 Grup II tipi kaynak dikişlerinin radyografik görüntülenmesi.....	77
5.3.2.1 Dikiş 6'nın radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi .....	77
5.3.2.2 Dikiş 7'nin radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi .....	80
5.3.2.3 Dikiş 8'in radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi .....	82
5.3.2.4 Dikiş 9'un radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi.....	83
5.3.2.5 Dikiş 10'un radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi.....	84
5.3.2.6 Dikiş 11'in radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi .....	86
5.3.2.7 Dikiş 12'nin radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi .....	87
5.3.2.8 Dikiş 13'ün parametreleri ve radyografik incelenmesi .....	88
5.3.3 Grup III tipi kaynak dikişlerinin radyografik görüntülenmesi .....	89
5.3.3.1 Dikiş 14'üm parametreleri ve radyografik incelenmesi .....	90



<b>6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>91</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>93</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>97</b>



## KISALTMALAR

<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>AET</b>	: Akustik Emisyon Testi
<b>API</b>	: American Petroleum Institute
<b>ANSI</b>	: American National Standards Institute
<b>ASME</b>	: American Society of Mechanical Engineers
<b>AWS</b>	: American Welding Society
<b>BPV</b>	: Boiler & Pressure Vessel Code
<b>DWSI</b>	: Double Wall Single Image
<b>DWDI</b>	: Double Wall Double Image
<b>EN</b>	: European Norm
<b>IAEA</b>	: International Atomic Energy Agency
<b>ISO</b>	: International Organization for Standardization
<b>IQI</b>	: Image Quality Indicator
<b>NRC</b>	: Nuclear Regulatory Agency
<b>RHM</b>	: Roentgen Hour Meter
<b>SMAW</b>	: Shield Metal Arc Welding
<b>SWSI</b>	: Single Wall Single Image
<b>TIG</b>	: Tungsten Inert Gas
<b>TVT</b>	: Tenth Value Thickness



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1. 1 : Radyoizotopların çelik malzemelere nüfuziyeti [1].	4
Çizelge 1. 2 : Bazı gama ışını kaynaklarının fiziksel özellikleri.	6
Çizelge 1. 3 : Radyoizotop cinsine bağlı olarak çeşitli yarı kalınlıklar.	9
Çizelge 2. 1 : Geçme oranına bağlı olarak densite değişimi [11].	28
Çizelge 2. 2 : Uluslararası normlarda endüstriyel film sınıfları.	29
Çizelge 3. 1 : Normal ve kategori M için kaynak kabul kriterleri. (ASME B31.3 Çizelge 341.3.2).	48
Çizelge 3. 2 (Devam): Normal ve kategori M için kaynak kabul kriterleri.	49
Çizelge 3. 3 : Porozitenin hata olarak kabul koşulları [28].	51
Çizelge 4. 1 : Malzeme kalınlıklarına göre kullanılan film tipleri.	53
Çizelge 4. 2 : EN 462-1 Görüntü kalite göstergesi. (Image Quality Indicator-IQI, penetrametre).	55
Çizelge 4. 3 : Çeşitli endüstrilerde hassasiyet kademeleri.	56
Çizelge 4. 4 : ASME B31.3 Process Piping 'e göre kaynak güçlendirme sınırları.	57
Çizelge 4. 5 : Ir-192 radyoizotopundan yayınlanan fotonların enerjisi.	57
Çizelge 4. 6 : Tek cidar tekniğinde kaynak, IQI ve lokasyon işaretleri yerleşimleri [28].	60
Çizelge 4. 7 : Çift cidar tekniğinde kaynak, IQI,lokasyon işaretleri ve yerleşimleri [28].	62
Çizelge 5. 1 : Radyografik muayenede incelenen parçaların kaynak dikiş parametrelerinin gruplandırılması.	66
Çizelge 5. 2 :Yapılan çalışmalarda elde edilen kaynak dikişlerinin kaynak yöntemi, malzeme tipi,çap, kalınlık, akışkan cinsi ve pozlama teknikleri.	69
Çizelge 5. 3 : Dikiş 1'in radyografi parametreleri.	71
Çizelge 5. 4 : Dikiş 2'nin radyografi parametreleri.	73
Çizelge 5. 5 : Dikiş 3'ün radyografi parametreleri.	74
Çizelge 5. 6 : Dikiş 4'ün radyografi parametreleri.	75
Çizelge 5. 7 : Dikiş 5'in radyografi parametreleri.	76
Çizelge 5. 8 : Dikiş 6'nın radyografi parametreleri.	78
Çizelge 5. 9 : Dikiş 7'nin radyografi parametreleri.	80
Çizelge 5. 10 : Dikiş 8'in radyografi parametreleri.	83
Çizelge 5. 11 : Dikiş 9'un radyografi parametreleri.	84
Çizelge 5. 12 : Dikiş 10'un radyografi parametreleri.	85
Çizelge 5. 13 : Dikiş 11'in radyografi parametreleri.	86
Çizelge 5. 14 : Dikiş 11'in radyografi parametreleri.	87
Çizelge 5. 15 : Dikiş 13'in radyografi parametreleri.	89
Çizelge 5. 16 : Dikiş 14'ün radyografi parametreleri.	90



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1. 1 : Elektromanyetik dalga spektrumu.....	1
Şekil 1. 2 : Tipik x-ışını spektrumu.....	3
Şekil 1. 3 : Ters kare kuralı.....	5
Şekil 1. 4 : Fotoelektrik olayı.....	9
Şekil 1. 5 : Compton saçılması.....	10
Şekil 1. 6 : Çift oluşumu.....	10
Şekil 2. 1 : Kalite yönetim sistematigi.....	13
Şekil 2. 2 : Kalite maliyeti.....	14
Şekil 2. 3 : Çapraz bağlı geri besleme döngüsü [7].....	16
Şekil 2. 4 : Tahribatsız muayene fonksiyonu [7].....	17
Şekil 2. 5 : Birincil ve ikincil manyetik alan ve girdap akım [9].....	19
Şekil 2. 6 : Temel spektrometre tüp operasyonu.....	24
Şekil 2. 7 : X-ışını ile endüstriyel radyograf yapılması [11].....	25
Şekil 2. 8 : Radyografi film yapısı.....	26
Şekil 2. 9 : Geliştirme süreci gerçekleşmemiş (a) ve gerçekleşmiş (b) gümüş bromid tanecik yapıları [11].....	27
Şekil 2. 10 : Kaset yapısı.....	30
Şekil 2. 11 : Noktasal (a) ve hacimsel (b) kaynaktan obje üzerine dik gelen ışın ve gölge oluşumu.....	32
Şekil 2. 12 : Geometrik kesinsizlik.....	33
Şekil 2. 13 : Geri saçılım tipleri.....	34
Şekil 2. 14 : X-ışını pozlama tablosu.....	35
Şekil 2. 15 : Gama ışını pozlama tablosu.....	36
Şekil 2. 16 : Tipik x-ışını tüpü.....	37
Şekil 2. 17 : Döner x-ışını tüpü düzeneği.....	39
Şekil 2. 18: X-ışını yansıma açısına bağlı olarak radyasyon şiddeti dağılımı.....	39
Şekil 2. 19 : ANSI kategori I kapsül ve pigtail (Sıcak hücre düzeneği).....	41
Şekil 2. 20 : Kategori I cihazı.....	41
Şekil 2. 21 : Kategori II cihazı şematik gösterimi.....	43
Şekil 2. 22 : Kategori II cihazı kesiti.....	43
Şekil 3. 1 : Hizalı gözenek grupları – 1 (ASME Section V).....	52
Şekil 3. 2 : Hizalı gözenek grupları – 2 (ASME Section V).....	52
Şekil 3. 3 : Küme gözenek Yapısı.....	52
Şekil 4. 1 : Filmin ekran ve kaset içine yerleştirilmesi.....	54
Şekil 4. 2 : Kaskad fiksleme sistemi akış şeması.....	63
Şekil 4. 3 : Elektronik densitometre.....	64
Şekil 5. 1 : Grup I, Tungsten inert gaz (TIG) kaynak geometrisi.....	67
Şekil 5. 2 : Grup II, Tungsten inert gaz (TIG) + Elektrik ark kaynak.....	67
Şekil 5. 3 : Grup III, Tungsten inert gaz (TIG) + Elektrik ark kaynak.....	68
Şekil 5. 4 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 1.....	72
Şekil 5. 5 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 2.....	73

Şekil 5. 6 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 3.....	75
Şekil 5. 7 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 4.....	76
Şekil 5. 8: Radyografik görüntüleme dikiş no : 5.....	77
Şekil 5. 9 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 6.....	79
Şekil 5. 10 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 7.....	82
Şekil 5. 11 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 8.....	83
Şekil 5. 12 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 9.....	84
Şekil 5. 13 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 10.....	85
Şekil 5. 14 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 11.....	86
Şekil 5. 15 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 12.....	88
Şekil 5. 16 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 13.....	89
Şekil 5. 17 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 14.....	90



## SEMBOL LİSTESİ

<b><u>Sembol</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>	<b><u>Birim</u></b>
c	Işık hızı	[ m / s ]
eV	Elektronvolt ( $1.602176E-19 \cdot J$ )	[ eV ]
E	Elektromanyetik radyasyon enerjisi	[ J ]
h	Planck sabiti ( $6.626176 E-34$ )	[ $J \cdot Hz^{-1}$ ]
I	Radyasyon şiddeti	[ $mR \cdot h^{-1}, Sv \cdot s^{-1}$ ]
$t_{1/2}$	Yarı kalınlık	[ m ]
$T_w$	Malzeme kalınlığı	[ m ]
$U_g$	Geometrik keskinsizlik	[ m ]
$\lambda_0$	Dalga boyu	[ m , $\text{Å}^0$ ]
$\mu_m$	Kütle soğurma katsayısı	[ $cm^2 \cdot g^{-1}$ ]
$\mu$	Doğrusal soğurma katsayısı	[ $cm^{-1}$ ]
$\sigma_{pp}$	Fotoelektrik soğurma katsayısı	
$\sigma_s$	Compton saçılması katsayısı	
$\sigma_{pp}$	Çift oluşum katsayısı	
$\nu$	Elektromanyetik radyasyon frekansı	[ Hz ]



# **RADYOGRAFİK MUAYENE YÖNTEMİ İLE PETROL BORU HATLARINDAKİ BORULARDA KAYNAK DİKİŞİ VE DİĞER HATALARIN İNCELENMESİ**

## **ÖZET**

Radyografik muayene, standart tahribatsız muayene teknikleri içinde uzun yıllardır kullanılmakta olan bir yöntemdir. Petrol dağıtım hatları ve proses tesislerinde imal edilen kaynak dikişlerinde meydana gelen hacimsel kusurların saptanmasında, gamma-ışını ile radyografik muayene oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, farklı geometrilerde ve kaynak tekniklerinde ve değişik akışkan servis koşullarında çalışan boru hatlarının kaynak dikişlerinin, ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section V: Nondestructive Examination, ASME B31.3 – Process Piping standartlarında tanımlanan gama ışını ile radyografik muayene yöntemlerine göre incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen radyografik muayeneler için toplam 14 adet dikiş göz önüne alınmıştır. Radyografik muayeneleri gerçekleştirilen bu kaynak dikişlerinin kaynak üretim tekniklerine göre sınıflandırılmıştır.

Elektromanyetik radyasyon kaynağı olarak, penetrasyon kalınlığına ve uluslararası standartlarda belirtilen hassasiyet gereksinimlerine bağlı olarak farklı aktivitelerdeki Ir-192 radyoizotopları kullanılmıştır. Toplam penetrasyon kalınlığı olarak 5.54 mm'den 35 mm'e kadar karbon çelik malzeme kullanılmıştır. Işınlama düzeneği olarak ANSI kategori I tip ekipmandan faydalanılmıştır. Gama ışınlama teknikleri olarak gerek tek cidar, gerekse çift cidar görüntüleme teknikleri kullanılmıştır. Kaynak dikişlerinden elde edilen radyografik imaj görüntü, D4 endüstriyel tip film (Agfa Structurix) üzerine kaydedilmiştir. Radyografik film üzerine kaydedilen gizli imaj görüntü, banyolama işlemi için kaskad tip banyolama ekipmanı yardımıyla görünür radyografik imaj görüntü haline getirilmiştir.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışması kapsamında elde edilen radyografik görüntüler, illüminatör yardımı ile incelenmiştir. EN ISO 6520-1: Welding and allied processes, Classification of geometric imperfections in metallic materials, Part 1: Fusion welding standardına göre sınıflandırılarak, ASME B31.3 ve ASME BPV Sec. V'e göre bu tez kapsamında incelenen kaynak dikişlerinde saptanan kusurların tipleri saptanmıştır.

Elde edilen sonuçların analiz edilmesi ve uluslararası standartlara göre, elde edilen kaynak kusurlarının incelenmesi neticesinde, kullanılan tek cidar ve çift cidar ışınlama tekniklerinin ve radyasyon kaynağı olarak Ir-192 radyoizotopunun kullanımının petro boru hatları ve proses hatlarındaki bu tez kapsamında incelenen penetrasyon kalınlıklarındaki kaynak dikişlerinde meydana gelen hataların etkin bir şekilde saptanmasında ve istenen hassasiyet gereksinimlerinin karşılanmasında, yeterli olduğu tespit edilmiştir.



# **THE INVESTIGATION OF WELDING SEAMS & OTHER DEFECTS IN PETROLEUM PIPELINES BY UTILIZING RADIOGRAPHIC EXAMINATION METHOD**

## **SUMMARY**

Radiographic examination technique has been used for a long time among standard nondestructive examination methods. In petroleum distribution pipelines and process piping facilities, gamma radiography is a widely using technique to determine volumetric defects occurred inside weld joints.

In the study of this master thesis, for welded joints having different fit-up geometries, techniques of welding and fluid services operating diversified conditions, gamma ray radiographic examination of those joints in accordance with ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section V : Nondestructive Examination and ASME B31.3 : Process Piping. 14 joints are taken into account for radiographic examination and welded joints radiographed, are classified regarding the welding production techniques.

As electromagnetical radiation source, depending on the penetration thickness and the sensitivity requirement described in international standards, Ir-192 radioisotope having different radiation activity is used. Carbon steel material having from 5.54 mm till 35 mm base metal thickness is harnessed for total penetration thickness. ANSI type I exposure equipment is utilized in order to expose the radiation source. As gamma-ray radiography techniques, single and double wall exposure techniques are operated. D4 industrial type radiographic films are used to record latent image view obtained from welded joints. Latent image view recorded from welded joints become visible radiographic image view with aid of cascade type film bathing equipment.

Radiographic image views obtained in the scope of this master thesis study, are analyzed with illuminator. Related welded joints are classified as per EN ISO 6520-1: Welding and allied processes, Classification of geometric imperfections in metallic materials, Part 1: Fusion welding, then according to ASME B31.3 & ASME BPV Sec. V, defects located inside welded joints in the scope of this master thesis, studied and classified by analyzing radiographic image views.

Analyzing the results and studying welded joints defects by aid of international standards, usage of single wall and double wall exposure techniques and radiation source Ir-192 radioisotope for penetration thickness in the scope of this master thesis, is concluded well-enough and effective to determine volumetric welding defects inside petroleum distribution pipelines and process piping. Furthermore, it fulfills the sensitivity requirement described in international standards.

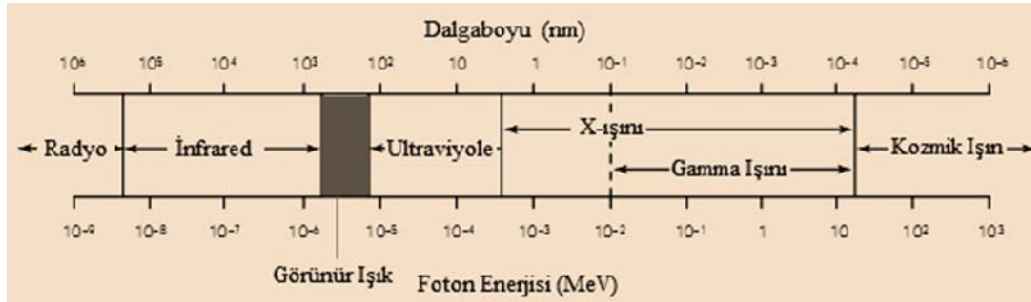


# 1. RADYASYON TİPLERİ VE MALZEMEYİ ETKİLEME MEKANİZMALARI

## 1.1 Radyasyon Tipleri

Maddeye nüfuz edebilen iyonlaştırıcı radyasyonlar “Girici radyasyon” olarak adlandırılır. Radyografide esas itibariyle kullanılan girici radyasyonlar x ve gama ışınlarıdır [1].

Hem x –ışını hem de gama ışınları elektromanyetik radyasyondur. Elektromanyetik radyasyondaki fotonlarının kütlesi, elektrik yükü ve manyetik momenti yoktur. Bununla birlikte dual karakteristik olarak bazen partikül bazende dalga şeklinde davranmaktadır. X ve gama ışınları her ne kadar farklı mekanizmalar ile meydana gelse de iki mekanizmada aynı enerji miktarı ile oluşan fotonların malzeme tarafından absorpsiyonu tamamen aynı şekilde olmaktadır. Elektromanyetik dalga spektrumu Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. 1 : Elektromanyetik dalga spektrumu.

Planck, foton enerjisini *kuantum* olarak bilinen “*paket enerji*” olarak tanımlamıştır. Bu enerji frekansı ile doğru orantılı olarak,

$$E = h \cdot \nu \quad (1. 1)$$

ifade edilir [1].

Burada;

h: Planck sabiti – [ 6.626176 E-34 J · Hz<sup>-1</sup> ]

$\vartheta$ : Elektromanyetik radyasyon frekansı [ Hz ]

Eşitlik 1.1'deki frekans ise;

c: Işık hızı [ m / sn]

$\lambda_0$ : Dalgaboyu [ m, A<sup>0</sup> ]

olmak üzere,

$$\vartheta = \frac{c}{\lambda_0} \quad (1.2)$$

olarak yazılabilir [1].

*Elektronvolt*, bir elektronun vakum ortamda 1 V potansiyel farkı yaratması için vermesi gereken enerji miktarıdır ve sabit bir değer olarak,

1 eV = 1.602176 E-19 Joule'dür

Işık hızı yaklaşık olarak 300 E+6 m/s olmak üzere Eşitlik 1.1 ve 1.2'yi birleştirirsek

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda_0} \quad (1.3)$$

elde edilir [1].

Eşitlik 1.3'te h ve c değerlerini yerine koyarsak ve eşitliği endüstriyel uygulamalarda tercih edilen dalga boyunu armstrong cinsinden belirtirsek, elektromanyetik radyasyon enerjisi kiloelektronvolt olarak,

$$E (keV) = \frac{12.4}{\lambda_0 (A^0)} \quad (1.4)$$

ifade edebiliriz [1].

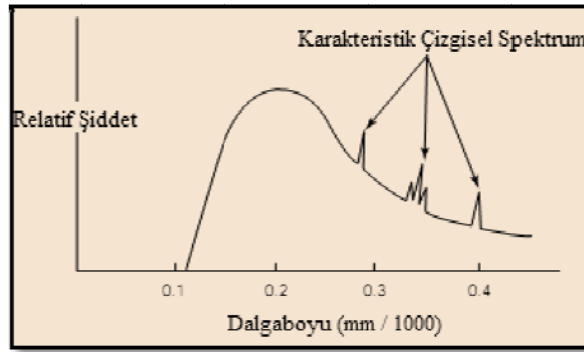
#### 1.1.1.1 X-ışını tipleri ve spektrumu

X-ışınının oluşması için birinci mekanizma, elektronların bir uyarı ile bir üst enerji seviyesine çıkmasının ardından kararlı duruma gelebilmek için bir alt enerji seviyesine gelmesidir.



Enerjinin korunumuna göre bu oluşan enerji farkı foton için elektromanyetik radyasyon enerjisi, dolayısıyla x-ışını oluşmaktadır. Bu noktada bu enerji miktarının her atom için sabit ya da karakteristik özelliği olması neticesinde bu şekilde oluşan x-ışınları, *karakteristik x-ışını* olarak adlandırılır ve spektrumda lineer pik olarak görünürler. Filtreleme ve sinyal işleme teknolojisi ile birlikte bu çizgisel spektrum *monoenerjitik ışınım* şeklinde düzenlenir.

İkinci mekanizma ise hızlandırılmış elektronlar ile gerçekleştirilir, elektronlar bir engel ile karşılaşmaları durumunda enerjilerini kaybederler ve x-ışınları oluşur. Bu tip radyasyon ise *frenleme radyasyonu* olarak adlandırılır. Endüstriyel uygulamalarda *Bremmstrahlung* olarak adlandırılır. Şekil 1.2'de tipik x-ışını spektrumu görülmektedir [1].



**Şekil 1.2** : Tipik x-ışını spektrumu.

Karakteristik x-ışını ışınımı belirli enerji seviyeleri için söz konusu olduğundan “çizgisel spektruma” sahiptir. Frenleme radyasyonunda, “az sayıda” elektron hedef atomun elektron atmosferiyle karşılaşır karşılaşmaz tüm enerjisini verir. Bu nedenle, burada “geniş spektrum” sözkonusudur [1].

Endüstriyel x-ışını ekipmanları bremsstrahlung radyasyonu üretirler. Ne var ki, pratikte, x-ışını ekipmanları hedef atoma ait bir miktar da karakteristik x-ışını da üretirler.

Eşitlik 1.4'de ifade edildiği gibi, elektronların enerjisi keV ve MeV olarak ifade edilir. Potansiyel farkına bağlı olarak elektronlar hızlandırıcı kuvvetlere maruz kalacak ve negatif kutuptan pozitif kutuba doğru hareket edecektir. X-ışını ekipmanları bölüm 3'te detaylı şekilde anlatılacaktır.

### 1.1.1.2 Gama ışınımı ve spektrumu

Gama ışınları dalga boyları Şekil 1.1’de görüldüğü gibi daha küçük dalga boylarına sahiptir ve foton enerjileri daha yüksektir. Bu nedenle daha girici radyasyon kaynaklarıdır. Bu nedenle daha kalın malzemelere nüfuz edebilirler ve endüstride bu nedenle daha çok kullanılırlar.

Atom proton, nötron ve elektronlardan oluşmaktadır. Elektronlar çekirdek yörüngesinde bulunurken, proton ve nötronlar çekirdeği oluşturmaktadır. Atom numarası çekirdekte bulunan proton sayısıdır ve  $Z$  ile gösterilir. Proton ve nötron sayısı kütle numarası olarak adlandırılır ve  $A$  ile ifade edilir.

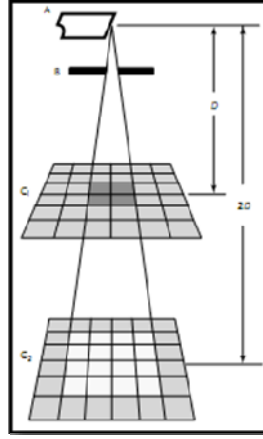
Aynı proton sayısına sahip ancak farklı kütle numaralı atomlar *izotop* olarak adlandırılır. Endüstriyel gama radyografisinde çeşitli radyoizotoplar kullanılır. Bunlara örnek olarak en çok kullanılan İridyum 192 ve Kobalt 60 ve Sezyum 137 gösterilebilir. Radyoizotopların çelik malzemelere nüfuziyeti Çizelge 1.1’de görülmektedir. Bütün gama ışınlarının enerji spektrumu, frenleme radyasyonu tipi x-ışınlarından farklı olarak, belirli enerjilerde çizgi spektrumu halindedir.

**Çizelge 1. 1 :** Radyoizotopların çelik malzemelere nüfuziyeti [1].

Radyoizotop	Uygulamada Et Kalınlığı (Çelik) – mm	Toplam Penetrasyon – mm
İridyum 192	12 – 62	100
Kobalt 60	19 – 150	250
Sezyum 137	5 - 30	40

### 1.2 Radyasyon Şiddeti ve Ters Kare Kuralı

Gerek x-ışını gerekse gama-ışını elektromanyetik radyasyonları, boşlukta ışık hızında doğrusal olarak yayılır. Bu yayınma ters kare kanununa uymaktadır [1]. Bunun nedeni ışık kanunları ile açıklanabilir. X-ışını anodundan yayılan ışınım miktarının sabit olması durumunda nesneden uzaklaştıkça şiddet uzaklığın karesi ile azalmaktadır. Başka bir ifadeyle, Şekil 1.3’de görülen sabit  $A$  kaynağından yayılan radyasyon için,  $D$  mesafesinde bulunan objenin  $2D$  mesafesine kaydırılması durumunda, radyasyon birim alana düşen radyasyon şiddeti dört kat azalacaktır [1,11].



Şekil 1.3 : Ters kare kuralı.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2} \quad (1.5)$$

Bu durum pratik uygulamada aynı film densitesi elde etmek için şu şekilde kullanılmaktadır. X-ışını kaynağı için, mesafe 2 kat artması neticesinde miliamper ya da poz süresi 4 kat arttırılmalıdır. Gama ışını uygulamalarında ise ya radyoizotop çapı küçültülmeli ya da poz süresi arttırılmalıdır.

Bunun yanında Bölüm 2.4'te ifade edilecek olan faktörler de göz önünde bulundurulduğunda, kaynak-obje mesafesi ve radyoizotop çapı mümkün olduğunca küçük olması film kalitesi için önemlidir.

İlave olarak, radyasyondan en az oranda doza maruz kalmak için, operatörün radyasyon kaynağından mümkün olan en uzak yerde bulunması gerekmektedir.

### 1.3 Radyoaktif Bozunma

Her radyoaktif çekirdek birim zamanda belli bir olasılıkla bozunuma uğrar. Bu bozunma olasılığı her radyoizotop için sabit bir değer taşır. Verilen bir örneğin herhangi bir anındaki bozunma hızı daima izotopun radyoaktif atomlarının sayısıyla doğru orantılıdır [1].

N adet atom içeren bir radyoizotop için bozunma sabiti  $\lambda$  olması durumunda,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilir. Radyoizotopun başlangıçta bulunan radyoaktif atom sayısına  $N_0$  dersek, Denklem 1.5'i integre eder ve başlangıç koşulu uygulanırsa;

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (1.7)$$

elde edilir. Toplam radyoaktif atom sayısının başlangıçta bulunan radyoaktif atom miktarının yarısına kadar düşmesi için geçen süre *yarı ömür* olarak adlandırılır. Denklem 1.7 yardımı ile hesaplanabilir. Şöyle ki;

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (1.8)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (1.9)$$

elde edilir. Radyoaktivitenin birimi *Curie (Ci)* olup, saniyedeki radyoaktif madde bozunma miktarı  $3.7 \text{ E}+10$  ise bu izotopun radyoaktivitesi 1 Ci olmaktadır. Radyoaktif bozunmanın metrik birimi *Becquerel (Bq)* olup saniyedeki 1 bozunma miktarıdır. Dolayısıyla, 1 Ci 37 GBq'dir.

*Roentgen (R)*, normal şartlar altında 1 metre mesafede 1 santimetreküp havada 1 elektrostatik birim iyonizasyon yükü yapan radyasyon miktarıdır. Roentgen her bir izotop için bağıl bir özelliktir. Radyografide kullanılan gama ışını kaynaklarının genel özellikleri Çizelge 1.2'de görülmektedir [1].

**Çizelge 1.2 :** Bazı gama ışını kaynaklarının fiziksel özellikleri.

Radyoizotop Cinsi	Açıklama	Gama Enerji (MeV)	Yarı Ömür	Tavsiye Edilen Malzeme Kalınlığı	Boyutu	Doz Hızı (RHM)
Doğal	Ra-226	0.6, 1.12, 1.76	1590 Yıl	5 – 15 cm Çelik	2 x 2	0.83
Doğal	Rn-222	0.6, 1.12	3.825 Gün	5 – 25 cm Çelik	0.5 x 0.5	0.83
Yapay	Co-60	1.17, 1.33	5.3 Yıl	5 – 20 cm Çelik	1x1 – 4x4	1.35
Yapay	Cs-137	0.667	33 Yıl	2 – 10 cm Çelik	1x1 – 3x3	0.35
Yapay	Ir-192	0.29, 0.58, 0.60, 0.61	74.3 Gün	0.5 – 6 cm Çelik 1 – 10 mm Al.	0.5x0.5 – 6x6	0.50
Yapay	Tm-170	0.084	127 Gün	0.5 cm Çelik 0.2 – 1.2 cm Al	2x3 – 3x3	0.0045

#### 1.4 Radyasyonun Malzemeyi Etkileme Mekanizmaları

Elektromanyetik radyasyon herhangi bir malzemeyle karşı karşıya gelmesi durumunda soğurma ve saçılma olayları gerçekleşmektedir. Bu iki mekanizmadan soğurma mekanizması neticesinde radyasyon şiddetinde değişiklikler meydana gelmektedir ve bu değişiklikler radyografik film üzerine kaydedilebilmektedir.

*Alfa emisyonu*, iki proton ve iki nötron içeren He<sub>4</sub> çekirdeğidir. Radyasyon kaynağından alfa emisyonu neticesinde atom numarası iki, kütle numarası ise dört azalmaktadır. Bu emisyon neticesinde, soğurulduğu malzemenin atomlarında elektronu yörüngesinden uzaklaştırmakta yani iyonizasyona neden olmaktadır. Alfa partikülleri ince bir kağıt sayfasında bile kolaylıkla soğrulabilir. *Beta emisyonu*, nötron ve proton oranı eşit olmayan bir atom çekirdeğinden yayılan yüksek enerjili negatron yayılımıdır. [1,3,10] *Gama emisyonu*, yüksek enerjili fotonların radyoizotoptan ayrılması neticesinde atom daha dengeli hale geçer. Gama emisyonu neticesinde atom ya da kütle numarası değişmemektedir.

Radyasyon kaynağından yayılan radyasyonun malzeme tarafından soğurulması birkaç şekilde gerçekleşir. Gama emisyonuna neden olan fotonlar kütlesi yoktur ve elektrik yükü sıfırdır ve manyetik momenti yoktur. Dolayısıyla manyetik alandan etkilenmez.

