

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**KARBON ÇELİĞİ BORULARINDA  
DİJİTAL RADYOGRAFİ KULLANILARAK KOROZYON TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hüseyin YILDIRIM**

**Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı**

**Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı**

**Anabilim Dalı : Herhangi Mühendislik, Bilim**

**Programı : Herhangi Program**

**OCAK 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**KARBON ÇELİĞİ BORULARINDA  
DİJİTAL RADYOGRAFİ KULLANILARAK KOROZYON TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hüseyin YILDIRIM  
(30211010)**

**Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı**

**Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nilgün BAYDOĞAN  
Anabilim Dalı : Herhangi Mühendislik, Bilim  
Programı : Herhangi Program**

**OCAK 2015**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 302111010 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hüseyin YILDIRIM** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KARBON ÇELİĞİ BORULARINDA DİJİTAL RADYOGRAFİ KULLANILARAK KOROZYON TESPİTİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Nilgün BAYDOĞAN**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Beril TUĞRUL**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **15 Aralık 2014**

**Savunma Tarihi :**      **20 Ocak 2015**



*Eşim Çiğdem ve oğlum Deniz Erdem'e,*





## ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans Tez Çalışmasında, dijital radyografi sistemi kullanılarak farklı çaptaki boruların teğet tekniği yöntemiyle cidar kalınlıklarının tespitine ilişkin deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada gerek yönlendirme olarak gerekse tezin planlanmasında ve deneysel sonuçların değerlendirilmesinde değerli bilgisini ve zamanını esirgemeyen bana her türlü yardımı sağlayan danışman hocam sayın Doç.Dr Nilgün BAYDOĞAN'a teşekkürü bir borç bilir şükranlarımı sunarım.

Bununla birlikte çalışmanın hazırlanması sırasında değerli bilgilerini ve zamanını esirgemeyen ÇNAEM Koordinatörü sayın Doç.Dr.Şinasi EKİNCİ'ye, her türlü desteğinden dolayı ÇNAEM Uzmanları Sayın Özden DORUKÖZ BİLGİÇ'e ve Sayın Sebahattin GÜVENDİK'e, Süleyman AKÇA'ya ve bu zamana kadar bana emeği geçen tüm hocalarıma en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Maddi ve manevi olarak hayatımın her safhasında bana hep destek olan çok sevgili eşim Çiğdem BAYAR YILDIRIM'a sonsuz teşekkür ederim.

Aralık 2014

Hüseyin YILDIRIM  
(Fizikçi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xixxi
SUMMARY .....	xxiix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Tahribatsız muayene metodları (Non-Destructive Testing) - NDT.....	1
<b>2. RADYASYON .....</b>	<b>5</b>
2.1 X-Işınları .....	6
2.1.1 Karakteristik X-Işınları .....	6
2.1.2 Sürekli X-ışınları.....	7
2.2 Gama Işınları ve Radyoaktivite.....	7
2.2.1 Gama ışınları .....	8
2.2.2 Radyoaktivitenin ölçülmesi.....	9
2.2.3 Radyoaktif bozunumun zamana bağımlılığı .....	9
2.2.3.1 Yarı ömür .....	10
2.2.4 Ters kare kanunu .....	10
2.2.5 Doz hızı sabiti .....	11
2.3 Elektromanyetik Radyasyonu Madde İle Etkileşmesi .....	12
2.3.1 Fotoelektrik olay .....	13
2.3.2 Compton saçılması.....	13
2.3.3 Çift oluşumu.....	14
<b>3. RADYOGRAFİ .....</b>	<b>17</b>
3.1 X-ışını Üretimi .....	17
3.1.1 X-ışını tüpü .....	17
3.1.1.1 Anot ve katot .....	18
3.1.1.2 Hedef malzeme.....	18
3.1.2 Kontrol paneli .....	19
3.2 Gama Radyografisi.....	20
3.2.1 Radyografide kullanılan radyoizotopların özellikleri .....	21
3.2.1.1 Geometrik yarıgölge.....	21
3.2.1.2 Enerji .....	22
3.2.2 Gama radyografi cihazları.....	23
3.3 Radyografik Kalite .....	24
3.3.1 Radyografik görüntü kalite faktörleri .....	25
3.3.1.1 Radyasyon kaynağı faktörü.....	25
3.3.1.2 Radyografik film .....	26
3.3.1.3 Ekran faktörü.....	27

3.3.1.4 Pozlama süresi.....	27
3.3.2 Görüntü kalite göstergeleri.....	28
3.4 Radyografik Işınlama Hesaplamaları .....	28
3.4.1 Radyasyon miktarı.....	28
3.4.2 Teorik olarak ışınlama süresinin hesaplanması.....	29
3.5 Dijital Radyografi.....	29
3.5.1 Film dijitalleştirme .....	30
3.5.2 Radyoskopi.....	31
3.5.3 Bilgisayarlı radyografi.....	32
3.6 Dijital Radyografide Görüntü Kalitesi .....	35
3.6.1 Uzaysal çözünürlük .....	35
3.6.1.1 Modulation Transfer Function (MTF).....	35
3.6.1.2 Detective Quantum Efficiency (DQE) .....	36
3.6.2 Piksel boyutu .....	37
3.6.3 Gürültü.....	37
3.6.3.1 Kuantum beneklenmesi .....	37
3.6.3.2 Yapısal beneklenme .....	37
3.6.3.3 Film graininess .....	38
3.6.3.4 Etkin erim.....	38
<b>4. RADYOGRAFİ YÖNTEMİYLE BORULARDA CİDAR KALINLIĞI</b>	
<b>TAYİNİ .....</b>	<b>39</b>
4.1 Teğet Radyografisi Tekniği (TRT).....	400
4.1.1 Teğet radyografi tekniği ile cidar kalınlığı ölçümü.....	411
4.1.2 Büyütme faktörü.....	455
4.1.3 Teğet radyografi tekniğinin sınırları .....	455
4.2 Çift Cidar Tekniği (DWT).....	466
4.3 Çift Cidar ve Teğet Radyografi Tekniklerinin Karşılaştırılması.....	477
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>49</b>
5.1 Bilgisayarlı Radyografi Sisteminin Tanıtılması .....	49
5.1.1 Film sayısallaştırıcı .....	49
5.1.2 Görüntüleme plakası .....	51
5.1.3 Görüntü işleme yazılımı.....	522
5.1.4 Radyografik ekran .....	522
5.1.5 Co-60 ışınlama laboratuvarı .....	544
5.2 Farklı Kalınlıktaki Boruları Bir Arada Temsil Eden Karbon Çeliği Boru .....	566
5.3 Deney Düzeneklerinin Tanıtılması .....	58
5.4 Deneyin Yapılışı.....	60
5.5 Yarı Gölgenin Hesaplanması.....	600
5.6 Düzeltilmiş Cidar Kalınlığı Hesabı .....	600
<b>6. DENEY SONUÇLARI.....</b>	<b>611</b>
6.1 Cidar Kaybının Nitel Tesbiti .....	622
6.1.1 Yüzde 10 cidar kaybı olan örneklere ait deney sonuçları .....	622
6.1.2 Yüzde 20 cidar kaybı olan örneklere ait deney sonuçları .....	633
6.1.3 Yüzde 50 cidar kaybı olan örneklere ait deney sonuçları .....	644
6.2 Boru Cidar Kalınlığı Ölçümü Deney Sonuçları .....	655
6.3 Boru Cidar Kaybı Ölçümü Deney Sonuçları.....	67
6.3.1 Yüzde 50 cidar kaybı olan örneklere ait ölçüm sonuçları .....	67
6.3.2 Yüzde 20 cidar kaybı olan örneklere ait ölçüm sonuçları.....	68
6.3.3 Yüzde 10 cidar kaybı olan örneklere ait ölçüm sonuçları.....	69
6.4 Değerlendirme .....	69

<b>7. GENEL SONUÇ</b> .....	<b>711</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>73</b>



## KISALTMALAR

<b>ADC</b>	:Analog Dijital Dönüştürücü
<b>CR</b>	: Bilgisayarlı Radyografi
<b>DQE</b>	:Detective Quantum Efficiency
<b>DR</b>	: Dijital radyografi
<b>DWDI</b>	: Çift Cidar Çift Görüntü
<b>DWSI</b>	: Çift Cidar Tek Görüntü
<b>DWT</b>	: Çift Cidar Tekniği
<b>FFD</b>	:Kaynak Film Mesafesi
<b>FOV</b>	:Field Of View
<b>IAEA</b>	: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
<b>ID</b>	: Boru İç Çapı
<b>IP</b>	: Görüntüleme Plakası
<b>IQI</b>	: Görüntü Kalite Göstergesi
<b>NDT</b>	: Tahribatsız Muayene Testi
<b>MTF</b>	:Modulation Transfer Function
<b>PMT</b>	: Foto Çoğaltıcı Tüp
<b>TRT</b>	: Teğet Radyografi Tekniği





## SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama
<b>A</b>	Radyoizotopun Aktivitesi
<b>Bq</b>	Bekerel
<b>C</b>	Radyografik Yoğunluk Farkı
<b>c</b>	Işık hızı
<b>Ci</b>	Curie
<b>D</b>	Radyografik Yoğunluk
<b>E</b>	Elektromanyetik radyasyon enerjisi
<b>eV</b>	Elektronvolt
<b>FFD</b>	Odak- Film Mesafesi
<b>h</b>	Planck sabiti
<b>I</b>	Radyasyon şiddeti
<b>j</b>	Doz Hızı
<b>Lmax</b>	TRT'nde radyasyonun boru cidarında geçtiği mesafe
<b>r</b>	Mesafe
<b>t ½</b>	Yarı kalınlık
<b>Tw</b>	Malzeme kalınlığı
<b>Ug</b>	Geometrik keskinsizlik
<b>w</b>	Cidar Kalınlığı
<b>Z</b>	Atom Numarası
<b>α</b>	Alfa Parçacığı
<b>β</b>	Beta Parçacığı
<b>λ</b>	Dalga boyu
<b>μm</b>	Kütle soğurma katsayısı
<b>μ</b>	Doğrusal soğurma katsayısı
<b>γ</b>	Gama Işını
<b>Γ</b>	Gama Faktörü
<b>v</b>	Elektromanyetik radyasyon frekansı



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : Sık kullanılan bazı radyoizotopların özellikleri .....	10
<b>Çizelge 2.2</b> : Çeşitli Radyoizotopların Doz Hızı Sabiti .....	12
<b>Çizelge 2.3</b> : Sabit akımlı x-ışını cihazlarının doz hızı sabitleri.....	12
<b>Çizelge 3.1</b> : Radyografide kullanılan gama ışını kaynaklarının fiziksel özellikleri.	20
<b>Çizelge 3.2</b> : Dijital radyografinin kullanım alanları .....	30
<b>Çizelge 4.1</b> : Boru boyutlarına karşılık kullanılacak kaynaklar .....	44
<b>Çizelge 5.1</b> : MI 5100MS'in teknik özellikleri.....	50
<b>Çizelge 5.2</b> : Görüntüleme plakası teknik verileri .....	52
<b>Çizelge 5.3</b> : Radyografik ekran özellikleri .....	53
<b>Çizelge 5.4</b> : Farklı cidar kalınlıklarına karşılık $L_{max}$ değerleri.....	57
<b>Çizelge 6.1</b> : Boru cidar kalınlıkları, ölçümleri ve yüzdeler farkları.....	65
<b>Çizelge 6.2</b> : %50 cidar kaybı olan örneklerden, 66 ve 72 dakikalık ışınlamalar ile ölçülebilen cidar kayıpları.. .....	67
<b>Çizelge 6.3</b> : %50 cidar kaybı olan örneklerden, 66 ve 72 dakikalık ışınlamaların ölçümü sonucu oluşan hata miktarı.....	67
<b>Çizelge 6.4</b> : %20 cidar kaybı olan örneklerden, 66 ve 72 dakikalık ışınlamalar ile ölçülebilen cidar kayıpları.. .....	68
<b>Çizelge 6.5</b> : %20 cidar kaybı olan örneklerden, 66 ve 72 dakikalık ışınlamaların ölçümü sonucu oluşan hata miktarı.....	69



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Elektromanyetik dalga spektrumu (Shapiro, 2002).....	5
Şekil 2.2 : Co-60 Radyoaktif izotopunun Bozunması. ....	9
Şekil 2.3 : Radyasyonun yayılımı (Url1). ....	11
Şekil 2.4 : Fotoelektrik olay.....	13
Şekil 2.5 : Compton Saçılması. ....	14
Şekil 2.6 : Çift oluşumu (Hellier, 2013) ....	15
Şekil 3.1 : X-ışını tüpünün şematik gösterimi. ....	18
Şekil 3.2 : X-ışını kontrol paneli.....	19
Şekil 3.3 : Kaynak boyutu-yarıgölge ilişkisi (Url1) ....	22
Şekil 3.4 : Gama Radyografi cihazı şematik gösterimi. ....	23
Şekil 3.5 : Gama Radyografi cihazının kesiti. ....	24
Şekil 3.6 : Netlik ve kontrasta etki eden faktörler. ....	25
Şekil 3.7 : Radyografik film tabakaları. ....	26
Şekil 3.8 : Delikli ve telli penetremetre örnekleri.....	28
Şekil 3.9 : Işınlama ve film kararına ilişkisi .....	29
Şekil 3.10 : Radyoskopik Sistemler(Url-2) ....	31
Şekil 3.11 : Görüntü plakasının çalışma şekli (Url-7). ....	32
Şekil 3.12 : Bilgisayarlı radyografi sistemi şematik gösterimi(Url-3) . ....	33
Şekil 3.13 : Baryum florohalid:Eu <sup>+2</sup> enerji band yapısı (Url-6). ....	34
Şekil 3.14 : Modülasyon Transfer Fonksiyonu eğrisinin elde edilişi. ....	36
Şekil 3.15 : Detective Quantum Efficiency (DQE) eğrisinin elde edilişi .....	36
Şekil 4.1 : Çelik borularda korozyon örnekleri. ....	39
Şekil 4.2 : Boru ve vana örneklerinin radyografik görüntüleri.....	40
Şekil 4.3 : Teğet radyografi düzeneği ve elde edilen radyografik görüntü . ....	41
Şekil 4.4 : Yalıtımlı, birikinti içeren tipik bir boru kesitinin farklı katmanlarında zayıflatma katsayıları ..... 42	42
Şekil 4.5 : Yalıtımlı bir borunun tipik radyografi ve yoğunluk eğrisi. ....	43
Şekil 4.6 : Teğet radyografi geometrik parametreler ..... 44	44
Şekil 4.7 : Büyütme faktörü w' ..... 45	45
Şekil 4.8 : Boru boyutlarına bağlı olarak kullanılacak radyasyon kaynakları..... 46	46
Şekil 4.9 : Çift cidar tekniğinde ışınlatma düzeneği. .... 47	47
Şekil 5.1 : VMI 5100MS görüntüleme plakası sayısallaştırıcı. .... 50	50
Şekil 5.2 : Görüntüleme plakası..... 51	51
Şekil 5.3 : CR sisteminin bileşeni, radyografik ekran. .... 53	53
Şekil 5.4 : Gama ışınlatma cihazına ait kumanda birimi ..... 54	54
Şekil 5.5 : Sabit olarak kullanılan gama projektörü ..... 54	54
Şekil 5.6 : Radyografik çekimlere ait ışınlatma düzeneği. .... 55	55
Şekil 5.7 : 3D MAX ile oluşturulan numuneye ait model çizimleri ..... 56	56
Şekil 5.8 : Deneyde kullanılan boru örneği..... 58	58
Şekil 5.9 : Radyografik çekimlere ait değişik açılardan çekim düzeneği..... 59	59
Şekil 6.1 : Yüzde10 cidar kaybı olan örneklerin dijital radyografi sisteminde, 66 dakikada elde edilen radyografik görüntüsü..... 62	62

<b>Şekil 6.2 :</b> Yüzde 10 cidar kaybı olan örneklerin dijital radyografi sisteminde, 72 dakikada elde edilen radyografik görüntüsü.....	63
<b>Şekil 6.3 :</b> Yüzde 20 cidar kaybı olan örneklerin dijital radyografi sisteminde, 66 dakikada elde edilen radyografik görüntüsü.....	63
<b>Şekil 6.4 :</b> Yüzde20 cidar kaybı olan örneklerin dijital radyografi sisteminde, 72 dakikada elde edilen radyografik görüntüsü.....	64
<b>Şekil 6.5 :</b> 50 cidar kaybı olan örneklerin dijital radyografi sisteminde, 66 dakikada elde edilen radyografik görüntüsü.....	64
<b>Şekil 6.6 :</b> 10 cidar kaybı olan örneklerin dijital radyografi sisteminde, 72 dakikada elde edilen radyografik görüntüsü.....	65
<b>Şekil 6.7 :</b> Auto Side Wall özelliği ile alınmış cidar kalınlıkları.....	66
<b>Şekil 6.8 :</b> %50 cidar kaybı olan örneklerden 72 dakika ışınlama ile alınan radyograflara ait ölçümler.....	68

## KARBON ÇELİĞİ BORULARDA DİJİTAL RADYOGRAFİ KULLANILARAK KOROZYON TESBİTİ

### ÖZET

Çağımızda ürünlerin ve tesislerin kalite ve güvenilirliği günden güne önem kazanmaktadır. Kalite ve güvenilirliğin sağlanması hususunda tahribatsız muayene teknikleri çok önemli bir yer tutmaktadır. Uygun tahribatsız muayene metotlarından biri veya birkaçı ile malzemeye herhangi bir zarar vermeden inceleme olanağı vardır. Böylece nihai ürünün her hangi bir zarar görmesi, hataların kullanımdan önce tespit edilmesiyle önlenmiş olur. Gelişen teknoloji ile birlikte yeni tahribatsız muayene yöntemleri ve var olan yöntemlere ait yeni teknikler geliştirilmektedir.