Radyasyon enerjisinin malzeme tarafından soğurulması, (yarı önr gibi) eksponansiyel şekilde olmaktadır. Bu soğurma, malzemede farklı soğurma mekanizmaları ile gerçekleşir. Bunlar; *fotoelektrik etki*, *compton saçılması* ve *çift oluşumudur*. Bu mekanizmalar belirli bir kalınlığa sahip malzemedden geçen atomik soğurma,

$$I = I_0 \cdot e^{-n \cdot \sigma \cdot x} \quad (1.10)$$

ile ifade edilir [11].

$\sigma$  toplam soğurma katsayısı olup,

$$\sigma = \sigma_{pe} + \sigma_s + \sigma_{ps} \quad (1.11)$$

şeklinde ifade edilir [11].

Burada soğurma katsayıları,  $\sigma_{pe}$  fotoelektrik,  $\sigma_s$  compton saçılması ve  $\sigma_{ps}$  çift oluşum katsayılarıdır.  $n$  sayısı santimetreküp'te bulunan toplam atom sayısını ifade

etmektedir. Denklem 1.10'da belirtilen ifade logaritmik olarak düzenlenirse,

$$\ln \frac{I}{I_0} = -n \cdot \sigma \cdot x \quad (1.12)$$

$$\ln \frac{I_0}{I} = n \cdot \sigma \cdot x \quad (1.13)$$

olacaktır.

Kütlelesel soğurma katsayısı  $\mu_m$ , N Avogadro sayısı olmak üzere,

$$n \cdot \sigma \cdot x = \frac{N}{A} \sigma \cdot \rho \cdot x = \mu_m \cdot \rho \cdot x \quad (1.14)$$

ifade edilir ve birimi  $\text{cm}^2/\text{gr}$ 'dir.

Doğrusal soğurma katsayısı  $\mu$  ise, kütlelesel soğurma katsayısının yoğunluğa bölünmesiyle elde edilir, birimi  $\text{cm}^{-1}$  dir ve ilk radyasyon enerjisine ve malzeme yoğunluğuna bağlıdır.

$$n \cdot \sigma \cdot x = \frac{N}{A} \sigma \cdot \rho \cdot x = \mu \cdot \rho \cdot x \quad (1.15)$$

olmak üzere Denklem 1.10'daki ifade Eşitlik 1.15 yardımıyla

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (1.16)$$

yada logaritmik ifadeyle

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu \cdot x \quad (1.17)$$

şeklinde düzenlenebilir. Denklem 1.17 yardımıyla malzemelerin belirli radyoizotoplar için *yarı kalınlıkları* hesaplanabilir.

$$I_0 = 0.5 \cdot I$$

kabul edersek;

$$\ln 2 = 0.693 = -\mu \cdot x_{1/2} \quad (1.18)$$

$X_{1/2}$  malzemenin belirli radyoizotoplar için yarı kalınlıklarıdır. Çizelge 1.3'de endüstriyel uygulamalarda kullanılan bazı radyoizotopların belirli enerji seviyelerindeki yarı kalınlıkları görülmektedir. Bazende TVT (onda bir kalınlık) değeri hesaplamalarında kullanılmaktadır. Yarı kalınlık veya onda bir kalınlık değerleri, Denklem 1.17 yardımıyla kolaylıkla hesaplanabilir. Çizelge 1.3'te radyoizotop cinsine bağlı olarak çeşitli malzemelerin yarı kalınlıkları arz edilmiştir.

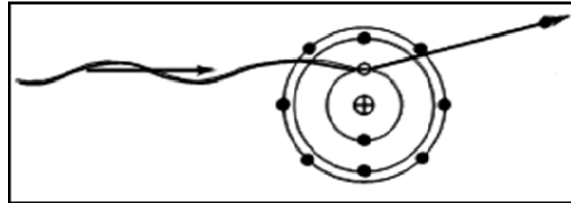
**Çizelge 1.3** : Radyoizotop cinsine bağlı olarak çeşitli yarı kalınlıklar.

Kaynak	Energy (MeV)	Yarı Kalınlık (mm)		
		Kursun	Celik	Beton
Ir192	0.3-0.8	4.8	12.5	41.0
Co60	1.17+1.33	12.0	20.0	61.0
Cs137	0.66	7.0	15.0	49.0
X-ışını	100 KV	0.26		21.0
	200KV	0.6		27.0
	300 KV	1.8		30.0
	400 KV	2.5		36.0
	1 MV	7.5		50.0
	2 MV	13.0		60.0

#### 1.4.1 Soğurma mekanizmaları

##### 1.4.1.1 Fotoelektrik olayı

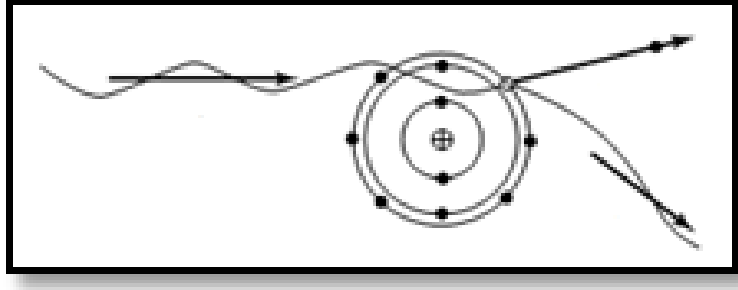
Fotonun soğurucu atomla çarpışıp tamamının soğrulması “fotoelektrik olay” olarak bilinir. Foton ile etkileşen elektron, fotonun enerjisini alır ve atomlararası uzaya fırlar (Şekil 1.4). Bu elektron bir iç yörünge elektronu ise; dış yörüngeden bir diğer elektron, boşluk bulunan iç yörüngeye geçer, bu geçişte karakteristik x-ışınları yayımlanır [1].



**Şekil 1.4** : Fotoelektrik olayı.

##### 1.4.1.2 Compton saçılması

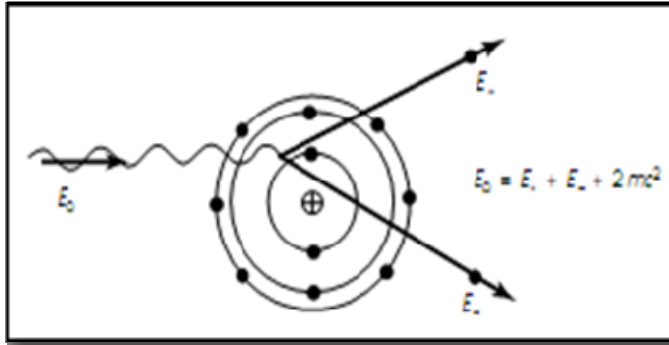
Gama ışını soğurucu madde atomunun dış elektronuyla çarpışır ve compton saçılması gerçekleşir. Neticede foton yön değiştirir ve kinetik enerjisinin bir kısmını compton elektronuna verir, foton daha düşük enerjili olarak hareketine devam eder (Şekil 1.5). 0.5 MeV değerinden daha düşük enerji seviyelerinde compton saçılması gerçekleşme olasılığı oldukça düşüktür. [1,10,11]



Şekil 1. 5 : Compton saçılması.

#### 1.4.1.3 Çift Oluşumu

1.02 MeV üstünde radyasyon enerji seviyesinde gerçekleşmektedir. Şekil 1.6'da gösterilen şekilde, foton atom çekirdeği yakınlarından geçerken kuvvetli elektrik alanında elektron ve pozitron oluşturur. Bunun neticesinde foton soğrulur. [1,10,11]



Şekil 1. 6 : Çift oluşumu.



## **2. KAYNAK KALİTESİ, TAHRİBATSIZ MUAYENE TEKNİKLERİ VE RADYOGRAFİDE KULLANILAN CİHAZLAR İLE RADYASYON KAYNAKLARI**

### **2.1 Kalite Olgusu**

Kalite ve proses kontrol olgusu geçmiş yıllara dayanmaktadır. Tarihçiler bu olgunun M.O 3000 yıllarına kadar dayandığını belirtmektedir. Hammurabi kanunlarının içinde yer alan, “Babil’in Yönetimi” kısmında aşağıdaki ibare yer almaktadır. “ Eğer yaptığı yapı sahibinin üstüne yıkılır ve mal sahibi ölürse, bu yapıyı gerçekleştiren usta da bunun karşılığında ölüm cezasına çarptırılır.” Bu kanun eski çağlara ait olan kalite olgusunu göstermektedir. Proses kontrol olgusu da benzer şekilde Mısır Piramitleri ile karşımıza çıkmış, taşocağı ve taşların yerleştirilmesi ile ilgili standartlar sistematığı oluşturulmuştur. Yüzyıllar sonra ise Venedik’te gemi üretim alanında kısmen geliştirilmiş üretim ve proses kontrol teknikleri geliştirilmiştir [2].

Sanayi devrimi ve takip eden yıllarda fabrikaların kurulması, bugün de takip edilen kalite ve proses kontrol tekniklerinin oluşmasına neden olmuştur. Burada en önemli etkenin işçilikte uzmanlaşma olduğunu belirtmek gerekmektedir.

İşçilikte uzmanlaşma terimi ve kalite güvencesi terimleri özellikle 1911 yılında yayımlanan Frederic W. Taylor tarafından kaleme alınan Principles of Scientific Management [3] ile birlikte daha sık şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Taylor’un felsefesinde oldukça detaylı yapılanmadan bahseder ve bu felsefede, imalat aşamasında 8 farklı tip kişi bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi denetçi olup, atölyede imalatın kalite olgusundan sorumludur. İmalatta görevli işçiler üretimi gerçekleştirmekle sorumludur. İşin uygun ekipmanla, doğru şekilde gerçekleşmesini kontrol eden formen ise, işin denetçiye teslim edilebilecek uygunlukta olması ile vazifelendirilmiştir [3].

1920'lerin ortalarında, Bell System'e ait olan Western Electric Plant'da şu an yönetim uygulama sistemi olarak uygulanan "Toplam Kalite Yönetimi" nin öncü adımı olan "İstatistiksel Kalite Kontrol" sistemi uygulanmaya başlanmıştır. Bu sistem üretilen telefon setlerinin sıfır hata (ya da kusur) prensibiyle üretilmesi amacıyla fizikçi Walter Shewhart tarafından geliştirilmiştir [4].

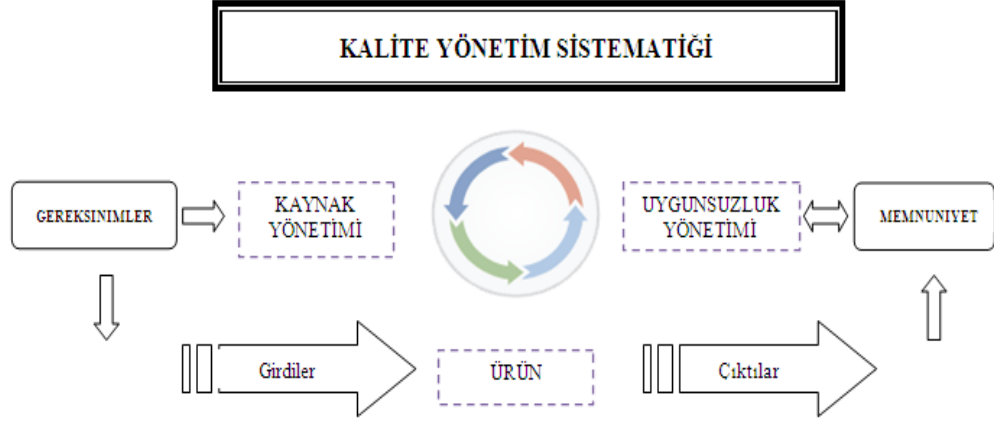
1931 yılında kendisi tarafından kaleme alınan önemli yapıtı, Economic Control of Quality of Manufactured Product [4], bizlere kesin ve ölçülebilir kalite kontrol olgusundan ve imalatın değerlendirilmesi ve kalitenin sürdürülebilir şekilde geliştirilmesine yönelik detaylı istatistiksel tekniklerden bahsetmektedir [4].

II. Dünya Savaşı yıllarında W. Edwards Deming ve Joseph Juran, halen uygulanan kalite sisteminin öncüleri olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

### **2.1.1 Kalite sistemi**

Kalite sistemi, ANSI / ISO 9001 vb. standartların altında sistemin uygulanmasını, müşterinin ürüne olan özgüveninin artırılmasını ve ürünün toplam kalitesinin artırılması yönünde atılacak adımları irdeler [4].

Müşteri almak istediği üründe talep ve beklentilerinin karşılanmasını bekler. Bu beklentilere ilave olarak organizasyonun karakteristik özellikler ve regülasyonlar da eklenmesiyle birlikte, kalite sistemi sistematik yaklaşım denilen ve bu tüm baskıların karşılanmasını amaçlayan bir tümleşik yapı ile yönetilir (Şekil 2.1) [4]. Bu yapı çerçevesinde kalite yönetim sistematığında, yönetsel kademelerde sistemin kurulması, dökümantasyon, takip ve sürekli geliştirme adımları atılması gerekmektedir.

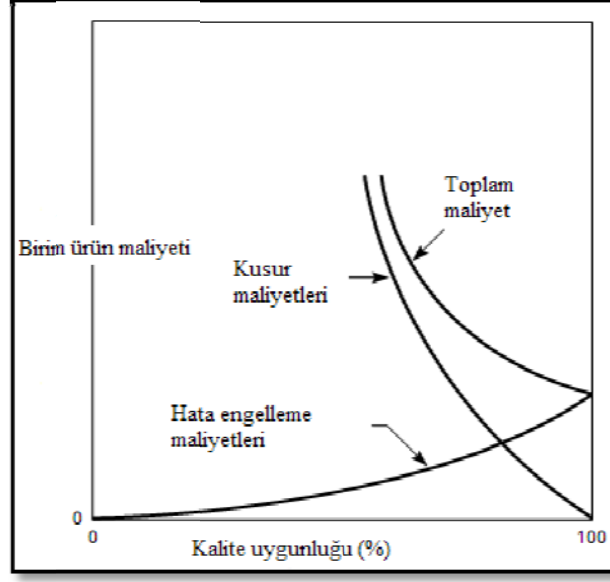


**Şekil 2. 1 :** Kalite yönetim sistematiği.

Avrupa Birliği, birlik içerisinde ürün sorumluluğu çerçevesinde üreticiyi, hatalı üretim neticesinde meydana gelecek zararlardan sorumlu tutmaktadır [5]. Bu yönerge AB’de 1985 yılında yürürlüğe girmiştir.

Bu yönergeye müteakip Türkiye Cumhuriyeti 1989 yılında; “Ürün Sorumluluğu Kanunu” ve 1990 yılında “Çevre Sorumluluğu Kanunu” nu benzer şekilde, üretici tarafından imal edilen, satılan, tedarik, tesis ve monte edilen veya işlenen herhangi bir ticari mal veya üründen kaynaklanan bir kusur ve/veya hata neticesinde üçüncü şahısların uğrayacağı bedeni ya da maddi zarar ziyan yine üreticiden alınmaktadır.

Bu kanunlar, kalite kontrol ve kalitenin sağlanması yönünde firmaların sürekli artan çalışmalarının nedenini göstermektedir. Kanuni sorumluluğun yanısıra, kalite güvencesinin en önemli amacı; maliyet etkin, hatasız ve kaliteli ürünler üreterek müşteri memnuniyetinin sağlanması olmaktadır. Bu noktada; prosesin planlanması ve sürekli geliştirilmesi, prosesin tüm çalışanlarca anlaşılmasının sağlanması ve çalışanların vasıflandırılması, proses kontrollerinin yapılması ve şartnameler, standartlar ya da kanunlar çerçevesinde kusurlu ürünlerin yönetimi (Bkz Şekil 2.2) gerçekleştirilmektedir.



**Şekil 2. 2 : Kalite maliyeti.**

Sonuç olarak, kalite güvence sistemi, prosesin her aşamasında kontrol ederek, kusurlu ürün oluşması olasılığını minimize etmeye çalışmaktadır. Bununla birlikte, bu aşamaların ya da kontrol mekanizmasının arttırılmasının üreticiye yükleyeceği ek maliyet, sigorta maliyetleri (Örn : Ürün sorumluluk sigortası) yada tazminatlarla karşılaştırıldığında optimum olması gerekmektedir.

Uygunsuzluğun saptanmasının da bir maliyeti vardır. Bu maliyet, ürünün hangi aşamalarda hangi noktada kontrol edilmesi gerektiğinin yanı sıra kontrol maliyetlerini de belirlemektedir. Kalite maliyetinin dağılımında temel olarak ağırlıklı 3 eğri vardır.

Kusur maliyetleri : Ürün %100 iyi ise sıfır, %100 kusurlu ise sonsuzdur.

Hata engelleme maliyetleri : Ürün tamamen kusurlu ise sıfır, kusursuz ürün elde etmek için bu maliyetler sonsuz olmaktadır.

Toplam Maliyet : Her iki maliyetin toplamıdır.

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, toplam maliyet, ürün %100 kusursuz olduğu zaman minimum olmaktadır. Ancak bu durum her zaman mümkün olmamaktadır. Özellikle insan faktörünün olduğu üretimlerde bu efor sınırlanmaktadır [6]. Dolayısıyla, insan faktörünün öneme haiz olduğu alanlarda kalitenin sağlanması için kalite yönetim sisteminin yanı sıra, proses aşamalarında özel önlemler alınması, maliyetlerin de göz önüne alınarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

### **2.1.2 Tahribatsız muayene yöntemleri ve kalite güvencesi**

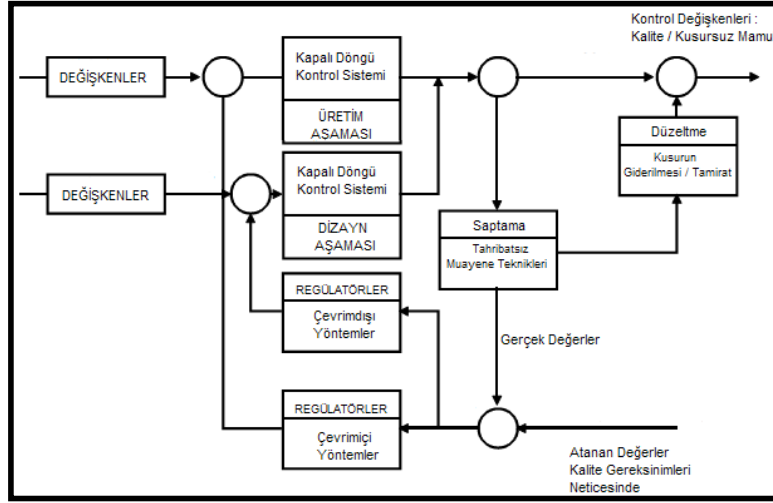
Tahribatsız muayene teknikleri vasıtasıyla ürün hakkında, ürünü tahrip etmeden hızlı ve güvenilir sonuçlar alınması mümkün olmaktadır. Mühendislik uygulamalarında tahribatsız muayene metodları; kalite güvencesinin sağlanmasında, proses tasarım ve proses kontrol noktalarında kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kalite maliyetleri de göz önüne alındığında, her noktada kontrol yapmak ve tüm kusurlu ürünleri ayırmaktan ziyade, optimizasyonun sağlanması önemli olmalıdır.

Bu anlamda, tahribatsız muayene teknikleri, proses tanımlamasında en erken aşamalardan, en son kontrol noktalarına kadar uygulanabilir olması nedeniyle tercih edilmektedirler. Proses planlama aşamasında; hangi aşamada, hangi parça kontrol edilmeli, kritik parçalar nelerdir, komponent testinin gerçekleştirilebilmesi için düzenleme yapılması gerekmekte mi sorularına cevap aranmalıdır. Ön üretim aşamasında, gerçek kusurlara yakın yapay kusurlar yaratılarak, muayene tekniklerinin uygunluğu ya da yapılabilirliği sınanabilir.

Üretim sonrasında ise tahribatsız muayene teknikleri vasıtasıyla kalite güvencesi ve sürekli gelişim sağlanabilir. İlave olarak, insan faktörü etken uygulamalarda, tahribatsız muayene teknikleri hata önleyici mekanizma olarak insan kusurlarının azaltılması / bertaraf edilmesi amacıyla kullanılabilir.

Güvenliğin son derece önemli olduğu uygulamalarda, örneğin; havacılık sanayi, otomotiv sanayi vb. tahribatsız muayene teknikleri yardımıyla son mamül sonrası kontroller de yapılabilir.

Tahribatsız muayene tekniklerinin birer kalite kontrol yöntemi olmasını, çapraz bağlantılı bir geri besleme döngüsü ile açıklayabiliriz. Her döngünün kontrol edilebilir değişkenleri kalite ve kusur içermeyen üründür.



Şekil 2.3 : Çapraz bağlı geri besleme döngüsü [7].

Dolayısıyla kontrol sistemimiz 7 adet değişkenin etkisindedir.

- ✓ Üretim koşulları
- ✓ İşçilik Kalitesi
- ✓ Malzeme Kalitesi
- ✓ Kullanılan araç gereç
- ✓ Methodoloji
- ✓ Yönetim
- ✓ Parametrelerin kontrolü amacıyla kullandığımız ölçüm teknikleri

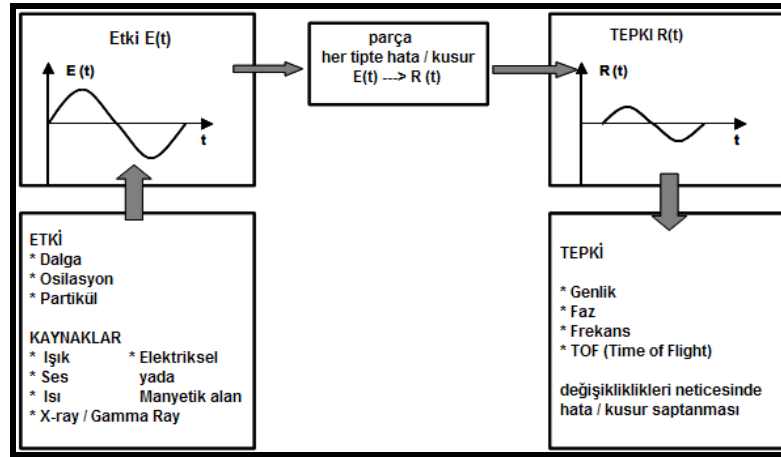
Hataların saptanmasında tahribatsız muayene teknikleri kullanılabilir. Bu yöntemlere bağlı olarak “Gerçek Değerler” elde edilir. Gerçek değerler kalite gereksinimince belirlenmiş olan “Atanan Değerler”e bağlı çeşitli “Regülatörler” vasıtasıyla karşılaştırılır. Bu regülatörler, “Çevrimiçi” ya da “Çevrimdışı” yöntemler olabilir. Çevrimiçi ve çevrimdışı kalite kontrol Taguchi tarafından ortaya atılmıştır [7].

Çevrimiçi kalite kontrol; teşhis ve prosesin ayarlanması, denetim, idare ve kusurlu mamüllerin müşteri teslimat süreçlerini kapsar. Çevrimdışı kalite kontrol üretim ve proses dizayn süreçleri, örneğin; sistem tasarımı, parametrelerin tayini, toleransların belirlenmesi ve takribi kayıp (kusurlu ürün neticesinde karşılaşılabilecek parasal zarar) hesaplarına bağlı olarak yapılan düzenlemelerdir [8]. İstatistiksel kalite kontrol, hata türü ve etkileri analizi bunlara örnek olarak gösterilebilir.

Hata türü ve etkileri analizinin bir konusu, potansiyel kusurun risk katsayısının belirlenmesidir. Bu katsayı, kusurun gerçekleşme olasılığı ile gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkacak sorunun önemine bağlıdır. Dolayısıyla, doğru tekniğin seçilmesi ve bu tekniğin limitlerinin bilinmesi, kalite kontrol anlamında önem taşımaktadır. Bir sonraki adımda, en çok bilinen tahribatsız muayene teknikleri ve uygulama alanları açıklanacaktır.

## 2.2 Endüstriyel Tahribatsız Muayene Teknikleri

En genel ifade ile tahribatsız muayene tekniklerinde muayene parçasına fiziksel etki uygulanır ve bu etkinin neticesinde, gerçekleşen tepki saptanır (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4 : Tahribatsız muayene fonksiyonu [7].

### 2.2.1 Yüzeysel yöntemler

#### 2.2.1.1 Gözle kontrol teknikleri

Gözle kontrol en temel tahribatsız muayene tekniği olarak bilinmektedir. Geçmişte gözle muayene teknikleri subjektif olduğu düşünülür ve kayıt altına alınacak döküman sağlanamazdı.

Sonuçların güvenilirliği; doğrudan iyi eğitilmiş teknisyen, temizlik, parçanın fiziksel koşulları, optik enstrümanın doğruluğu ve yeterli aydınlatma koşullarına bağlıydı. Günümüzde, yine bu hususlara bağlı olunmakla beraber, kullanılan enstrümanlar oldukça detaylı ve yüksek teknoloji kullanır duruma gelmiş ve güvenilirliği artmıştır.

Gözle kontrol tekniğinde denetçi, doğrudan ya da dolaylı yollarla, kontrol edeceği parçaya bakmakta ve çeşitli optik enstrümanlar yardımı ile parçadaki yüzeysel kusurların kabul standartlarına uygunluğunu sınamaktadır.

Günümüzde kullanılan optik enstrümanlar oldukça gelişmiştir. Bu enstrümanlar çeşitli problemler, spektrometreler ve gerçek zamanlı görüntüleme aygıtlarıdır [9].

### **2.2.1.2 Sıvı penetrant yöntemi**

1920'li yıllarda demiryolu endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak o dönemde kullanılan teknikler, hassasiyetin düşük olması neticesinde, manyetik parçacık yönteminin gelişmesiyle kullanılması azalmıştır. 1940'lı yıllarda florasan ve görünür boya yöntemi içine entegre edilmesi ile birlikte ve manyetik parçacık yönteminin sadece ferromanyetik malzemelerde kullanılabilmesi kısıtıyla birlikte daha yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde, farklı tipte penetrant malzemeler, emulsifiyer ve geliştiricilerin daha ileri teknolojik yenilikleri ile birlikte yüzeysel kusurların saptanmasında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [9].

Yöntem olarak renkli ya da florasan sıvı penetrantın yüzey çatlaklarının içine geçmesi ve bir geliştirici yardımı ile kapiler etkiyle birlikte yüzeye çıkarak kusurun görünür hale gelmesine neden olmaktadır. Penetrant malzemeler temizleme işlemine göre suyla yıkanabilir ya da solvent ile temizlenebilir tipte olmakta, benzer şekilde boyanın tipine göre renkli ya da florasan tipte olabilmektedir.

Yöntem bazı kısıtlamalara sahiptir. Örneğin bu yöntem, gözenekli malzemelerde kullanılmamalıdır.

### **2.2.1.3 Manyetik parçacık yöntemi**

Manyetik alan ve küçük demir parçacıkları; mıknatıslanabilir iş parçacıklarının üzerindeki kusurları saptanması amacıyla kullanılmaktadır. Bu proses, çelik ve diğer ferromanyetik malzemelerde tahribatsız muayene tekniği olarak kullanılmaktadır [10].

Bir mıknatıs kuzey ve güney olmak üzere iki kutupludur ve bu mıknatıs eğer 2 parçaya bölünürse her parçacıkta iki kutup oluşacaktır. Bununla birlikte, eğer mıknatıs üzerinde çatlak gibi bir kusur bulunursa bu kısım yine benzer özelliği gösterir ve kutuplanır. Bu kısımdaki manyetik alan, kusurun fiziksel ebadlarıyla, manyetik alanın şiddetiyle ve malzeme karakteristiğiyle değişiklik gösterecektir.

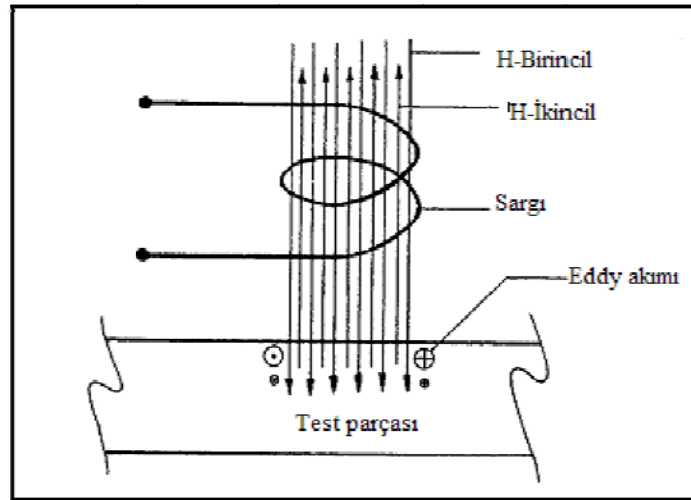


Prensip olarak, manyetik akım çizgileri, direncin en az olduğu yönde hareket etmek isteyecektir. Kusur bölgesi (manyetik kaçak alanı) etrafındaki hava manyetik akım çizgisini için yüksek direnç yaratmaktadır. Bu bölgede bulunan küçük demir parçacıkları manyetik akım çizgisi için daha az dirençli akım bölgesi yaratacaktır. Bu parçacıklar tarafından yaratılan köprüler indikasyon olarak adlandırılmaktadır [10]. Böylece, yüzeyde ya da yüzeye yakın bölgelerde bulunan çatlak, porozite ve benzeri kusurlar saptanmaktadır.

#### 2.2.1.4 Girdap akım yöntemi

Bu yöntemde alternatif akım vasıtasıyla bir manyetik alan yaratılmaktadır. Bu manyetik alan test parçasında girdap akım yaratmaktadır. Test parçasında bulunan herhangi bir süreksizlik bu akımda değişikliklere neden olmaktadır.

Yüzeye yakın yerleştirilen sargı üzerinden alternatif akım geçirmek suretiyle, bir manyetik alan oluşmaktadır. Bu manyetik alan iletken bir malzemeye yaklaştırılırsa, manyetik alan malzemeye geçmekte ve malzeme içinde sürekli ve dairesel eddy akımları yaratmaktadır. Şekil 2.5'te görüldüğü gibi, bu girdap akım ise, ikincil manyetik alana neden olmaktadır. Bu manyetik alan birincil manyetik alanın etkisini azaltmaktadır.



Şekil 2. 5 : Birincil ve ikincil manyetik alan ve girdap akım [9].

Sargının empedansı, eddy akımın artmasına, dolayısıyla ikincil manyetik alanın artışına bağlı olarak azalmaktadır. Malzeme içinde bulunan herhangi bir süreksizlik, girdap akımın ve ikincil manyetik alanın azalmasına neden olarak sargı empedansını arttırmaktadır. Dolayısıyla, bir kusur bölgesinde bir hata saptayıcı vasıtasıyla bu empedans farkı saptanmaktadır ve böylece kusurun yeri belirlenebilmektedir.

## **2.2.2 Hacimsel yöntemler**

### **2.2.2.1 Ultrasonik tahribatsız muayene teknikleri**

Ultrasonik muayene tekniğinin ilk adımı 1929 yılında, S. Y. Sokolov, döküm ve çelik örnek parçaları üzerinde ultrasonik dalgalar göndererek deneyler yapmıştır [9]. 1935 yılında, kendisinin tasarladığı, piezoelektrik transducer ile ultrasonik dalgalar yaratmış ve hataları saptamıştır. Günümüzde, ultrasonik tahribatsız muayene teknikleri 100 kHz – 20 MHz gibi geniş bir çözünürlük aralığına sahip olunması ve piyasada mevcut ekipmanlar ile hataların oldukça kolay şekilde saptanması sayesinde endüstriyel uygulamalarda son derece yaygın yer almaktadır [9].

*Ultrasonik muayene tekniklerinin kullanım alanları :*

- ✓ Çatlaklar
- ✓ Delaminasyonlar
- ✓ Korrozyon
- ✓ Kaynak kusurlarının saptanması

### **2.2.2.2 Termal / kızılötesi tahribatsız muayene teknikleri**

Termografi, cisimlerin 0 °K üstündeki her sıcaklık için sürekli ve farklı frekans spektrumlarında elektromanyetik dalga yayması prensibine göre çalışmaktadır. Kızılötesi kameralar çeşitli dalgaboylarındaki elektromanyetik ışınları saptamaktadır.

Ölçülebilen radyasyon miktarı, cisim sıcaklığı ile yüzeyin emisyon katsayısına bağlıdır. Eğer yüzey boyunca bu katsayı sabit ise, radyasyon tamamiyle sıcaklık gradyanına bağlı olmaktadır. Doğrudan, ısı akışı, sıcaklık değişimi ve gizli yapılar için hassas bir indikatördür. Kontrol; uzaktan, yüzeye dokunmaksızın gerçekleştirildiği için tahribatsız muayene teknikleri içinde yer almaktadır. Böylece, özellikle ısı işlemlerin gerçekleştirildiği proses kontrol sistemlerinde, termografi kullanılmaktadır.

Kızılötesi kameralar termal dalga saptamalarında da kullanılabilir. Termal dalgalarla, uzun zamandan beri çatlaklar, delaminasyonlar bulunabilmektedir. Lock-in termografi yönteminde, düşük frekanslı termal dalga gönderilerek hacimsel kusurlar saptanmaktadır [10].

### **2.2.2.3 X-ışını ve gama ışını ile tahribatsız muayene teknikleri**

Günümüzde endüstriyel alanda çok geniş kullanım alanına sahip olan x-ışını teknolojisi Aralık 1885'te, yüksek voltajlı vakum tüp deneyleri esnasında William Roentgen tarafından bulunmuştur.

Henry Becquerel, Pierre ve Marrie Curie gibi Fransız bilim adamları radyasyon konusunda çeşitli çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaların neticesinde uranyum ve radyum endüstriyel uygulama alanları içinde yer almaya başlamıştır.

2. Dünya Savaşı sonrası ise kobalt ve iridyum daha güçlü ve güvenilir radyasyon kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Radyografik muayene yöntemleri hem endüstriyel uygulamalarda hem de sağlık, güvenlik gibi günlük uygulama alanlarıyla karşımıza sıkça çıkmaktadır.

Gerek x-ışını, gerekse gama ışını katı hacim içinden geçerken herhangi bir kırılmaya maruz kalmamaktadır, ancak radyasyon şiddeti azalmaktadır. Bu azalma gama ışını radyasyon dalgalarının metal hacim içinde süreksizlikler de dahil olmak üzere geçişi ve bir gümüş-bromür film üzerine düşürülmesi neticesinde, kontrast farkı oluşturmakta ve buna bağlı olarak kusurların saptanmasını sağlamaktadır [11].

Polimer malzemelerin atom numaraları metallere nazaran daha düşük olması neticesinde radyasyon absorpsiyonu da daha düşük olmaktadır. Dolayısıyla bu malzemelerde kontrast daha düşük olmakta ve kusurların saptanması zorlaşmaktadır.

Radyografi uygulama alanları ;

- ✓ Klasik radyografi teknikleri
- ✓ Borularda radyografi uygulamaları
- ✓ Kaynak Kusurları
- ✓ İç Yüzey Kontrolleri
- ✓ Mikro Çatlaklar

## 2.2.3 Birleşik yöntemler

### 2.2.3.1 Kaçak testleri

Kaçak testleri, sızdırmazlığı sağlanmış olan elektronik parçaların, vanaların, boruların ve yüksek basınçlı ince tüp borular ile kaynak contalarının kaçaklarının kontrolünü sağlamaktadır. Bu testler ;

- ✓ Kapalı sistem içine herhangi bir kirlilik girmesinin engellenmesi. Bunlara örnek olarak; elektronik parçalar, sızdırmazlık sağlanmış röleler, entegre devreler sayılabilir.
- ✓ Kapalı sistem içinden akışkan kaybının önlenmesi. Örnek olarak; hidrolik ya da soğutucu akışkan sistemlerini, petro-kimya endüstrisinde vana, basınçlı kap ve borular sayılabilir.
- ✓ İçerisi boşaltılmış sistemlerin kısa zamanda vakum özelliğinin kaybolmasını engellenmesi. Örneğin TV tüpleri, vakum paketler vb.

şeklinde gerçekleşmektedir.

Kaçak birimi atm cc/s olarak belirlenmektedir. İnsan kulağı  $10^{-1}$  atm cc/s kaçığı duyabilmektedir.  $10^{-4}$  atm cc/s kaçık, köpük testi ile saptanabilmektedir.

### 2.2.3.2 Ultrasonik kaçık saptayıcılar

Ultrasonik kaçık testi içten yanmalı motor vanalarında, pistonlarda, yanma gazı hatlarında, havalı fren sistemlerinde, temiz oda kanallarında standart test yöntemi olarak kullanılmaktadır.

Kaçığın doğasına bağlı olarak, ultrasonik ses oluşmaktadır. Böylece ultrasonik probalar sayesinde  $10^{-3}$  atm cc/s hassasiyetle kaçığı saptanabilmektedir.

### 2.2.3.3 Köpük testi

Oldukça basit ve etkin kaçık saptama yöntemidir. Özellikle basınçlı enstrüman ya da proses hava, oksijen ya da nitrojen kaçıklarının saptanmasında kullanılmalıdır. Ancak bu test ölçümsel olmaktan ziyade, kaçığın olup olmadığının kontrol edildiği nitel bir yöntemdir.  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  atm cc/s hassasiyet aralığında kaçık saptayabilmektedir.

#### 2.2.3.4 Sıvı penetrant kaçak testi

Boya ya da florasans sıvı penetrant, kaçak tahmin edilen bölgede yüksek basınçlı olan kısma konulmak suretiyle kaçak testi yapılabilir. Penetrant malzeme fiziksel özelliklerinin yardımıyla kaçak içinden yüzeye çıkarak görünürlük sağlanmaktadır. Ancak, bu süre genelde bir saat ya da daha fazla sürmektedir.

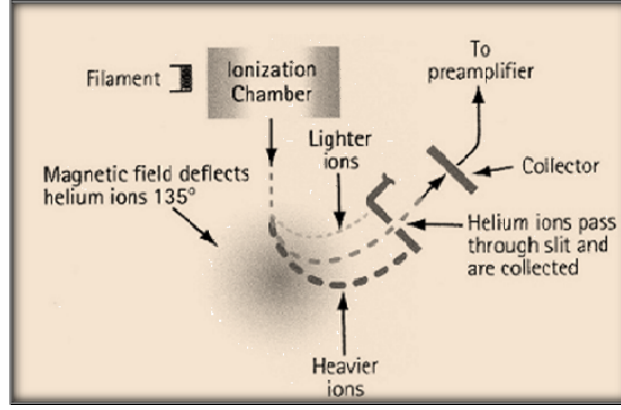
#### 2.2.3.5 Helyum kütle spektrometre kaçak saptanması (MSLD)

En etkin ve hassas kaçak saptama yöntemi olarak, endüstriyel ve laboratuvar uygulamalarında kullanılmaktadır. 1940'lı yıllarda nükleer ekipmanların kaçak testlerinde kullanılmaya başlanan yöntem, diğer endüstriyel uygulamalarda da başarı ile kullanılmaktadır.

Helyum gazı; asal, toksik olmayan ve çığ nokta sıcaklığı düşük bir gazdır. Küçük ve hafif moleküllerden oluşması nedeniyle helyum gazı, kaçaktan kolaylıkla geçmektedir. Atmosferde 5 ppm gibi oldukça az mertebelerde bulunması nedeniyle hata riskini de azaltmaktadır.  $10^{-11}$  atm cc/s hassasiyetle kaçığı saptayabilmektedir. Bu miktar başka bir ifadeyle, 1 santimetreküp akışkanın 30 yılda kaybedilmesi anlamına gelmektedir.

Helyum kütle spektrometre kaçak saptama ekipmanı 3 kısımdan oluşur. Birinci kısım *spektrometre tüpü* olarak adlandırılır ve iyonizasyon kaynağı, manyetik sektör ve saptama ekipmanından oluşmaktadır.

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, iyonizasyon kaynağında, helyum gazı iyonizasyon odasında sıcak filament kaynaktan geçirilerek enerji kazanır ve iyonlaşır [10]. Ardından manyetik alandan geçirilerek hidrojen ve tiryumdan ayrılarak önceden belirlenmiş (genelde 135 °) açıyla bir toplayıcı dedektörden geçer ve miktarı ölçülür.



**Şekil 2. 6 :** Temel spektrometre tüp operasyonu.

Vakum sistemlerinde spektrometre düzeneği direkt akışlı (konvansiyonel tip), ters akışlı, ara kademeli ve çok akışlı olabilir.

### 2.2.3.6 Akustik emisyon testi

Akustik emisyon testi mekanik olarak sürekli yüke maruz olan malzemelerde meydana gelen süreksizliğin kaynağını ve iç gerilmeye maruz kalmaya devam eden parçaya ait olan bu süreksizlik ile ilgili bilgi sağlanması amacıyla kullanılır.

Diğer tahribatsız muayene tekniklerinden farkı, diğer yöntemlerde komponent ya da test parçası üzerinde dışarıdan bir etki yapılarak malzemenin tepkisi çeşitli yöntemlerle ölçülürken, AET yönteminde ise, malzemede yük altında tetiklenen enerjiye bağlı olarak saptanır. Dolayısıyla, bu yöntem pasif tahribatsız muayene yöntemidir.

Akustik emisyon testi 1950'li yıllarda ortaya çıkmıştır. 1960'lı yıllarda ise gelişen teknoloji ile birlikte, çatlak oluşumu neticesinde ortaya çıkan akustik emisyonun bilimsel anlamda incelenmeye başlanması ile gelişme göstermiştir.

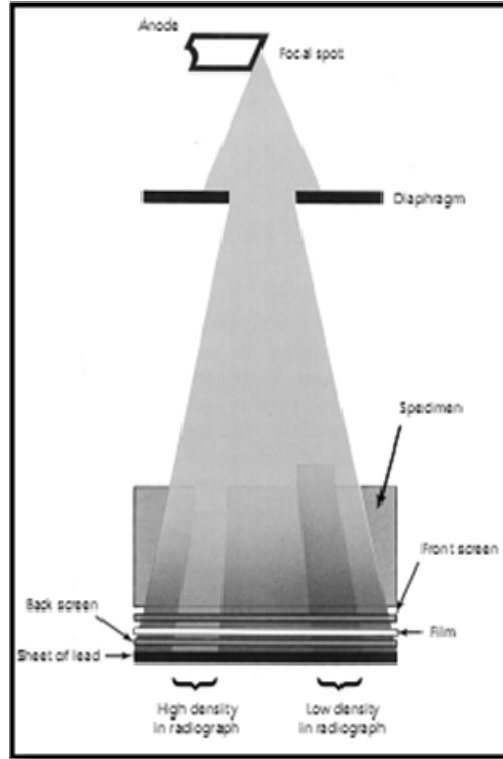
Bu yöntem 20 kHz ile 1 Mhz frekans aralığında ultrasonik ses sondaları kullanılarak malzemenin ve yapısal kusurun saptanması prensibine dayanmaktadır. Akustik emisyon frekansı 150 – 300 kHz aralığında ses dalgası üretmektedir ki bu aralık duyulabilir bandın dışındadır.

Bu yöntem ile; iç gerilmeler neticesinde ortaya çıkan çatlaklar, malzeme yorulması, sürünme, korozyon vb. saptanabilmektedir. Bu tip kusurların oluşması, malzemenin plastik deformasyon bölgesinde yüke maruz kalması neticesinde ortaya çıkmaktadır.

Yüke maruz ve plastik deformasyon geçiren malzeme, malzemedan dışarıya doğru titreşim yaratmaktadır. Bu titreşim; piezoelektrik etki ile, bir ultrasonik sensör tarafından saptanmaktadır [10].

### 2.3 Radyografik İmaj Oluşumu, Filmler ve Banyolama

*Radyograf* bir nesneden film üzerine nüfuz eden radyasyonun bir fotografik kayıt işlemidir. Bir film; x-ışını, gama ışını ( $\gamma$ - ışını) yada ışığa maruz kaldığı zaman *gizli imaj (latent image)* denilen ve film emülsiyonu üzerinde gözle görünmeyen değişiklikler meydana gelmektedir. Bu film bölgesi, *geliştirici çözeltisi* içine daldırılması durumunda daha koyu görünmektedir. Bu koyuluk, filmin ışına maruz kalma miktarına bağlı olarak artmaktadır. Şekil 2.7'de x-ışını ile endüstriyel radyograf yapılması görülmektedir.



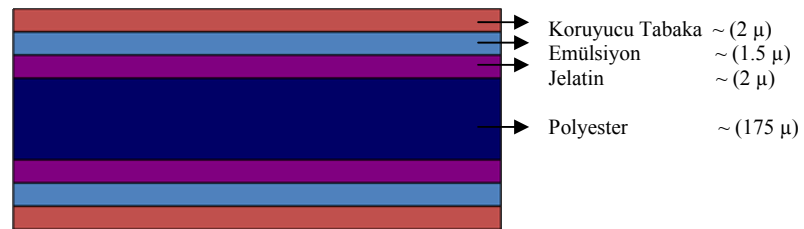
Şekil 2. 7 : X-ışını ile endüstriyel radyograf yapılması [11].

Dolayısıyla koyu bir nokta, hacim içindeki boşluğun ya da süreksizliğin pozisyonuna ve şekline bağlı olarak oluşmaktadır. Böylece hacimsel hatanın lokasyonu ve büyüklüğü belirlenebilmektedir.

Endüstriyel radyografi oldukça yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Endüstriyel radyografi ile hata tespiti; mikroskopik elektronik parçalar, döküm malzemeler, kaynak dikişleri, organik yapılar, katı, sıvı hatta gazlarda dahil kullanılmaktadır.

### 2.3.1 Radrografi filmleri

Radyografik muayenede kullanılan modern filmler, gümüş halojen bileşiği içeren emülsiyon ile şeffaf ve saydam bir yüzeyden ibarettir (Şekil 2.8). Bu yüzey malzemesi filme esneklik ve direnç sağlamaktadır. Polyester yüzeyin her iki tarafı, üzerine sırasıyla 2 mikron jelatin ve yaklaşık 1.5 mikron emülsiyon ve 2 mikron koruyucu tabaka ile kaplanmaktadır [12].

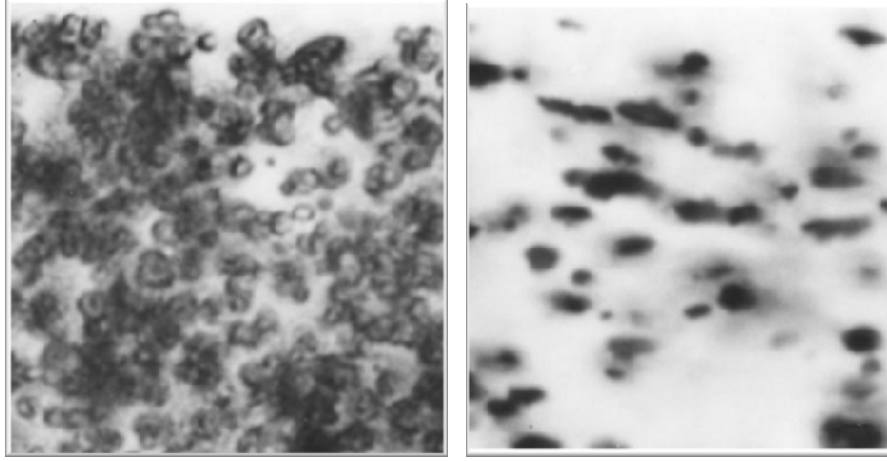


Şekil 2. 8 : Radyografi film yapısı.

Her iki yüzeyde emülsiyon kullanılmasıyla birlikte radyasyona duyarlı gümüş bileşiği miktarı iki kat artmakta, dolayısıyla film hızı da artmaktadır. Bunun yanında, geliştirici ile temas yüzeyi ve bununla birlikte film banyo süresi de makul seviyelerde kalmaktadır. Ancak endüstriyel uygulamalarda, daha hassas detaylı görüntü elde etmek amacıyla tek taraflı emülsiyon bulunan film tipleri de mevcuttur [13].

Emülsiyon, gümüş bromid taneleri içermektedir ve ışığa oldukça duyarlıdır. Bu nedenle x-ışını ya da gama ışınına maruz kalması neticesinde tanelerin fiziksel yapısında değişiklikler meydana gelmektedir. Ancak bu fiziksel değişikliklerin algılanabilmesi için film bazı kimyasal süreçlerden geçirilerek (banyolama) bu grainler siyah, metalik gümüşe dönüşmektedir.





**Şekil 2. 9 :** Geliştirme süreci gerçekleşmemiş (a) ve gerçekleşmiş (b) gümüş bromid tanecik yapıları [11].

### 2.3.2 Film tipleri ve radyografik imaj kalitesi

Radyografik filmler imaj kalite performanslarına göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma radyografik film ve film sisteminin markadan bağımsız olarak tanımlanmasına olanak kılmaktadır. Bu sınıflandırma, yoğunluk 2.0 için minimum gradyen, yoğunluk 4.0 için maksimum gradyen, maksimum tanecik yapısı ya da minimum film gradyeninin tanecik miktarına oranı şeklinde tanımlanabilmektedir [13]. Endüstriyel filmler ve film prosesi, uluslararası standartlar ile tanımlanmaktadır. EN 584-1 [14], ASTM E1815 – 08 [15], ISO 11699-1 [16] gibi standartlar değişik endüstriyel film tiplerini tanımlamakta ve film performanslarına ve ölçülebilir niteliklerine göre sınıflandırmaktadır.

*Radyografik kontrast*, parçadan geçen ışının film üzerinde farklı yoğunluklarda ortaya çıkmasıdır. Dolayısıyla kontrast miktarının yüksek olması detayın daha belirgin olmasına neden olmaktadır. Bu durum görüntünün detayı imajın ve imajın arka planındaki kontrast farkına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

*Subject kontrast*, parçanın iki farklı bölgesindeki radyasyon şiddet oranıdır. Bu durum test parçacığının kalınlık değişimine, radyasyon şiddetine ve saçılan radyasyona bağlıdır. Böylece test parçasının farklı bölgelerinde farklı kontrastlar oluşmaktadır

*Film kontrast*, filmin karakteristik özelliğidir ve film karakteristik eğrisinin eğimi olarak ifade edilir. *Fotografik yoğunluk* filmin koyuluğunun niteliksel ifadesidir ve optik densite ya da sensitometrik densite olarak da adlandırılabilir.

$$D_0 = \log \frac{I_0}{I_t} \quad (2.19)$$

Burada;

$I_0$  film üzerine düşen ışık şiddetini,  $I_t$  ise filmten geçen ışık şiddetini ifade etmektedir. Çizelge 2.1'de geçme oranına bağlı olarak densite değişimi görülmektedir.

**Çizelge 2. 1** : Geçme oranına bağlı olarak densite değişimi [11].

Geçme Oranı $I_t / I_0$	Geçme Yüzdesi	Densite $\log I_t / I_0$
1.00	% 100	0
0.50	% 50	0.3
0.25	% 25	0.6
0.10	% 10	1
0.01	% 1	2
0.001	% 0.1	3

ASTM E 1742 [17] 'ye göre radyografik yoğunluğu 2.0 olan bir radyografik filmten geçen ışık 2-200 Lüks arasında olmalıdır. Filmler belirli geliştirme süresine ve radyografik densite ve kontrast ve sinyal-gürültü parametrelerine göre tanımlanmaktadır. Çizelge 2.2 'de belirli developer kimyasal malzemesi ve süresine bağlı olarak çeşitli tip filmlerin kontrast değişimleri görülmektedir.

**Çizelge 2. 2 :** Uluslararası normlarda endüstriyel film sınıfları.  
\*G135/G335 Geliştirici, 100 sn daldırma süresi, 28 C

Film Tipi	EN 584-1	ASTM 1815	ISO 11699-1	Kontrast	Kontrast
				Densite=2	Densite=4
Structurix D2	C1	Özel	C1	5.5	9.9
Structurix D3	C2	I	C2	5.4	9.7
Structurix D4	C3	I	C3	4.7	9.0
Structurix D5	C4	I	C4	4.6	8.0
Structurix D7	C5	II	C5	4.5	7.1
Structurix D8	C6	III	C6	4.4	7.0

### 2.3.3 Ekranlar ve kasetler

X-ışını ya da gama ışınının film üzerine gelmesi neticesinde, %1 den daha az miktarda enerji film tarafından absorbe edilmektedir. Radyografik imaj, doğası gereği absorbe edilen enerjiden sağlandığı göz önüne alındığında primer radyasyondan gelen bu enerjinin fotografik amaçla kullanılması oldukça önemlidir.

Ancak bu işlemin teknik prosedürü zorlaştırmadan gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ekranlar işte bu amaca hizmet etmektedir. Endüstriyel uygulamalarda 3 tip ekran kullanılmaktadır.

- ✓ Kurşun ekranlar
- ✓ Florasan ekranlar
- ✓ Florometalik (metal fosfor) ekranlar

Kurşun ekranlar, 150 kV ile 2 MeV radyasyon enerjisi aralığında kullanılmaktadır. Filmin her iki tarafına temas ederek, nüfuziyet zamanının azaltılması, radyografik görüntü kalitesinin artırılması ve saçılan radyasyonun azaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Filmler kasetlerin içinde muhafaza edilerek ışığa maruz kalması engellenmektedir. Söz konusu kaset yapısı Şekil 2.10'da görülmektedir [11,19].



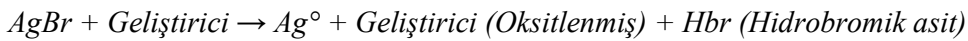
Şekil 2. 10 : Kaset yapısı.

### 2.3.4 Film banyolama

Film üzerindeki gümüş halid emisyonu, radyografik ışınım neticesinde nüfuziyete maruz kalan ve kalmayan olmak üzere iki tip tane yapısı içerir. Bunlar bölüm 2.3 te açıklanan gizli imaj olarak adlandırılır. Bu imajın görünür imaj haline getirilmesi için banyolama işlemi gerçekleştirilir ve ardıl birkaç aşama neticesinde ulaşılır.

*Geliştirme banyosu* işlemi gizli imajda bulunan gümüş iyonlarının görünür siyah metalik gümüşe çeviren kimyasal bir reaksiyondur. Geliştirici olarak endüstriyel uygulamalarda MQ ve PQ olmak üzere iki tip kimyasal kullanılır. Kimyasal malzeme içinde indirgeyici ve solvent bulunur ve indirgeyici malzemenin görevi gerekli elektron transferinin gerçekleştirilmesi ile gerekli kimyasal süreci sağlamaktır. Solvent malzeme olarak genellikle şebeke suyu kullanılmaktadır ve geliştirici çözeltisinin %80'ini içermektedir.

Reaksiyon aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir.



(Koşullar, Sıcaklık, Zaman)

Geliştirme işlemi, geliştiricinin pH seviyesi (9.5 – 11.5), sıcaklık ve reaksiyon süresi gibi etkenlere bağlı olarak gerçekleştirilir. Geliştirme süresinin artması durumunda film kontrastı düşmektedir. Bu süre film üreticilerince belirtilmekle birlikte  $20 \pm 2^{\circ} C$  için yaklaşık olarak 5 dakikadır.

*Durdurma banyosu*, %2-3 su ile asetik veya sitrik asit çözelti yardımıyla geliştirme sürecinin durdurulması işlemidir. Genellikle 30 sn ile 1 dakika arasında tamamlanır.

*Tesbit banyosu*, gümüş tuzlarının film üzerinden uzaklaştırılması amacıyla gerçekleştirilmektedir ve pH oranı 4-4.5 civarında asidik ortamda gerçekleştirilir. Sodyum thiofosfat (Hypo) ya da amonyum fosfat tuzları bu amaçla kullanılır.

Ayrıca, prosesi hızlandırmak için asetik asit - *aktivatör* kullanılır ve pH dengesini dengeleyerek süreci hızlandırır ve metalik gümüşü korur.

Fikser içinde ayrıca *Sertleştirici* olarak genellikle alüminyum klorid bulunmaktadır. Malzemenin aşınma direncini arttırmak, yüzeyde su absorpsiyonunu azaltmak amacıyla kullanılır.

*Yıkama banyosu*; en son aşama olup, film su ile yıkanmakta ve film üzerindeki tuz çözeltileri ve diğer kimyasal artık malzemeleri uzaklaştırılmaktadır.

Banyo işlemlerinde dikkat edilecek husus banyoların sıcaklığıdır. 18-20 °C en uygun sıcaklık koşuldur. Böylece yukarıda bahsedilen reaksiyon koşulları maksimum etkinlikte gerçekleşir [12].

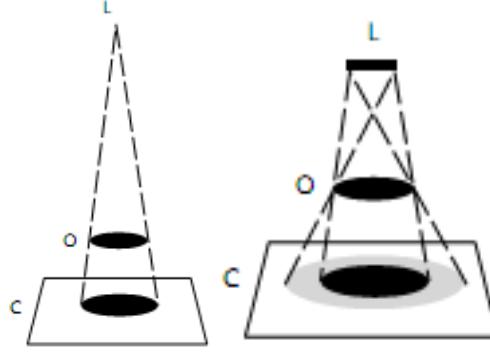
#### **2.4 Radyografide Geometrik Koşullar ve Görüntü Kalitesine Etkileri**

X-ışını ve gama ışını dalgaları ile görüntü oluşturma temel ışık kanunlarına uymakta ve gölge oluşumu bu kanunlar çerçevesinde açıklanabilmektedir. Bununla birlikte bu benzeşim, bu ışınlar için malzemelerin saydam denilebilecek şekilde olması nedeniyle malzemenin tipine bağlı olarak az ya da çok etkilenmekte, bu vesileyle saçılan (scattering) radyasyon ilave ve göz önünde bulundurulması gereken bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şekil 2.11'de herhangi bir  $D_0$  çaplı objeye L noktasal kaynağından gelen ışının bir ekran üzerinde  $D_1$  çaplı bir gölge oluşturduğunu düşünelim. Bu gölge  $S_0$  kaynaktan objeye,  $S_1$  ise kaynaktan ekrana olan mesafe olmak üzere geometrik olarak;

$$\frac{S_0}{S_1} = \frac{D_0}{D_1} \quad (2. 20)$$

şeklinde ifade edilebilir. Şekil 2.11b'de görüldüğü gibi, noktasal olmayan bir kaynaktan elde edilen imaj ise kusursuz şekilde keskin olmayacaktır ve birbiri üzerine binmiş şekilde iki gölge oluşacaktır.



**Şekil 2.11** : Noktasal (a) ve hacimsel (b) kaynaktan obje üzerine dik gelen ışın ve gölge oluşumu.

Objeye içinde bir kusurun (örneğin bir çatlak) kaynaktan daha küçük olması durumunda ise gölge kusurdan daha küçük görünecektir.

Bu anlamda, iyi bir görüntünün elde edilebilmesi için ;

- ✓ Radyasyon kaynağının çapı mümkün olduğunca küçük
- ✓ Kaynağın objeden uzaklığı pratik olarak olabildiğince uzak
- ✓ Radyasyon kaynağı test bölgesine dik
- ✓ İmajın oluşturulacağı ekranın test parçasına mümkün olduğunca yakın
- ✓ Ekran (ya da film) test parçasına paralel

olması sağlanmalıdır.