Özellikle petrol ve kimya endüstrileri, enerji santralleri gibi endüstriyel tesislerin en yaygın ve önemli bileşenlerinden olan borular, bu tesislerin güvenilirlik ve emniyeti açısından oldukça önemlidir. Boruların amaçlarına uygun olarak çalışabilmesi için endüstriyel tesisler planlanırken bu bileşenlerden beklenen özellikleri koruması beklenir. Borularda oluşabilecek korozyon, erezyon, birikinti ve tıkanıklıklar üretimin kısmen düşmesine veya tamamen durmasına neden olabilmektedir. Sızıntı, patlama gibi olasılıklar çevreyi ve tesis çalışanlarını da tehdit edebileceği gibi, yüksek maliyetli tamir ve yenileme de gerektirebilir.

Bu tesislerde kritik bileşenlerin durumu tesis çalışma halinde iken bile uygun tahribatsız muayene yöntemleri ile gözlem altında tutulabilir. Böylece bu bileşenlerin tamiri, değiştirilmesi ve depozit uzaklaştırılması gibi çalışmalar planlı bir şekilde üretimi, çevreyi ve çalışanları ciddi biçimde etkilemeksizin gerçekleştirilebilir. İşletme öncesi ve işletme sırasında yapılan muayeneler, endüstriyel tesislerin felaket boyutuna varabilecek risklerinden halkı ve çevreyi koruyabilir.

Endüstride kullanılan çelik borularda zaman içinde çeşitli kimyasal veya fiziksel etkiler sonucunda birikim, aşınma, paslanma veya çürüme oluşabilmektedir. Bu etkilerden dolayı çelik boruların cidar kalınlığı belli bir süre sonra değişebilmektedir. Çelik borular petrol, gaz, su ve kimyasal madde taşıyan boru hatları gibi güvenliğin ön planda olduğu alanlarda kullanıldığı için boru cidar kalınlıklarının tespiti büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, bilgisayarlı radyografi kullanılarak çelik borularda korozyonu belirlemek amacıyla cidar kalınlığı ölçümü yapmaktır. Boru numunelerinin cidar kalınlıkları radyografik teğet tekniği ile ölçülmüştür.

Deneysel çalışmalarda VMI 5100MS marka görüntü plakası dijital tarama sistemi kullanılmıştır. Sitem, Starview 8 görüntü işleme yazılımı ile çalışmaktadır. Farklı çap ve cidar kalınlığındaki farklı çap ve derinliklerde delikler içeren özel numuneler kullanılmıştır. Çekimler, çalışma parametreleri olan kaynak görüntü plakası mesafesi, süre, parametreleri değiştirilerek değerlendirilmiştir. Elde edilen dijital görüntüler üzerinden, sistemin olanak tanıdığı yöntemlerle cidar kalınlıkları okunmuş, hangi

cidar kalınlığında ne kadar derinlik ve apta deliklerin tespit edilebildiği incelenmiştir.



# **DETERMINATION OF CORROSION IN CARBON STEEL PIPES BY USING DIGITAL RADIOGRAPHY**

## **SUMMARY**

In our age, the quality and the reliability of products and plants are becoming important day by day. About maintaining the quality and the reliability, Non-Destructive Testing (NDT) technics loom large. By one of the suitable non-destructive methods or more, it is possible to examine a material without a deformation. Consequently, the final product is protected to have a damage by determining the defects before use. With advancing technology, new non-destructive testing methods and new technics belonging to current methods are developed.

The pipes which are the widespread and important components of industrial plants such as oil and chemistry industries and power plants, are so important for reliability and safety of these plants. While planning the industrial plants, these components are expected to keep usual qualifications making sure that pipes work appropriately for its purpose. The corrosion, erosion, deposits and obstructions those can be in the pipes cause the productions decreases particularly or stop wholly. The probabilities such as leakage, explosion can threaten the environment and plant workers, likely, it can require a high cost repairing and renewing. In these plants, the conditions of critic components can be observed by appropriate non-destructive testing methods even the plant operates. Consequently, operations such as fixing changing of these components and moving the deposits can be performed deliberately without affecting the production, environment and workers seriously. The inspections done before the operation and at the time of operation can protect the public and environment from the risks of industrial plants which can be disaster.

In steel pipes used in industry, deposit, abrasion, corrosion or decomposition can be formed by various chemical or physical effects by the time. Because of these effects wall thickness of steel pipes can be changed within a time. Because of the fact that steel pipes are used in such areas where the safety comes first like oil, gas, waterworks, chemical substance carrying pipe lines, the determination of wall thickness of the pipes has a big importance.

An industrial product, is designed to overcome specific tasks. While the users buy the products, expectations consist of being accident-free manner and completely fulfilling its duties. the degree of a product's reliability is expressed by guarantee of using without incident. Reliability of a machine which has many components or an equipment depends on the component's reliability of each factor.

Reliability is achieved by elevation of the quality level of products or components. Therefore, a good quality of product is expressed explicitly as the product can fulfill the function sufficient time. Nevertheless, the products which does not meet the criteria and the rest off before the expected time or impaired products are withal depicted as poor or low-quality products.

Radiographic examination is a method that is being used for many years in a standard non-destructive testing techniques. Radiographic examination by the gamma-ray is widely used in determining the wall thickness of the pipes which is rolled in oil distribution lines and process plants.

Radiography, which is a technique to capture the image of the internal structure of the material, is a major volume of non-destructive testing method used for detecting an internal error. The use of X-rays or gamma rays generally is preferred in industrial radiography. Nowadays the use of digital radiography systems is increasing beside the film radiography. Digital radiography systems, due to the advantage of immediate imaging, are utilized in evaluations of corrosion and material loss (erosion), examination of light-alloy castings and weld.

In this study carbon steel pipes as internal step ladder represent a combination of 8 tubes of different thickness (3mm-10mm) which its outer diameter is equal to 272 mm, are subjected to radiographic examination. Total penetration thickness of used pipes ( $L_{max}$ ) is 56.87mm and 102.47 mm. A large number of films is captured by using Co-60 radioisotope as a source of electromagnetic radiation to be examined of the thickness of the pipes, due to the penetration thickness and the international standard in the specified accuracy requirement.

Filmings was repeated by varying the exposure time and keeping constant "source detector distance" that are working parameters.

The reason for using Co-60 radioisotopes is  $L_{max}$  degree depending on pipe diameter and wall thickness is very large. Nonetheless, Ir-192 or Se-75 can be used in the same tube of 3-5 mm thickness zone. In addition, for the smaller diameter pipes (<100 mm) Ir-192 and Se-75 sources are expected to complete the Co-60. Co-60, Ir-192 and Se-75 sources are deducted would allow to evaluation in a large scale together.

Corrosion and erosion may occur in the carbon steel pipes of time detection is required to operate in accordance with the purpose of the carbon steel pipes used in petroleum and chemical industries, power plants. By using VMI 5100MS brand digital radiography device, the radiographic examination of the different wall thickness of the inner step pipes is performed and the details of the corrosion losses were detected.

VMI 5100MS brand computed radiography device used in this study, offers the opportunity to examine the precision and automatic way ensuring the quality and reliability issues in terms of non-destructive examination techniques. As a result of the use of VMI 5100MS brand computed radiography devices in this study, each step designed specifically for radiographic studies representing a different pipe, corrosion losses for the carbon steel pipe that has maximum outer diameter of ~ 272.5 seems to be possible to determine before use and during using.

In this thesis, radiographic filming is taken place by using VMI 5100MS brand computerized radiography device. Starrview 8 image processing software working with VMI 5100MS brand computed radiography device is used for the radiographic studies performed in large diameter pipes. Starrview in 8 image processing software, Auto Side Wall feature is offered the opportunity to analyze the change in pixel intensity. Thus, wall thickness of the pipes has been possible to determine more precisely than other systems.

In general it is observed that the total wall thickness decreases, the assessment get more difficult.

Pixel intensity evaluation profile changes have been made automatic by VMI 5100MS brand computed radiography device. However, the sensitivity of large diameter pipes decreases with thickness. Filmibg in 72 minutes, compared to 66 minutes of filming wall loss was more sharply observed.

The aim of this study is to measure the wall tickness to determine the corrosion in steel pipes by using computed radiography (CR). The wall tickness of pipe materials was measured by tangential radiography technic.

In experimantal studies, VMI brand 5100MS model digital image plate scaning system was used. The sistem operates with Starrview 8 image processing software. Spacial materials with different diameters and wall thicknesses having holes with different diameters and depth were used. The exposures were interpreted by changing source-imaging plate distance, exposure time that are exposure parameters. The wall thicknesses were read directly on the digital images obtained and determination of thickness was made by using pixel intensity change profile simultaneously. It was examined that the holes having of what depth and diameters can be determined in what wall thickness.



## 1. GİRİŞ

Bir endüstri ürünü, belirli görevleri yerine getirecek şekilde dizayn edilir. Kullanıcı, ürünü satın alırken onun görevlerini tam olarak yerine getirmesinin ve uzun süre kazasız bir şekilde kullanılabilmenin beklentisi içersindedir. Bir ürünün kazasız bir şekilde kullanılabilme garantisi, onun güvenilirlik derecesi olarak ifade edilmektedir. Çok sayıda bileşenden oluşan bir makinanın veya donanımın güvenilirliği, o bileşenlerin her birinin güvenilirlik faktörlerine bağlıdır (Aksu ve Ekinci, 2012).

Güvenilirlik, ürünlerin veya bileşenlerin kalite seviyelerinin yükseltilmesiyle sağlanır. Dolayısıyla iyi kaliteli bir ürün, yeterli bir süre işlevini yerine getirebilen ürün olarak ifade edilmektedir. Diğer yandan, kriterlere uymayan ve beklenen süreden önce devre dışı kalan veya bozulan ürünler de kötü veya düşük kaliteli ürün olarak betimlenmektedir. Bu her iki tip ürün, güvenilirlik faktörü veya kalite seviyesi yönünden birbirinden farklıdır (Aksu ve Ekinci, 2012).

Ürünlerin, bileşenlerin veya parçaların kalitesi bir çok faktöre bağlı olup bunlardan dizayn, malzeme özellikleri, üretim şekli ve fabrikasyon teknikleri büyük önem taşımaktadır. Kalite, ürünün yapılmasında kullanılan malzemelerdeki veya mamül ürünlerdeki hata ve bozukluklarla açıklanabilir. Ürünlerdeki bir çok hata işletme (çalışma) şartlarında da oluşabilmektedir. Bu hataların özellikleri, dizayn, fabrikasyon şekli ve malzemenin maruz kaldığı işletme şartlarına göre değişmektedir. Bir üründe bu hataların belirlenmesi ve minimuma indirilmesi, daha iyi veya kabul edilebilir bir kalite seviyesi elde etmenin temelini oluşturmaktadır.

Malzemenin kullanıldığı süreçlere en az etkide bulunurken, en etkili biçimde hataları belirlemede

### 1.2. Tahribatsız muayene metodları (Non-Destructive Testing) - NDT

Tahribatsız muayene metodları (Non-Destructive Testing) - NDT oldukça etkin bir araçtır.

Tahribatsız Muayene terimi, herhangi bir malzemeye zarar vermeksizin veya kullanımını etkilemeksizin, faydasını yada hizmete elverişliliğini etkileyebilecek

şartların ya da süreksizliklerin varlığını yada yokluğunu belirlemek üzere malzeme özellikleri hakkında bilgi veren test yöntemlerini ifade etmektedir. Tahribatsız muayenenin amacı, muayene edilen bir parçadaki hataları ortaya çıkarmaktır (Hellier, 2013).

Tahribatsız muayene teknikleri hemen hemen üretim işlemlerinin her aşamasında, işletme sırasında, periyodik bakımlarda ve yeni ürünlerin geliştirilmesi sırasında kalite kontrol aracı olarak kullanılmaktadır. Tahribatsız, hızlı ve hassas olmaları, genellikle anında sonuç alınabilmesi ve günümüz şartlarında tüm verilerin ve sonuçların bilgi-işlem sistemlerinde korunabilmesi bu tekniklerin kullanılmasının en önemli nedenlerindedir.

NDT teknikleri sayesinde bileşenlerin, sistemlerin ve tesislerin güvenilir ve emniyetli bir şekilde çalışmaları sağlanmaktadır. NDT ayrıca aşağıdaki avantajları da sağlamaktadır.

- a- Bir malzemenin veya bileşenin üretiminde uygulanan prosedürlerdeki yanlışlıkların düzeltilmesi.
- b- Eş kalitede malzeme üretilmesinin sağlanması.
- c- Dizayn mühendisinin gözden kaçırdığı dizayn hatalarının tespit edilerek, yeni ve doğru dizaynların yapılması.
- d- Testlerde elde edilen verilerin depolanması ve periyodik testler sırasında hatalarda meydana gelebilecek gelişmelerin takip edilmesi, dolayısıyla malzeme veya bileşen ömrünün tayin edilmesi ve olası kazaların önceden önlenmesi .(Ekinci ve Aksu,2012)

Radyografi en yaygın kullanılan NDT yöntemi olup, çeşitli malzemelerdeki iç hataların tespitinde kullanılan hacimsel bir yöntemdir. Bu yöntemde, bir radyasyon kaynağından çıkan ışınlar (X-ışınları, gama ışınları veya parçacık radyasyonu) test malzemesi içinden geçerek malzemenin karşı yüzeyine konulan filme ulaşırlar. Malzeme içinden geçen ışınların şiddeti malzemenin içindeki süreksizliklere göre değişir, dolayısıyla film üzerinde farklı ışınlanmış bölgeler oluşur. Filmin banyo işleminden sonra film üzerinde gözlenen farklı kararmalar süreksizlik belirtileri olarak yorumlanır (Aksu ve Ekinci, 2012).

Günümüzde bilgisayar destekli sistemlerdeki gelişmeler radyografi tekniğinde önemli gelişmelere neden olmuş ve dijital radyografiye geçilmiştir. Dijital radyografi

bir malzemenin radyografik görüntüsünün doğrudan bilgisayar ortamına aktarılıp değerlendirildiği veya görüntüleme plakalarından bilgisayar ortamına aktarılarak görüntü işleme tekniklerinin uygulandığı bir radyografik muayene yöntemidir. (Ekinci ve diğ, 2003).

Dijital radyografik yöntem, klasik yöntemlere göre daha hassas, hızlı ve güvenilir görüntü değerlendirme imkânları sağlamaktadır.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışması kapsamında, radyografik çekimi yapılarak dijital radyografi cihazı ile ölçülebilecek hata boyutu belirlenmeye çalışılan borular, karbon çeliği borulardır.

Bu özel borular, eğitim ve araştırma amacıyla kullanılan, 8 farklı kalınlıktaki boruları bir arada temsil eden, iç adımlı basamak şeklinde karbon çeliği borulardır.

Bu amaçla, ince cidarlı borularda ve kalın cidarlı borularda, korozyon sonucu oluşan cidar kayıplarının, Co-60 radyoizotopu ile dijital radyografi yöntemi ile ölçülebilecek hata boyutları belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı, bilgisayarlı radyografi (CR) sistemi kullanılarak çelik boruların cidar kalınlıklarındaki korozyon kaynaklı incelemelerin belirlenmesidir. Bu amaçla teğet radyografi tekniği kullanılmıştır.





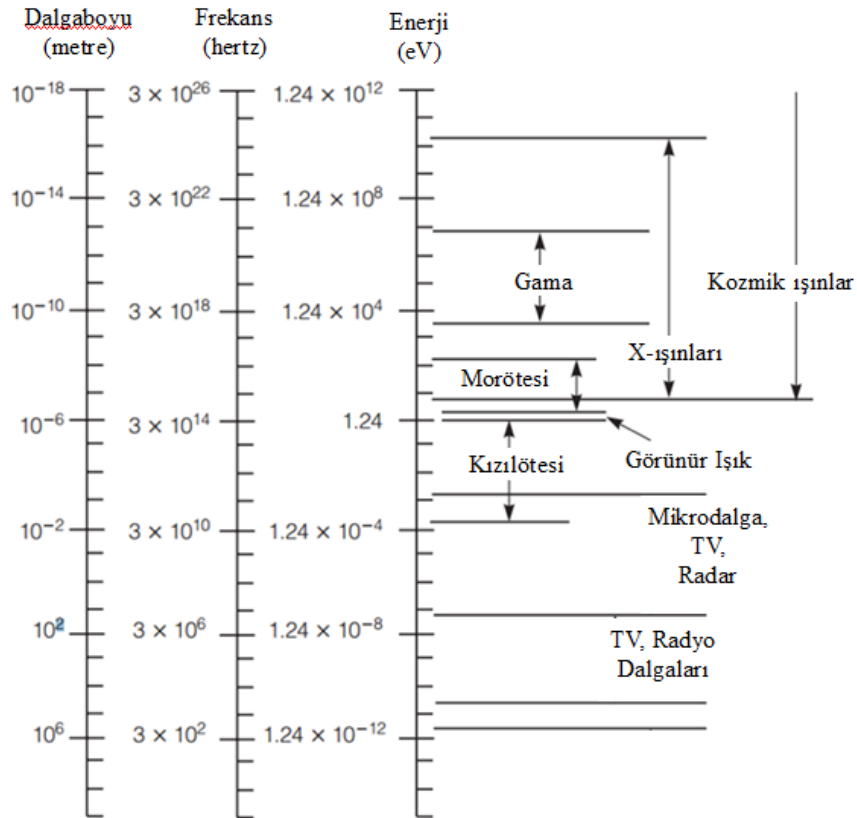
## 2. RADYASYON

Radyasyon, parçacık veya dalga tabiatında, boşluğa veya madde içerisine enerji transferi olarak tanımlanır. Radyasyon kaynağının özelliğine bağlı olarak bu enerji, parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar tarafından taşınır.