#### 2.4.1.1 Geometrik kesinsizlik (yarı gölge) ve duyarlılık

*Geometrik kesinsizlik*, parçanın sınırlarında meydana gelen bulanık görünümdür (Şekil 2.12). Hesaplanabilir bir değer olması ve görüntü kalitesini tamamiyle etkilemesi nedeniyle fotoradyografik hesaplamalarda öncelikli olarak göz önüne alınarak parametreler belirlenmektedir. [12]

$$U_g = F \cdot \frac{d}{D_0} \quad (2.21)$$

Burada ;

F : Radyasyon kaynağının büyüklüğü

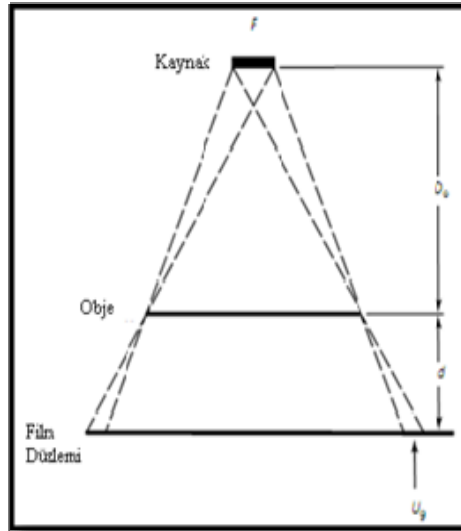
d : Objeye-film mesafesi

D<sub>0</sub>: Kaynak-obje mesafesi

Pratik uygulamalarda minimum 0.5 mm geometrik kesinsizlik istenmektedir [18].

Hesaplamalarda maksimum kesinsizlik ile ilgilendiğimiz için d mesafesi için test parçasının radyasyon kaynağı tarafından filme kadar olan mesafe göze alınır.

Duyarlılık (Sensitivite), en küçük detayın imaj üzerinde görünebilmesidir. Radyografi esnasında test parçası üzerine konulan penetrametreler aracılığıyla kontrol edilir. Basınçlı kaplarda malzeme et kalınlığının %2'si kadar süreksizlik filmde görünmelidir.



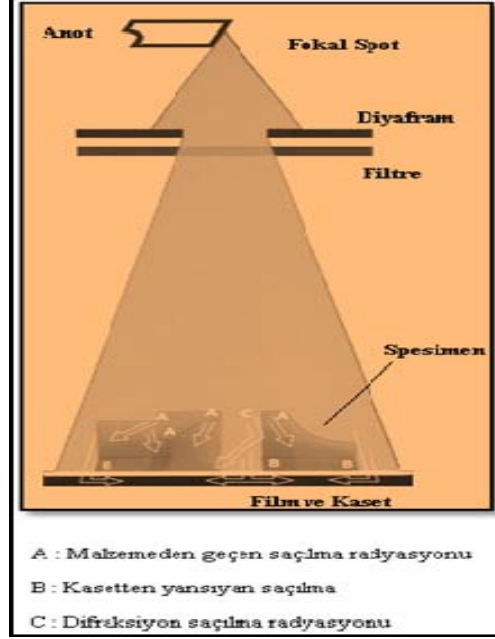
Şekil 2. 12 : Geometrik kesinsizlik.

#### 2.4.1.2 Saçılan radyasyonun görüntü kalitesine etkileri

Bir X-ışını ya da gama ışınının bir nesneye çarpması neticesinde bir miktar radyasyon nesne içinden geçer, bir kısmı malzeme içinde absorbe edilir ve bir kısmı ise malzemeden saçılır. Saçılan radyasyon ışınının dalga boyu daha büyük, daha zayıf ve daha az penetrasyon kabiliyetine sahiptir [18,19].

Doğrudan radyasyon gelen her eleman (parça, duvar, yer, kaset vb.) birer saçılan radyasyon kaynağı olmaktadır. Bu radyasyonun kontrol edilememesi durumunda tüm imajın ya da bir kısmının kontrastı azalacaktır ya da başka bir deyişle flu görüntü oluşacaktır [19].

Genel kural olarak, en büyük saçılan radyasyon kaynağı test parçasının kendisidir. Bununla birlikte, filmin sınırlarının dışında kalan kaset yüzeyleri de direk radyasyona maruz kaldığı için saçılan radyasyon kaynağı olmaktadır [19]. Ayrıca yerler ve duvarlar da bu tip kaynaklardır ve geri saçılım radyasyonu olarak adlandırılır. Şekil 2.13’de geri saçılım tipleri görülmektedir.



**Şekil 2. 13 :** Geri saçılım tipleri.

Saçılan radyasyonun tamamıyla engellenmesi mümkün değildir ancak bazı ilave tedbirler ile azaltılabilir. Endüstriyel uygulamalarda en fazla karşılaşılan ekipman kurşun plakalardır. Ucuz olması ve uygulanabilirliği nedeniyle tercih edilmektedir. Kaset içinde ve filmin arkasında bulunan kurşun plaka, geri saçılım radyasyonunu azaltmaktadır [19].

Kaset içinde tek taraflı ya da iki taraflı kurşun plakalar bulunmaktadır, radyasyon kaynağı olarak 200 kV üstünde x-ışını ya da gama ışını kullanılması durumunda iki taraflı plakalı kasetler kullanılması gerekmektedir. Bunun dışında x-ışını diaframları, maskeler, filtreler ve grid diaframlar da kullanılmaktadır.

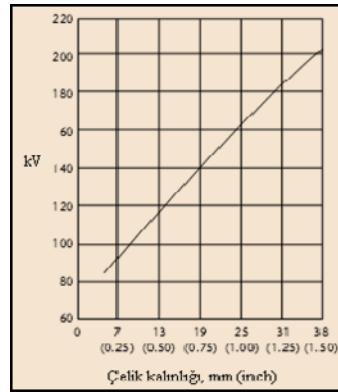


### 2.4.1.3 Radyografide poz tablosu hazırlama

Poz tabloları; malzemenin kalınlığı, kilovoltaj ve poz süresi ile ilgili ilişkiyi gösteren tablolardır. Bu tablolar, üniform kalınlığa sahip plakalar için uygundur ve daha karmaşık yapılara ve kalınlıklara sahip malzemeler için (Örn. döküm) sadece genel bilgi vermektedir. Genellikle x-ışını üreticileri tarafından hazırlanan bu tablolar için farklı ekipmanlar için kullanılması durumunda gerekli korelasyonların kullanılması gerekmektedir.

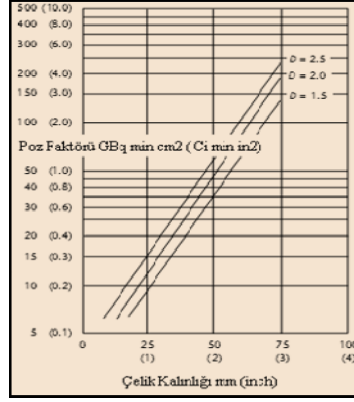
Yöntem olarak, eşit kalınlıklarda ancak farklı uzunluklarda plaka yığınları kullanılarak seri radyografi gerçekleştirilebilir. [1,11] Buna göre bu yığın plaka ile radyografi çekimi; çeşitli pozlama sürelerinde ve çeşitli kilovolt değerlerinde gerçekleştirilebilir. Şekil 2.14'de çelik kalınlığına bağlı olarak x-ışını pozlama tablosu görülmektedir.

Ardından belirli yoğunluk değerine karşılık gelen miliamper dakika, kilovoltaj ve kalınlık belirlenir ve tablo haline getirilir. Ara değerler ise lineer interpolasyon ile belirlenebilir. Başka bir teknikte ise, yine belirli yoğunluk değerine ve kalınlığa göre, filmin karakteristik eğrisi yardımıyla miliamper dakika ve kilovolt çizilebilir.



Şekil 2. 14 : X-ışını pozlama tablosu.

*Gama ışını pozlama tablosu*, x-ışını ile benzerlik göstermekle birlikte kaynağın enerjisinin sabit olması nedeniyle değişken faktörler içermemektedir. Dolayısıyla, her bir tip film için relatif poz ve yoğunluğa bağlı tek bir çizgi oluşmaktadır [11]. Şekil 2.15'de gamma ışını pozlama tablosu görülmektedir.



Şekil 2. 15 : Gama ışını pozlama tablosu.

Gama ışını pozlama süresinin hesaplanması (2.4) formül ile gerçekleştirilmektedir.

$$E = \frac{FF \cdot 2 \frac{T_w}{T_y} \cdot (d + D_0)^2 \cdot 60}{I \cdot RHM \cdot 100^2} \quad (2. 22)$$

Burada;

E : Poz süresi [sn]

FF: Film Faktörü

$T_w$  : Malzeme Et Kalınlığı

$T_y$  : Malzeme Yarı Kalınlığı (Çizelge 1.2)

d : Objje-film mesafesi

$D_0$ : Kaynak-objje mesafesi

I : Radyasyon Şiddeti [Ci]

RHM : Doz Hızı (Çizelge 1.1)

temsil etmektedir [38].

## 2.5 Elektromanyetik Radyasyon Kaynağı Ekipmanları

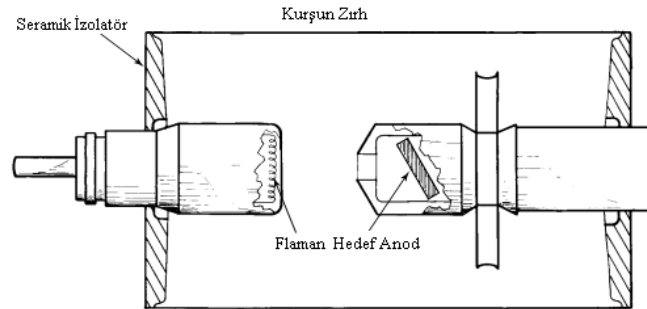
### 2.5.1 X-ışını üreteçleri

Konvansiyonel x-ışını üreteçleri x-ışını tûpünü ihtiva eden kafa, gerilim kaynağı ve kontrol kabini olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır.

### 2.5.2 X-ışını tûpleri

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan modern x-ışını tûpleri *Bremsstrahlung* tipinde ışınlar üretmektedir. Elektronlar bir flamanın ısıtılarak ve gerilim uygulanarak hızlandırılması neticesinde ağır metal bir hedef olan anoda çarptırılır ve bunun neticesinde kinetik enerjisini kaybederek x-ışını elde edilir.

Şekil 2.16'da görüldüğü gibi, vakum tûp içine yerleştirilmiş anod, flamanın bulunduğu katod tûp, ve bu düzeneğin korunduğu seramik izolator ve metal zırh mevcuttur. Flamanın ısıtılması için akım verilerek iyonizasyon sağlanır. Ortamın hava ile teması engellenerek elektronların enerji kaybetmeleri engellenmektedir. [1,11,38]



Şekil 2. 16 : Tipik x-ışını tûpü.

Vakum ortamını korumak amacıyla seramik izolator ve metal zırh ya da cam kullanılır. Bu yapıya *zarf* adı verilmektedir. Her ne kadar cam tûpler halen endüstride kullanılmaktaysa da termal ve mekanik şoklara direnç ve daha uzun kullanım amacıyla metal-seramik zarflar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu düzende kurşun silindir her iki tarafında aluminyum oksit içeren seramik kapak ile kapatılmıştır ve *pencere* adı verilen bölgeden x-ışını çıkışı sağlanmakta, diğer bölgelerde ise elektromanyetik radyasyonu absorbe edilmektedir.

### 2.5.2.1 Katot

Katot termal enerji sağlayarak elektron iyonizasyonunu sağlamaktadır. Elektrik enerjisi olarak bir transformer yardımıyla 50 – 60 Hz frekans aralığında alternatif akım, bazı tiplerinde ise sabit akım verilmektedir. Amperaj aralığı 1 ile 10 A arasındadır.

*Tüp akımı*, yani elektronlar vasıtasıyla katotdan anoda doğru olan akım, 300  $\mu$ A ile x-ışını radyografisinde 20 mA aralığındadır. Oluşan yüksek ısı nedeniyle katotun erime ısısının yüksek olması istendiğinden genellikle tungsten malzeme kullanılmaktadır.

Bölüm 2.4.1 de belirtilen geometrik kesinsizlik F ve d ile doğru,  $D_0$  ile ters orantılıdır. X-ışını göz önüne alındığında F *odak noktası (focal spot)* olmaktadır. Böylece kesinsizliğin azaltılması için F, dolayısıyla flaman küçültülmelidir. Ancak bu durumda flamanın ömrü azalmaktadır.

Başka bir yöntem ise *çizgisel odaklama* olarak adlandırılır ve anod katoda belirli bir açıyla bakarak, F odak noktası küçültülür. Pratikte yaklaşık 21 derecelik açı sağlanmakta ve bu ışınlar haricindeki diğer ışınlar filtelenmektedir. Böylece 1.0 ile 3.0 mm arasında odak yaratılabilmektedir.

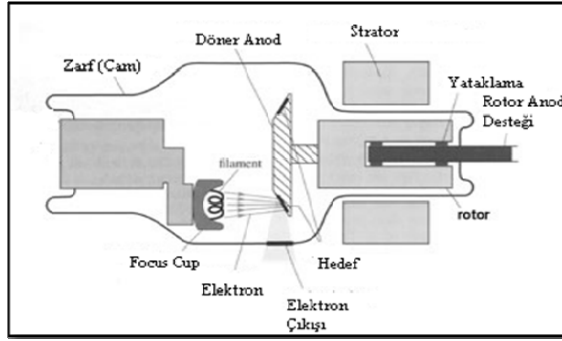
Kullanılan alternatif akım *ekran etkisi* denilen x-ışını içinde düşük enerjili elektronlara neden olabilmektedir. Bunun engellenmesi için düşük enerjili elektronlar filtelenmektedir. Şekil 3.2’de görülen filamanın ön kısmında bulunan *odaklayıcı kupa (focus cup)* bu görevi görmektedir.

### 2.5.2.2 Anot

Anot yüksek enerjili elektronların çarptığı kısım olup, bu süreç esnasında yüksek enerji oluşmaktadır. Bu ısının kontrollü şekilde uzaklaştırılmaması neticesinde, anot aşınabilir. Dolayısıyla ısı transferinin arttırılması amacıyla, ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemeler kullanılmaktadır. Bu nedenle genellikle anot olarak bakır kullanılır. Bunun yanında, *hedef* malzemesi olarak genellikle tungsten tercih edilir ve anot içine gömülür. [11]

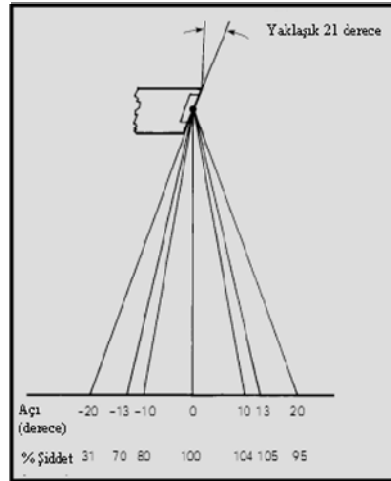
Anot kondüksiyonla ısı transferi sağlanması amacıyla vakum tüpün dışına çıkarılır ve tüp dışındaki kısım ısı transferini yüzeyini arttırmak için eşanjör şekli verilir. Bu tip konstrüksiyonlar genellikle düşük enerji seviyeli x-ışını cihazlarında tercih edilmektedir. [11]

Oluşan lokalize ısının etkilerinin minimize edilmesi için geliştirilmiş bir diğer uygulamada ise, anot olarak dönen bir tungsten disk kullanılmaktadır (Şekil 2.17). Bu tip konstrüksiyona sahip ekipmanlarda sabit anot yapılarına göre 10 kat daha fazla akım dolandırılabilmekte ve odaklama 1 mm'ye kadar küçültülerek daha kısa pozlama süreleri elde edilebilmektedir. Genellikle medikal uygulamalarda ve özel endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. [11,12]



**Şekil 2. 17 :** Döner x-ışını tüpü düzeni.

Şekil 2.18'de x-ışını yansıma açısına bağlı olarak radyasyon şiddet dağılımı görülmektedir. Hedefin elektron ışımına olan açısı x-ışınının kalitesini son derece etkilemektedir. Genellikle 0° ile 30° arasındadır. [11]



**Şekil 2. 18:** X-ışını yansıma açısına bağlı olarak radyasyon şiddeti dağılımı.

### 2.5.2.3 Kontrol kabini ve güç kaynağı

X-ışını cihazının kolay kumanda edilmesi ve emniyetli çalışma amacıyla kontrol ve kumanda konsolu cihazdan ayrı bir birim halinde toplanmıştır. Bu durumda cihaz ve kumanda konsolu arasında bağlantı kabloları kullanılması zorunda olmaktadır. Kumanda konsolu üzerinde, kumanda ve kontrol röleleri ile birlikte bir zaman ayar saati ve bazı ikaz röleleri bulunmaktadır.

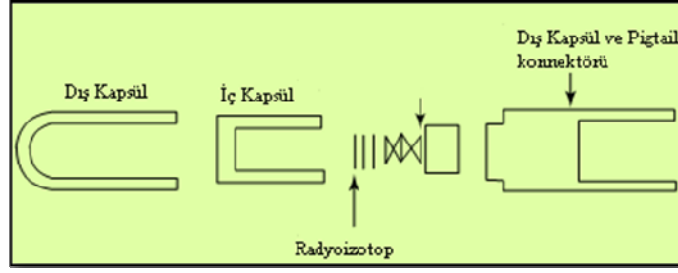
Güç kaynağı, gerekli akımı elde etmek için kullanılmaktadır. Günümüz x-ışını cihazlarında gerek doğru gerekse alternatif akım ile çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

### 2.5.3 Gama radyografi ekipmanları

Tüm radyografik izotop kaynakları sızdırmaz zırh içinde tutulması gerekmektedir. Bu zırh kaynakla kapatılmış paslanmaz çelik bir zırh olup, radyoizotopun çevreye ve canlılara zarar vermesinin engellenmesi amaçlanmaktadır. Genellikle bu çelik zırhlar iki kademelidir. İki kademe denilmesi, radyoizotopun birinci çelik zırh içinde bulunduğu kapsülün ikincil bir paslanmaz çelik zırh ile çevrelenmesinden kaynaklanmaktadır.

Bu çelik zırhlama çeşitli ANSI, IAEA, ISO, NRC gibi uluslararası kuruluşlar tarafından belirtilen şekilde imal edilir ve onaylanır.

*Sıcak hücre* olarak adlandırılan iç kapsül, radyoizotopun muhafaza edildiği kısımdır. Sıcak hücrenin cam pencereleri; iki cam katman arasında yer alan, çinko bromid gibi inorganik ve şeffaf sıvı katmanlarından oluşmaktadır. Dış kapsül ise, radyoizotopu ışınlama tüpü vasıtasıyla projektörden taşıyacak uzaktan kumanda mekanizmasına bağlanmaktadır [20]. Kapsül, esnek bir kabloya (pigtail) iliştilmiş ya da dönel silindirik bir mekanizma içinde bulunabilir. ANSI standartlarına göre bu konstrüktif yapılar sırasıyla kategori I ve kategori II olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 2.19'da ANSI kategori I kapsül ve pigtail düzeneği görülmektedir.

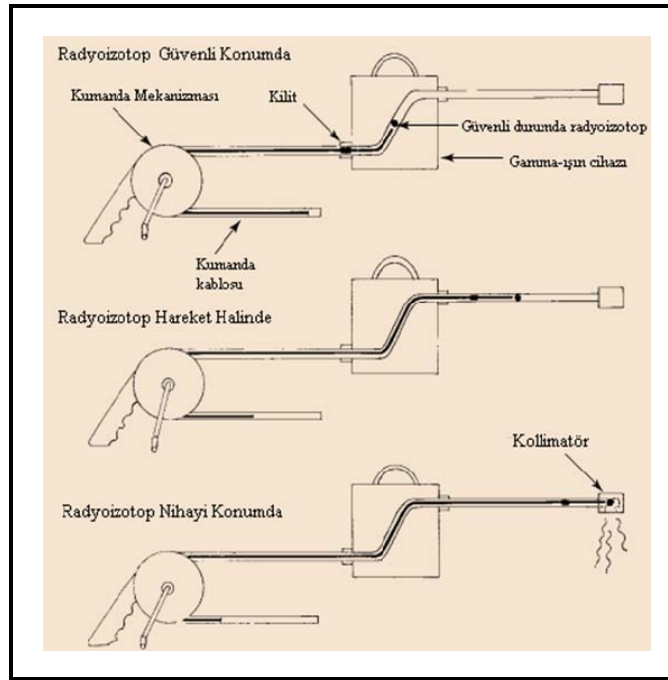


Şekil 2.19 : ANSI kategori I kapsül ve pigtail (Sıcak hücre düzeneği).

### 2.5.3.1 ANSI kategori I gama-ışın cihazı

ANSI kategori I gama-ışın cihazı, bir ışınlama tüpü yardımıyla radyasyon kaynağının güvenli zırh içinden radyografik film çekilecek olan uzak bölgeye hareket ettirilmesini sağlamaktadır.

Ekipman içinde; pigtail'in zırh içinden hareket ederek ilerlemesini sağlayan aşınmaya dirençli ve rijit ışınlama tüpü ile genellikle içinde kullanılmış uranyum içeren zırh malzemesi ve diğer elemanlar bulunmaktadır. Radyoizotop kaynağının çekim dışında cihazdan ayrılmasını engellemek için bir kilit mekanizması vardır. Projeksiyon kablolarının ve kumanda kablolarının bağlantılarını gerçekleştirmek için ise bağlantı mekanizmaları bulunmaktadır (Şekil 2.20) [11].



Şekil 2.20 : Kategori I cihazı.

Kullanılmış uranyum malzemesinin, koruyucu malzeme olarak kullanılmasının nedeni daha güvenli koruma sağlanmasıdır. Uranyumun yayınladığı alfa ışınımı, koruyucu zırhın kasasında durdurulmaktadır. Kullanılmış uranyum, U-238 olup, doğal uranyumun %98'i U-238 dir. Kullanılmış uranyum, kurşun malzemedan daha iyi koruma sağlamakta ve radyasyon zırhının kolaylıkla elde taşınmasına olanak sağlamaktadır. Metal kasa, uranyum malzemesini korumakta ve alfa ışınımını engellemektedir. Ayrıca parça yerleşimlerini, kilit mekanizmasını ve konnektörleri de mekanik hasarlardan korumaktadır.

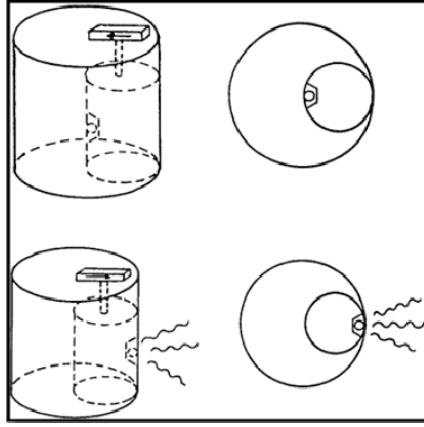
Tüm ANSI kategori I gama-ışın cihazları, kilitleme mekanizmalarına sahiptir. Bu mekanizmalar için temel gereksinim, kilit mekanizması pigtail bağlanmadan açılmamasıdır. Bunun sağlanması için genellikle kumanda mekanizmasının geriye doğru hareket ettirilerek kilitin serbest kalması sağlanır. Böylece, radyoizotopun koruyucu zırh içine geri dönmeden kilitleme mekanizmasının açılması engellenir.

Uluslararası standartlar bu tip kilitleme mekanizmaları ile ilgili düzenleyici standartlar geliştirmiştir. Bunlara örnek olarak ANSI N43.9 [21] sayılabilir. Yukarıda belirtilen düzeneklerin yanı sıra, özellikle Ir-192 gibi kısa ömürlü radyoizotopların değiştirilebilmesi için radyoizotop değiştirme ekipmanları mevcuttur.

#### **2.5.3.2 ANSI kategori II gama-ışını cihazı**

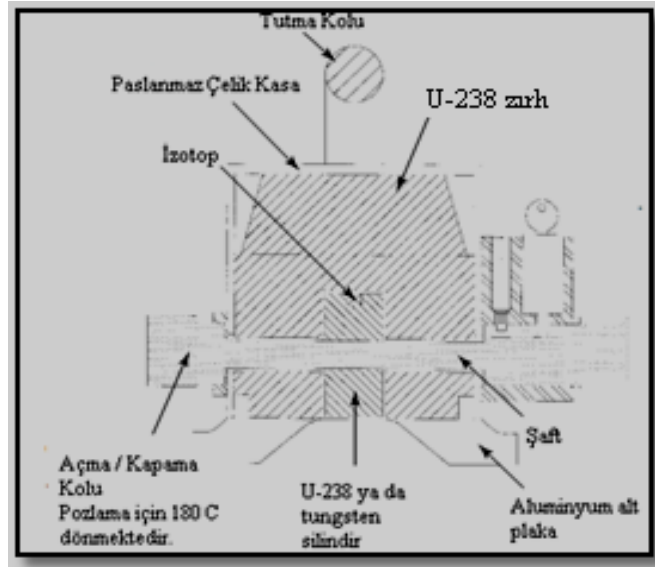
İkinci tip radyasyon zırhlama düzeneğinde, radyoizotop zırhın merkezinde saklanmaktadır (Şekil 2.21). Pozlama esnasında izotop bir ekzantrik silindir yardımıyla 180° döndürülmektedir. Döndürme mekanizması manuel tipte olabildiği gibi, yine bir krank kumanda mekanizması ile gerçekleştirilebilmektedir. Tip I de olduğu gibi zırhlama malzemesi olarak kullanılmış radyasyon kullanılmaktadır. U-238, kurşuna göre daha hafiftir. [11,12]





Şekil 2. 21 : Kategori II cihazı şematik gösterimi.

Örneğin; 100 Ci Ir-192 zırhı, kurşun kullanılması durumunda 30 kg'dan fazla olabilmekte iken, U-238 kullanılması durumunda yaklaşık 20 kg'dır. Silindir malzemesi olarak genellikle tungsten kullanılmaktadır. Bu tip cihazlar genellikle boruların radyografik görüntülenmesi için kullanılmaktadır. Şekil 2.22'de kategori II cihazı kesiti görülmektedir.



Şekil 2. 22 : Kategori II cihazı kesiti.



### **3. KAYNAK DİKİŞLERİNDE KULLANILAN STANDARTLARA GÖRE RADYOĞRAFİK HATA TİPLERİ VE KABUL KOŞULLARI**

Bir çok aynı tipte kaynak kusurları farklı tip kaynak yöntemlerinde karşımıza çıkmaktaysa da; kaynak geometrisindeki farklılıklar, ortaya çıkan süreksizliğin yönünü ve yerini tanımlamaktadır. Bu anlamda, bir kaynak kusurunu saptamak için kullanılan radyografi tekniği başka bir kusuru belirlemede yetersiz kalabilir [22]. Girici radyasyon kullanılarak gerçekleştirilen radyografide, uygun pozlama tekniğinin ve etkin parametrelerin kontrolünün yapılması gerekmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar göstermiştir ki; radyoizotopun konumlandırılması çatlak gibi kusurların saptanmasında oldukça önem arz etmektedir [23-24].

Kaynak dikişleri için radyografik tahribatsız muayene testleri yapılırken üç adet standart referans alınmıştır. Bu standartlar endüstriyel uygulamalarda proses hatlarının imalatlarında ve denetleme / test aşamalarında kabul görmüştür.

Yaygın bir şekilde kullanılan ASME B31.3 – Process Piping [25], ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sec. V – Non Destructive Examination [26] ve EN ISO 6520-1 Welding and Allied Process – Classification of Geometric Imperfection in Metallic Materials [27] tez çalışmamızda kullanılmıştır.

#### **3.1 ISO 6520-1 Standardına Göre Kaynak Kusurlarının Sınıflandırılması**

ISO 6520-1 standardı, metallurjik hatalar haricindeki kaynak kusurlarını sınıflandırmaktadır. Bu standartta, kaynak tipinden bağımsız kusurlar 6 ana grupta toplanmıştır. Her grup, kendi alt grubunu içermekte ve numaralandırma buna göre belirtilmektedir. Örneğin; boyuna bir çatlak referans numarası 101, eğer HAZ bölgesinde meydana gelmiş ise 1013 olarak sınıflandırılmıştır. Hata ana grupları;

- ✓ Çatlaklar (Grup 1)
- ✓ Kaviteler (Grup 2)
- ✓ Katı kalıntılar (Grup 3)

- ✓ Malzemeler arası kaynaşmama (Grup 4)
- ✓ Şekilsel bozukluklar ve kaçıklıklar (Grup 5)
- ✓ Diğer hatalar (Grup 6)

Deneysel çalışmada belirlenen hata tipleri, bu standartta belirtilen sınıflandırma ile ifade edilecektir. Bununla birlikte 5 ve 6 numaralı kusurlar ile ilgilenilmemiştir. Sadece hacimsel hata tipleri araştırılmıştır.

Bu standart, hatanın kaynak dikişinin kabul edilip edilemeyeceğini belirlemez. Kaynak dikişinin kabul kriterleri ASME Sec V ve B31.3'te tanımlanmıştır.

### **3.2 ASME B31.3 Standardına Göre Kaynak Kusurlarının Kabul Koşulları**

#### **3.2.1 Akışkan servis koşulları**

Akışkan servis koşulları; boru sisteminin tasarım temelinde, akışkanın özellikleri ile birlikte işletme koşulları ve diğer şartları içerir genel bir tanımlamadır.

ASME B31.3 akışkan servislerini 4'e ayırmaktadır. Buna göre,

**Kategori D:** Aşağıdaki koşulların herhangi birini içeren durumlarda bu sınıflandırmaya tabiidir. Buna göre;

- ✓ İnsan dokularına zarar vermeyen, patlayıcı ve toksik olmayan
- ✓ Dizayn basıncı 1035 kPa
- ✓ Dizayn sıcaklığı -26 °C ile 186 °C arasında

şartlarını sağlayan sistemler bu servisi kapsamaktadır.

**Kategori M :** Serviste sızıntı neticesinde, çok küçük miktar toksik akışkana maruz kalma durumu da dahil, vücut teması ya da solunum yolu ile insan sağlığında zarara neden olan akışkan sınıflandırmasıdır.

**Yüksek Basınç Servisi:** Basınç tasarım koşullarına bağlı olarak belirlenir. ASME B31.3 servis basınç limiti belirlememiştir.

Standartta ASME B16.5 2500# malzeme grubu, bu sınıfa tabii tutulmasını belirtmektedir. Bu kategorilerin dışında olan servisler *Normal Akışkan Servisi* olarak tanımlanmaktadır.