Radyasyonun hareketini ve madde ile etkileşimini belirleyen faktörler radyasyonun türü, enerjisi, kaynağı ve şiddetidir.

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

X ve gama ışınları her ne kadar farklı mekanizmalar ile meydana gelse de iki ışının da madde ile etkileşimi aynı yollarla olmaktadır. X ve gama ışınları elektromanyetik radyasyonlardır.



Şekil 2.1 : Elektromanyetik dalga spektrumu (Shapiro, 2002).

Görünür ışık, mor ötesi, radyo dalgaları, kızıl ötesi dalgalarla aynı karaktere sahiptir. Ancak dalga boyları kısa buna bağlı olarak da enerjileri yüksektir. Elektromanyetik dalga spektrumu Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Shapiro, 2002).

Elektromanyetik radyasyonların enerji ve dalgaboyları arasında ilişki Eşitlik 2.1 ile verilmiştir.

$$E = h \cdot \nu \quad (2.1)$$

Burada;

h: Planck sabiti ( $6.62606957 \times 10^{-34}$  J.s)

$\nu$ : Elektromanyetik radyasyon frekansı (Hz )

Eşitlik 1.1’deki frekans ise;

c: Işık hızı ( m / sn)

$\lambda_0$ : Dalgaboyu (m)

olmak üzere,

$$\nu = \frac{c}{\lambda_0} \quad (2.2)$$

olarak yazılabilir (Bilge ve Tuğrul, 1990)

## 2.1 X-Işınları

X-ışınları, elektron kaynağı, elektronları yüksek hıza ulaştıracak bir gerilim kaynağı ve elektronların çarpacağı bir hedeften oluşan X-ışını tüpünde üretilmektedir. Serbest haldeki elektron yörünge elektronlarıyla veya atomun çekirdekleriyle etkileştiğinde enerjisinin bir kısmını ya da tamamını kaybeder ve kaybedilen enerji x-ışınlarına dönüşür.

### 2.1.1 Karakteristik X-Işınları

Yüksek hızlı elektron, yörünge elektronlarından biri ile çarpışabilir. Sonuçta yüksek hızlı elektrondan yörünge elektronuna bir enerji aktarılır. Yörünge elektronuna aktarılan bu enerji, ilk enerjisi nisbetinde ya elektronu atomdan dışarı atabilir ya da bulunduğu yörüngeden bir üst yörüngeye çıkarabilir. İki halde de yüksek enerjili elektron, enerjisinin bir kısmını yörünge elektronuna aktarılır

Daha üst enerji seviyelerine çıkan elektrondan kalan düşük enerjili duruma, bu seviyeden daha üst seviyelerde bulunan bir elektron enerjisini atarak yerleşir. Daha kararlı olan, düşük enerjili seviyeye inen elektronun saldığı enerji X-ışını olarak yayınlanır. Yayılan enerji yörünge enerjileri arasındaki fark kadar olduğundan, her zaman belirli miktarlara karşılık gelir. Bu şekilde hep aynı seviyelerde yayınlanan ışınlara karakteristik X-ışınları denilir.

Çekirdeğe doğru hızla hareket eden elektronlar atomun en iç yörüngesindeki elektronu yerinden söker, bu durumda en iç yörüngede bir elektron boşluğu olur ve dış yörüngelerdeki elektronlardan birinin bu boşluğa geçmesiyle “karakteristik X-ışınları” meydana gelir. Bunlar X-ışınları olan her yerde vardır. Saçınımın nedeni olurlar ve film üzerinde sis oluştururlar. Malzemeye giricilikleri çok azdır.

### **2.1.2 Sürekli X-ışınları**

Hedefe gelen yüksek hızlı elektron, atomun çekirdeğiyle etkileşecek kadar yaklaştığında büyük kuvvetler etkisinde kalır ve ivmeli hareket eder. Yüklü bir parçacık olan elektronun ivmeli hareketi de elektromanyetik teörinin betimlediği şekilde bir enerji atılmasına yani ışımaya neden olur. Bu enerji azalması sonucu ortaya çıkan ışınlara Almanca bir kelime olan bremsstrahlung (frenleme ışınımı) denilir.

Bu ışınlara sürekli X-ışınları da denilmesinin nedeni enerji spektrumlarının kesintisiz olmasıdır. Yani sürekli X-ışınlarının enerji aralığı, sıfırla elektronun maksimum enerjisi arasındadır.

## **2.2 Gama Işınları ve Radyoaktivite**

Radyoaktiflik, atom çekirdeklerinin bazı parçacıklar ve enerji yayınlamasıyla kendiliğinden bozunması olup bu bozunma çekirdek kararlı bir duruma gelinceye kadar devam eder. Bu duruma “radyoaktivite” denir ve radyoaktif özellik gösteren kararsız çekirdekler de “radyoaktif çekirdek” olarak isimlendirilir. Kararlı olmayan atom çekirdeklerine ise “radyoizotop” denir.

Radyoaktiviteden kaynaklı temel olarak üç çeşit radyasyon vardır. Bunlar Alfa ( $\alpha$ ), Beta ( $\beta$ ) parçacık radyasyonları ile Gama ( $\gamma$ ) Elektromanyetik radyasyondur.

Radyoaktivite atomun çekirdeğinde gerçekleşen bir olay olup, sıcaklıktan ve basınçtan etkilenmez.

Bir çekirdeğin kararlılığını belirleyen bazı faktörler vardır. Küçük atom numarasına sahip elementler nötron ve proton sayıları yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu zaman kararlıdır. Atom numaraları arttıkça ( $Z > 20$ ) kararlılık için gerekli olan nötron-proton oranı da artar. En ağır ve kararlı nüklid Bi-209, 83 proton 126 nötrona sahiptir.

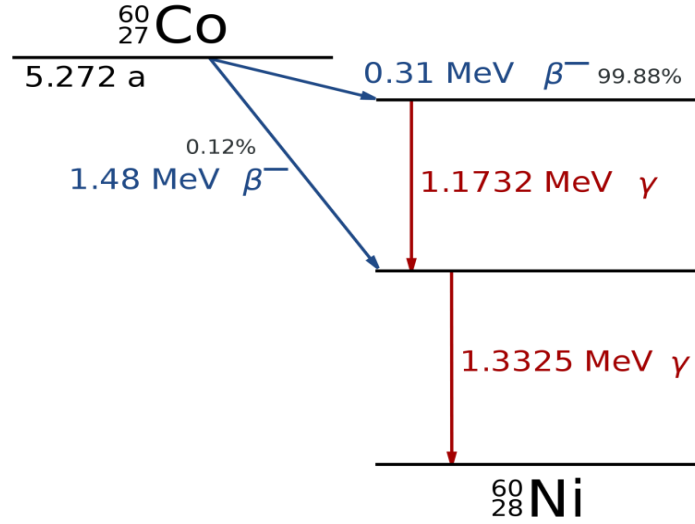
Radyoaktivite dışardan kontrol edilemeyen bir olaydır. Yavaşlatılamaz, durdurulamaz ve bozunma azalan bir hızla tükeninceye kadar sürer. Radyoaktif maddeler, doğal ve yapay olarak ikiye ayrılır.

Doğal radyoizotoplar, doğada bulunan kararsız çekirdeklerdir. Kendiliğinden çeşitli bozunmalar geçirerek kararlı olan bir çekirdeğe dönüşür. Karbon-14, Radyum-226 ve Radon-222 doğal radyoizotoplara örnek olarak verilebilir.

Yapay radyoizotoplar, bir atomun nötronlarla bombardıman edilmesiyle elde edilir. Bu işlem nükleer reaktör veya parçacık hızlandırıcılarında yapılır. Bu şekilde radyoizotop elde etme işlemine “aktivasyon” adı verilir. Kararlı bir izotop bir reaktörde nötronlarla bombardıman edilerek serbest nötronların atomun çekirdeğine girmesi atomun kütle numarası artar. Elde edilen izotop kararsız yani radyoaktiftir. Elde edilen kimi radyoizotoplar çok kısa ömürlü iken bir kısmı da uzun yarıömre sahip olabilir. Radyografide gama kaynağı olarak en yaygın kullanılan radyoizotoplar sırasıyla Iridyum-192, Kobalt-60 ve Selenyum-75’dir.

### **2.2.1 Gama ışınları**

Radyoaktif bir çekirdeğin parçacık radyasyonu yayarak dönüşümü sonucu ortaya çıkan ürün çekirdek genellikle uyarılmış bir enerji düzeyindedir. Ürün çekirdek bu fazla enerjisini gama ışınları yayınlamaya temel enerji düzeyindeki kararlı yapıya döner. Radyoaktif maddelerin bozunması sonucunda oluşan elektromagnetik dalgalara gama ışınları denir. Yüğü ve kütlesi yoktur. Gama yayınlaması olurken çekirdeğin kütle ve atom numarası değişmez. Gama yayınlaması yapan bir çekirdek, başka bir çekirdeğe dönüşmez. İyonlaştırıcı özelliğe sahip değildir. Ancak meydana getirdikleri elektronlarla (fotoelektron, Compton elektronu) iyonizasyon yaparlar (dolaylı iyonizasyon). Enerjileri 3 MeV den fazla değildir.



**Şekil 2.2 : Co-60 Radyoaktif izotopunun Bozunması.**

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi radyografide çok sık kullanılan Kobalt-60 izotopu 1.17 ve 1.33 MeV olmak üzere iki adet gama ışını yayınlarken Ni-60 izotopuna dönüşür. Ir-192 izotopu ise 0,3 0,31 0,32 0,47 ve 0.60 Mev olmak üzere başlıca beş adet gama ışını yayımlar.

### 2.2.2 Radyoaktivitenin ölçülmesi

Radyoaktif bir maddenin aktivitesini gösteren birim “Curie” dir. Bu isim radyum elementini bulan Marie Curie’den gelmektedir.

Radyoaktif bir maddenin, 1 saniyede  $3.7 \times 10^{10}$  atomu bozunmaya uğruyorsa, bu radyoaktif maddenin aktivitesi 1 Curie’dir denir ve Ci ile gösterilir. SI birim sisteminde ise Bequerel kullanılır. Saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir.

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ bozunma/saniye}$$

### 2.2.3 Radyoaktif bozunumun zamana bağımlılığı

Her radyoaktif izotop kendine özgü bir hızla bozunur ve bu bozunmalar çeşitli enerjilerde parçacık ve elektromanyetik dalgalar yayımlanarak yapılır.

Radyoaktif çekirdeklerin bozunma hızları genellikle yarı ömür kavramı ile ifade edilir.

### 2.2.1.1 Yarı ömür

Yarı ömür kararsız atomların çeşitli şekillerde bozunmaya uğrayarak başlangıçtaki miktarlarının yarısı kalması için geçen zamandır. Yarıömür, radyoizotopun miktarına bağlı değildir. Ir-192, Co-60 izotoplarının tipik yarıömürleri sırasıyla 74 gün ve 5.3 yıldır (Mix, 2005).

Belirli bir t süresi sonunda radyoaktif bir izotopun aktivitesi 2.3 eşitliği ile belirlenebilir.

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

A(t), başlangıçtan t kadar süre geçtikten sonraki aktivite,

$\lambda$ , radyoaktif kaynağın bozunma sabiti

t, başlangıç anından sonra geçen zaman.

Radyoaktif bir kaynak, bir süre sonra kullanılamayacak aktiviteye düşer. Bu nedenle kaynak belirli aralıklarla değiştirilmelidir. Örneğin, Ir-192'nin yarı ömrü 74 gündür ve aktivitesi 1.5 yılda başladığı aktivitenin %1'ine düşer. Radyum-226 gibi uzun yarı ömre (1620 yıl) kaynaklar ise uzun yıllar aktivitesinde hisedilir bir değişim göstermezler. Çizelge 2-1'de sık kullanılan bazı radyoizotopların yarı ömürleri verilmiştir.

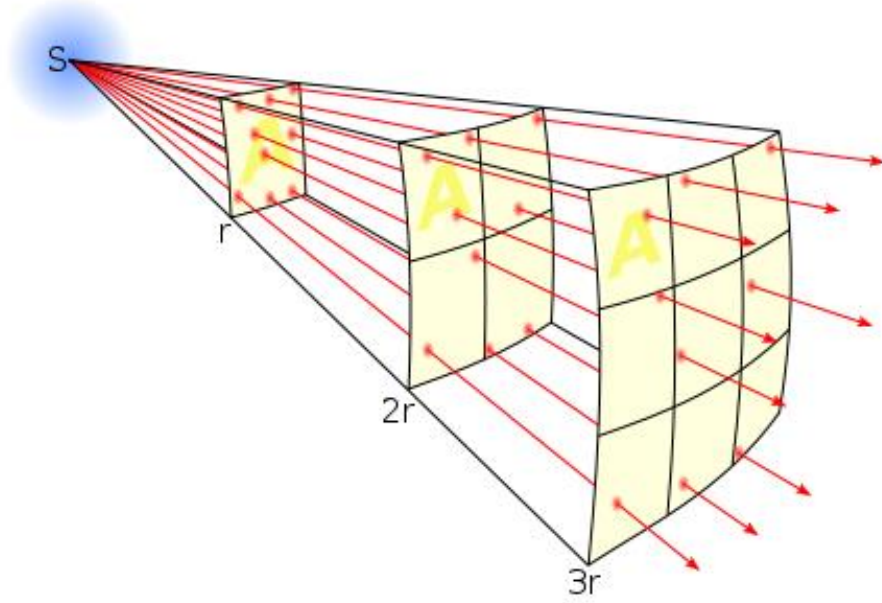
**Çizelge 2.1** : Sık kullanılan bazı radyoizotopların özellikleri.

RADYOİZOTOP	YARILANMA ÖMRÜ	ORTALAMA ENERJİ(MeV)	HVL(kurşun)(cm.)
Co-60	5.3 yıl	1.25	1.2
Sezyum-137	30 yıl	0.661	0.6
İridyum-192	74 gün	0.350	0.6

### 2.2.4 Ters kare kanunu

Elektromanyetik dalgaların yayını ters kare kanununa uymaktadır. Bunun nedeni ışığın uzayda üç boyutlu küresel biçimde yayılmasıdır. Merkezinde radyasyon kaynağı olan r yarıçaplı kürenin yüzeyindeki toplam radyasyon şiddeti, aynı merkezli 2r yarıçaplı kürenin yüzeyindeki toplam şiddet ile aynı olacağı açıktır. Aynı miktarda radyasyon şiddeti, küre yüzeyi kare ile orantılı olduğundan 2r çaplı küre yüzeyinde 4 kat

azalacaktır. Başka bir deyişle, Şekil 2.3’de görülen sabit kaynaktan yayılan radyasyon için, r mesafesinde bulunan objenin 2r mesafesine kaydırılması durumunda, birim alana düşen radyasyon şiddeti dört kat azalacaktır.



**Şekil 2.3 :** Radyasyonun yayılımı (Ur11).

Belirli bir noktadan r uzaklığındaki ışınlama şiddetini biliyorsak, aynı noktadan herhangi bir uzaklıktaki noktanın ışınlama şiddetini 2.4 eşitliği yardımıyla bulabiliriz.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (2.4)$$

Sonuç olarak ters kare kuralı, kaynak film mesafesini 2 kat arttırdığımızda, aynı film yoğunluğunu elde etmek için, poz süresi 4 kat arttırmamız gerektiğini söyler.

### 2.2.5 Doz hızı sabiti

Radyasyon kaynağından belirli bir uzaklıktaki radyasyon şiddetinin hesaplanması için doz hızı sabiti kullanılır . Belirli bir gama kaynağının ışınım şiddeti 1 Gbq’lik bir aktivite için, 1 metre uzaklıktaki doz hızıyla, denklem 2.5’deki gibi belirlenir. Buna doz hızı sabiti denir. X-ışınları cihazları doz hızı sabiti ise, 1 mA lik tüp akımı için, 1 metre uzaklıktaki doz hızıyla denklem 2.6’daki gibi belirlenir. Standart gama faktörü (doz hızı sabiti)  $\Gamma$  her radyoizotop için farklıdır.

$$\Gamma = \frac{j \times (a)^2}{A} = \frac{Sv/h \times m^2}{Gbq} = \frac{Svm^2}{h \times mA} \quad (2.5)$$

$$\Gamma = \frac{j \times (a)^2}{mA} = \frac{Sv/h \times m^2}{mA} = \frac{Svm^2}{h \times mA} \quad (2.6)$$

Eşitlik 2.4 ve 2.5'te J doz hızını, A aktiviteyi ve mA ise miliamper cinsinden tüp akımını ifade etmektedir.