Tezin deneysel aşamalarında hatların servis koşulları normal akışkan servis hatlarından belirlenmiştir.

**Ağır Çevrimsel Koşullar:** hattın hesaplanan iç gerilme değeri, malzemenin kabul edilebilir gerilme değerinin % 80'ini aşması durumunda ya da malzemenin yorulmasına neden olan gerek sıcaklık genleşmeleri gerekse diğer koşullara bağlı elastik şekil değiştirme çevrimlerinin 7000'i geçmesi durumunda bu sınıflandırma söz konusudur.

Ağır çevrimsel koşullar ve kategori M, kategori D ve yüksek basınç servisleri içeren kaynak dikişleri bu tezin inceleme alanı dışında tutulmuştur.

### **3.2.1.1 Normal akışkan servisi ve kategori M akışkan**

Çizelge 3.1'de, normal akışkan servis hatlarının tahribatsız muayeneleri ASME B31.3 Chapter VI – *Inspection, examination and testing* paragraf 341.4.1'a göre belirtilmiştir. Bu kısımda, servis üzerinde yapılacak kontrollerin frekansı, genel uygulamalarda yapılabilecek testler ve kabul kriterleri belirtilmektedir.

Standart servis ile ilgili malzemelerde, minimum %5 *gözle denetlemeye* izin verilmektedir. Kaynak tipi eğer boylamasına ise bu durumda gözle muayene ile birlikte radyografik/ultrasonik muayene de %100 gerekmektedir. Alın kaynaklarının tahribatsız muayene koşullarında ise, benzer şekilde %5 *radyografik* ya da *ultrasonik* test gerektirmektedir.

**Çizelge 3. 1 : Normal ve kategori M için kaynak kabul kriterleri.**  
(ASME B31.3 Çizelge 341.3.2).

Hata Tipi	ISO 6520 Sınıf	Tahribatsız Muayene		Kaynak Tipine Bağlı Olarak Kabul Kriteri Not 1			
		Gözle Kontrol	Radyografi	Alın Kaynak	Boyuna Alın Not 2	Köşe Kaynağı Not 3	Hat Bağlantısı Not 4
Çatlaklar	100	X	X	A	A	A	A
Emişmeme (LF)	401	X	X	A	A	A	A
Kökte Birleşmeme (IP)	402	X	X	B	A	NA	B
Porozite (P)	201	...	X	E	E	NA	E
Cüruf, tungsten gibi katı kalıntılar	301, 302, 303, 304	...	X	G	G	NA	G
Altan kesme Şekilsel düzgünsüzlük	501	...	X	H	A	H	H
Yüzeysel poroziteler ya da katı kalıntılar (Not 4)	2018	X	...	A	A	A	A
Yüzey sonlanması	500	X	...	...	...	...	...
Kök içbükeyi	515	X	X	K	K	NA	K
Kök ya da kapak takviyesi	504	X	...	L	L	L	X

1. Verilen kriterler muayene için gereklidir. Daha spesifik kriterler mühendislik tasarımı ile belirlenebilir.
- 2 Boyuna alın kaynaklar düz ve spiral kaynakları içermektedir.
- 3 Köşe kaynakları soket, slip-on flanşların, güçlendirme kaynaklarının ve askı elemanlarının kaynaklarını içermektedir.
- 4 Hat bağlantı kaynakları hatların basınca maruz kalan kaynaklarını içermektedir.
- 5 Bu kusurlar nominal et kalınlığı  $\leq 5\text{mm}$  (3/16 in.) olanlar için belirtilmektedir.
- 6 İki sınır değer "ve" ile ayrılmış ise en küçük değer kabul kriteri olmaktadır. "Ya da" olması durumunda ise büyük değer kabul edilmelidir.  $T_w$  alın kaynak ile birleştirilmiş iki malzemenin en küçük et kalınlığını belirtmektedir.
- 7 Sıkıca alın birleştirilmesi yapılan ancak emişmenin gerçekleşmediği kök kabul edilmemektedir.
- 8 Yivli kaynaklarda, yükseklik yan yana malzemelerin en küçük ölçü değeridir. Kaynağın kapak ve kök güçlendirmelerine izin verilmektedir. Köşe kaynakları için, yükseklik teorik boğaz yüksekliğidir. Kök güçlendirmesi uygulanamaz.
- 9 Sadece alüminyum malzeme kaynaklarında, kök güçlendirmesi aşağıdaki değerleri geçmemelidir;
  - (a) kalınlık  $\leq 2\text{mm}$  (5/64 in.) : 1.5mm (1/16 in.)
  - (b) kalınlık  $> 2\text{mm}$  &  $\leq 6\text{mm}$  (1/4 in.) : 2mm (3/32 in)

Çizelge 3.2’de, ASME B31.3 de belirtilen Çizelge 341.2’e göre normal servis koşullarında ve Kategori M servis koşullarında kaynak tiplerine göre kaynak kusur kabul kriterleri belirtilmektedir. Kabul kriterleri alfabetik olarak belirtilmiştir. Ayrıca bu hata tipleri ISO 6520’e göre sınıflandırılmıştır

**Çizelge 3. 2 (Devam):** Normal ve kategori M için kaynak kabul kriterleri.

Sembol	Kıstas	Kabul Edilebilir Limit / Not 6										
A	Kusurun Boyutu	Hata kabul edilemez. Sıfır kusur olmalıdır.										
B	Kökte birleşmeme - Derinlik Kökte birleşmeme – Toplam uzunluk	$\leq 0.8 \text{ mm}$ and $\leq 0.2T_w$ $\leq$ Her 150 mm kaynak uzunluğu için 38 mm										
D	İç gözeneğin ebadı ve dağılımı	ASME BPV Section VIII Division 1 Appendix 4										
E	İç gözeneğin ebadı ve dağılımı	$T_w \leq 6.4 \text{ mm}$ için, D ile aynı limit $T_w > 6.4 \text{ mm}$ için, limit $1.5 \times D$										
G	Cüruf, tungsten ya da katı parça Tekil uzunluk Tekil genişlik Toplam uzunluk (Kümülatif)	$\leq 2T_w$ $\leq 3.2 \text{ mm}$ ve $\leq T_w/2$ $\leq$ Her 150 mm kaynak dikişi için $4T_w$										
H	Altan kesme derinliği	$\leq 0.8 \text{ mm}$ ve $\leq T_w/4$										
K	Kök içbükey derinliği	Toplam dikiş yüksekliği, takviyeler dahil, $\geq T_w$										
L	Takviye yüksekliği (kök ya da kapak) Not 8 ve ya Not 9. Kaynak metali parçanın yüzeyine düzgünce geçmelidir	<table border="0"> <thead> <tr> <th><u><math>T_w</math> mm</u></th> <th><u>Yükseklik, mm</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\leq 6</math></td> <td><math>\leq 1.5</math></td> </tr> <tr> <td><math>&gt; 6, \leq 13</math></td> <td><math>\leq 3</math></td> </tr> <tr> <td><math>&gt; 13, \leq 25</math></td> <td><math>\leq 4</math></td> </tr> <tr> <td><math>&gt; 25</math></td> <td><math>\leq 5</math></td> </tr> </tbody> </table>	<u><math>T_w</math> mm</u>	<u>Yükseklik, mm</u>	$\leq 6$	$\leq 1.5$	$> 6, \leq 13$	$\leq 3$	$> 13, \leq 25$	$\leq 4$	$> 25$	$\leq 5$
<u><math>T_w</math> mm</u>	<u>Yükseklik, mm</u>											
$\leq 6$	$\leq 1.5$											
$> 6, \leq 13$	$\leq 3$											
$> 13, \leq 25$	$\leq 4$											
$> 25$	$\leq 5$											
X = Gerekli		NA = Uygulanmaz										

### 3.3 ASME BPV Code, Sec. VIII Div.1 App. 4 Kaynak Kabul Koşulları

ASME BPV Code Section VIII [28] 'de belirtilen hacimsel kaynak dikişinde bulunan küresel gözenek yapıların kabul kriterleri belirtilmektedir. Bu kriterler ASME B31.3'te D kıstasını açıklamaktadır. Bu gözenek yapıların dağılımları çeşitli tipte olabilmektedir.

Gözenek yapının uzunluğunun eninden üç kattan daha küçük olması durumunda *yuvarlak gözenek* olarak adlandırılmaktadır. Bu gözenekler yuvarlak, eliptik, konik ve hatta devamında kuyruk olabilmektedir. Kabul yapılırken bu kuyruk yapısı da dahil edilmelidir.

Gözenekler; porozite, cüruf ya da tungsten olabilmektedir. Bununla birlikte ASME B31.1 katı bulgular için kıstas belirlediği için sadece porozite burada kabul koşulu olarak kabul edilecektir. Çizelge 3.3'te yuvarlak gözeneklerin kabul koşulları belirtilmiştir.

Bir gözenegin Çizelge 3.3'te belirtilen koşullarda incelenmesi amacıyla boyutlarının belirli değerlerden büyük olması gerekir. Buna göre aşağıdaki koşullar sağlanması durumunda kaynak dikişinde gözenek yapı bulunduğu kabul edilir ve standarda göre kabul edilip edilmeyeceği belirlenir. Şöyle ki  $T_w$  ana malzeme et kalınlığı olmak üzere ;

$$T_w < 3.2 \text{ mm} \text{ ise } d_{\text{gözenek}} > T_w / 10$$

$$3.2 \text{ mm} < T_w < 6.4 \text{ mm} \text{ ise } d_{\text{gözenek}} > 0.40 \text{ mm}$$

$$6.4 \text{ mm} < T_w < 51.0 \text{ mm} \text{ ise } d_{\text{gözenek}} > 0.80 \text{ mm}$$

$$51.0 \text{ mm} < T_w \text{ ise } d_{\text{gözenek}} > 1.60 \text{ mm}$$

olması bu bulgunun bir kusur olduğu anlamını taşımaktadır. Çizelge 3.3'te en sağ sütun bu bulgunun gözenek olması için minimum ebadı belirtmektedir.

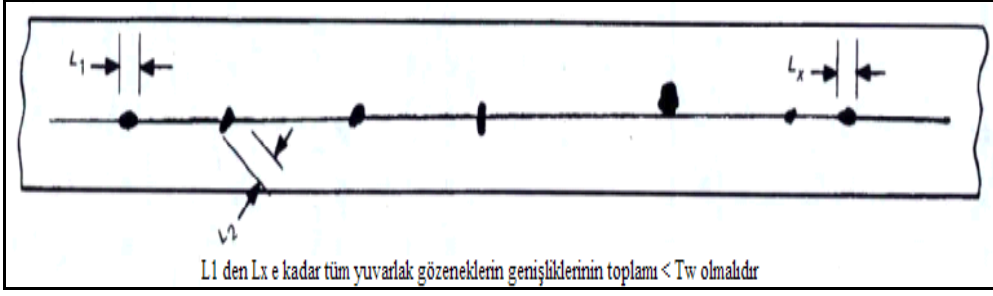
Eğer rastgele bulunan porozitelerden herhangi birinin ebadı Çizelge 3.3 ikinci satırda belirtilen değerlere eşit ya da daha büyükse *yuvarlak gözenek* mevcuttur ve kaynak dikişi reddedilir. Ancak yuvarlak gözenegin herhangi bir tarafında 25 mm den daha fazla boşluk mevcut ise bu durumda *izole yuvarlak gözenek* mevcuttur ve Çizelge 3.3 üçüncü satıra göre kabul edilip edilemeyeceği belirlenmektedir.



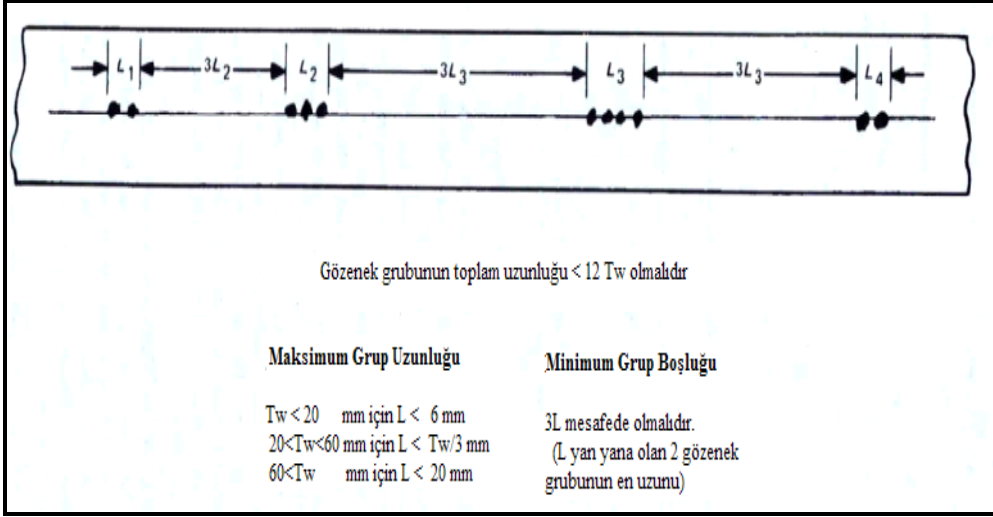
**Çizelge 3.3** : Porozitenin hata olarak kabul koşulları [28].

Malzeme Kalınlığı	Yuvarlak Gözenek	İzole Gözenek	Gözenek Koşulu
< 3.20 mm	$T_w / 4$	$T_w / 3$	$T_w / 10$
= 3.20 mm	0.80 mm	1.00 mm	0.40 mm
= 4.80 mm	1.20 mm	1.60 mm	0.40 mm
= 6.40 mm	1.60 mm	2.10 mm	0.40 mm
= 8.00 mm	2.00 mm	2.65 mm	0.80 mm
= 9.50 mm	2.30 mm	3.20 mm	0.80 mm
= 11.00 mm	2.80 mm	3.70 mm	0.80 mm
= 12.70 mm	3.20 mm	4.30 mm	0.80 mm
= 14.30 mm	3.60 mm	4.80 mm	0.80 mm
= 15.90 mm	4.00 mm	5.30 mm	0.80 mm
= 17.50 mm	4.00 mm	5.80 mm	0.80 mm
$19.05 < T_w < 51$ mm	4.00 mm	6.35 mm	0.80 mm
$51 < T_w$	4.00 mm	9.50 mm	1.60 mm

Bu iki kıstasın da geçmesi durumunda gözeneklerin dağılımlarına bakılmaktadır. Eğer bu yuvarlak gözenek yapılar da dört ya da daha fazlası merkez eksenleri boyunca aynı hizada bulunmaktaysa Şekil 3.1’de görüldüğü şekilde *hızalı gözenek* denilmektedir. Hızalı gözeneklerin en büyük genişliklerin toplamı, malzemenin et kalınlığını geçmemelidir. Ayrıca grup halinde bulunan gözeneklerin grup uzunlukları ve gruplar arası mesafeler Şekil 3.2 de belirtildiği gibi malzeme et kalınlığına göre belirlenmektedir.

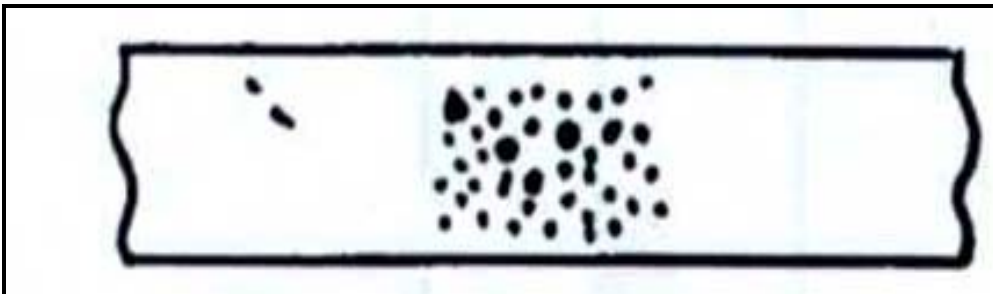


Şekil 3. 1 : Hizalı gözenek grupları – 1 (ASME Section V).



Şekil 3. 2 : Hizalı gözenek grupları – 2 (ASME Section V).

Gözenek yapılar yuvarlak gözenek boyutunda olmadan birbiri yanına kümeleşmesi durumunda Şekil 3.3'te görüldüğü gibi *küme gözenek* yapısı oluşturabilir. Bu yapının kabul edilebilmesi için toplam küme uzunluğunun 25 mm'yi geçmemesi gerekmektedir. Eğer bir kaç küme grubu var ise her 150 mm'lik kaynak dikişinde en fazla bir küme grubu olmalıdır.



Şekil 3. 3 : Küme gözenek Yapısı.

## 4. GAMA RADYOGRAFİSİ İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1 Çalışılan Film Tipleri, Penetrametre, Ekran ve Kasetler

#### 4.1.1 Kullanılan filmler

Endüstriyel radyografik filmler EN 584-1'e göre ultra ince tane yapılı ve yüksek kontrastlı C3 ve ince tane yapılı yüksek kontrastlı C4 filmler kullanılmıştır. Genel olarak malzeme kalınlıklarına göre Çizelge 4.1'de belirtilen şekilde seçilmiştir.

**Çizelge 4.1** : Malzeme kalınlıklarına göre kullanılan film tipleri.

Et kalınlığı (t, mm)	Film Tipi
$\leq 12.5$	AGFA Structurix D4
$> 12.5$	AGFA Structurix D5

Film ebadları 10 cm x 40 cm ya da 10 cm x 25 cm olarak kullanılmıştır. Film ebadları seçilirken kaynak dikişini tamamen saracak şekilde olması tercih edilmiştir. Mevcut ebadın tüm dikişi tek seferde saramaması durumunda, film(ler) birbiri üstüne minimum 40 mm gelecek şekilde yerleştirilmiştir.

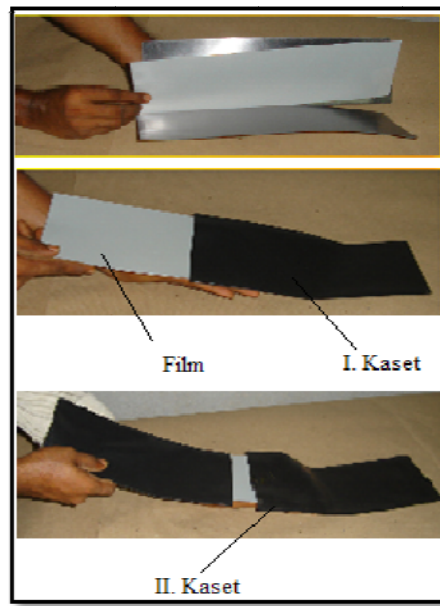
“Overlapping” olarak adlandırılan bu durum, panoramik radyografi tekniğinde densite farkı olarak görülmektedir ve bu bölüm radyografik hata incelemesinde ihmal edilmektedir.

#### 4.1.2 Ekran, kasetler ve filmin yerleştirilmesi

Ekranlar, filmde bulunan gümüş bromidin reaksiyon sonucu gümüşe dönüşme sürecini hızlandırmaktadır. Bu durum, elektromanyetik ışınının ekran üzerine gelmesi neticesinde compton saçılması ile gerçekleşmektedir. Bu husus, *şiddet katsayısı* ile ifade edilir ve bu oran ekransız pozlama süresinin, ekran kullanılarak pozlama süresine oranıdır.

Deneysel çalışmalarımızda kurşun ekran kullanılmıştır. Bölüm 2.2.3'te belirtilen ekran ve kaset düzeneği karanlık odada ve Şekil 4.1'de belirtilen şekilde hazırlanmaktadır.

Deneysel çalışmada ekran olarak kurşun levha kullanılmıştır. Şekil 4.1 görüldüğü gibi filmin ön ve arka tarafına birer adet ekran konulmakta ve daha sonra esnek malzemeden yapılmış ekran içine ekran yerleştirilmektedir. Daha sonra filmin güneş ışığına maruz kalmamasının kesin bir şekilde engellenmesi için farklı bir kaset daha kullanılarak film tamamiyle korunmuştur. Burada, filmin mekanik çizilmelere maruz kalmaması için azami özen gösterilmiştir.



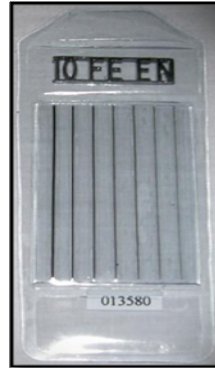
Şekil 4. 1 : Filmin ekran ve kaset içine yerleştirilmesi.

#### 4.1.3 Kullanılan IQI (penetrametre) tipleri ve sensitivite kabul koşulları

Radyografi filmlerin sensitivitesinin belirlenebilmesi için EN 462-1:1994 [29] te belirtilen tel tip IQI kullanılmaktadır. Bu tip görüntü kalite göstergeleri (penetrametreler, IQI) Çizelge 4.2'de belirtilmektedir. Söz konusu bu kalite göstergeleri, W1, W6, W10, W13 olarak çeşitli modellere sahiptir. Deneysel çalışmalarda kullandığımız W10 tipi IQI, 10 ile 16 numaralı telleri içermektedir (Şekil 4.2). Filmin hassasiyeti Eşitlik 4.1'e göre hesaplanmaktadır [38].

**Çizelge 4. 2 : EN 462-1 Görüntü kalite göstergesi. (Image Quality Indicator-IQI, penetrametre).**

MODEL				Tel No	Çap (mm)	
W1	W6	W10	W13			
40 – 160 mm				W1	3.200	
				W2	2.500	
				W3	2.000	
				W4	1.600	
				W5	1.250	
				W6	1.000	
	12.5 – 50 mm			W7	0.800	
				W8	0.630	
				W9	0.500	
				5 – 20 mm	W10	0.400
					W11	0.320
					W12	0.250
			2.5 – 10 mm	W13	0.200	
				W14	0.160	
				W15	0.125	
				W16	0.100	
				W17	0.080	
				W18	0.063	
				W19	0.050	



**Şekil 4. 2 : DIN 54109 : 1962 standardında W10 – tel tip IQI [30].**

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, tel malzemesi olarak çelik, alüminyum, bakır ve titanyum teller mevcuttur. Hassasiyet (sensivite) yüzdeleri çeşitli endüstriyel uygulamalara göre değişmektedir. Örneğin yüksek güvenlik gerekçeleri nedeniyle, nükleer teknolojiye ve bununla ilgili kaynak hatalarının tespitinde, daha yüksek sensitiviteli filmlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda, daha küçük hatalar görünür duruma gelmektedir. Çizelge 4.3’de çeşitli endüstriyel uygulamalar için hassasiyet kademeleri görülmektedir. Söz konusu bu tabloya göre, bu tez kapsamında yapılan radyografik çekimlerde hassasiyet yüzdesi %2’dir.

**Çizelge 4.3 : Çeşitli endüstrilerde hassasiyet kademeleri.**

Endüstri	Hassasiyet Kademesi	Eşdeğer Hassasiyet Yüzdesi
Nükleer (Max %1.4)	1-1T	0.7
	1-2T	1.0
	1-4T	1.4
Basınçlı Kaplar ve Borulaması (Max %2.8)	2-1T	1.4
	2-2T	2.0
	2-4T	2.8
Yapısal Çelikler (Max %5.6)	4-1T	2.8
	4-2T	4.0
	4-4T	5.60

EN 462-3 [35]’e göre, kaynak dikişi üzerinde en az 10 mm uzunluğundaki tel okunabiliyorsa, hassasiyet sağlanabilmektedir. Kaynak dikişinin radyografisi ve dolayısıyla hassasiyeti göz önüne alındığında, malzeme kalınlığı ve kaynak kök ve kapak güçlendirmesi de hesaba katılmak zorundadır.

Kaynak güçlendirmelerinin (reinforcement) azami değerleri Çizelge 4.4’de ASME B.31.3’e göre belirtilmektedir. Pratik uygulamalarda ise bir kaynak mastarı yardımıyla ölçülmesi gerekmektedir. Bu tez kapsamında yapılan hassasiyet hesaplamalarında, ana malzeme kalınlığına bağlı olarak güçlendirme yüksekliği belirlenerek hassasiyet hesabına eklenmiştir. Radyografik hassasiyet gereksinimleri için ASME BPV Sec. V ve VIII , AS 2177-1 [31], AS 2177-2 [32] API 1104 [33] ve ISO 19232-1 [34] DWDI ve DWSI için hassasiyet gereksinimi hesaplaması için tek cidar kalınlığının gerekli olduğunu belirtmektedir.

**Çizelge 4. 4 :** ASME B31.3 Process Piping 'e göre kaynak güçlendirme sınırları.

Malzeme Et Kalınlığı	Güçlendirme yüksekliği
$T_w \leq 6 \text{ mm}$	$\leq 1.5 \text{ mm}$
$6 \text{ mm} < T_w \leq 13 \text{ mm}$	$\leq 3.0 \text{ mm}$
$13 \text{ mm} < T_w \leq 25 \text{ mm}$	$\leq 4.0 \text{ mm}$
$> 25 \text{ mm}$	$\leq 5.0 \text{ mm}$

Görüntü kalite göstergesi kullanımının yanı sıra, film dikişinin lokasyonlarının belirlenebilmesi için her 10 cm mesafede numaralandırma yapılmıştır. Bu şekilde kaynak kusurunun saptanması durumunda lokasyon belirlenebilmektedir.

## 4.2 Iridium 192 Radyoizotopu

İridyum 192 (Ir-192) radyoizotopunun radyografik metotlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ir-192'nin yarılanma ömrü 74.3 gündür [36]. Dolayısıyla bu tez kapsamında kullanılan Ir-192 radyoizotopunun petrol boru hattı sahasındaki çalışma süresi açısından, yaklaşık 6 aylık periyotlarda değiştirilmesi gerekmiştir. Ir-192 radyoizotopundan yayınlanan gama ışınlarının yüksek enerjili fotonlara sahip olması, bu radyoizotopun proses hatları ve petrol nakil hatlarındaki boruların muayenesinde tercih edilerek kullanımına neden olmaktadır. Ir-192 radyoizotopundan, yayınlanan fotonların enerjisi Çizelge 4.5'de sunulmuştur.

**Çizelge 4. 5 :** Ir-192 radyoizotopundan yayınlanan fotonların enerjisi.

Enerji (MeV)	Relatif Enerji Şiddeti
130	0.4
280	1.0
296	38.0
310	37.0
320	100.0
470	30.0
485	1.1
590	1.1
610	1.9
890	0.4

Ir-192 radyoizotopu, Co-60 ve Cs-137 gibi diğer radyoizotoplara nazaran, yukarıda belirtilen düşük enerji seviyesi nedeniyle, daha düşük zırlama gerektirmektedir. Dolayısıyla daha hafif ve elle taşınabilir ekipmanlarda bulunmaktadır. Radyografik çalışmalarda kullanılan Ir-192 radyoizotopunun aktivitesi, radyografik çekimi yapılan parçaların görüntü kalitesi ve radyasyon güvenliği açısından, 0.5 – 50 Ci aralığında olması tercih edilmektedir. Bu tez kapsamında kullanılan, Ir-192 radyoizotopunun boyutları yaklaşık olarak, 2 mm x 2 mm olup, zırhı ile birlikte ağırlığı yaklaşık 12 kg civarındadır.

İridyum metali, platinyum ailesinden olup, oldukça sert bir metaldir. Özgül ağırlığı  $22.4 \text{ gr/cm}^3$  ' dir ve genellikle doğadaki izotopik bolluğu Ir-191 (%38) ve Ir-193 (%62) şeklinde olup, iki izotopu mevcuttur. Nükleer reaktörde nötron bombardımanı neticesinde Ir-192 ve Ir-194 oluşmaktadır. Dolayısıyla kısa yarıömürlü Ir-194 radyoizotopunu elimine edilebilmekte ve birkaç gün sonra aktivite ölçümleri yapılmaktadır. Ir-192 beta emisyonu yaparak Pt-192 ve elektron yakalayarak Os-192 meydana gelmektedir. Bu iki reaksiyon neticesinde kararlı metaller oluşabilmektedir.

### **4.3 Işınlama Düzenekleri**

Yapılan deneysel çalışmada ışınlama düzenekleri *ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sec. V Article II, T-270* 'de belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir. Buna göre izotopun kaynak dikişine göre durumu *tek cidar tekniği* (single wall technique) ve *çift cidar tekniği* (double wall technique) olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Benzer şekilde görüntüleme, *tek cidar görüntüleme* (single wall imaging) ve *çift cidar görüntüleme* (double wall imaging) olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca aynı standartta Fig. A210-2'de boru dış çap, pozlama teknikleri, IQI yerleştirilmesi ve IQI işaretlerinin konulması gereken noktalar bu kısımda açıklanmış olup deneysel çalışmada standarda göre zorunlu olmamakla birlikte uyulmuştur.

#### **4.3.1 Lokasyon işaretlerinin konumlandırılması**

Pozlanan kaynak dikişinin lokasyon işaretleri ve IQI parçanın üzerine yerleştirilmeli ve kaynak lokasyonları silinmez kalem ile işaretlenmelidir.

#### **Tek cidar görüntüleme ( I )**

Lokasyon işaretleri aşağıdaki durumlarda *kaynak tarafında* (a) konumlandırılmalıdır.



- ✓ Plaka gibi düz parçaların, yada boruların boyuna dikişlerinde (1)
- ✓ Kaynağın borunun içinde olduğu ve kaynak-obje mesafesinin boru yarı çapından düşük olması durumunda (2)
- ✓ Kaynağın boru dışında olduğu durumda (3)

Eğer boru iç yarıçapı ve kaynak-obje mesafesi birbirine eşitse lokasyon işaretleri ve IQI ile lokasyon işaretleri kaynak ya da film tarafında konumlandırılabilir.

### **Çift cidar görüntüleme ( II )**

Çift cidar görüntülemede lokasyon işaretleri kaynak ya da film tarafında konumlandırılabilir. Ancak kaynağın hemen yanına konumlandırılabilir.

#### **4.3.1.1 IQI konumlandırılması ve sayısı**

Sensitivitenin doğru belirlenebilmesi için, IQI ulaşılabilirliğe bağlı olarak kaynak tarafına konulmalıdır. Ancak IQI kaynak tarafına yerleştirmek mümkün değilse film tarafına yerleştirilebilir.