Radyografide sık kullanılan radyoizotopların ve bazı tüp gerilimleri için doz hızı sabitleri Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'de verilmiştir.

**Çizelge 2.2 : Çeşitli Radyoizotopların Doz Hızı Sabiti.**

Radyoizotop	Gama faktörü (doz hızı sabiti)
Co-60	0.35
Ir-192	0.13
Se-75	0.054

**Çizelge 2.3 : Sabit akımlı x-ışını cihazlarının doz hızı sabitleri.**

Enerji (kV)	60	100	150	200	250	300	350	400
$\Gamma$ : Doz hızı sabiti ( $\frac{Sv \times m^2}{h \times mA}$ )	0.3	2	6.5	13	20	30	40	50

### 2.3 Elektromanyetik Radyasyonu Madde ile Etkileşmesi

X ya da gama radyasyonu cismin üstüne düştüğünde bir kısmı cisimden geçer, bir kısmı çeşitli yönlere saçılır, bir kısmı da soğurularak kaybolur. Gama veya X-ışını malzemeden geçerken şiddetlerinden kaybederler. Bu olaya gama veya X-ışınlarının malzeme içinde soğurulması denir (Bilge ve Tuğrul,1990).

X kalınlığında bir malzeme üzerine  $I_0$  şiddetinde gelen radyasyonun ancak I kadar bir kısmı bu kalınlığı aşacaktır. I ve  $I_0$  arasındaki ilişki 2.6 eşitliği ile verilir.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.7)$$

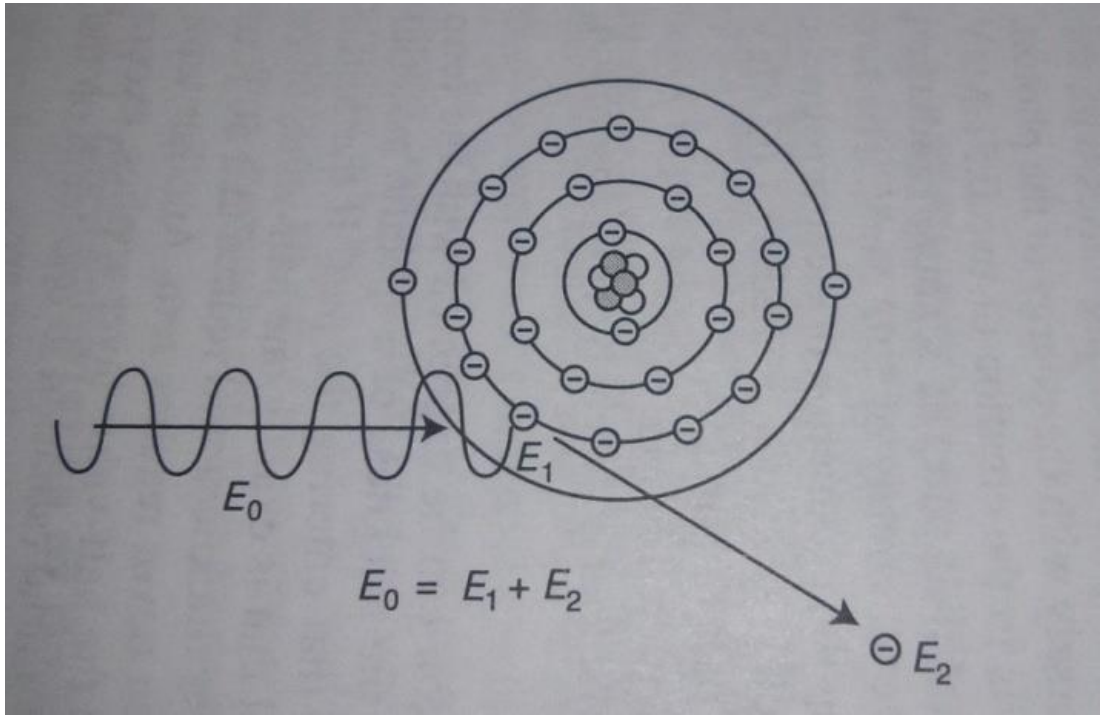
Burada  $\mu$  doğrusal soğurma katsayısı, x ise radyasyonun geçtiği malzeme kalınlığıdır.

Radyasyonun bir malzemeden soğurulan miktarını belirleyen üç önemli olay aşağıda ayrıntılarıyla sıralanmıştır.



### 2.3.1 Fotoelektrik olay

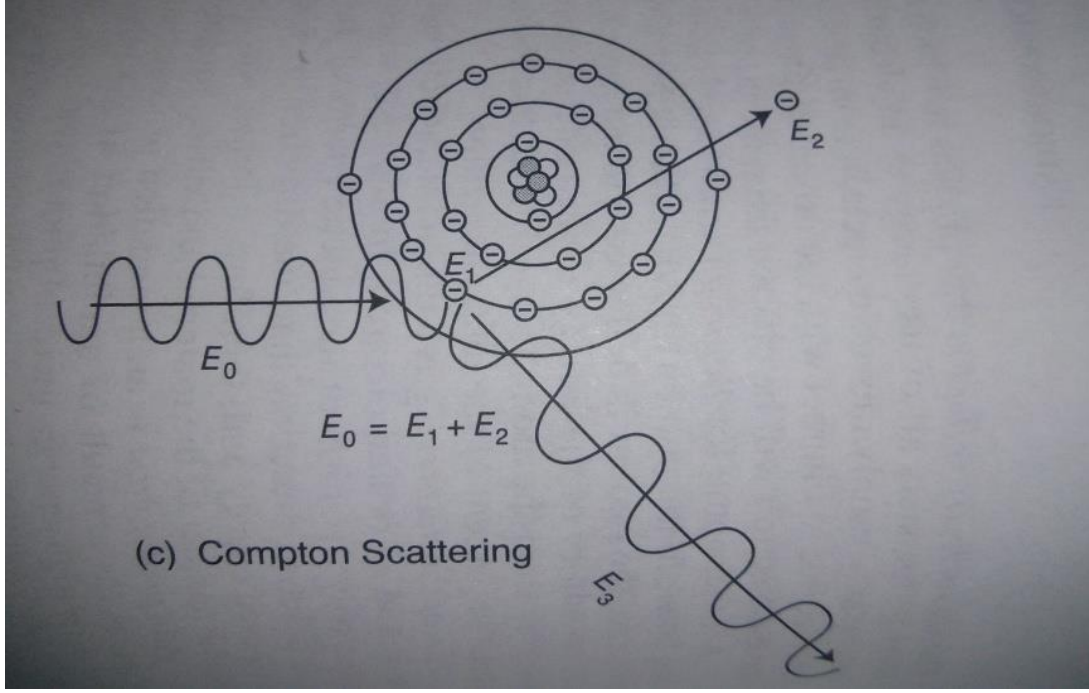
Düşük enerjideki (<500kV) bir foton malzeme atomlarının yörünge elektronlarından birine enerjisini aktardığı bir süreçtir. Bu süreçte foton, atom tarafından tamamen soğurulur ve foton bütün enerjisini etkileştiği atomun elektronuna vererek atılmasına neden olur. Başlangıçtaki fotonun tüm enerjisi elektrona aktarılır. Bu enerjinin bağlanma enerjisini aşan kısmı elektrona kinetik enerji olur. Şekil 2.4’de gösterilen bu olaya fotoelektrik olay, atomdan kopan elektrona ise fotoelektron adı verilir. Sonuçta uzaklaşan elektrondan boşalan yere daha üst enerji durumundaki bir elektron geçiş yaparak fazla enerjisini x-ışını olarak salar (Hussein, 2003).



Şekil 2.4 : Fotoelektrik olay.

### 2.3.2 Compton saçılması

Enerjisi 0.1 ile 3.0 MeV arasındaki fotonlar ile yörünge elektronları arasındaki esnek çarpışma sonucu meydana gelen etkileşmeye Compton saçılması denilir. Şekil 2.5’deki bu olaya fotonun başlangıçtaki enerjisinin bir kısmı atomdan elektron koparılmasına ve elektronun kinetik enerji kazanmasına harcanırken olaydan sonra foton enerjisinin bir kısmını korur. Fotonun enerjisi azalmakla kalmaz aynı zamanda ilk geliş doğrultusundan da sapar (Hellier, 2013).



**Şekil 2.5 :** Compton Saçılması.

Gelen fotonun enerjisi ( $E_0$ ) ve saçılan fotonun enerjisi ( $E$ ) arasındaki ilişki eşitlik 2.7 de verildiği gibidir (Bilge ve Tuğrul,1990).

$$E = \frac{0.51}{1 - \cos\theta - \frac{0.51}{E_0}} \quad (2.8)$$

Burada  $\theta$  fotonun sapma açısıdır.

Eğer saçılma açısı  $\theta$  çok küçükse  $\cos \theta = 1$  olur ve saçılan foton fazla enerji kaybetmez, bu da çok yüksek enerjide gelen gama ışınının enerji kaybının ihmal edilebilecek kadar küçük olduğunu belirler. Eğer  $\theta = 90^\circ$  olması halinde ise saçılan fotonun enerjisi 0,51 MeV'den büyük olamaz.

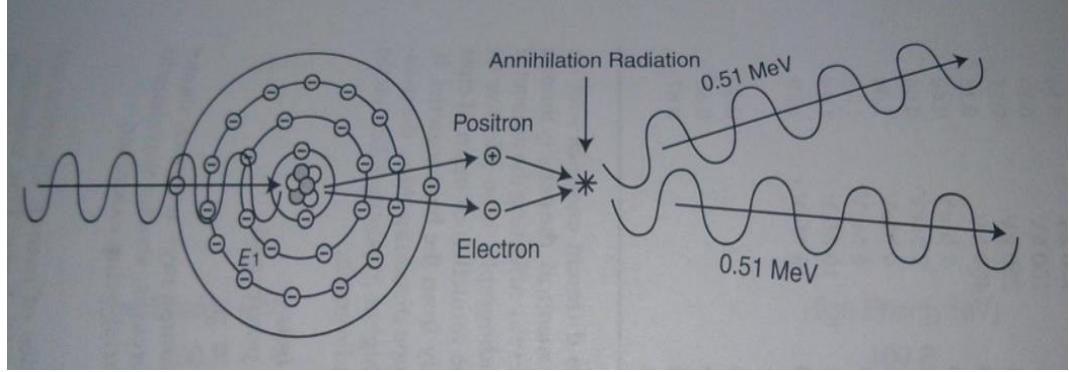
Compton saçılması foton ve elektron arasında olduğundan miktarı, soğurucu atomun elektronlarının sayısına, yani atom numarasına bağlıdır. Saçılan foton artık daha düşük enerjili olduğundan fotoelektrik olay gerçekleştirebilir (Bilge ve Tuğrul,1990).

### 2.3.3 Çift oluşumu

Enerjisi 1,02 MeV'in üzerinde olan yüksek enerjili fotonlar atom çekirdeklerinin elektrik alanından geçerken elektron ve pozitron çiftine dönüştürülürler. Elektron ve pozitronun durgun kütle enerjileri 0,51 MeV olduğundan bir fotonun bu olayı

gerçekleştirebilmesi için en az 1,02 MeV enerjiye sahip olması gereklidir. Bu enerjinin üzerindeki enerjiler parçacık çiftinin kinetik enerjisi olarak aktarılır.

Oluşan elektron enerjisini ikincil çarpışmalarla yeni iyonlaşmalar meydana getirerek kaybederken pozitronlar son derece kısa ömürlüdürler. Ancak yeni iyonlaşmalara neden olurlar. Sonunda bir elektronla etkileşerek Şekil 2.6'da görüldüğü gibi her biri 0,51 MeV'lik enerjiye sahip iki foton oluştururlar (Becker, 1990).



Şekil 2.6 : Çift oluşumu (Hellier, 2013).



### **3. RADYOGRAFİ**

#### **3.1 X-ışını Üretimi**

X-ışınları önceki bölümlerde bahsedilen fiziksel prensipler çerçevesinde gerçekleşir ve endüstriyel amaçlı kullanılan X-ışınları, X ışını tüpleri ile elde edilir.

Elektronlar gibi hareketli ve elektrik yüklü parçacıklar yollarında bulunan bir engele çarptıklarında kinetik enerjilerini yitirirler. Yüklü parçacıklar olan elektronlar bu şekilde ivmelendiğinde kinetik enerjilerinin bir kısmı X-ışınlarına dönüşür. Elektronların çarpma anında hız kaybetmeleri ile kinetik enerjinin büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşür. Bu sebepten X-ışını üretim üreticinin verimi çok düşüktür, toplam enerjinin yaklaşık olarak % 1'i X-ışınına dönüşürken % 99'u ısı enerjisine dönüşür (Aksu ve Ekinci, 2012) .

X-ışını üretimi için üç aşamada gerçekleşir:

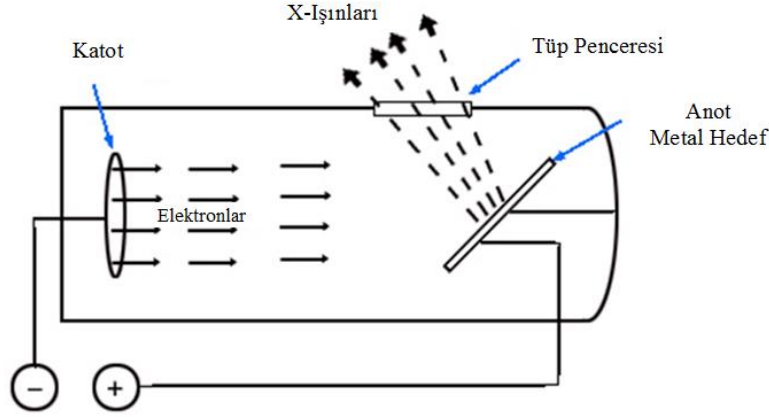
- 1) Elektron üretimi,
- 2) Elektronların hızlandırılması,
- 3) Elektronların frenlenmesi.

Bu süreçler X-ışını tüpü denilen bir cihazda gerçekleşir. X-ışını tüpünde elektronların üretilmesi katotta, hızlandırılması anot ve katot arasındaki elektrik gerilimi altındaki bölgede, durdurulması ise tüpün anot denilen kısmında gerçekleşir.

##### **3.1.1 X-ışını tüpü**

X-ışını tüpleri basitçe, cam bir kabın içindeki vakum ortamında bulunan bir anot ve bir katottan oluşur. Şekil 3.1'de şematik olarak görüldüğü gibi ısıtılmış bir tel flaman elektron kaynağı görevini yapar. Elektronların yüksek hızda hareket etmeleri anoda pozitif, katoda da negatif yüksek gerilim uygulanmasıyla sağlanır. Anot ve katodun dizaynı yüklü elektronları hedefe odaklayacak biçimde tasarlanmıştır. Hızlandırılmış elektronların hedefe çarpması ile devamlı ve karakteristik X-ışınları üretilir. Devamlı X-ışınları, elektronların tüm enerjilerinin atoma transferi ile gerçekleşir. Bu sırada

atom, elektronlardan aldığı enerjiyi, yüksek enerjili X-ışınları olarak dışarı yayar. Karakteristik X-ışınları ise flamandan çıkan yüksek hızdaki elektronların yörünge elektronlarıyla çarpışması sonucu üretilir, dar bantlı ve yüksek yoğunluktur. Bu ışınlar düşük enerjili ve istenmeyen saçılmış radyasyon kaynağıdır. Etkili bir X-ışını demeti üretebilmek için, hedef malzemenin; yüksek atom numarası, yüksek ergime noktası ve düşük buhar basıncı gibi özellikleri taşıması gerekir.



Şekil 3.1 : X-ışını tüpünün şematik gösterimi.

### 3.1.1.1 Anot ve katot

Anot genellikle bakır kullanılarak, gaz ve gözenek oluşmasını önlemek için vakum altında dökülür. Bakır yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Hedefte oluşan ısıyı kolayca alır. Anodun katoda bakan tarafına metal hedef malzemesi gömülmüştür. Cam muhafaza arasından geçen bir tel, anot için harici elektrik bağlantısı görevini yapar. Katot, filaman ile birlikte elektron kaynağı görevini yapar. Negatif yüklü elektroda odaklama kabı meydana getirecek şekilde uygun bir şekil verilir. Bu odaklama kabının içinde elektron yayan tungsten tel filaman vardır. Bu filaman yüksek sıcaklıklara ısıtılırsa her yönde elektronlar verir. Fakat negatif yüklü odaklama kabı bu elektronları iter ve pozitif yüklü anot bunları çeker ve bu şekilde elektronlar hedefe doğru bir demet halinde yönlendirilir. Katot malzemeleri genellikle çok saf demir, tungsten veya nikeldir ve gaz kabarcıkları içermeyip ısıya dayanıklı olmalıdırlar. Anot hedef genelde, tungsten malzemedен üretilmektedir.