Penetrametrenin film tarafında olduğunun anlaşılabilmesi için “F” harfi yerleştirilmektedir. Penetrametrenin kaynak dikişine dik yerleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca yazılarının kaynak üzerinde bulunmaması gerekmektedir.

Eğer bir kaynak dikişinde birden fazla film çekilecekse, her bir film için bir adet penetrametre kullanılmalıdır.

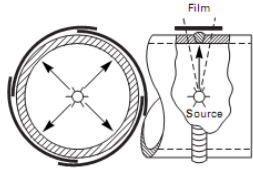
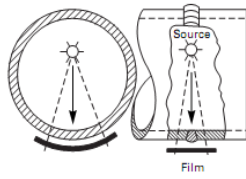
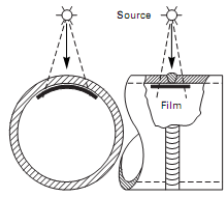
#### **4.3.2 Tek cidar tekniği (Single Wall)**

Tek cidar tekniğinde tek cidar görüntüleme durumu söz konusudur ve radyasyon sadece tek cidardan geçmektedir. Standarda göre pratik olarak bu teknik öncelikli göz önüne alınmalıdır. Ancak pratik olmayan uygulamalarda çift cidar tekniği belirli kriterler göz önüne alınarak uygulanmak zorundadır [28].

Bu teknikte, radyasyon ışınımının tek cidardan geçmesi nedeniyle pozlama süresi çift cidar tekniklerine nazaran daha kısa olmaktadır. Özellikle yüksek et kalınlığına sahip kaynak dikişlerinin pozlanmasında tek cidar tekniği öncelikli olarak tercih edilmesi pozlama süresi için önemlidir.

İzotopun yerleşimi borunun çapına ve kaynak obje mesafesine bağlı olarak 3 farklı şekilde olmaktadır [28]. Çizelge 4.6’da tek cidar tekniğinde kaynak, IQI ve lokasyon işaretleri yerleşimleri belirtilmektedir.

**Çizelge 4. 6 :** Tek cidar tekniğinde kaynak, IQI ve lokasyon işaretleri yerleşimleri [28].

Boru Dış Çapı (mm)	Yerleşim	IQI Yerleşimi	Lokasyon İşaretleri
Sınırlama Yok		Kaynak Tarafında Film Tarafında “F”	Her iki tarafta uygulanabilir
Sınırlama Yok		Kaynak Tarafında Film Tarafında “F”	Film tarafında
Sınırlama Yok		Kaynak Tarafında Film Tarafında “F”	Kaynak tarafında

#### 4.3.3 Çift cidar tekniği (Double Wall)

Tek cidar tekniğinin uygulanamadığı durumlarda kullanılmaktadır. Radyasyon çift cidardan geçerek film üzerine düşmesi neticesinde daha fazla pozlama süresini gerektirmektedir.

#### **4.3.3.1 Tek cidar görüntüleme (Single Imaging)**

Bu teknikte iki cidardan geçen radyasyon film üzerine düşürülmektedir ve sadece film tarafındaki kaynak dikişi kabul edilmek üzere görüntülenmektedir. Bu teknikte tüm kaynak dikişi film ile sarılması gerekirken en az üç adet 120° film çekilmesi gerekmektedir.

#### **4.3.3.2 Çift cidar görüntüleme (Double Imaging)**

88 mm ya da daha küçük nominal dış çaplı malzeme ya da kaynak dikişinin görüntülenmesi amacıyla kullanılmaktadır. İki cidar üzerinden geçen radyasyon yine iki kaynak dikiş kısmının görüntülenmesi sağlanmaktadır. Bu teknikte iki kaynak görüntüsü elde edildiği lokasyon işaretleri konularak radyoizotopun yeri belirlenir. Bu teknik kendi içinde ikiye ayrılır.

#### **Eliptik İmaj Tekniği**

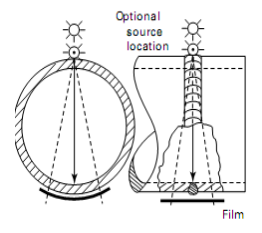
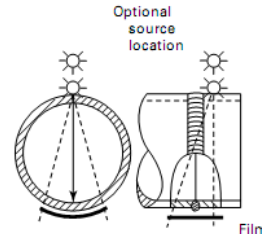
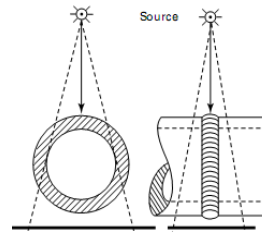
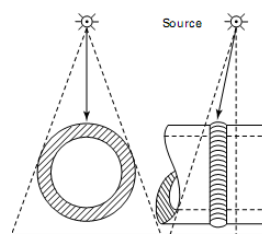
Radyoizotop ya da kaynak eksenini ,kaynak dikişi ekseninden bir miktar uzaklaştırılır. Tüm kaynak dikişinin fotografik görüntüsünün elde edilebilmesi için radyoizotop 90° döndürülmelidir.

#### **Süperimpoze İmaj Tekniği**

Radyoizotop ile kaynak dikişi eksenini aynı olmak üzere, 0° - 60° ve 120° açılarla veya 0°- 120° ve 240° açılarla üç adet fotografik görüntü elde edilmelidir. Ofset DWDI ile arasındaki fark, görüntü üzerinde iki cidar görüntüsü düşürülmektedir.

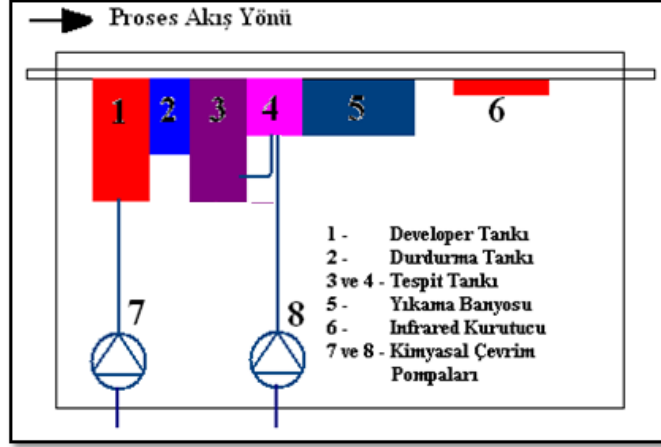
DWDI tekniğinde belirtilen minimum çekimler eğer yeterli görüntülemeyi sağlayamıyorsa daha farklı açılardan görüntüleme yapılabilir. Çizelge 4.7'de çift cidar tekniğinde kaynak, IQI ve lokasyon işaretleri yerleşimleri belirtilmektedir.

**Çizelge 4. 7 : Çift cidar tekniğinde kaynak, IQI,lokasyon işaretleri ve yerleşimleri [28].**

Boru Dış Çapı (mm)	Teknik	Görüntüleme	Yerleşim	IQI Yerleşimi	Lokasyon İşaretleri
Sınırlama Yok	Çift Cidar – Min 3 çekim 120°	Tek cidar		Kaynak Tarafında Film Tarafında “F”	Film tarafında
Sınırlama Yok	Çift Cidar – Min 3 çekim izotoplar arası açı min 120° derece	Tek cidar		Kaynak Tarafında Film Tarafında “F”	Film tarafında
3½ (88 mm) ya da daha küçük	Çift Cidar – Min 3 çekim izotoplar arası açı 60° ya da 120° derece	Çift cidar (süperimpoze)		Kaynak Tarafında	Her iki tarafa
Sınırlama Yok	Çift Cidar – Min 2 çekim 90°	Çift cidar		Kaynak Tarafında	Her iki tarafa

#### 4.4 Banyolama

Bölüm 2.3.4'te belirtilen film banyolama otomatik olarak AGFA Structurix kaskad film banyolama cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre düzenek Şekil 4.2 de gösterilen ve aşağıda açıklanan şekilde gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.2 : Kaskad fiksleme sistemi akış şeması.

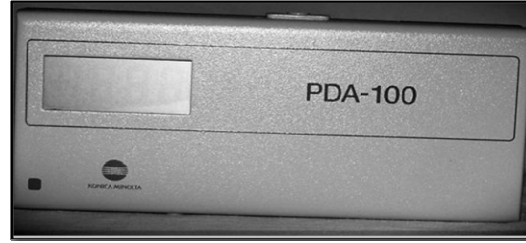
Pozlanan film ilk olarak geliştirici tanktan geçmekte, 2 numaralı tanktan geçerken yıkanmakta ancak bir miktar geliştirici çözeltisini tespit tankına geçmesine izin vermektedir. Böylece tespit banyosunun optimum koşullarda kalması sağlanmaktadır. Aynı zamanda aşırı geliştirme yapılmasını engellemektedir. Çift kademeli tespit tankı ile, minimum tespit kimyasalı kullanılması sağlanmaktadır.

Konvansiyonel sistemlere nazaran yaklaşık 10 kat daha az kimyasal ile tespit aşaması tamamlanabilmektedir. Prosesler arası süreler cihazlara göre değişmekle birlikte kullanılan ekipmanda geliştirme yaklaşık 100 sn, tespit banyosu 160 sn, asit durdurma 70 sn civarında tamamlanmaktadır. Kurutma süresi de dahil olmakla birlikte 8 dakika civarında film banyolaması tamamlanmaktadır. Bununla birlikte; kullanılan ekipman, ardıl olarak filmleri banyolayabilmektedir.

#### 4.5 Filmin incelenmesi ve kullanılan ekipmanlar

Film densitesi ASME Sec V'te gama radyografisi için 2.0, x-ışını radyografisi için 1.8 olarak belirlenmiştir. Kompozit malzemeler için 1.3'tür. Maksimum densite 4.0 olmalıdır. Ayrıca filmin ilgili kısımlarında densite farkı 0.05'ten daha az olmalıdır.

Filmin densitesinin ölçülebilmesi için densitometreler kullanılmaktadır. Yapılan deneysel çalışmada Konica-PDA 100, densitometre kullanılmıştır (Şekil 4.3). Densitometre ilk çalıştırma esnasında kalibre edilmesi gerekmektedir. Kalibrasyon illüminatör üzerinde film konulmadan, densitometre yaklaştırılır ve sıfırlanır. Densitometre aracılığı ile kaynak dikişinin en kalın olduğu noktada (kaynak dikişinin kökü, ya da orta noktası) yerde ölçülmelidir. Deneysel çalışma verileri ifade edilirken densite değeri ifade edildiğinde kaynak kökünde ölçülen densite ifade edilecektir.



Şekil 4. 3 : Elektronik densitometre.

#### 4.6 Kaynak Dikişlerinde Hata Analizi

Deneysel çalışmada kaynak dikişleri gözle kontrolden geçtikten sonra radyografik incelemeye tabii olmuştur. Kaynak dikişlerinin amperaj / voltaj / ısı girdisi kontrolleri yapılmış, yaklaşık gaz debileri, kaynak elektrotları kaydedilmiş, kaynak parametreleri de raporlanarak, karşılaşılabilecek olası hataların kaynak parametrelerine veya kaynak yapılan ortamın fiziksel koşullarına bağlı olarak incelenmiştir. Örneğin, açık sahada yapılan kaynak ile atölyede uygun koşullar altında yapılan kaynakların çevresel koşul kontrolleri birbirinden farklı olacaktır. Bu parametreler kaynak kalitesini, kaynak parametreleri gibi doğrudan etkilemektedir.

Radyografik teknikler uygulanırken SWSI, DWSI ve Süperimpoze ve ofset (kaynak dikişinin tam üzerine radyoizotop konulmayıp biraz eksenden kaçırılarak çekimi yapılan radyografik teknik) DWDI teknikleri kullanılmıştır. Radyasyon kaynağının şiddeti kayıt edilerek raporlanmıştır. Filmler banyolama işleminin ardından radyografik filmleri aydınlatıcı özel bir cihaz (illüminatör) yardımıyla incelenmiş, densitometre ile film yoğunluğu kontrolleri yapıldıktan sonra Bölüm 5'te hata analizleri yapılmıştır.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

### 5.1 Radyografik Çekimi Yapılan Parçaların Kaynak Dikiş Parametrelerinin Tespiti ve Kaynak Tekniklerine Göre Sınıflandırmaları

Kaynak dikişlerinin mevcut kabul görmüş uluslararası standartlara uygun bir şekilde dizayn edilmesi, dikişin mekanik dayanımının test edilmesi ve bu uygunluğun sürekliliğinin sağlanması, kalite güvence sistemi için önemli bir etkidir. Bu nedenle, kaynak dikişlerindeki mevcut yapının standartlarda belirtilen şekilde tanımlanarak belirlenmesi radyografik çekimlerdeki hata analizinde önem arz eden bir konuyu oluşturmaktadır.

Kaynak imalatı oldukça kompleks, maliyetli ve ileri bilgi gerektiren bir konu olduğundan, kaynak kalite güvencesi günümüzde gittikçe daha önem taşıyan bir süreç haline gelmiştir. Bu süreç, yalnızca dizaynı gerçekleştiren üretim mühendisinin yanı sıra, sahada belirlenen parametreleri kontrol eden denetçi ve bunun yanında tahribatsız muayeneyi gerçekleştiren teknik personeli de kapsamaktadır. Dolayısıyla, Çizelge 5.1’de arz edilen bilgiler kaynak imalatında göz önüne alınan gerekli kaynak dikiş parametrelerini ifade etmektedir. Yapılan kaynakların değerlendirilmesi yapılırken ana malzeme tipi, elektrot, koruyucu gazlar, kaynak geometrisi göz önünde bulundurulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalarda radyografik çekimlerde tespit edilen hatalara ilişkin olarak, kaynak dikiş parametrelerinden olası sapmalar, kaynak havuzunu doğrudan etkileyebilmektedir [37].

ASME Bölüm IX’da, belirtilen söz konusu şartların sağlanmasında, kaynak prosedürleri ve kaynakçıların kalifikasyonu, standartlarda belirtildiği şekildedir. Böylece kaynak kalitesinin istenen şartlara uygunluğu sağlanmıştır. Radyografik muayene ile bu istenen şartlardan sapmalar belirlenebilmektedir. Radyografik çekimi yapılan parçaların, kaynak parametrelerinin sınıflandırılması aşağıda üç ana grup içinde tanıtılmaktadır.

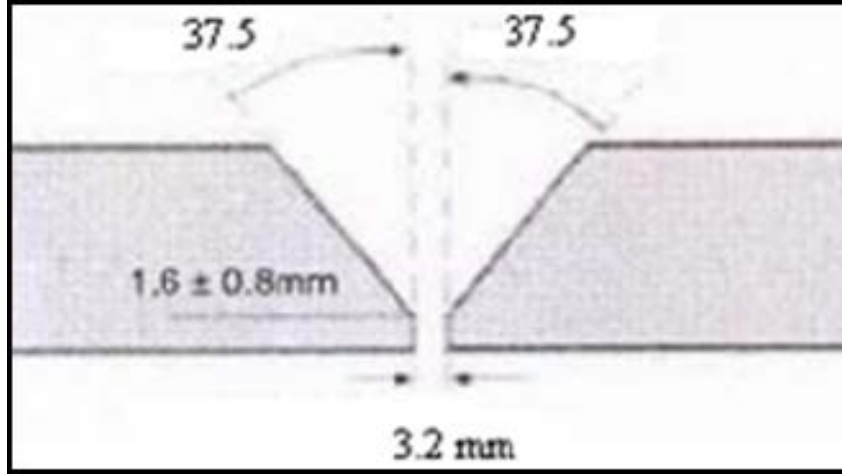
Toplam 14 adet kaynak değerlendirilmeye alınmıştır.

**Çizelge 5. 1 : Radyografik muayenede incelenen parçaların kaynak dikiş parametrelerinin gruplandırılması.**

		GRUP I		GRUP II		GRUP III	
<b>Ana Malzeme Et Kalınlığı (mm)</b>		2.7 – 11.9		2.7 – 11.9		16-60	
<b>Ön Isıtma (°C) – Pasolar Arası Tavlama Sıcaklığı (°C)</b>		26 / 127		26 / 207		80 / 227	
<b>Elektrot / Argon Teli</b>		AWS ER 70 S 6 Tigrod 12.64 (argon teli)		AWS ER 70 S 6 AWS E7018 – 1 Tigrod 12.64 (argon teli)		AWS ER 70 S 6 AWS E7018 – 1 Tigrod 12.64 (argon teli)	
<b>Elektrot Çapı (mm)</b>	<b>Kök</b>	2.0		2.4		2.4	
	<b>Dolgu</b>	2.4		2.4		2.4	
	<b>Kapak</b>	2.4		3.2		3.2	
<b>Koruyucu Gaz</b>		Argon (%99.99)		Argon (%99.99)		Argon (%99.99)	
<b>Akım (A) Gerilim (V)</b>	<b>Kök</b>	90-115	10-12	90-115	10-12	110-140	10-14
	<b>Dolgu</b>	115-130	11-13	80-110	20-23	105-120	22-24
	<b>Kapak</b>	100-115	10-12	110-130	22-24	100-120	22-24
<b>Kaynak İlerleme Hızı (mm/dak)</b>	<b>Kök</b>	60-65		60-65		45-50	
	<b>Dolgu</b>	95-100		110-115		100-115	
	<b>Kapak</b>	75-80		125-135		90-110	

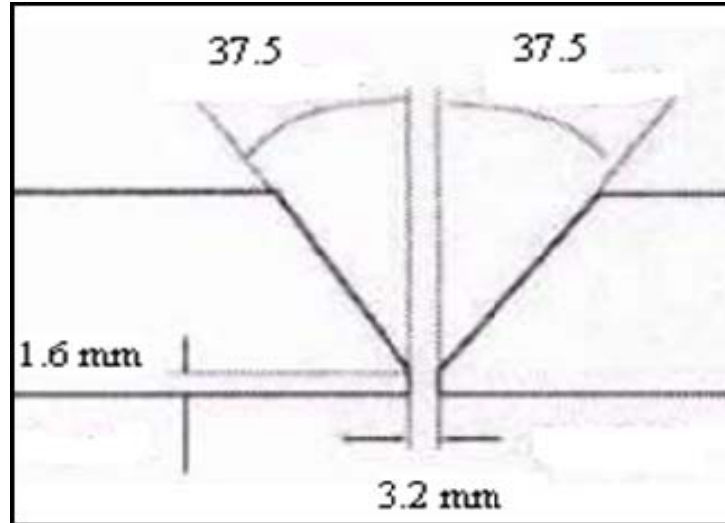


Şekil 5.1’de Çizelge 5.1’de belirtilen Grup I olarak isimlendirilen kaynak tekniğinin kaynak geometrisi belirtilmektedir. Bu geometri bir V alın kaynak yöntemi olup, Çizelge 3.1’de sunulan alın kaynağı kabul kriterlerine göre incelenmiştir.



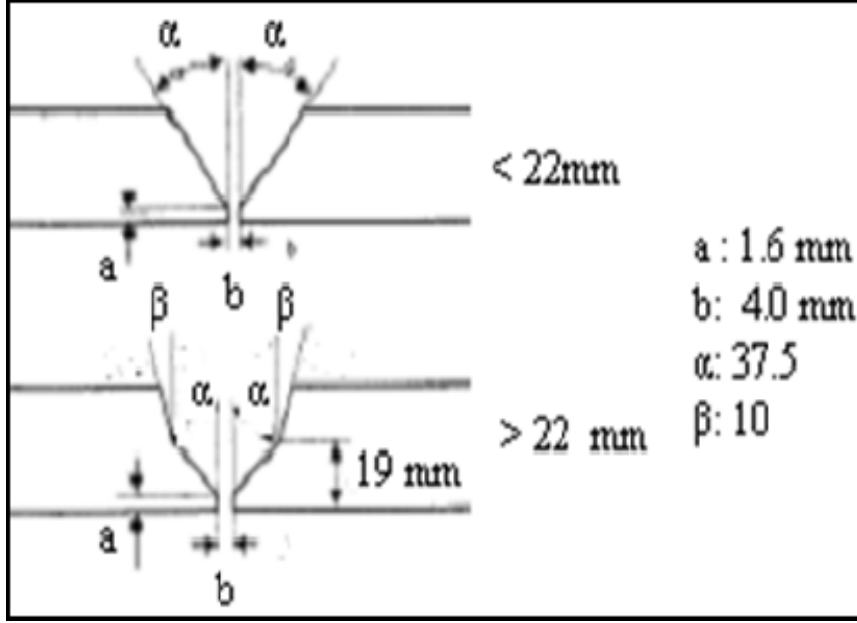
Şekil 5. 1 : Grup I, Tungsten inert gaz (TIG) kaynak geometrisi.

Şekil 5.2’de Çizelge 5.1’de belirtilen Grup II olarak isimlendirilen kaynak tekniğinin kaynak geometrisi belirtilmektedir. Bu geometride Grup I’deki gibi bir V alın kaynak yöntemidir.



Şekil 5. 2 : Grup II, Tungsten inert gaz (TIG) + Elektrik ark kaynak (SMAW) geometrisi.

Şekil 5.3’de Çizelge 5.1’de belirtilen Grup III olarak isimlendirilen kaynak tekniğinin kaynak geometrisi belirtilmektedir. Bu geometride Grup I ve Grup II’den farklı olarak ana malzeme kalınlığı ve kaynak ağzı hazırlığı farklı açılarda gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5. 3 : Grup III, Tungsten inert gaz (TIG) + Elektrik ark kaynak.

## 5.2 Yapılan Çalışmalarda Elde Edilen Kaynak Dikişlerinin Kaynak Yöntemine, Malzeme Tipi, Çap Ve Et Kalınlığı, Akışkan Cinsi, Pozlama Teknikleri

Radyografik muayeneleri gerçekleştirilen kaynaklar, kaynak dikişi parametrelerine göre sınıflandırılarak, Çizelge 5.2’de arz edilmektedir. Söz konusu sınıflandırma; malzeme tipi, çap ve et kalınlığı, akışkan cinsi ve standartlarda belirtilen pozlama tekniklerine göre yapılmıştır. Çizelge 5.2’de belirtilen dikişler Çizelge 3.1’de arz edilen Kategori M sınıfı uygun olarak (ASME B31-3’de belirtilen şartlarda) muayene edilmiş ayrıca 10-13 Numaralı Filmler, sahadaki araştırma mühendisince Kategori M sınıfı olarak kabul edilmiştir. Bunun yanında, hata kabul kriterleri Çizelge 5.1’de belirtilen şekilde yapılmıştır.

**Çizelge 5. 2 :**Yapılan çalışmalarda elde edilen kaynak dikişlerinin kaynak yöntemi, malzeme tipi,çap, kalınlık, akışkan cinsi ve pozlama teknikleri.

<b>Film No</b>	<b>Grup</b>	<b>Ana Malzeme Tipi</b>	<b>Boru Çap ve Kalınlığı Inch (mm/mm)</b>	<b>İşletme Akışkanı Dizayn Basıncı Dizayn Sıcaklığı</b>	<b>Radyografi Tekniği</b>
1	I	ASTM A333 Gr 6	2" (60.3 / 5.54)	Duman Gazı, 3.5 Bar, 75 °C	DWDI Süperimpoze
2	I	ASTM A333 Gr 6	2" (60.3 / 5.54)	Nitrojen, 10 Bar, 75 °C	DWDI Eliptik
3	I	ASTM A333 Gr 6	6" (168.3 / 7.11)	Su, 10 Bar, 50 °C	DWSI
4	I	ASTM A333 Gr 6	1" (33.4 / 9.09)	Ham Petrol, 30 Bar, 75 °C	DWDI Süperimpoze
5	I	ASTM A333 Gr 6	2" (60.3 / 5.54)	Su, 10 Bar, 50 °C	DWDI Eliptik
6	II	ASTM A333 Gr 6	20" (508.0 /12.7)	Alev Hattı 3.5 Bar / 230 °C	DWSI
7	II	ASTM A333 Gr 6	24" (610/ 9.53)	Ham Petrol, 12 Bar / 75 °C	SWSI Panaromik
8	II	ASTM A333 Gr 6	16" (406.4/9.53)	Rafine Petrol 14.5 Bar / 70 °C	DWSI
9	II	ASTM A333 Gr 6	16" (406.4/9.53)	Rafine Petrol 14.5 Bar / 70 °C	DWSI
10	II	ASTM A333 Gr 6	12" (323.9 /9.53)	Asit Gaz <sup>(Not 1)</sup> 1 Bar / 210 °C	DWSI
11	II	ASTM A333 Gr 6	12" (323.9 /9.53)	Asit Gaz <sup>(Not 1)</sup> 1 Bar / 210 °C	DWSI
12	II	ASTM A333 Gr 6	12" (323.9 /9.53)	Asit Gaz <sup>(Not 1)</sup> 1 Bar / 210 °C	DWSI
13	II	ASTM A333 Gr 6	20" (508.0 /9.53)	Asit Gaz <sup>(Not 1)</sup> 1 Bar / 210 °C	DWSI
14	III	ASTM A333 Gr 6	30" (762.0 /35.0)	Ham Petrol, 73 Bar / 75 °C	SWSI Panaromik

1. *Kategori M* sınıfı servis koşulları geçerlidir.

### **5.3 İncelenen Kaynak Dikişlerinin Radyografik Görüntülenmesi**

Banyolama işlemi ardından radyografik filmler illüminatörde görüntülenmiştir. Daha sonra söz konusu bu görüntüler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Dijital ortamda parlaklık ve kontrast ayarlamaları yapılmasının ardından ölçeklenerek kaydedilmiştir.

Uluslararası standartlara göre, radyografi çekilen borulardaki normaldeki uygulamalarda geometrik keskinsizlik maksimum 0.5 mm olarak alınmaktadır [20]. İncelenen bütün parçalara ilişkin elde edilen radyografik çalışmalarda geometrik keskinsizlik (yarı gölge) 0.5 mm 'nin altında olması hedeflenmiştir.

#### **5.3.1 Grup I tipi kaynak dikişlerinin radyografik görüntülenmesi**

İlk grup kaynaklar kök, sıcak paso ve kapak TIG kaynağı ile gerçekleştirilen et kalınlığı 11.9 mm'e kadar olan ve her bir kat (paso) ilerleme hızlarının yavaş olması nedeniyle 150 mm'den küçük çaplarda tercih edilmiştir.

Radyografik görüntüleme çift cidar tekniği uygulanmıştır. 80 mm'den daha küçük hatlarda geometrik kısıtlardan dolayı hassas bir şekilde (sensitivite) çift cidar görüntülenmesine, daha büyük hatlarda ise pozlama süresi optimizasyonunun sağlanması için tek cidar görüntülenmesine geçilmiştir.

##### **5.3.1.1 Dikiş 1'in radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi**

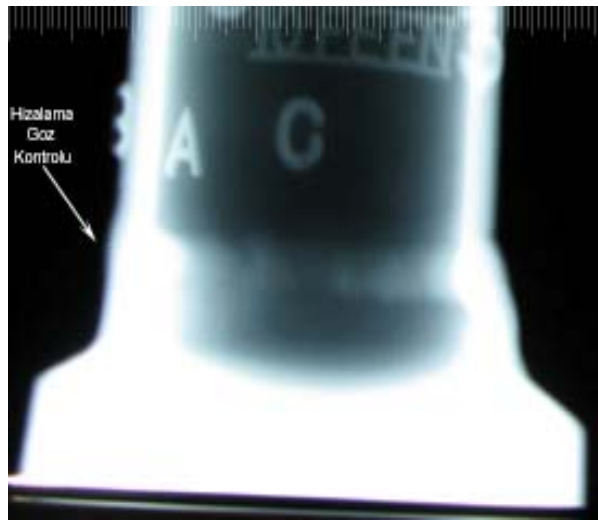
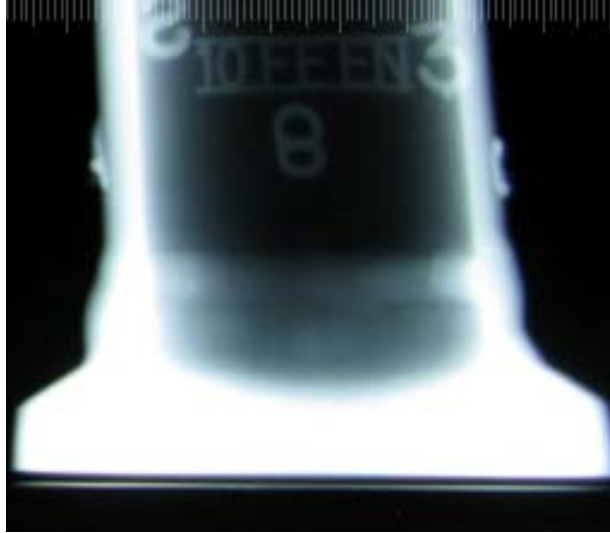
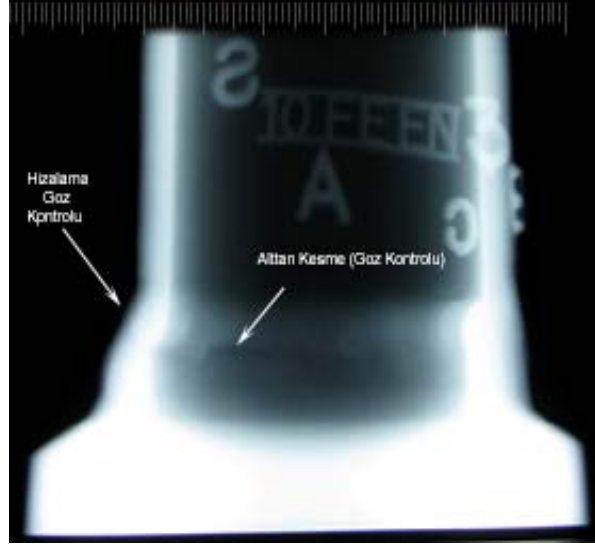
Kaynak dikiş parametrelerine göre Çizelge 5.1'de yapılan gruplandırmalarda arz edilen, Grup I kapsamındaki, dikiş 1 olarak isimlendirilen parçanın kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.3'de arz edilmektedir.

Bu çizelgede radyografi incelenen parçaya ait, hesaplanan yarı gölge, pozlama süresi, hesaplanan hassasiyet, film üzerinde penetremetre yardımıyla tespit edilen hassasiyet değeri ve densitometre yardımı ile belirlenen film yoğunluğu tanımlanmaktadır.

Çizelge 5.3 : Dikiş 1'in radyografi parametreleri.

Kaynak Grubu	Grup I		
Dikiş No	1		
Teknik / Çekim Açıları	DWDI Süperimpoze	0°-60°-120°; (A-B-C)	
Kullanılan Radyoizotoplar	<b>Adet</b>	<b>Çap</b>	
	3	2.7 mm	
Aktivite (Ci)	24		
Film Tipi	Agfa D4		
Film Faktörü	2.5		
Obje-film mesafesi	5.54 cm ( $T_w$ )		
Kaynak-obje mesafesi ( $D_0$ ) mm	660.3 (600 mm + Boru çapı)		
Malzeme Kalınlığı ( $T_w$ ) mm	5.54		
Yarı Gölge (mm)	0,07		
Penetrasyon Kalınlığı mm	2 x 5.54		
Pozlama Süresi (sn)	500		
Hassasiyet ( $T_w+2 T_{güçlendirme}$ ) x 2/100	<b>Hesaplanan</b>	<b>Okunan</b>	<b>IQI No</b>
	0.23	0.20	W13
Yoğunluk	2.6		

Şekil 5.4'de, kaynak dikişinin radyografik çekimi yapılan parçalardan, dikiş 1'in radyografik görüntüleri arz edilmektedir. Bu radyografik görüntüye göre kaynak dikişi standart gereksinimleri karşılamaktadır. Elde edilen görüntüde herhangi bir hacimsel kusura rastlanmamıştır. Çizelge 5.3'deki çekim açılarına göre, A, C için; Bölüm 3.1'deki kaynak kusurlarının sınıflandırılmasında tanımlanan, ISO 6520-1 Standardı kullanılmıştır. İlgili standarttaki tanımlanan hata no : 5072'ye göre, şekilsel düzgünlük, lineer hizalanmama tespit edilmiştir. Çekim açısı A için ise, ilgili standarttaki hata no: 5012'ye göre şekilsel düzgünlük, kısmi alttan kesme tespit edilmiştir.



Şekil 5. 4 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 1.

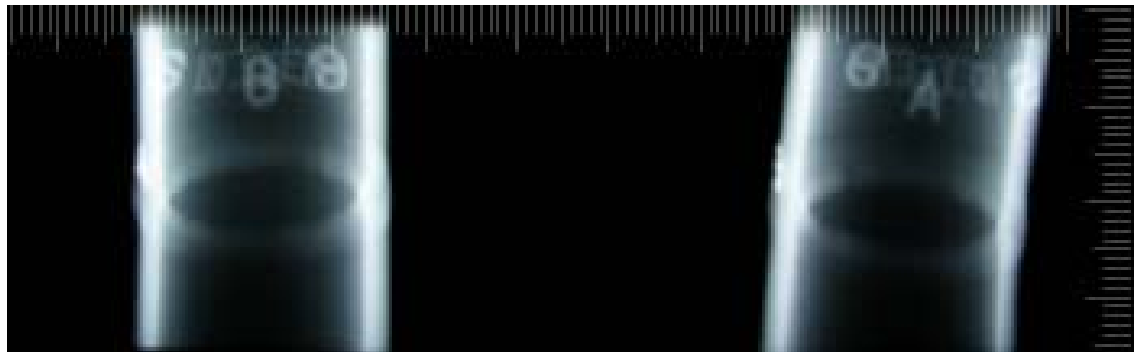
### 5.3.1.2 Dikiş 2'in radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi

Grup I kapsamında dikiş 2 olarak isimlendirilen parçanın kaynak dikişine ait radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.4'de arz edilmektedir. Bu parçanın iki farklı açıdan radyografik çekiminin yapılması standartlarda arz edilen gerekliliği karşılamaktadır.

Çizelge 5. 4 : Dikiş 2'nin radyografi parametreleri.

Kaynak Grubu	Grup I		
Dikiş No	2		
Teknik / Çekim Açıları	DWDI Eliptik	0°-90° (A, B)	
Kullanılan Radyoizotoplar	Adet	Çap	
	3	2.7 mm	
Aktivite (Ci)	27		
Film Tipi	Agfa D4		
Film Faktörü	2.5		
Obje-film mesafesi (d)	5.54 cm ( $T_w$ )		
Kaynak-obje mesafesi ( $D_0$ )	660.3 mm (600 mm + Boru çapı)		
Yarı Gölge (mm)	0.07		
Malzeme Kalınlığı ( $T_w$ ) mm	5.54		
Penetrasyon Kalınlığı, mm	2 x 5.54		
Pozlama Süresi (sn)	450		
Sensitivite ( $T_w+2 T_{güçlendirme}$ ) x 2/100	Hesaplanan	Okunan	IQI No
	0.23	0.20	W13
Okunan Densite	2.6		

Radyografik çekimi yapılan, dikiş 2'nin radyografik görüntüsü Şekil 5.5'de arz edilmektedir. Buradaki kaynak dikişinde herhangi bir süreksizlik gözlemlenmemiştir.



Şekil 5. 5 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 2.

### 5.3.1.3 Dikiş 3'ün radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi

Grup I kapsamında incelenen dikiş 3'ün, kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.5'de arz edilmektedir. Bu parçanın tek açıdan radyografik görüntüsünün alınması ASME BPV Code, Section 5.'da arz edilen standarta göre yeterli olmuştur.

Çizelge 5. 5 : Dikiş 3'ün radyografi parametreleri.

Kaynak Grubu	Grup I		
Dikiş No	3		
Teknik / Çekim Açılı	DWSI	0°-120°-240°;	
Kullanılan Radyoizotoplar	Adet	Çap	
	3	2.7 mm	
Aktivite (Ci)	39		
Film Tipi	Agfa D4		
Film Faktörü	2.5		
Obje-film mesafesi (d)	7.11 mm ( $T_w$ )		
Kaynak-obje mesafesi ( $D_0$ )	168.3 mm (Boru çapı)		
Yarı Gölge (mm)	0.34		
Malzeme Kalınlığı ( $T_w$ ), mm	7.11		
Penetrasyon Kalınlığı, mm	2 x 7.11		
Pozlama Süresi (sn)	30		
Sensitivite ( $T_w+2 T_{güçlendirme}$ ) x 2/100	Hesaplanan	Okunan	IQI No
	0.26	0.20	W13
Okunan Densite	2.3		

Şekil 5.6'da, kaynak dikişinin radyografik çekimi yapılan parçalardan, dikiş 3'ün radyografik görüntüleri arz edilmektedir. İncelenen parçaya ait 0-20 bölgesindeki radyografik görüntüde, Çizelge 3.3'de arz edilen ve ISO 6520-1 standartında tanımlanan hata no : 2011 tipi hata olan, 0 noktasında, 3mm ebadında izole gözenek tespit edilmiştir.







Şekil 5. 6 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 3.

#### 5.3.1.4 Dikiş 4'ün radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi

Grup I kapsamında incelenen dikiş 4'ün, kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.6'de arz edilmektedir. Bu parçanın tek açıdan radyografik görüntüsünün alınması ASME BPV Code, Section 5.'da arz edilen standarta göre yeterli olmuştur.

Çizelge 5. 6 : Dikiş 4'ün radyografi parametreleri.

Kaynak Grubu	Grup I		
Dikiş No	4		
Teknik / Çekim Açılı	DWDI	0°-60°-120° (A-B-C)	
Kullanılan Radyoizotoplar	Adet	Çap	
	3	1.25 mm	
Aktivite (Ci)	24		
Film Tipi	Agfa D4		
Film Faktörü	2.5		
Obje-film mesafesi (d), mm	9.09 (T <sub>w</sub> )		
Kaynak-obje mesafesi (D <sub>0</sub> ), mm	633.4 mm (600 mm + boru çapı)		
Yarı Gölge (mm)	0.05		
Malzeme Kalınlığı (T <sub>w</sub> ), mm	9.09		
Penetrasyon Kalınlığı, mm	2 x 9.09		
Pozlama Süresi (sn)	30		
Sensitivite (T <sub>w</sub> +2 T <sub>güçlendirme</sub> ) x 2/100	Hesaplanan	Okunan	IQI No
	0.34	0.32	W11
Okunan Densite	2.4		

Şekil 5.7’de, kaynak dikişinin radyografik çekimi yapılan parçalardan, dikiş 4’ün radyografik görüntüleri arz edilmektedir. İncelenen parçaya ait Çekim A ve C açılarında ISO 6520-1 standartında tanımlanan hata no : 5011’ya göre, şekilsel düzgünlük ve sürekli alttan kesme tespit edilmiştir.



Şekil 5. 7 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 4.

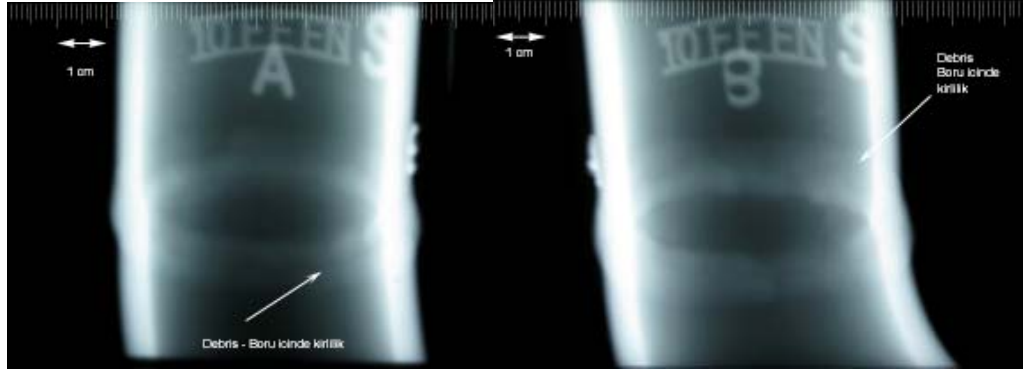
### 5.3.1.5 Dikiş 5’in radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi

Grup I kapsamında incelenen dikiş 5’in, kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.7’de arz edilmektedir. Bu parçanın iki açıdan radyografik görüntüsünün alınması ASME BPV Code, Section 5.’da arz edilen standarta göre yeterli olmuştur.

Çizelge 5. 7 : Dikiş 5’in radyografi parametreleri.

Kaynak Grubu	Grup I		
Dikiş No	5		
Teknik / Çekim Açılı	DWDI Eliptik	0°-90° (A-B)	
Kullanılan Radyoizotoplar	Adet	Çap	
	3	2.7 mm	
Aktivite (Ci)	39		
Film Tipi	Agfa D4		
Film Faktörü	2.5		
Obje-film mesafesi (d), mm	5.54 (T <sub>w</sub> )		
Kaynak-obje mesafesi (D <sub>0</sub> ), mm	660.3 (600 + Boru çapı)		
Yarı Gölge (mm)	0.07		
Malzeme Kalınlığı (T <sub>w</sub> ), mm	5.54		
Penetrasyon Kalınlığı, mm	2 x 5.54		
Pozlama Süresi (sn)	570		
Sensitivite (T <sub>w</sub> +2 T <sub>güçlendirme</sub> ) x 2/100	Hesaplanan	Okunan	IQI No
	0.23	0.20	W13
Okunan Densite	2.1		

Çizelge 5.7’de arz edilen çekim açılarına göre, Şekil 5.8’deki Çekim A ve Çekim B’de boru içinde kirlilik bulunmuştur. Bunun dışında standartlarda belirtilen herhangi bir süreksizlik gözlenmemiştir.



**Şekil 5. 8:** Radyografik görüntüleme dikiş no : 5.

### 5.3.2 Grup II tipi kaynak dikişlerinin radyografik görüntülenmesi

İkinci grup kaynaklar kök TIG, sıcak paso ve kapak elektrik ark kaynağı ile gerçekleştirilen et kalınlığı 11.9 mm’e kadar olan ve paso ilerleme hızlarının Grup I’e göre daha hızlı olması nedeniyle 150 mm’den büyük çaplarda tercih edilmiştir. Uygulamanın izin verdiği durumlarda (genellikle 400 mm’den daha büyük ve borunun iç cidarına ulaşılması mümkün olduğu durumlarda) panoramik çekim gerçekleştirilmiş, diğer durumlarda ise DWSI tekniği ile çekim yapılmıştır.

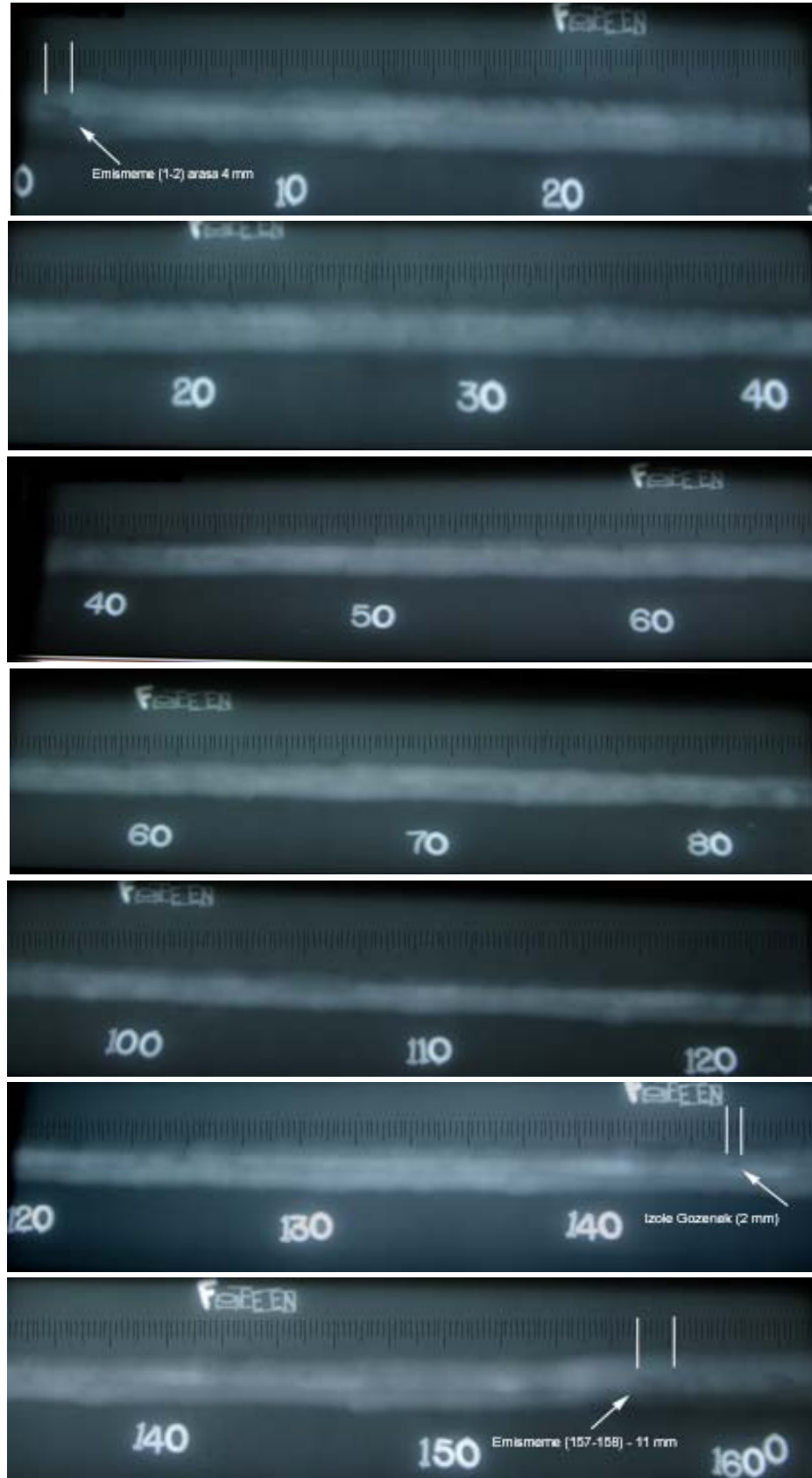
#### 5.3.2.1 Dikiş 6’nın radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi

Çizelge 5.1’de yapılan gruplandırmalarda belirtilen, Grup II kapsamında incelenen dikiş 6’nın, kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.8’de arz edilmektedir. Bu parçanın 120°’lik açılarla 3 adet radyografik görüntüsünün alınması ASME BPV Code, Section 5.’de arz edilen standarta göre yeterli olmuştur.

**Çizelge 5. 8 : Dikiş 6'nın radyografi parametreleri.**

<b>Kaynak Grubu</b>	<b>Grup II</b>		
<b>Dikiş No</b>	6		
<b>Teknik / Çekim Açılı</b>	DWSI	0°-120°-240°	
<b>Kullanılan Radyoizotoplar</b>	<b>Adet</b>	<b>Çap</b>	
	3	2.7 mm	
<b>Aktivite (Ci)</b>	39		
<b>Film Tipi</b>	Agfa D4		
<b>Film Faktörü</b>	2.5		
<b>Obje-film mesafesi (d), mm</b>	9.53 (T <sub>w</sub> )		
<b>Kaynak-obje mesafesi (D<sub>0</sub>), mm</b>	508 (Boru çapı)		
<b>Yarı Gölge (mm)</b>	0.20		
<b>Malzeme Kalınlığı (T<sub>w</sub>), mm</b>	9.53		
<b>Penetrasyon Kalınlığı, mm</b>	2 x 9.53		
<b>Pozlama Süresi (sn)</b>	350		
<b>Sensitivite</b> (T <sub>w</sub> +2 T <sub>güçlendirme</sub> ) x 2/100	<b>Hesaplanan</b>	<b>Okunan</b>	<b>IQI No</b>
	0.35	0.25	W11
<b>Okunan Densite</b>	2.8		

Çizelge 5.8'de arz edilen çekim açılılarına göre, incelenen parçaya ait 0-20 bölgesindeki radyografik görüntü Şekil 5.9'da arz edilmiştir. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de kriterleri belirtilen ve ISO 6520-1 4013 no'lu hata tipi olan, emişmeme hatası parça üzerindeki ilk 1-2 cm de (4 mm'lik emişmeme hatası) ve 157-158 cm arasında (11 mm'lik emişmeme hatası) tespit edilmiştir. Bununla birlikte incelenen parça üzerindeki 144. cm'de, ISO 6520-1 standartında tanımlanan 2011no'lu hata tipi olarak, 2 mm çapında izole gözenek tespit edilmiştir.



Şekil 5. 9 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 6.

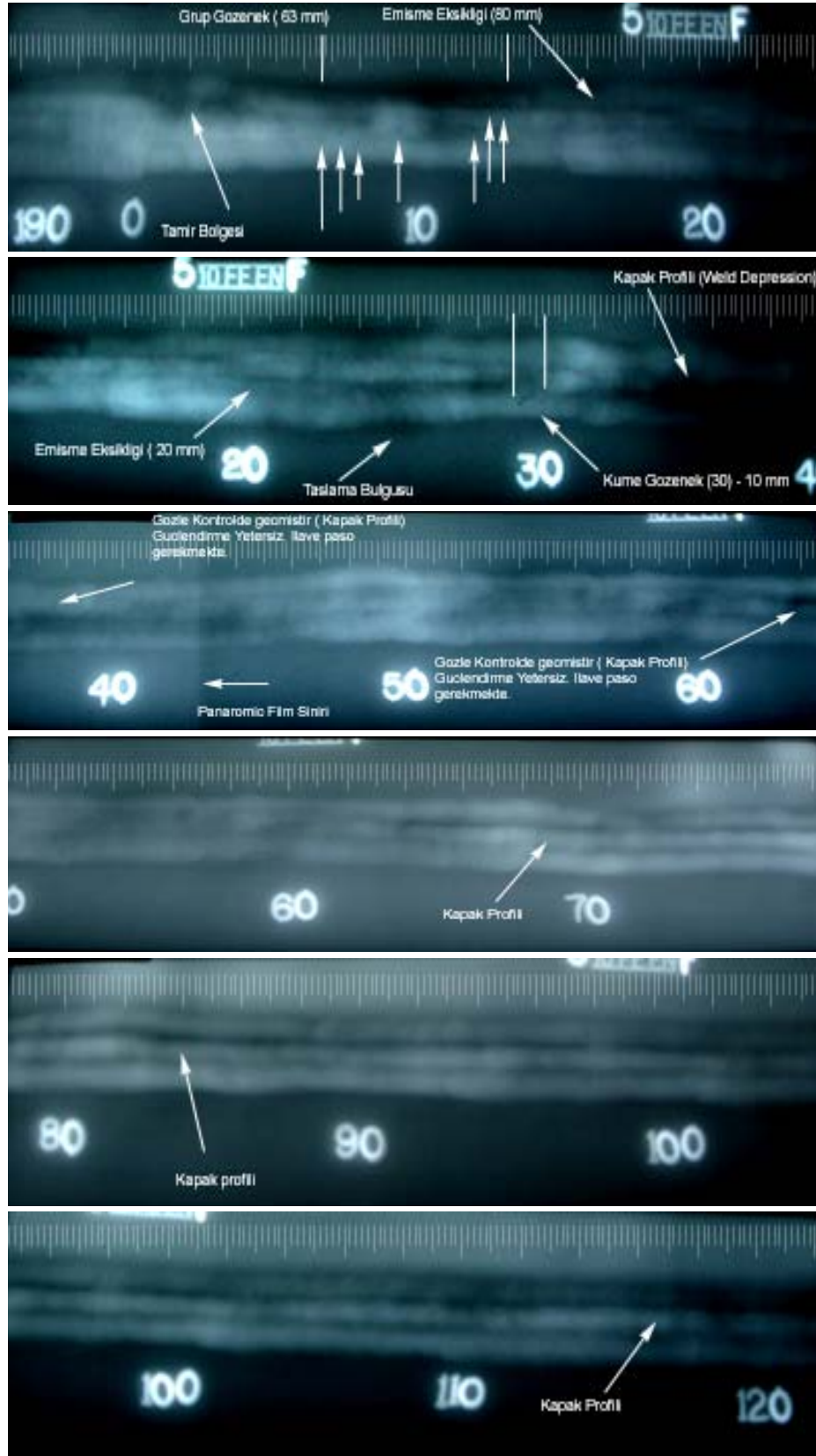
### 5.3.2.2 Dikiş 7'nin radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi

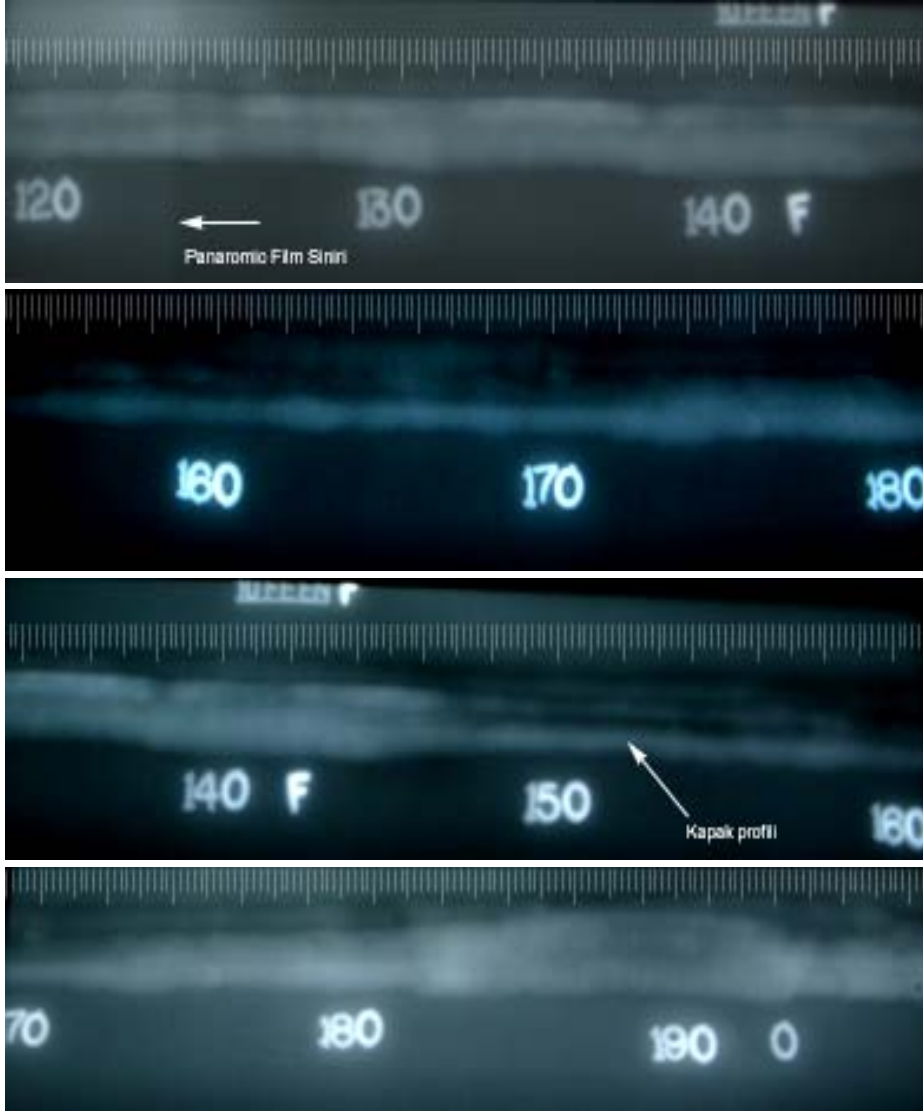
Grup II kapsamında incelenen dikiş 7'nin, kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.9'de arz edilmektedir. Bu parçanın panoramik radyografik görüntüsü alınmıştır ve bu çekim ASME BPV Code, Section 5.'da arz edilen standarda uygundur.

Çizelge 5. 9 : Dikiş 7'nin radyografi parametreleri.

Kaynak Grubu	Grup II		
Dikiş No	7		
Teknik / Çekim Açılı	SWSI	Panoramik	
Kullanılan Radyoizotoplar	Adet	Çap	
	3	2.7 mm	
Aktivite (Ci)	20		
Film Tipi	Agfa D4		
Film Faktörü	2.5		
Objektif mesafesi (d), mm	9.53 ( $T_w$ )		
Kaynak-objektif mesafesi ( $D_0$ ), mm	305 (Boru çapı / 2)		
Yarı Gölge (mm)	0.25		
Malzeme Kalınlığı ( $T_w$ ), mm	9.53		
Penetrasyon Kalınlığı, mm	9.53		
Pozlama Süresi (sn)	145		
Sensitivite ( $T_w+2 T_{güçlendirme}$ ) x 2/100	Hesaplanan	Okunan	IQI No
	0.32	0.25	W12
Okunan Densite	2.8		

Çizelge 5.9'da arz edildiği gibi panoramik çekim gerçekleştirilmiştir, incelenen parçaya ait dikiş no 8'in radyografik görüntüleri Şekil 5.10'da sunulmuştur. 0-40 bölgesindeki radyografik görüntüde, Çizelge 3.3'de arz edilen ve ISO 6520-1 standartında 2013 tipi hata olarak tanımlanan 7-13 arasındaki bölgede, 63 mm ve 30'uncu bölgede 10 mm grup gözenek saptanmıştır. Yine aynı radyografik film üzerinde, 4013 hata kodu ile tanımlanan, 20 numaralı bölgede konumlanmış 20 mm uzunluğunda emişmeme hatası ve 35-40 bölgeleri arasında 520 hata kodlu kapak profil düzgünsüzlüğü görülmüştür.





Şekil 5. 10 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 7.

### 5.3.2.3 Dikiş 8'in radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi

Grup II kapsamında incelenen dikiş 8'in, kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.10'de arz edilmektedir. Bu parçanın 3 adet 120° açılı çekimi gerçekleştirilmiştir ve ASME BPV Code, Section 5.'da arz edilen standarda uygundur.



Çizelge 5. 10 : Dikiş 8'in radyografi parametreleri.

<b>Kaynak Grubu</b>	Grup II		
<b>Dikiş No</b>	8		
<b>Teknik / Çekim Açılı</b>	DWSI	0°-120°-240°	
<b>Kullanılan Radyoizotoplar</b>	<b>Adet</b>	<b>Çap</b>	
	3	2.7 mm	
<b>Aktivite (Ci)</b>	57		
<b>Film Tipi</b>	Agfa D4		
<b>Film Faktörü</b>	2.5		
<b>Objekt-film mesafesi (mm)</b>	12.70 (T <sub>w</sub> )		
<b>Kaynak-objekt mesafesi (D<sub>0</sub>) (mm)</b>	406 (Boru çapı)		
<b>Yarı gölge (mm)</b>	0.19		
<b>Malzeme Kalınlığı (T<sub>w</sub>)</b>	12.70 mm		
<b>Penetrasyon Kalınlığı</b>	2 x 12.70 mm		
<b>Pozlama Süresi (sn)</b>	217		
<b>Sensitivite</b> (T <sub>w</sub> +2 T <sub>güçlendirme</sub> ) x 2/100	<b>Hesaplanan</b>	<b>Okunan</b>	<b>IQI No</b>
	0.40	0.25	W12
<b>Okunan Densite</b>	2.7		

Çizelge 5.10'da verilen radyografik çekim parametrelerine göre, dikiş 8'in radyografik görüntüleri Şekil 5.11'te arz edilmektedir. 3 adet 120° açılı çekim gerçekleştirilmiştir, incelenen parçaya ait 60-70 bölgesindeki radyografik görüntüde, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de arz edilen ve ISO 6520-1 standartında 4021 tipi hata olarak tanımlanan 13 mm uzunluğunda kökte birleşme tespit edilmiştir.



Şekil 5. 11 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 8.