### 3.1.1.2 Hedef malzeme

Bombardıman edilen malzemenin cinsine bakılmaksızın X-ışınları meydana gelir. Hedef malzemesi katı, sıvı veya gaz olabilir. Fakat X-ışını tüpünde kullanılan hedef,

elektronun anoda çarptıkları yüzün içine gömülen bir metal parçasıdır. Kullanılan malzemenin yüksek atom numarası, yüksek ısıl iletkenlik, yüksek ergime noktası ve düşük buhar basıncı gibi özelliklere sahip olması gerekir. Günümüzde üretilen X-ışını tüplerinin çoğunda hedef malzeme olarak tungsten tercih edilmektedir.

### 3.1.2 Kontrol paneli

Bir X-ışını kontrol panelinin başlıca iki görevi vardır. Bunlar; üretilecek X-ışınlarının enerjisini kontrol etmek ve yüksek voltajdan korumaktır.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi modern cihazlar kolaylık sağlayan bir çok özellik sunsa da genel olarak X-ışını kontrol paneli, akım ve voltaj ayar düğmelerini, akım ve voltaj göstergelerini, ikaz ışıklarını ve zaman ayarını içerir. Anoda uygulanan voltaja tüp voltajı denir ve kilovolt (kV) ile ölçülür. Bu değer üretilen radyasyonun giricilik gücünü veya enerjisini tayin eder. Tüp akımı, X-ışını demetinin şiddetini gösterir ve tüpten geçen akım miktarı kontrol panelindeki miliamper (mA) düğmesi ile ayarlanır. Radyasyonun yayılacağı süreye ışınlama zamanı denir ve kontrol panelindeki saat ile ayarlanır. X-ışını radyasyonunun başlamasını veya durmasını tayin eder.



Şekil 3.2 : X-ışını kontrol paneli

### 3.2 Gama Radyografisi

Gama radyografisi, radyoaktif izotop çekirdeklerinin bozunmasıyla yayımlanan gama ışınları ile yapılır. Gama ışınları, X-ışınları gibi çeşitli dalga boylarıyla yayımlanan elektromanyetik dalgalardır ve bunları X-ışınlarından ayıran şey oluşma biçimleri yani kaynaklarıdır. Radyoizotop tarafından yayımlanan gama ışını enerjisi milyonelektronvolt (MeV) cinsinden ifade edilir (Gözbebek ve Hızarcı, 1990).

Her radyoizotopun kendine özgü olan diğer bir özelliği de, Gbq başına özgül gama ışını verimi olup gama sabiti diye de bilinir. Eşitlik 2.4’de verilen gama sabiti kaynaktan bir metre uzaklıkta, saatte curi başına ölçülen röntgendir. Bu tanımdan görüldüğü gibi radyoizotoptan yayımlanan gama ışını miktarının artırılması ancak aktivitenin artırılması ile mümkündür (Bilge, 1985).

Gama radyografisi için gerekli olan cihazlar genellikle taşınabilir olup inşaat ve montaj alanları gibi zor çalışma koşullarında uzaktan kumanda yardımıyla kullanılırlar. Endüstriyel işlemlerde yaygın olarak kullanılan radyoizotoplar ve bunların fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1 :** Radyografide kullanılan gama ışını kaynaklarının fiziksel özellikleri

Kaynak	Yarı Ömür	Gama Enerjileri (MeV)	Doz Hızı R/hr 1m uzakta-1 Ci	Tavsiye Edilen Kalınlık	Normal Kaynak Boyutu
Co-60	5,3 yıl	1,17-1,33	1,3	50-225 mm çelik	1×1,4×4 mm
Ir-192	74,3 gün	0,45	0,48	12-75 mm çelik	0,5×0,5 mm
Cs-137	30 yıl	0,661	0,39	25-100 mm çelik	1×1, 3×3 mm
Se-75	120 gün	0,4-0,066	0,224	8-30 mm	1×1, 3×3 mm



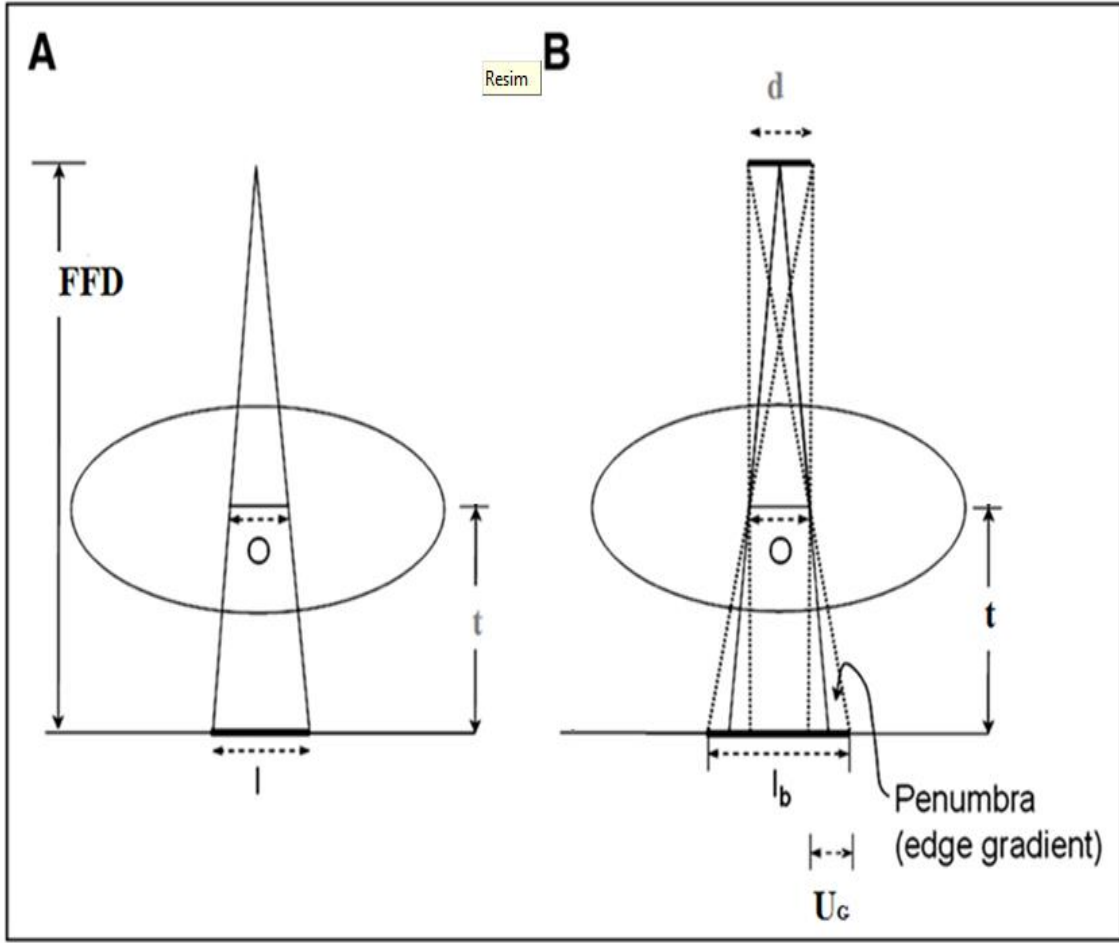
Gama radyografinin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi verilebilir.

1. Maliyeti X-ışını cihazından daha düşüktür.
2. Daha kolay taşınabilir.
3. Elektriğe ihtiyaç duymadığından arazide çalışmak daha kolaydır.
4. Hem panoramik hem de doğrusal çekime uygundur.
5. Cihazın kullanımı kolaydır.
6. Boyutları küçük olduğundan kısa kaynak-film mesafesi gereken yerlerde kulanıma uygundur.
7. Bazı radyoizotopların çok yüksek nüfuziyet kabiliyetlerinin olması kalın parçaların kontrolünde avantaj sağlar.
8. Radyasyon güvenliği açısından kullanımı daha büyük bir dikkat ister. X-ışınları tüplerinde olduğu gibi cihazın kapatılması mümkün değildir. Uygun bir zırhlama ile cihaz kapalı ve bütünlüğü korunmuşken güvenlik açısından bir sıkıntı oluşturmaz. Radyasyon kaynağı emniyetli bir yere konumlandırılarak çalışanların ve diğer canlıların zarar görmesi önlenir.
10. X-ışını ile üretilen radyograflar kadar yüksek kontrast elde edilemez.
11. Nüfuziyet özelliği, izotopun tipi ile ilgilidir ve ayarlanamaz.

### **3.2.1 Radyografide kullanılan radyoizotopların özellikleri**

#### **3.2.1.1 Geometrik yarıgölge**

İdeal bir radyasyon kaynağının boyutunun sıfır olması istenilir. X-ışınlarının salındığı alanın genişliği ne kadar az ise, oluşan görüntünün kenar bulanıklığı o kadar az olacaktır. Geniş kaynak boyutu ile yapılan incelemede ortaya çıkan kenar bulanıklığı, yarıgölge (penumbra) olarak adlandırılır. Boyutsuz bir kaynak pratikte mümkün olmadığı gibi muayene edilen malzemenin kaynak ile film arasında bir derinliği olacağından yarıgölge kaçınılmazdır. Yarıgölge oluşumunda kaynak boyutunun etkisi, Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Bu nedenle pratikte mümkün olan en küçük boyutta kaynak tercih edilir. Küçük kaynak boyutu kullanıldığında kenar bulanıklığı az iken, kaynak boyutu büyüdükçe, kenar bulanıklığı da artmaktadır (Ekinci ve Aksu, 2012).



Şekil 3.3 : Kaynak boyutu-yarıgölge ilişkisi (Url-1)

Oluşacak yarıgölgeyi hesaplamak için eşitlik 3.1 kullanılır.

$$U_G = \frac{d \cdot t}{FFD - t} \quad (3.1)$$

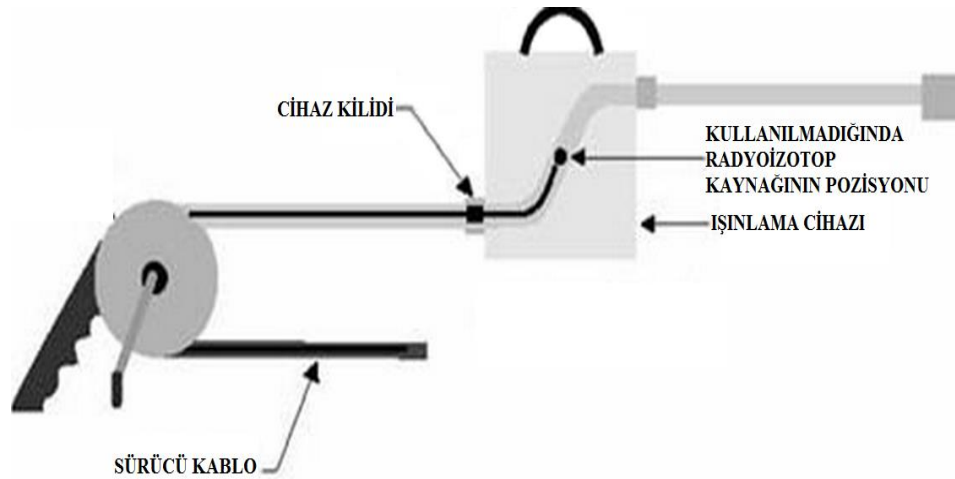
Burada d kaynağın boyutunu, t malzemede nüfuz edilen kalınlığı ve FFD ise kaynak ile film arasındaki mesafeyi göstermektedir.

### 3.2.1.2 Enerji

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

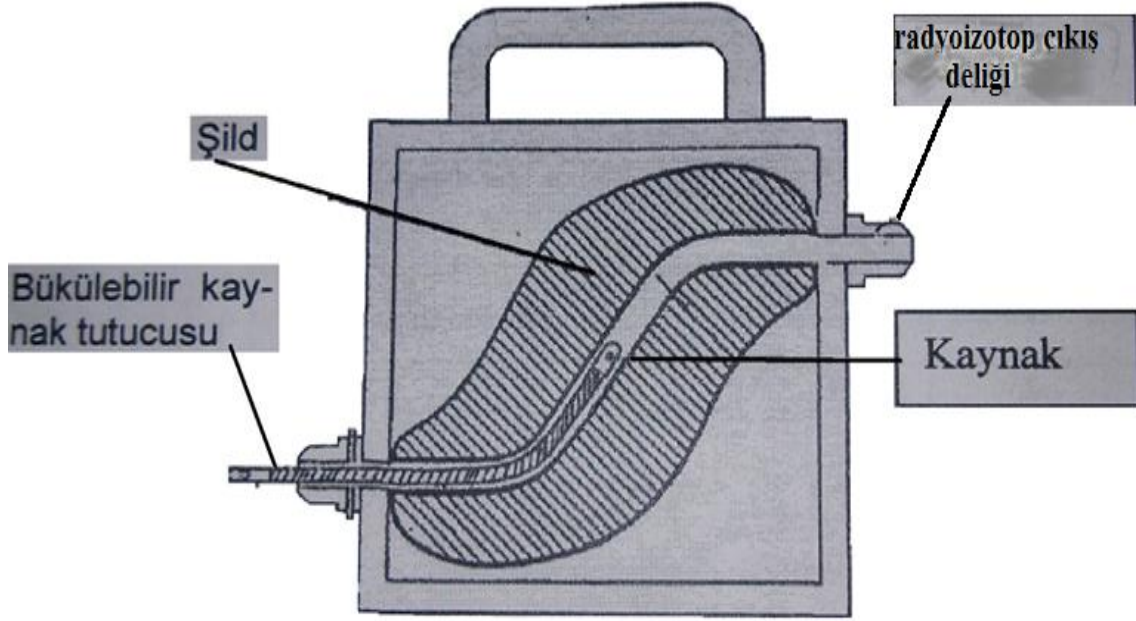
### 3.2.2 Gama radyografi cihazları

Şekil 3.4’de ki figür gamma radyografi cihazına ait tipik bir örnektir. Şekil 3.4’den de anlaşılacağı gibi gamma radyografi cihazları son derece sade bir yapıya sahiptir. Cihazın en önemli bölümü zırlı muhafaza kabıdır. Radyoizotop kullanılmadığı zamanlarda bu kap içinde muhafaza edilir. Radyoizotopların ışması durdurulmadığı için, kurşun veya uranyumdan zırh içine alınarak, çevresine zarar vermesi önlenir. Kullanılacağı zaman radyoizotop bu kaptan dışarı çıkarılır. Zırhının dışında bulunduğu zaman radyoizotop ışınımı ile yakın çevresi için tehlikelidir. Radyoizotop kaynağın çalışacağı zaman muhafazasından dışarıya çıkarılması veya çalışmanın sonunda tekrar muhafazası içine alınması bir esnek kablo ve makara yardımıyla uzaktan yapılır. Şekil 3.4’de görüldüğü gibi bu bir mekanik kumandadır. Bir muhafaza hortumu içinde hareket eden kumanda telinin ucuna radyoizotopa takılır. Tel bir makara yardımıyla ileri geri hareket ettirilir (Ekinci ve Aksu, 2012).



**Şekil 3.4 :** Gama Radyografi cihazı şematik gösterimi.

Şekil 3.5’deki gibi bir muhafaza kabının radyoizotop çıkış deliğine bir esnek hortum veya rijit boru takılır. Radyoizotop bunun içinde hareket eder. Bu kılavuz hortumu veya borusu, muhafaza kabı ile radyografik ışınlama konumu arasında döşenen ve radyoizotop kaynağı dış etkilerden koruyan bir özel hattır. Görüldüğü gibi gamma radyografi cihazının elektriğe ihtiyacı yoktur. Elektrikten bağımsız oluşu onun endüstride seyyar şartlar altında kullanımında büyük kolaylık sağlar. Sade ve dolayısı ile ucuz bir cihazdır. Elektronik devreler veya göstergeler gibi narin parçaları yoktur. Dolayısı ile bozulma olasılığı düşük ve bakım gereksinmesi azdır (Ekinci ve Aksu, 2012).



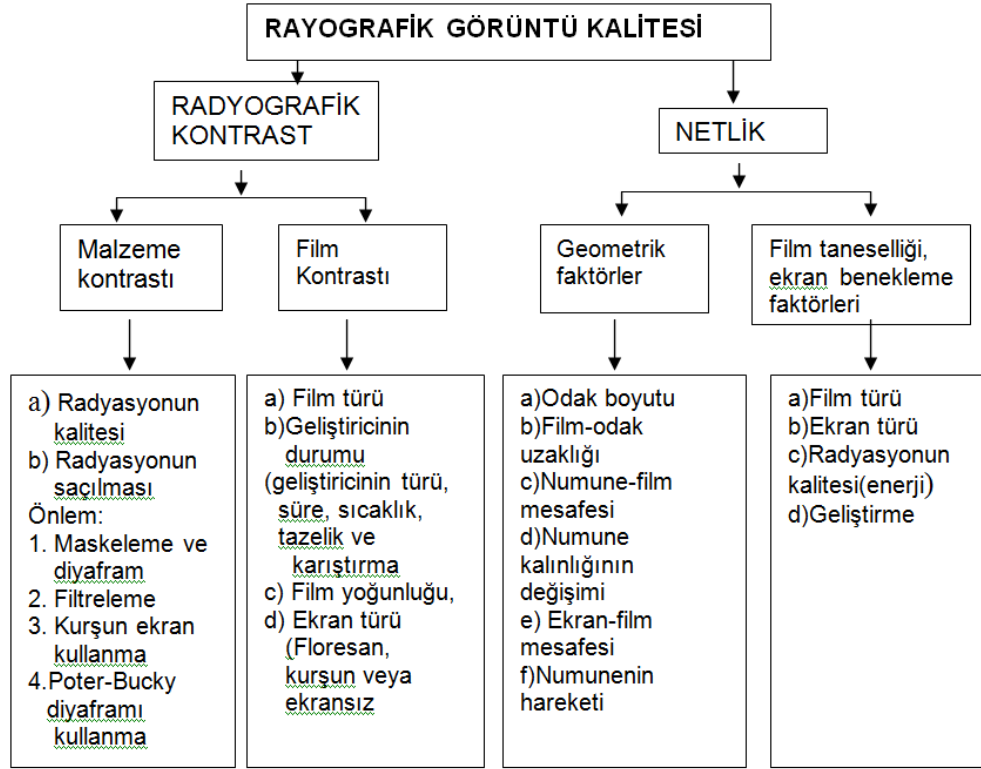
Şekil 3.5 : Gama Radyografi cihazının kesiti.

### 3.3 Radyografik Kalite

Radyografik kalite ve radyografik duyarlık (hassasiyet) eş anlamda kullanılan sözcüklerdir. Bir radyografin küçük hassasiyeti algılayabilme yeteneğidir. Bir radyografin kalitesini oluşturan iki temel faktör radyografik kontrast ve netliktir (Ekinci ve Aksu, 2012).

Radyografik kontrast, radyografin komşu iki bölgesi arasındaki yoğunluk farkının mutlak değeridir. Komşu iki bölgenin yoğunlukları sırası ile  $D_1$  ve  $D_2$  ise radyografik kontrast  $C = D_1 - D_2$  dir.  $C = 0$  ise radyografin iki bölgesi arasında yoğunluk farkı olmaması demektir. Kontrast büyüdükçe yoğunluk farkları daha belirginleşir. Görüntünün algılanması kolaylaşır. Görüntünün algılanması yalnız kontrasta bağlı değildir. Yoğunluğun bir bölgeden diğer bölgeye ani veya tedricen değişmesine de bağlıdır (Ekinci ve Aksu, 2012).

Radyografya komşu iki bölgenin sınırlarının keskinliğine netlik denir. Netlik ve kontrasta etki eden faktörler Şekil 3.6'da verilmiştir (Ekinci ve Aksu, 2012).



Şekil 3.6 : Netlik ve kontrasta etki eden faktörler.

### 3.3.1 Radyografik görüntü kalite faktörleri

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

#### 3.3.1.1 Radyasyon kaynağı faktörü

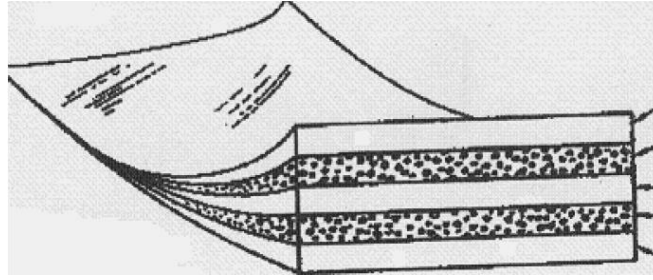
Radyografa etki eden radyasyon kaynağı faktörleri kaynağın boyutu, şiddeti ve enerjisidir. Radyografide kullanılan radyasyonun X-ışını tüpünden veya radyoizotoptan gelmesi, esas itibarıyla radyografik görüntüde herhangi bir değişime neden olmaz.

Tüp gerilimi (kV) değiştirilerek X-ışınlarının enerjisi değiştirilebilir. Buna karşın, oluşturulan X-ışınlarının miktarı, akımı (mA) değiştirilerek ayarlanabilir. Bu bağlamda, radyasyonun enerjisi kalite faktörü, şiddeti kantite faktörü olarak ifade edilebilmektedir. Böylelikle, X-ışınlarını kalite ve kantite faktörleri X-ışını cihazı kumanda kısmından kolaylıkla değiştirilebilmektedir.

Gama ışınlarının enerjisi veya kalite faktörü, radyoizotop kaynağın enerjisi (MeV) ile ifade edilmektedir. Buna karşın kantite faktörü ise, radyoizotopun aktivitesi (Ci) ile ilgilidir. Gama ışınlarının enerjisi değiştirilmek istendiğinde kaynağın değiştirilmesi, kantite faktörü değiştirilmek istendiğinde ise radyoizotopun aktivitesinin değiştirilmesi gerekmektedir (Ekinci ve Aksu, 2012).

### 3.3.1.2 Radyografik film

Radyografa etkiyen film faktörleri, filmin hızı ve emülsiyonunda bulunan AgBr kristallerinin boyutlarıdır. Kristal boyutları, oluşacak filmin kontrast ve tanımına belirler. Filmin hızı, kristallerin boyutlarıyla ters orantılıdır. Bilinen radyasyon poz süresinde filmin hızının bilinmesi ile film yoğunluğunu belirler. Hızlı filmler daha az ışınlama süresi gerektirir. Uygulamada hızlı filmler pek tercih edilmez. Çünkü bu tür filmlerde tanımlama tam sağlanamaz. Yavaş ve orta hızlı filmler daha çok tercih edilir (Aksu ve Akgün, 1991).



Şekil 3.7 : Radyografik film tabakaları.

Şekil 3.7’de radyografik filmin hangi tabakalardan oluştuğu şematik olarak gösterilmektedir. Film tabanı olarak saydam asetat veya polyeater kullanılır. Endüstriyel filmlerin iki tarafı da elektromanyetik radyasyona ve ışığa duyarlı emülsiyonla kaplanmıştır. Filmin iki tarafının da emülsiyon tabakası ile kaplı olması poz süresini kısaltır ve daha ekonomik sürede film çekmemize olanak sağlar. Bu duyarlı emülsiyon tabakası genellikle gümüş halojenür kristalleri içeren sodyum bromidden meydana gelir. Filmin en dış tabakası ise emülsiyon tabakasını, çizilme ve hasarlara karşı koruyan jelatin tabakasıdır (Aksu ve Akgün, 1991).

Film üzerindeki gizli görüntü AgBr kristallerinin elektromanyetik radyasyon tarafından iyonize edilmesi sonucu oluşur. Ancak bu görüntü geliştirilmeden görünür hale gelmez. Filmin banyosu esnasında, AgBr tanecikleri siyah metalik gümüş taneciklerine indirgenerek gizli görüntü, görünür hale gelir. (Ekinci ve Aksu, 2012).

Elektromanyetik radyasyona maruz kalmış (X ve gama ışınları ile pozlanmış) her gümüş taneciği görüntünün oluşmasına katkıda bulunur. Bir taneciğin kısmi pozlanması diye bir şey söz konusu değildir. Filmdeki koyu veya açık olan bölgelerin, o alandaki pozlanmış gümüş taneciklerinin sayısını gösterir. Ne kadar çok sayıda gümüş taneciği etkilenmişse, film o kadar koyu olur (Ekinci ve Aksu, 2012).

### **3.3.1.3 Ekran faktörü**

Radyografik filmler bir ekran çifti ile sandviç yapılmış halde kullanılırlar. Ekranlar, filmin altına ve üstüne konan ince levhalardır. Malzeme ile film arasında yer alan ekran ön ekran filmin arkasına konan ekran arka ekran olarak adlandırılır. Film üzerine gelen radyasyonun etkisini artırmak için ön ekranlar kullanılır. Gerçekte film üzerine gelen radyasyonun ancak % 1 kadarı filme etki eder. Geri kalan kısmı filmi etkilemeden geçer. Ön ekran kullanıldığında, ekrana gelen radyasyon ekran atomlarından elektron koparır (foto elektron), bu elektronlar filme etki eder. Bu ikinci etki daha büyüktür ve bu elektronlar sayesinde radyasyonun film üzerindeki etkisi 2-3 kat artar. Bu nedenle ön ekranlar kuvvetlendirici ekran adı da alır. Endüstriyel radyografide ön ekran olarak metal ekranlar kullanılır. Yaygın olarak kullanılan metal ekranlar, kurşun, yüksek enerjilerde ise çelik veya bakırdır. Zeminden veya başka yerlerden saçılarak film üzerine gelen radyasyonun önlenmesi bakımından arka ekranlar kullanılır. Arka ekranlar ön ekranlara göre biraz daha kalın olmalıdır. Uygulamalarda ekranlar, karton, plastik ve metalden yapılan kasetler içerisinde kullanılmaktadır. Kasetlerin ana görevi, filmi ışıktan korumak ve zarar görmesini önlemektir (Ekinci ve Aksu, 2012).

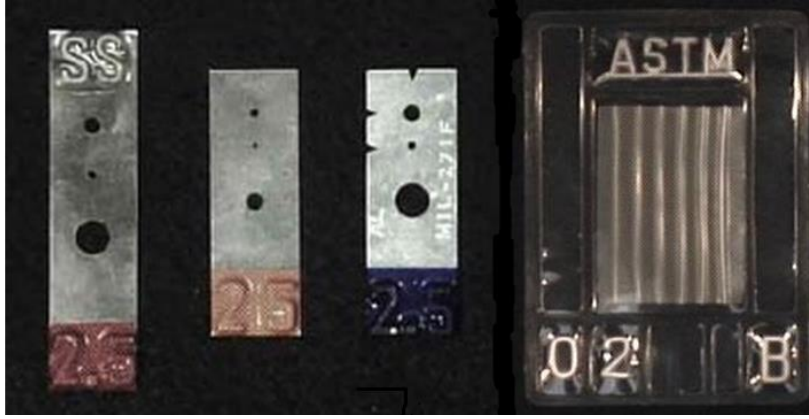
### **3.3.1.4 Pozlama süresi**

Radyograf üzerinde istenen film yoğunluğunun elde edilmesi için radyografi çekilen malzemenin belli bir süre radyasyona maruz bırakılması gerekir ve bu süre poz süresi (ışınlama süresi) olarak adlandırılır. Poz süresi, radyografin kalitesine etki eden diğer dört faktör bulunduktan sonra hesaplanan önemli bir faktördür. Herhangi bir malzemedan yapılmış belli bir kalınlıktaki muayene parçasının pozlama süresini hesaplamak için poz çizelgeleri kullanılır. Bu çizelgeler farklı film türleri, gama ve X ışını cihazları, film – odak mesafesi (FFD), belli bir yoğunluk (D) ve belli banyo koşulları için hazırlanmışlardır. Poz çizelgelerinden, belirli malzeme cinsi (örneğin

çelik), banyo koşulları, film cinsi, odak-film uzaklığı ve film yoğunluğu elde etmek için, farklı malzeme kalınlıklarına göre gerekli ışınlama süreleri hesaplanabilir.

### 3.3.2 Görüntü kalite göstergeleri

Bölüm 3.3.1’de bahsedilen radyografi görüntü faktörlerini yüksek kaliteli bir radyograf elde edecek şekilde ayarlandığından emin olmak için çeşitli araçlar kullanılır. Bu araçlara görüntü kalite göstergeleri (Image Quality Indicator - I.Q.I) veya penetremetre denilir. Radyografi tekniğinin kalitesi, elde edilen görüntü ile bu penetremetrelerin karşılaştırılması ile anlaşılabilir. Yaygın kullanılan iki ana penetremetre tipi vardır. Bunlar Şekil 3.8’de görülen delikli ve telli penetremetrelerdir (Hellier, 2013).



Şekil 3.8 : Delikli ve telli penetremetre örnekleri.

Görmek istediğimiz en küçük süreksizliği temsil eden penetremetre teli ya da deliği görüldüğü takdirde aradığımız süreksizliğin de görüleceğini düşünebiliriz.

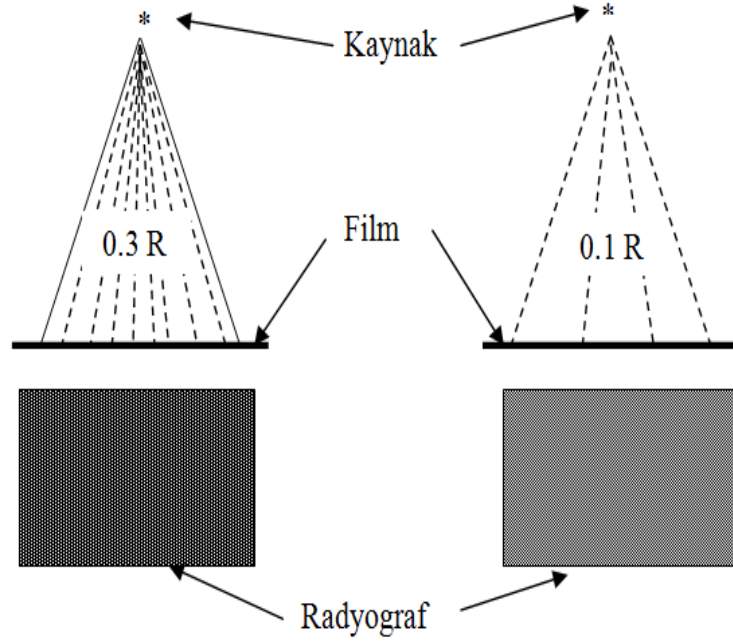
### 3.4 Radyografik Işınlama Hesaplamaları

İstenilen kalitede radyograf elde etmek radyograf kalitesine etki eden ve operatör tarafından kontrol edilebilen faktörlere “Işınlama faktörleri” denir. Bütün bu değişebilen faktörler istenen kalitede radyograf elde etmek için hesap gerektirir.

#### 3.4.1 Radyasyon miktarı

Bir radyograf kalitesine, film üzerindeki görüntü yoğunluğundaki değişime bakarak karar verilir. Görüntü yoğunluğu filme ulaşan radyasyon miktarına bağlıdır. Şekil 3.9’da görüldüğü gibi film ne kadar uzun süre ışınlarla maruz kalırsa o kadar fazla kararır.





Şekil 3.9 : Işınlama ve film kararma ilişkisi

### 3.4.2 Teorik olarak ışınlama süresinin hesaplanması

Radyasyon kaynağı olarak X-ışını tüpü kullanıldığı zaman ışınlama süresi teorik olarak pek hesaplanamaz. Radyasyon kaynağı olarak radyoizop kullanıldığı zaman aşağıdaki eşitlikle ışınlama süresi hesaplanabilir (Aksu ve Ekinci, 2012) :

$$T = \frac{f(D)(d_1+d_2)^2 e^{\mu x}}{S} \quad (3.2)$$

Burada,

$f(D)$  = Film faktörü ( $\text{cm}^{-2}$ )

$S$  = Kaynak aktivitesi ( bozulma / saniye )

$\mu$  = Numune ve kaynak için absorpsiyon katsayısı ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )

$x$  = Numune yoğunluk kalınlığı ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )

$d_1$  = Kaynaktan numuneye olan mesafe (cm)

$d_2$  = Malzeme üst yüzeyinden filme olan mesafe (cm) , genellikle numune kalınlığıdır

$T$  = Işınlama süresi (sn)

### 3.5 Dijital Radyografi

Dinamik muayene uygulamalarına olanak sağlayan dijital radyografi (DR) teknikleri günümüzde dökümlerin, karışık geometriye sahip parçaların ve kaynaklı boruların

otomatik olarak muayenesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çizelge 3.2’de uygulama alanları verilen bu teknikleri aşağıdaki gibi dört guruba ayrılabilir.

Film dijitalleştirme

Radyoskopi

Düzlem panel ile bilgisayarlı radyografi

Fosfor görüntü plakalarıyla bilgisayarlı radyografi

Dijital radyografinin kullanım alanları tabloda gösterilmektedir.