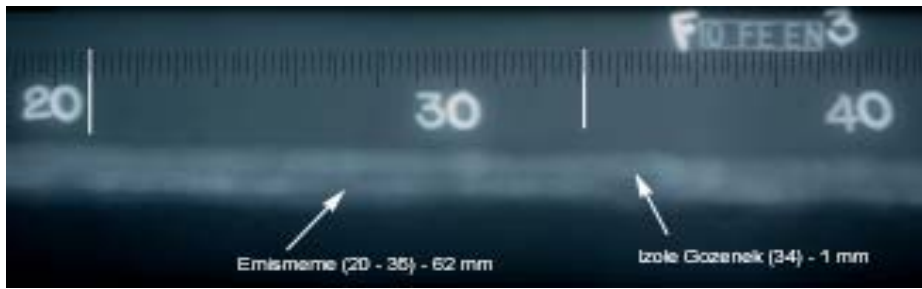
#### 5.3.2.4 Dikiş 9'un radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi

Grup II kapsamında incelenen dikiş 9'un, kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.11'de arz edilmektedir. Bu parçanın 3 adet 120° açılı çekimi gerçekleştirilmiştir ve ASME BPV Code, Section 5.'da arz edilen standarda uygundur.

Çizelge 5. 11 : Dikiş 9'un radyografi parametreleri.

<b>Kaynak Grubu</b>	Grup II		
<b>Dikiş No</b>	9		
<b>Teknik / Çekim Açılı</b>	DWSI	0°-120°-240°	
<b>Kullanılan Radyoizotoplar</b>	<b>Adet</b>	<b>Çap</b>	
	3	2.7 mm	
<b>Aktivite (Ci)</b>	51		
<b>Film Tipi</b>	Agfa D4		
<b>Film Faktörü</b>	2.5		
<b>Obje-film mesafesi (mm)</b>	12.70 (T <sub>w</sub> )		
<b>Kaynak-obje mesafesi (D<sub>0</sub>) (mm)</b>	406 (Boru çapı)		
<b>Yarı gölge (mm)</b>	0.19		
<b>Malzeme Kalınlığı (T<sub>w</sub>), mm</b>	12.70		
<b>Penetrasyon Kalınlığı, mm</b>	2 x 12.70		
<b>Pozlama Süresi (sn)</b>	242		
<b>Sensitivite</b> (T <sub>w</sub> +2 T <sub>güçlendirme</sub> ) x 2/100	<b>Hesaplanan</b>	<b>Okunan</b>	<b>IQI No</b>
	0.40	0.25	W12
<b>Okunan Densite</b>	2.7		

Çizelge 5.11'de verilen radyografik çekim parametrelerine göre, dikiş 9'un radyografik görüntüleri Şekil 5.12'te arz edilmektedir. İncelenen parçaya ait 20-40 bölgesindeki radyografik görüntüde, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de arz edilen ve ISO 6520-1 standartında 4013 tipi hata olarak tanımlanan 62 mm uzunluğunda emişmeme ve ilgili standartlarda 2011 tipi hata olarak tanımlanan izole gözenek 34 numaralı bölgede tespit edilmiştir.



Şekil 5. 12 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 9.

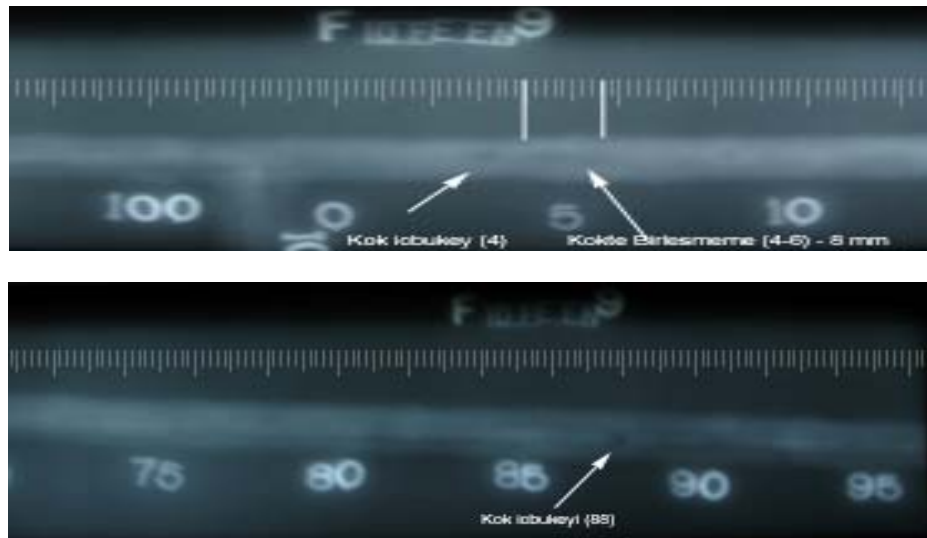
### 5.3.2.5 Dikiş 10'un radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi

Grup II kapsamında incelenen dikiş 10'un, kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.12'de arz edilmektedir. Bu parçanın 3 adet 120° görüntüsü alınmıştır ve ASME BPV Code, Section 5.'da arz edilen standarda uygundur.

Çizelge 5. 12 : Dikiş 10'un radyografi parametreleri.

<b>Kaynak Grubu</b>	Grup II		
<b>Dikiş No</b>	10		
<b>Teknik / Çekim Açıları</b>	DWSI	0°-120°-240°	
<b>Kullanılan Radyoizotoplar</b>	<b>Adet</b>	<b>Çap</b>	
	3	2.7 mm	
<b>Aktivite (Ci)</b>	35		
<b>Film Tipi</b>	Agfa D4		
<b>Film Faktörü</b>	2.5		
<b>Obj-e-film mesafesi (d), mm</b>	9.53 (T <sub>w</sub> )		
<b>Kaynak-obje mesafesi (D<sub>0</sub>) mm</b>	323.9 (Boru çapı)		
<b>Yarı gölge, mm</b>	0.24		
<b>Malzeme Kalınlığı (T<sub>w</sub>), mm</b>	9.53		
<b>Penetrasyon Kalınlığı, mm</b>	2 x 9.53		
<b>Pozlama Süresi (sn)</b>	155		
<b>Sensitivite</b> (T <sub>w</sub> +2 T <sub>güçlendirme</sub> ) x 2/100	<b>Hesaplanan</b>	<b>Okunan</b>	<b>IQI No</b>
	0.32	0.20	W13
<b>Okunan Densite</b>	2.4		

Çizelge 5.12'de verilen radyografik çekim parametrelerine göre, dikiş 10'un radyografik görüntüleri Şekil 5.13'te arz edilmektedir. İncelenen parçaya ait 100-10 bölgesindeki radyografik görüntüde, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de arz edilen ve ISO 6520-1 standartında 4021 tipi hata olarak tanımlanan 8 mm uzunluğunda kökte birleşmeme ve 515 tipi hata olarak tanımlanan kök içbükeylik 3 ve 87 bölgelerde tespit edilmiştir.



Şekil 5. 13 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 10.

### 5.3.2.6 Dikiş 11'in radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi

Grup II kapsamında incelenen dikiş 11'in, kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.13'de arz edilmektedir. Bu parçanın 3 adet 120° açılı çekimi gerçekleştirilmiştir ve ASME BPV Code, Section 5.'da arz edilen standarda uygundur.

Çizelge 5. 13 : Dikiş 11'in radyografi parametreleri.

Kaynak Grubu	Grup II		
Dikiş No	11		
Teknik / Çekim Açılı	DWSI	0°-120°-240°	
Kullanılan Radyoizotoplar	Adet	Çap	
	3	2.7 mm	
Aktivite (Ci)	35		
Film Tipi	Agfa D4		
Film Faktörü	2.5		
Obje-film mesafesi (d)	9.53 (T <sub>w</sub> )		
Kaynak-obje mesafesi (D <sub>0</sub> ) mm	323.9 (Boru çapı)		
Yarı gölge, mm	0.24		
Malzeme Kalınlığı (T <sub>w</sub> ), mm	9.53		
Penetrasyon Kalınlığı, mm	2 x 9.53		
Pozlama Süresi (sn)	155		
Sensitivite (T <sub>w</sub> +2 T <sub>güçlendirme</sub> ) x 2/100	Hesaplanan	Okunan	IQI No
	0.32	0.20	W13
Okunan Densite	2.6		

Çizelge 5.13'de verilen radyografik çekim parametrelerine göre, dikiş 11'in radyografik görüntüleri Şekil 5.14'te arz edilmektedir. İncelenen parçaya ait 45-70 bölgesindeki radyografik görüntüde, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de arz edilen ve ISO 6520-1 standartında 510 tipi hata olarak tanımlanan yanma oluğu 48 ve 66 . bölgelerde tespit edilmiştir.



Şekil 5. 14 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 11.

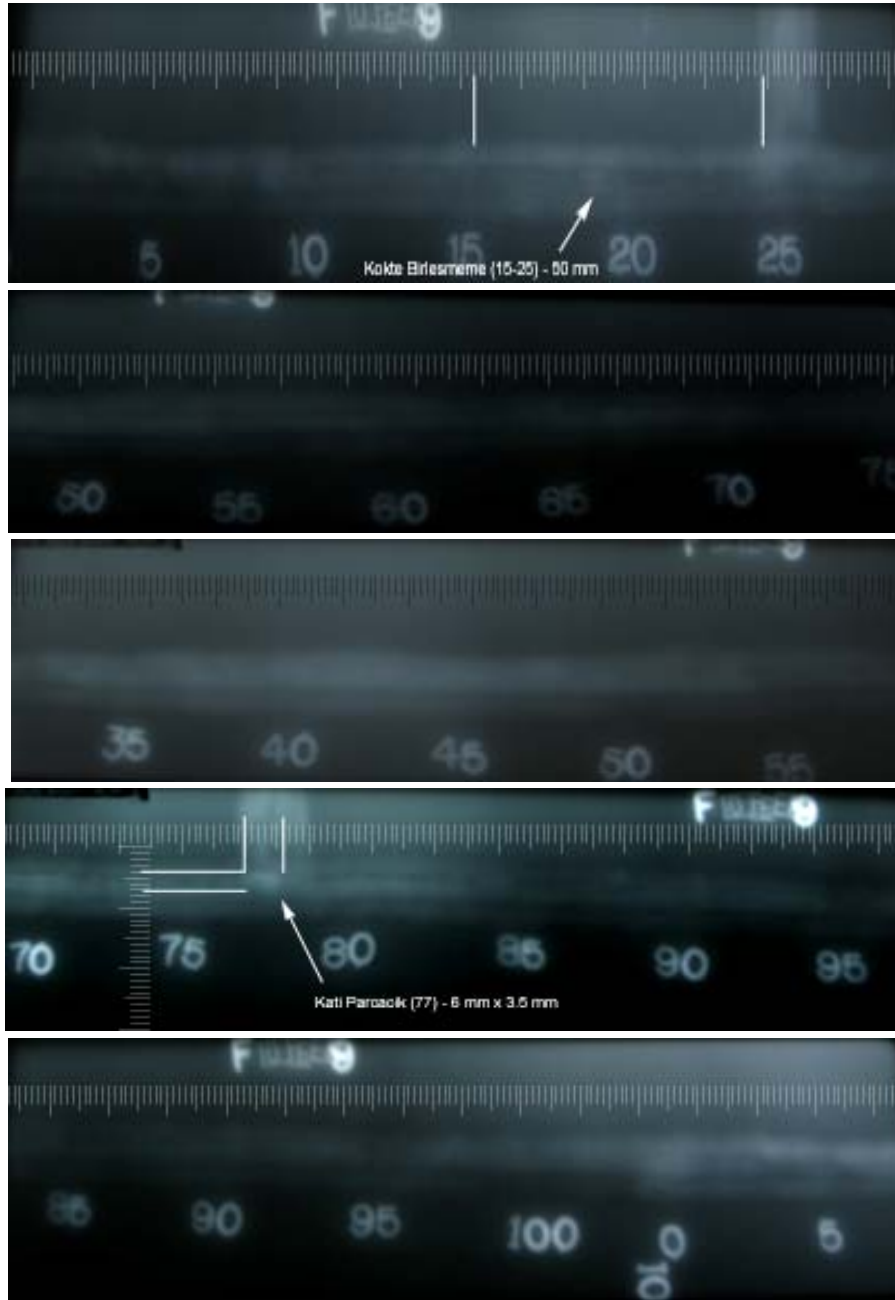
### 5.3.2.7 Dikiş 12'nin radyografi parametreleri ve radyografik incelenmesi

Grup II kapsamında incelenen dikiş 12'nin, kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.14'de arz edilmektedir. Bu parçanın 3 adet 120° açılı çekimi gerçekleştirilmiştir ve ASME BPV Code, Section 5.'da arz edilen standarda uygundur.

Çizelge 5. 14 : Dikiş 11'in radyografi parametreleri.

Kaynak Grubu	Grup II		
Dikiş No	12		
Teknik / Çekim Açılı	DWSI	0°-120°-240°	
Kullanılan Radyoizotoplar	Adet	Çap	
	3	2.7 mm	
Aktivite (Ci)	35		
Film Tipi	Agfa D4		
Film Faktörü	2.5		
Obje-film mesafesi (d)	9.53 mm ( $T_w$ )		
Kaynak-obje mesafesi ( $D_0$ ) mm	323.9 (Boru çapı)		
Yarı gölge, mm	0.24		
Malzeme Kalınlığı ( $T_w$ )	9.53 mm		
Penetrasyon Kalınlığı	2 x 9.53 mm		
Kaynak Objeye Mesafesi ( $D_0$ ) (cm)	Hesaplanan	Uygulama	
	X	323.90 (12")	
Pozlama Süresi (sn)	155		
Sensitivite ( $T_w+2 T_{güçlendirme}$ ) x 2/100	Hesaplanan	Okunan	IQI No
	0.32	0.20	W13
Okunan Densite	2.4		

Çizelge 5.14'de verilen radyografik çekim parametrelerine göre, dikiş 12'nin radyografik görüntüleri Şekil 5.15'te arz edilmektedir. İncelenen parçaya ait 0-25 bölgesindeki radyografik görüntüde, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de arz edilen ve ISO 6520-1 standartında 4021 tipi hata olarak tanımlanan 90 mm kökte birleşmeme 15-25 bölgeleri arasında tespit edilmiştir. Bununla birlikte, ISO 6520-1 standartında 3041 tipi hata olarak tanımlanan tungsten parçacık (6 x 3.5 mm ebadlarında) 77 numaralı bölgede bulunmuştur.



Şekil 5. 15 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 12.

### 5.3.2.8 Dikiş 13'ün parametreleri ve radyografik incelenmesi

Grup II kapsamında incelenen dikiş 13'ün, kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.15'de arz edilmektedir. Bu parçanın 3 adet 120° açılı çekimi gerçekleştirilmiştir ve ASME BPV Code, Section 5.'da arz edilen standarda uygundur.

Çizelge 5. 15 : Dikiş 13'in radyografi parametreleri.

<b>Kaynak Grubu</b>	Grup II		
<b>Dikiş No</b>	13		
<b>Teknik / Çekim Açıları</b>	DWSI	0°-120°-240°	
<b>Kullanılan Radyoizotoplar</b>	<b>Adet</b>	<b>Çap</b>	
	3	2.7 mm	
<b>Aktivite (Ci)</b>	37		
<b>Film Tipi</b>	Agfa D4		
<b>Film Faktörü</b>	2.5		
<b>Obje-film mesafesi (d)</b>	9.53 mm ( $T_w$ )		
<b>Kaynak-obje mesafesi (<math>D_0</math>) mm</b>	508 (Boru çapı)		
<b>Yarı gölge, mm</b>	0.15		
<b>Malzeme Kalınlığı (<math>T_w</math>)</b>	9.53 mm		
<b>Penetrasyon Kalınlığı</b>	2 x 9.53 mm		
<b>Kaynak Objeye Mesafesi (<math>D_0</math>) (cm)</b>	508.00 (Boru çapı)		
<b>Pozlama Süresi (sn)</b>	360		
<b>Sensitivite</b> $(T_w + 2 T_{güçlendirme}) \times 2/100$	<b>Hesaplanan</b>	<b>Okunan</b>	<b>IQI No</b>
	0.32	0.20	W13
<b>Okunan Densite</b>	2.4		

Çizelge 5.15'de verilen radyografik çekim parametrelerine göre, dikiş 13'ün radyografik görüntüleri Şekil 5.16'te arz edilmektedir. İncelenen parçaya ait 0-25 bölgesindeki radyografik görüntüde, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de arz edilen ve ISO 6520-1 standartında 5041 tipi hata olarak tanımlanan takviye yüksekliği fazlalığı ve 5061 tipi üst üste binme hatası (overlap) tespit edilmiştir.



Şekil 5. 16 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 13.

### 5.3.3 Grup III tipi kaynak dikişlerinin radyografik görüntülenmesi

Üçüncü grup kaynaklar kök, sıcak paso TIG kaynağı ile gerçekleştirilen et kalınlığı 22 mm'den büyük olan hatlarda gerçekleştirilmiştir. Radyografik görüntüleme tek cidar tekniği uygulanmıştır. Boru çapları yüksek olduğu için panoramik çekim gerçekleştirilmiştir.

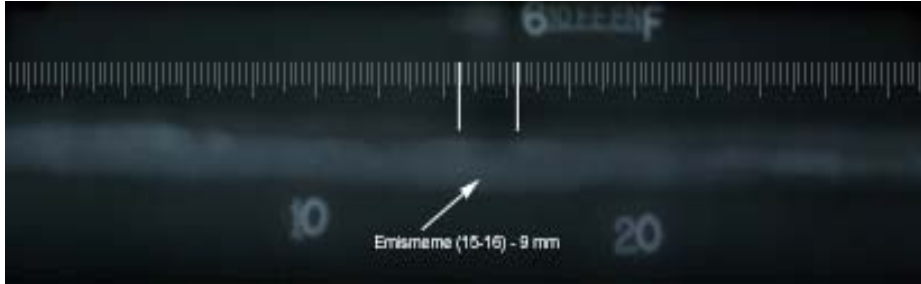
### 5.3.3.1 Dikiş 14'ün parametreleri ve radyografik incelenmesi

Grup III kapsamında incelenen dikiş 14'ün, kaynak dikişinin radyografik çekim parametreleri Çizelge 5.16'de arz edilmektedir. Bu parçanın panoramik çekimi gerçekleştirilmiştir ve ASME BPV Code, Section 5.'da arz edilen standarda uygundur.

Çizelge 5. 16 : Dikiş 14'ün radyografi parametreleri.

Kaynak Grubu	Grup III		
Dikiş No	14		
Teknik / Çekim Açıları	SWSI	Panoramik	
Kullanılan Radyoizotoplar	Adet	Çap	
	3	1.25 mm	
Aktivite (Ci)	46		
Film Tipi	Agfa D4		
Film Faktörü	2.5		
Obje-film mesafesi (d), mm	35.00 ( $T_w$ )		
Kaynak-obje mesafesi ( $D_0$ ) mm	381 (Boru çapı / 2)		
Yarı gölge, mm	0.34		
Malzeme Kalınlığı ( $T_w$ )	35.00		
Penetrasyon Kalınlığı	35.00		
Pozlama Süresi (sn)	395		
Sensitivite ( $T_w+2 T_{güçlendirme}$ ) x 2/100	Hesaplanan	Okunan	IQI No
	0.80	0.40	W10
Okunan Densite	2.3		

Çizelge 5.16'da verilen radyografik çekim parametrelerine göre, dikiş 14'ün radyografik görüntüleri Şekil 5.17'de arz edilmektedir. İncelenen parçaya ait 15-16 bölgesindeki radyografik görüntüde, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de arz edilen ve ISO 6520-1 standartında 4013 tipi hata olarak tanımlanan 9 mm emişme hatası tespit edilmiştir.



Şekil 5. 17 : Radyografik görüntüleme dikiş no : 14.



## 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında endüstriyel radyografi ile radyografik olarak hata tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Petrol boru hatları ve endüstriyel tesislerin proses hatlarında kullanılan ve maksimum 35 mm kalınlığa sahip borulardaki kaynak dikişlerinin incelenmesi amacıyla yapılan radyografik çalışmalarda, Ir-192 radyoizotopunun kullanımının, yeterli olduğu görülmüştür.

Radyografik çekimlerleri yapılan kaynak dikişlerinde, kaynakları gerçekleştiren kaynakçıların uluslararası standartlarda belirtilen şekillerde kalifikasyonlara sahip olsa bile, radyografi ile tespit edilen yetersizliklerin çalışma sahasında anında tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Uluslararası Standartlarda önerilen değerlerde çalışılarak kaynak dikişlerindeki hatalar belirlenerek hassas bir şekilde değerlendirilmiştir. Radyografik muayenede, Uluslararası Standartlarda tanımlı, hata analizine ilişkin olarak, kaynak dikişlerinde tespit edilen hataların standartlarda belirtilen hata şartlarından sapmaları bu Yüksek Lisans Tezi kapsamında, detaylı bir şekilde belirlenmiştir. Böylece, petrol taşınım sahasında ve endüstriyel tesislerin proses hatlarında birbirine kaynaklanarak monte edilen boru parçalarının kaynak dikişlerinde oluşabilecek hataların kontrolünün sağlanması, daha sonraki dönemlerde petrol ve rafinasyon işlemi yapılan akışkanın taşınım güvenliği ve akışkanın taşınımının sürekliliğinin sağlanmasında önem taşıyabileceği görülmüştür.

Petrol taşınım sahasında veya endüstriyel tesislerdeki taşınım hatlarının güvenliğinin sağlanmasında ve olası meydana gelebilecek sorunların en aza indirilmesinde, bu tez çalışmasında arz edilen tek cidar ve çift cidar görüntüleme yöntemlerinin kullanımının önem teşkil edebileceği tespit edilmiştir.

Radyografik çekimlere ilişkin pozlama süreleri, duyarlılık ve yoğunluk gereksinimleri her teknik ve deneysel kısıtlara (izotop yerleştirme, malzeme tipi ve kalınlığı) bağlı olarak hesaplanmalar yapılmış olup, mukayesenin kolay olabilmesi için, her kaynak tekniğine göre gruplandırılma yapılarak bu yüksek lisans tezi kapsamında kaynak hata tipleri hassas bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu amaçla,, olası banyolama hatalarının bertaraf edilmesi için, radyografik çekimlerin ardından, kullanılan filmlere uygun olarak, film banyolama işlemi otomatik film banyolama ekipmanında gerçekleştirilmiştir.

Kaynak hatalarının tespitinde, standartlarda belirtilen minimum geometrik görüntü kalite kriterlerini (hassasiyet, yoğunluk, geometrik keskinsizlik) sağlayacak şekilde radyografik muayene tekniği uygulanmıştır. Böylece, petrol boru hatlarının geçtiği sahada, radyografik yöntem ile kaynak kalitesi hassas bir şekilde tespit edilebilmiştir.

Kaynak dikişlerinin radyografi tekniğine bağlı olarak malzeme penetrasyonu da değişmekte, dolayısıyla pozlama süresi optimizasyonunun sağlanması için bu tez çalışması kapsamında mümkün olduğunca tek cidar teknikleri tercih edilmiştir. 88 mm ve daha küçük çaplı borularda ve saha kaynaklarında çift cidar çift görüntüleme ve çift cidar tek görüntüleme yöntemi; 88 mm çapından daha büyük borularda ve atölye kaynaklarında ise tek cidar tek görüntüleme ve çift cidar tek görüntüleme tekniklerinin kullanımı, daha sonraki dönemlerde sahadaki petrol taşınımının güvenliği ve sürekliliğinin sağlanmasında önem taşıyabilecektir.

Bulunan kaynak hatalarının elimine edilebilmesi için kaynak dikiş dizayn parametrelerinin imalat esnasında takip edilmesi, kaynakçıların bu parametrelere uygun olarak kaynak yapmalarının sağlanması ve bu kontrollerin sürekliliğinin sağlanması oldukça önemlidir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Bilge, A.N., Tuğrul, B.**, 1990. Endüstriyel Radyografinin Esasları., İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, Genel Yayın No: 20, İstanbul.
- [2] **Omachanu, V. K., and Ross, J. E.**, 2004. Principles of Total Quality, 3<sup>rd</sup> ed., Boca Raton : CRC Press.
- [3] **Taylor, F. T.**, 1997: The Principles of Scientific Management, 3<sup>rd</sup> ed., Dover Publication.
- [4] **Shewhart, W. A.**, 1931-1980. Economic Control of Quality of Manufactured Product, Milwaukee,WI : American Society of Quality Press.
- [5] **Council Directive 85/374/EEC, 1985.** Defective Products : Liability, *European Standart.*
- [6] **Juran, J. M., and Gryna, F.M.**, 1999. Quality Control Handbook,5<sup>th</sup> ed.,New-York: McGraw-Hill.
- [7] **Taguchi, G.**, 1986. Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes, White Plains, New-York : Quality Resources.
- [8] **Pyzdek, T.**, 2003. Quality Engineering Handbook,2<sup>nd</sup> ed.,New-York: CRC Press.
- [9] **Mix, P. E.**, 2005. Introduction to Nondestructive Testing, 2<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons.
- [10] **Hellier, C. J.**, 2003. Handbook of Non-destructive Evolution, McGraw-Hill.
- [11] **Moore, P. A.**, 2002. Non Destructive Testing Handbook Vol.4: Radiographic Testing,3<sup>rd</sup> ed.,Columbus, OH: ASNT Press.
- [12] **Quinn, R. A.**, 1980. Radiography in Modern Industry, 4<sup>rd</sup>ed., New-York: Eastman Kodak Company.
- [13] **Marstbloom, K., and Kochakian, R., Vaessen, B., & Willems, P., 2001,** Analog Film Radiography Technology Advancements, *ASNT Fall Conference & Quality Testing 2001 Paper Summaries Book*, 165-167, ASNT, Columbus OH
- [14] **EN 584-1**, 2006. Non-destructive testing. Industrial radiographic film. Classification of film systems for industrial radiography, *European Norm.*
- [15] **ASTM E 1815**, 1996. Standart Test Method for Classification of Film System for Industrial Radiography, *ASME*, West Conshohocken PA.
- [16] **ISO 11699-1**, 1998. Non-destructive Testing- Industrial Radiographic Films, *International Organization for Standarization*, Geneva-Switzerland.
- [17] **ASTM E 1742**, 1995. Standart Practice for Radiographic Examination, *ASME*.

- [18] **Edalati, K., Rokrok, B., Kermani, A., Seidei, M., Movafeghi, A., & Shahandeh, M.,** 2007. Scattering and Image Contrast Simulation for Double Wall Radiography of Pipes. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 84, 441-450. Retrieved October 18, 2009, from <http://www.sciencedirect.com>
- [19] **Holt, R. S., Cooper, M. J.,** 1987. Gamma-ray scattering NDE, *NDT International*, Vol. 20, No. 3, 161–165. Retrieved October 18, 2009, from <http://www.sciencedirect.com>
- [20] **Evert, U., Stade, J.,** 1999. Comparative Analysis of Image Quality from X-ray Radiography and Gamma Radiography Using Selenium 75 and Iridium 192, *Material Evaluation Vol 57 No 2*, 117-121, ASNT, Columbus OH
- [21] **ANSI N43.9, 1991.** Gamma-Radiography : Specification for Desing and Testing Apparatus, *ANSI*.
- [22] **Special Report.,** 1980. NDE Characteristic of Pipe Weld Defects, NP-1590-SR, *Electric Power Research Institute, Palo Alto CA.*
- [23] **Becker, G. L., 1972,** Factors Governing Radiographic Crack Detectability in Steel Weld Specimen, *Material Evolution Vol 30 No 7*, 149-152, ASNT, Columbus OH
- [24] **Dutili, J. W., & Tenney, G. H., 1994,** A Preliminary Investigation of the Radiographic Visualization of Cracks, *Non-destructive Testing Vol 12 No 2*, 13-15, ASNT, Columbus OH
- [25] **ASME B31.3, 2006.** ASME Code for Pressure Piping : Process Piping, *ASME*.
- [26] **ASME BPV Code Section V, 2004.** Non Destructive Examination, *ASME*.
- [27] **ISO 6520-1, 2007.** Welding and allied processes - Classification of geometric imperfections in metallic materials - Part 1: Fusion welding, *International Organization for Standarization*
- [28] **ASME BPV Code Section VIII, 2004.** Rules for Construction of Pressure Vessels, *ASME, New-York.*
- [29] **EN 462-1, 1994.** Non-Destructive Testing. Image Quality Of Radiographs. Image Quality Indicators (Wire Type). Determination Of Image Quality Value, *European Norm.*
- [30] **DIN 54109, 1962.** Non-destructive Testing; Image Quality of Radiography, *Deutches Institut für Normung.*
- [31] **AS 2177-1, 1994.** Non-destructive Testing, Radiography of Welded Butt Joints in Metal, *Australian Standart.*
- [32] **AS 2177-2, 1982.** Image Quality Indicators (IQI) and Recommendations for Their Use, *Australian Standart.*
- [33] **API 1104, 2001.** Welding of Pipelines and Related Facilities, *API.*
- [34] **ISO 19232-1, 2004.** Non-destructive testing - Image quality of radiographs - Part 1: Image quality indicators (wire type) - Determination of image quality value, *International Organization for Standarization*

- [35] **EN 462-3**, 1997. Non-destructive Testing. Image Quality of Radiographs, Image Quality Classes for Ferrous Metals, *European Norm*.
- [36] **Morisson, A.**, 1951. Ir-192 for Gamma-ray Radiography. *Non Destructive Testing*, Vol. 10 No:1, 26-28, ASNT.
- [37] **Lumb, R. F.**, 1969. Non-destructive testing of high-pressure gas pipelines, *Non-Destructive Testing*, Volume 2 No 4, 259-268, ASNT, Columbus OH
- [38] **Rajendran, C. M.**, 2009. ASNT Radiographic Testing Personel Eğitim Notları (SNT-TC-1A - 2001).



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Cihan DELİGÖZ

**Doğum Yeri ve Tarihi:** 29.02.1980

**Adres:** Gülbağ Mah. Karanfil Çıkmaz Sok. Çiçekçi Apt. No:1

Mecidiyeköy / Şişli / İstanbul

**Lisans Üniversitesi:** İstanbul Teknik Üniversitesi – Makina Fakültesi