**Çizelge 3.2 : Dijital radyografinin kullanım alanları.**

<b>DİJİTAL RADYOGRAFİ</b>			
<b>Kalsik Radyografinin Kullanıldığı Alanlar</b>		<b>Yeni Endüstriyel Alanlar</b>	
<b>Standart Uygulamalar</b>	<b>Standart Olmayan Uygulamalar</b>	<b>Seri Parçaların Muayenesi</b>	<b>Bilgisayarlı Radyografi</b>
<b>Kaynak Dikişleri, Dökümler, Elektronik</b>	<b>Kalınlık Ölçümü, Korozyon, Aşınma, Yapılar, Köprüler, Plastikler, Kompozitler</b>	<b>Otomatik muayeneler, Boyut Kontrolleri, Bütünlük Kontrolü</b>	<b>3D Döküm, İnceleme, Seramikler, Kompozitler, Plastikler, Özel Uygulamalar</b>

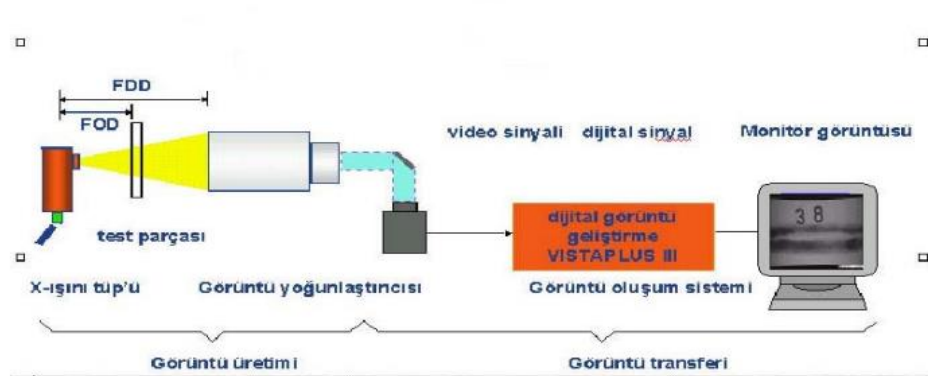
### **3.5.1 Film dijitalleştirme**

Normal radyografiyle elde edilen film bir tarayıcıyla okunur ve film dijital sinyallere dönüştürülür. Tarayıcı filmde aldığı görüntü dijital ortama veri olarak aktarılmış olur. Dijital görüntü ile çeşitli yazılımlar sayesinde, normal bir filmle yapamayacağımız müdahaleleri yapabilir, gerekirse çeşitli filtreler uygulanabilir. Böylece daha fazla bilgi elde etme olanağı buluruz. Saklanması, iletilmesi çok daha kolaydır. Bu yöntemde film eski usüllerle banyo edildiği için kimyasal işlemin hala kullanılıyor olması, filmin maliyeti ve işlem zamanının uzun olması yöntemin zayıflıklarıdır.

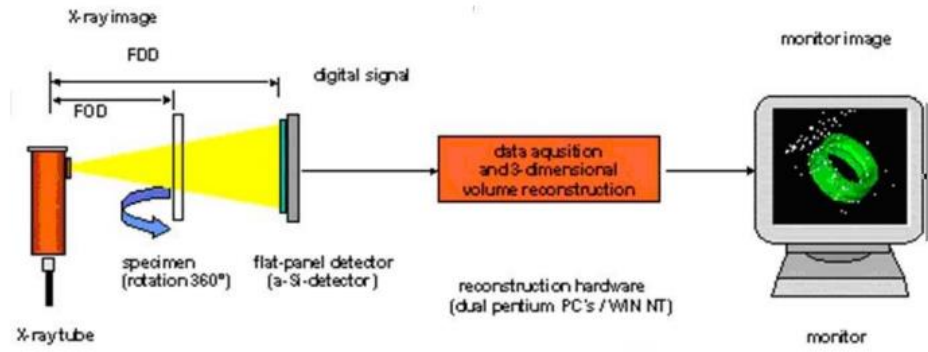
### 3.5.2 Radyoskopi

Radyoskopi yöntemi Şekil 3.10'daki şemalarla gösterilmiştir.

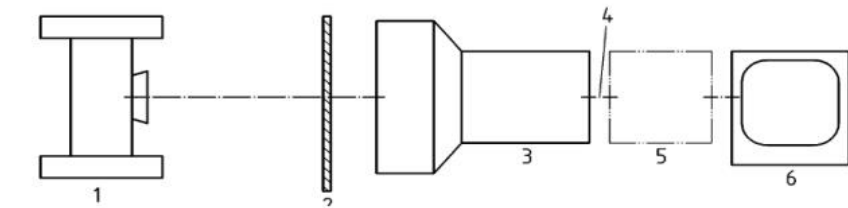
#### a- Görüntü Yoğunlaştırıcı ile



#### b- Düz/Flat Panel ile



#### c- Radyoskopik Sistem Şeması- Görüntü Yoğunlaştırıcı ile



- 1- Işınım Kaynağı
- 2- Muayene Parçası
- 3- Görüntü Yoğunlaştırıcısı
- 4- Çıkış Sinyali
- 5- Görüntü İşlemcisi
- 6- Görüntüleme Ünitesi

Şekil 1. Radyoskopik Sistem

Şekil 3.10 : Radyoskopik Sistemler(Url-2)

Genel olarak görüntü üretimi sağlayan, ışınım kaynağı, işletim sistemi, görüntü yoğunlaştırıcı ve görüntü oluşumunu sağlayan, video-dijital sinyal oluşturulması sistemlerinden oluşan radyoskopik sistemler, sürekli muayene ihtiyacına, bantta

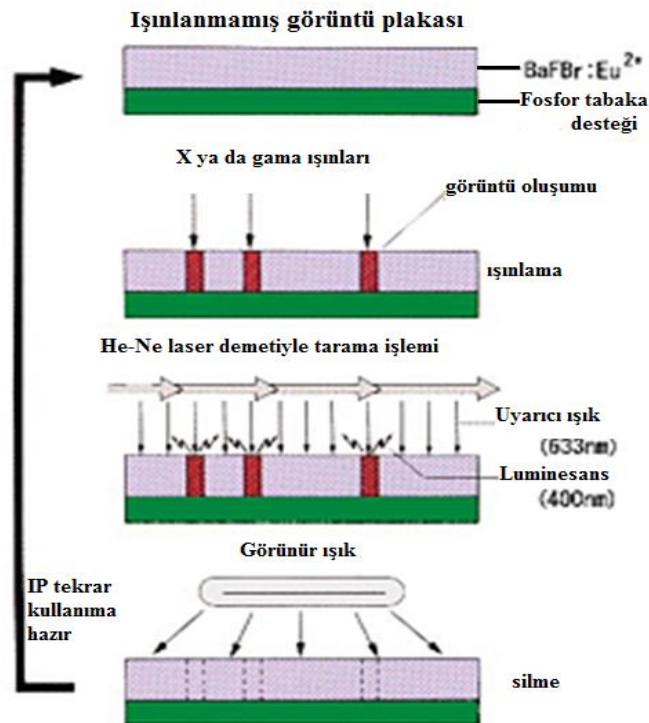
otomatik muayeneye imkan vermesi ve anında değerlendirme yapılması avantajlarıyla öne çıkmaktadır.

### 3.5.3 Bilgisayarlı radyografi

Fosforlu görüntü plakalarıyla (Imaging Plate-IP) bilgisayarlı radyografi endüstriyel uygulama amaçlı kullanılmaktadır. Bilgisayarlı radyografi filmleri radyografi ve direkt dijital radyografi arasında bir teknolojidir.

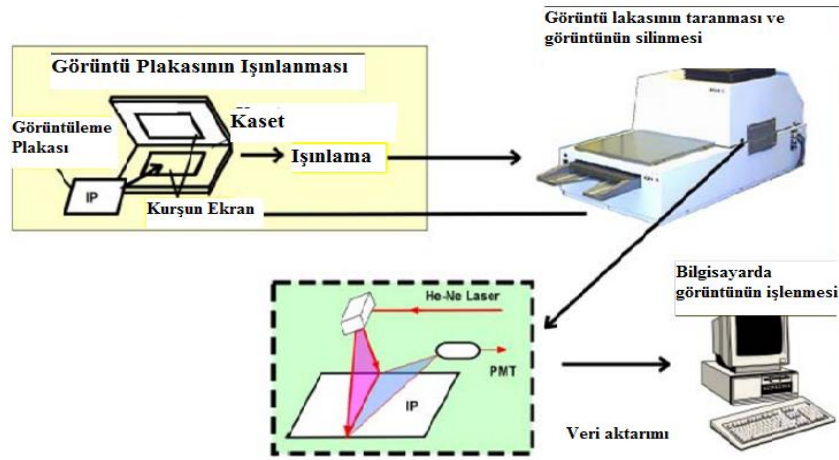
X-ışını yayılımı sırasında oluşan renk merkezleri herhangi bir geliştirme işlemi yapılmaksızın direkt olarak laser tarayıcı tarafından algılanmakta ve dijital görüntüye dönüştürülmektedir. Elde edilen dijital görüntü bilgisayar ortamında arşivlenebilmektedir. Görüntü alındıktan sonra plakalar (IP) silinmekte ve defalarca kullanılabilir (Mahmutyazıcıoğlu).

Şekil 3.11’de görüldüğü gibi, elektromanyetik dalgalarla uyarılarak latent görüntü oluşturulan görüntü plakası, sayısallaştırıcıda, He-Ne laseriyle taranarak okunur. Okumadan sonra yine bir laser yardımıyla ya da doğrudan gün ışığıyla kalıntı görüntü silinir.



Şekil 3.11 : Görüntü plakasının çalışma şekli (Url-7).

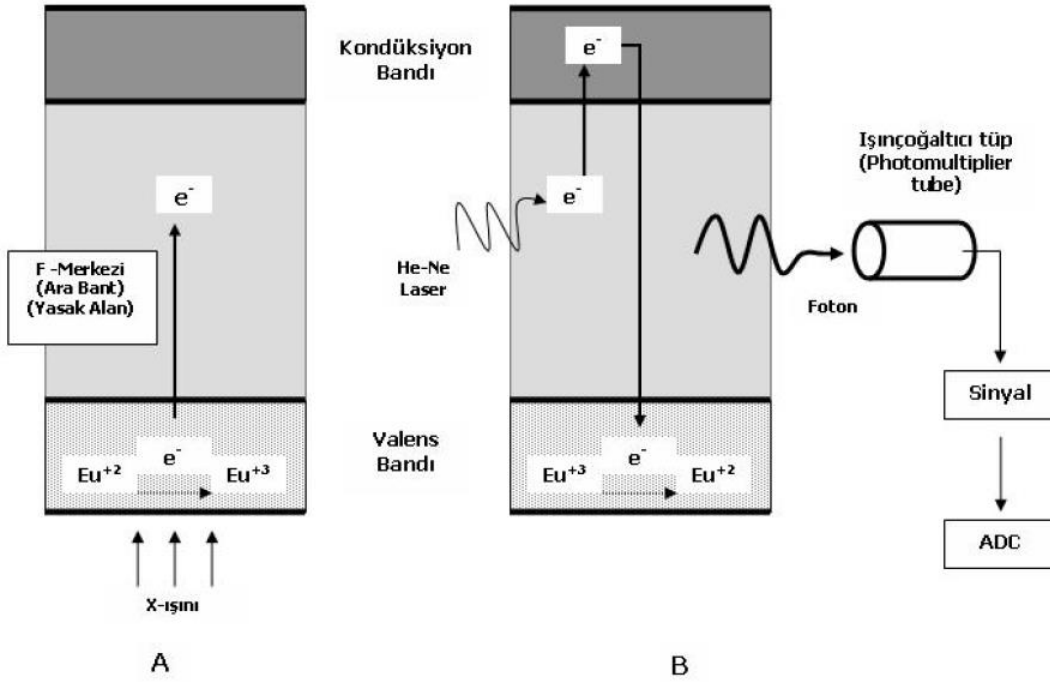
Bilgisayarlı radyografi, konvansiyonel radyografide kullanılan boyut ve yapıdaki kasetler içerisine yerleştirilen özel bir görüntüleme plakasında latent görüntünün oluşturulması, daha sonra bu plakanın özel bir cihaz ile okunarak dijital görüntü elde edilmesine dayanan yöntemdir. Şekil 3.12’de görülen bilgisayarlı radyografi sisteminde görüntü alıcısı (imaj reseptörü) ışınla uyarılabilir fosfor ekran (photostimulable phosphor screen) ya da fosforlu görüntüleme plakası (storage phosphor imaging plate) adı verilen, baryum florohalid kristallerinden oluşan bir plakadır.



**Şekil 3.12 :** Bilgisayarlı radyografi sistemi şematik gösterimi (Url-3).

Konvansiyonel radyografide kullanılan görüntü güçlendirici ekran (screen/ranforsatör) ile benzer yapıda olan fosfor plakayı oluşturan kristaller, baryumun halid grubu elementlerinden iyot, brom ve klorla yaptığı bileşiklerdir (BaFI, BaFCl, BaFBr). Ayrıca aktivatör madde olarak tanımlanan Europium (Eu) elementi, fosfor kristalinde elektron alışverişini sağlamakta ve görüntü oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Tüm bu bileşikler yarı-iletken özelliğinde kristal bir ortam içerisindedirler. Şekil 3.13’de görülen yarı-iletkenlerde elektronların yoğun olarak bulunduğu valans (valence) bandı, elektronların çok az bulunduğu kondüksiyon (conduction) bandı ve ikisinin arasında F-merkezi adı verilen, elektronların yakalanarak tutulduğu (trapping) bir ara alan bulunmaktadır. F merkezinde tutulan elektronların enerjisi kondüksiyon bandındakilerden düşük, valans bandındakilerden yüksektir. X-ışınları, yarı-iletken özelliğindeki fosfor ekrana ulaştığında, absorbe edilen enerjiyle Europium’dan valans elektronları salınır ve Eu +2 değerlikten +3 değerlikli bir atoma dönüşür. Ortaya çıkan elektronlar yüksek

enerjili konuma geçerler ve kondüksiyon bandına yönelirler. Bu yönelme esnasında bazı elektronlar F-merkezinde tutulur. Bir bölgede tutulan elektron miktarı o bölgede absorbe edilen X-ışını miktarı ile doğru orantılıdır. Tutulan bu elektronlar latent görüntüyü oluşturur (Url-4, url-5).



**Şekil 3.13 :** Baryum florohalid:Eu<sup>+2</sup> enerji band yapısı (Url-6).

Latent görüntünün görünür hale getirilmesi, F merkezinde tutulmuş olan elektronların eski konumlarına gönderilmesi ve bu aşamada ortaya çıkan görünür ışık fotonlarının saptanarak veriye dönüştürülmesi ilkesine dayanır. Bunun için latent görüntüyü içeren plaka, görüntü okuyucu bir cihaz içerisine yerleştirilir. Cihaz içerisinde, plaka kasetten ayrılır ve 700 nanometre (kırmızı) dalga boyundaki helyum-neon laser ışını ile taranır. Laser, F merkezindeki tutulmuş elektronlara enerji aktarır, enerji alan elektronlar kondüksiyon bandına çıkarak yeniden serbestçe dolaşabilir hale gelir ve daha düşük enerjili valens bandına dönme olanağı ortaya çıkar. Valens bandına dönen bu elektronlar Eu<sup>+3</sup>'ü Eu<sup>+2</sup> formuna geri çevirir ve aradaki enerji farkı mavi-yeşil dalga boyunda (400-500 nm) görünür ışık fotonu olarak salınır. Bu fotonlar fosfor plaka boyunca başlangıçta gönderilen laser ışığı ile eş zamanlı olarak, plakanın enine taranır. Yalnızca salınan fotonların saptanması için kırmızı ışığı önleyen, mavi-yeşil dalga boyunu algılayan filtrelerden geçen ışınlar, ışın çoğaltıcı tüp (photomultiplier tube / PMT) aracılığıyla elektriksel sinyale

dönüştürülür ve ardından analog-dijital dönüştürme (analog-digital conversion / ADC) işlemi ile dijital veriye çevrilir.

Şekil 3.13'de bilgisayarlı radyografi (CR)'de görüntünün oluşumu: A) X-ışını enerjisiyle bir Europiumun valans elektronu serbest hale geçer, kondüksiyon bandına yönelir ve F-merkezi adı verilen elektron tutma özelliği olan bir alanda yüksek enerjili bir konumda yakalanır. B) Okuma sırasında, dışarıdan verilen He-Ne laser ışını enerjisi ile yeniden serbest hale geçen elektron kondüksiyon bandı ile valans bandı arasında yer değiştirme özelliği kazanır. Elektron valans bandına döndüğünde Europium eski haline geçer, tüm işlemde artan enerji foton olarak salınır. Foton ışın çoğaltıcı tüple yükseltilir, sinyal okunur ve dijitalize edilir (Url-4).

### **3.6 Dijital Radyografide Görüntü Kalitesi**

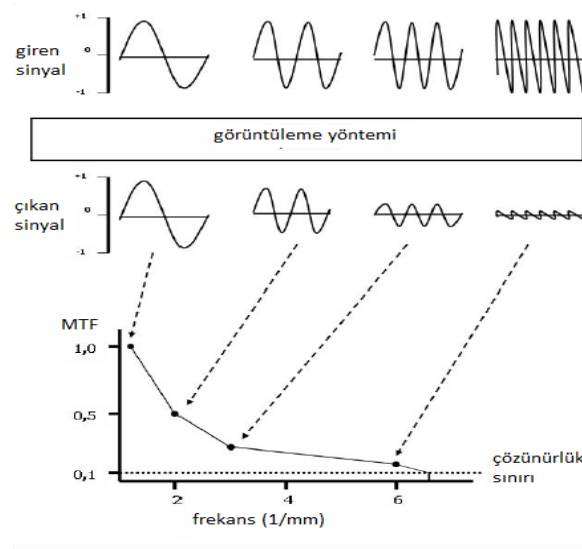
#### **3.6.1 Uzaysal çözünürlük**

Bir görüntüleme yönteminin uzaysal çözünürlük (Spatial Resolution) kapasitesini tanımlamada kullanılan ölçüt, sistem tarafından görüntülenebilen en yüksek 'milimetredeki çizgi çifti' (line pair/mm - lp/mm) sayısıdır. Konvansiyonel radyografik kalite değerlendirmesinde kullanılan bir yöntem olan çizgi çifti testi, aralıkları giderek azalan çizgi çiftlerinden oluşan bir plakanın filminin elde edilmesi ve görüntüde gözün ayırımını yapabildiği çizgi çiftine kadarki sayının belirlenmesiyle yapılmaktadır. Dijital radyolojide çözünürlük doğrudan piksel boyutu tarafından belirlenir. Ancak dijital radyolojide dedektör sayısı ve ara boşluk mesafesi ile Nyquist limiti gibi konvansiyonel radyografilerde olmayan bir dizi faktör çözünürlüğü etkilemektedir. Bu nedenlerle dijital radyolojide uzaysal çözünürlüğü ölçme ve sistemler arası karşılaştırmada Modulation Transfer Function (MTF) ve Detected Quantum Efficiency (DQE) adı verilen özel yöntemler kullanılmaktadır (Url-6).

##### **3.6.1.1 Modulation Transfer Function (MTF)**

MTF, X-ekseninde uzaysal frekans, y-ekseninde görüntü keskinliğini tanımlayan MTF'den oluşan bir grafikte Şekil 3.15'de gösterilmektedir. MTF için en yüksek değer 1'dir ve bu değer nesnenin olduğu gibi görüntülendiğini tanımlar. Uzaysal frekans arttıkça nesneden elde edilen sinyalin düşmesiyle MTF değeri aşamalı olarak

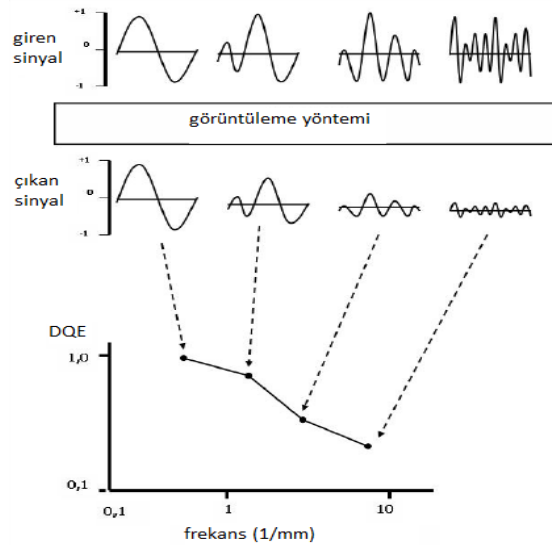
düŒer. MTF'nin 0.1'e indiği noktadaki uzaysal frekans değeri o görüntüleme yönteminin çözünürlük sınırınıdır (Url-6).



Şekil 3.14 : Modülasyon Transfer Fonksiyonu eğrisinin elde ediŒi

### 3.6.1.2 Detective quantum efficiency (DQE)

MTF bir sistemde görüntü kalitesini ölçerken önemli bir parametre olan gürültüyü dikkate almamaktadır. Bu nedenle sistemin tüm gürültü kaynaklarını da dikkate alarak sistemin genel kalite performansını değerlendiren ve sistemler arasında karşılaştırma olanağı sağlayan bir ölçüt tanımlanmıştır. Şekil 3.16'da görülen Detective Quantum Efficiency (DQE) adı verilen bu ölçüt, pozlamaya ait bilginin ne kadarının görüntü alıcısı tarafından algılandığını ve görüntüye çevrildiğini belirler.



Şekil 3.15 : Detective Quantum Efficiency (DQE) eğrisinin elde ediŒi



Arada ortaya çıkan kayıp tüm sistemin gürültüsüdür. İdeal bir sistemde tek gürültü kaynağı X-ışını miktarının azlığından kaynaklanan quantum beneklenmesi olmalıdır. Ancak diğer gürültü kaynaklarının tümüyle ortadan kaldırılması fiziksel olarak mümkün olmadığından görüntü kalitesini olumsuz etkileyen diğer gürültü nedenleri görüntüde hep var olacaktır (Url-6).

### **3.6.2 Piksel boyutu**

Bir görüntü alanının (field of view-FOV), x ve y eksenlerinde bölünmesiyle oluşan matriksin en küçük görüntü alanına piksel adı verilmektedir. Piksel genişliği dijital radyografide uzaysal çözünürlüğü belirleyen temel etmendir. Basit bir hesaplama, 512x512 matrise sahip 50mm x 50 mm'lik bir görüntü alanında her bir piksel 0,1 mm x 0,1 mm boyutlarında olacaktır. Bu da çizgi çiftiyle ifade edilecek olduğunda, iki piksel dikkate almak gerektiğinden, milimetrede 5 çizgi çiftine (5 lp/mm) karşılık gelmektedir. Piksel boyutu dijital bir sistemin uzaysal çözünürlüğünün yalnızca çok temel belirleyicisidir. Ancak piksel boyutunun uzaysal çözünürlüğü birebir yansıtmaz, çözünürlüğü belirleyen başka çok sayıda etmen vardır.

### **3.6.3 Gürültü**

Görüntü oluşum basamaklarındaki rastgele etkileşimlerden kaynaklanan, görüntü kalitesini bozan ancak bütünüyle önlenemeyen değişikliklere gürültü adı verilmektedir. Konvansiyonel radyografide kullanılan film-ekran sisteminde gürültünün ana kaynakları aşağıda sıralanmıştır.

#### **3.6.3.1 Kuantum beneklenmesi**

Kuantum beneklenmesi (Quantum Mottle) X-ışını miktarı tarafından belirlenen gürültünün en önemli parçasıdır. En tipik örneği floroskopide ekranda oluşan görüntüdür. Bu görüntü çok düşük mAs'la oluşturulduğundan asla bir film kadar keskin olamaz.

#### **3.6.3.2 Yapısal beneklenme**

Yapısal beneklenme (Structural Mottle) ranforsatör (screen) kristallerinin absorpsiyon etkinliğinin sınırlılığı, X-ışını kristal etkileşiminin rastgele olması, oluşan görünür ışığın her yöne dağılıyor olmasından kaynaklanmaktadır (Url-6).

### 3.6.3.3 Film graininess

Film emülsiyonundaki gümüş halid kristallerinin şekilsiz yapıları, rastgele dağılmış olmaları ve ışık emülsiyon etkileşiminin rastgele olması nedeniyle oluşmaktadır.

Dijital radyografide film kullanılmadığından film greni gürültü kaynağı değildir. Ancak dolaylı dönüştürme yapan dijital radyografi sistemlerinde ranforsatöre eşdeğer sintilasyon kristalleri olduğundan yapısal beneklenme gürültü kaynakları arasındadır.

Işık etkileşiminin yönünü kontrol ederek yapısal beneklenmeyi azaltabilmek için bu sistemlerde sintilasyon kristalleri mikron düzeyinde yan yana dizilmiş ince toplu iğneler şeklinde üretilmektedir. Dolaylı dönüştürme yapan sistemlerde, sintilasyon kristallerinin dönüştürme etkinliğinin sınırlılığı aşılamadığından ve X-ışınının sintilasyon kristali ile arasındaki etkileşimin rasgele oluşu önlenemediğinden yapısal beneklenme tümüyle ortadan kaldırılamamaktadır. Doğrudan dönüştürmeli dijital radyoloji sistemlerinde amorf selenyum plakası kullanılmaktadır, bu sistemlerde görüntü oluşturmada sintilasyon basamağı olmadığından yapısal beneklenme bir gürültü kaynağı değildir. Doğrudan ya da dolaylı tüm dijital radyografi sistemlerinde konvansiyonelden farklı gürültü kaynakları bulunmaktadır. Bunlar elektronik gürültü ve dijitalizasyon gürültüsüdür. Elektronik gürültü, sistemin bütününde çalışmakta olan tüm elektronik aksamın görüntüde yarattığı bozulmadır. Dijitalizasyon gürültüsü ise yüksek bit derinliği ile elde edilen görüntünün düşük bit derinliğinde bir ortamda gösterilmesi durumunda ortaya çıkan gri ton kodlama farklılıklarıdır. Örneğin 10 bit derinliğinde (1024 gri tonu) elde edilen bir görüntü 8 bit (256 gri tonu) derinliğinde bir ortamda gösterildiğinde, elde edilmiş olan her dört gri skala düzeyinden birisi display ortamında bir gri skalanın içerisine dağıtılacak, bu da görüntüde az da olsa bir bozulmaya neden olacaktır. Bu nedenle sistemler mümkün olduğunca yüksek ancak bir o kadar da uyumlu bit derinliğinde tasarlanmalıdır. (Url-4)

### 3.6.3.4 Etkin erim

Bir sistemin karşılayabildiği değer aralığı genişliğine dynamic range (etkin erim) adı verilmektedir. Dijital radyografi sistemlerindeki etkin erimi belirleyen sistemin değişen foton şiddetlerini görüntüye dönüştürebilme kapasitesidir. Sönümlenme sonrası şiddeti belirgin düşen fotonlarla yüksek penetrasyonlu fotonların taşıdığı bilgiyi görüntüye dönüştürebilen sistemler etkin erimi geniş sistemlerdir.

#### 4. RADYOGRAFİ YÖNTEMİYLE BORULARDA CİDAR KALINLIĞI TAYİNİ

Özellikle petrol ve kimya endüstrileri, enerji santralleri gibi endüstriyel tesislerin en yaygın ve önemli bileşenlerinden olan borular, bu tesislerin güvenilirlik ve emniyeti açısından oldukça önemlidir. Boruların amaçlarına uygun olarak çalışabilmesi için endüstriyel tesisler planlanırken bu bileşenlerden beklenen özellikleri koruması beklenir. Şekil 4.1’de örneği görülen, borularda oluşabilecek korozyon, erezyon, birikinti ve tıkanıklıklar üretimin kısmen düşmesine veya tamamen durmasına neden olabilmektedir. Sızıntı, patlama gibi olasılıklar çevreyi ve tesis çalışanlarını da tehdit edebileceği gibi, yüksek maliyetli tamir ve yenileme de gerektirebilir.

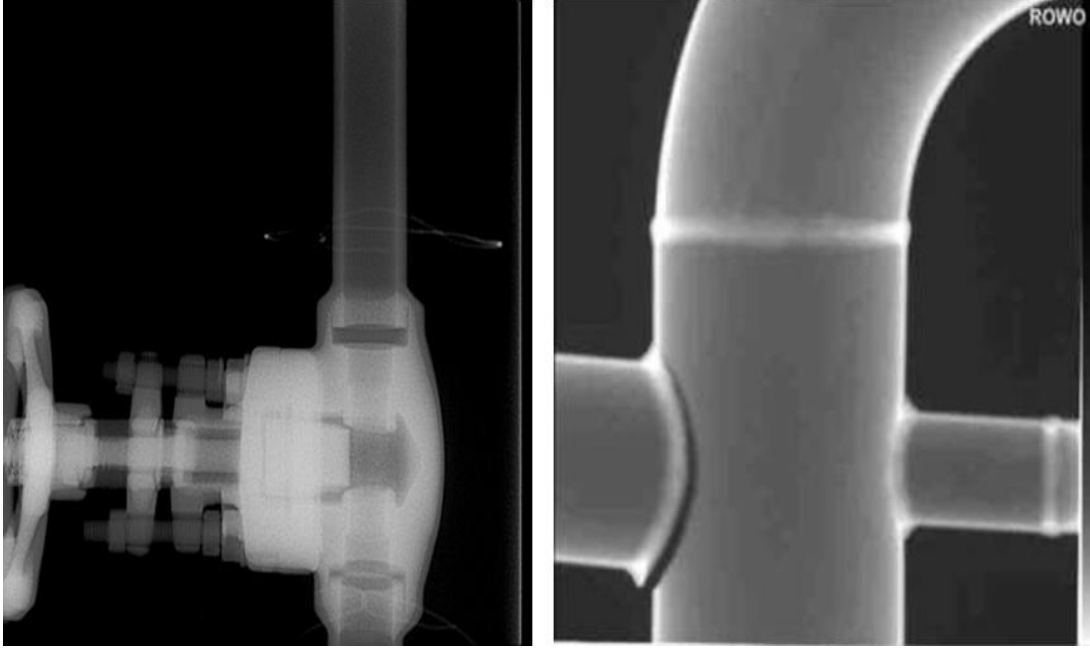


**Şekil 4.1 :** Çelik borularda korozyon örnekleri.

Endüstriyel tesislerin borularında ve boru hatlarında takip edilmesi ve ölçülmesi gereken en önemli parametre korozyon yoluyla oluşan cidar kalınlığı kaybıdır. Radyografi sert işletme şartlarında uygulanabilmesi, yalıtılmış borularda yüksek maliyetli yalıtım malzemesi sökme, yeniden takma işlemine gerek bırakmaması ve radyografik muayenede borularda oluşan birikim, aşınma vb. erezyonlar radyografi ile Şekil 4.2’de de görüldüğü gibi ayrıntılı olarak görülebilir (IAEA, 2008).

Korozyon kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlarla meydana gelen, malzemedeki kayıpları ifade eder. Tuz, asit, baz çözeltileri, ıslak yada kuru hava, su ve gazlar korozyona neden olabilir. Su borularındaki korozyona bu maddelerin yanı sıra içme

suyunun CO<sub>2</sub> içeriği ve çevresel etkiler önemlidir. Su borularındaki korozyonun belirlenmesi; çalışma ömürleri, güvenlikleri ve ekonomik kullanım açısından çok önemlidir (Ekinci, 1999).

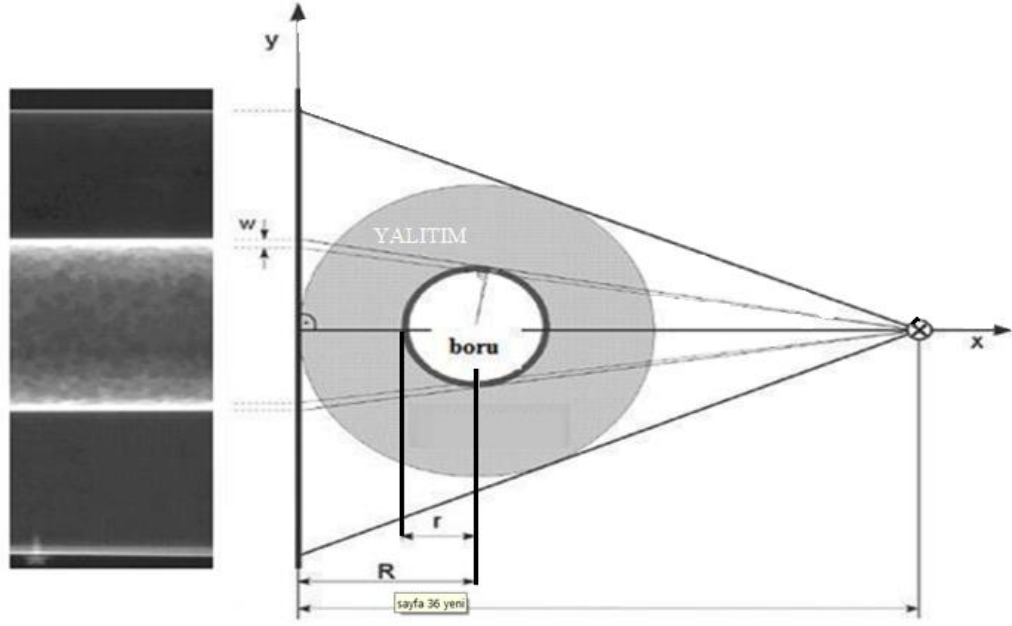


**Şekil 4.2 :** Boru ve vana örneklerinin radyografik görüntüleri.

Çelik boruların cidar kalınlığı ölçümü için iki tür radyografik çekim yöntemi vardır. Bunlardan biri, çift cidar tekniği (DWT) diğeri ise teğet radyografi tekniği (TRT) dir.

#### **4.1 Teğet Radyografisi Tekniği (TRT)**

Boru muayenesinde, teğet ışınlama metodu denilen, boru incelmesi ve doğrudan cidar kalınlığı ölçümü yapabilen yöntem “teğet radyografi tekniği” denilir. Bu teknikte incelenecek borunun sadece radyasyona teğet olan kısımları değerlendirmeye alınır. Şekil 4.3’de görülen borunun radyografteki izdüşümünde orta kısımlar değerlendirmeye alınmaz. Teğet tekniğinde görüntülenmesi istenilen yani radyasyonun boruyu teğet geçtiği kısımlardan uygun bir görüntü almak, borunun ortasına odaklanan çift cidar tekniğine göre çok daha yüksek enerjilerde ışınlamaya ihtiyaç duyar. Bu durum  $L_{max}$  yani boru iç teğetinden geçen ve cidar boyunca giden kirişin uzunluğu ile ilgilidir (Ekinci, 1999).



**Şekil 4.3 :** Teğet radyografi düzeneği ve elde edilen radyografik görüntü (Zscherpel ve Alekseychuk, 2007)

Tekniğin en önemli uygulaması, boru cidar kalınlığının tam olarak ölçülmesidir. Bunun nedeni cidar kalınlığının, teğet radyografide profilden yani boyuna kesiti biçiminde görülebilmesidir. Bu teknikte boru konumlanması son derece önemlidir. Borudaki en ufak bir dönme istenilen bölgenin dışındaki bir kısmı görüntüye getirebilir (IAEA, 2008).

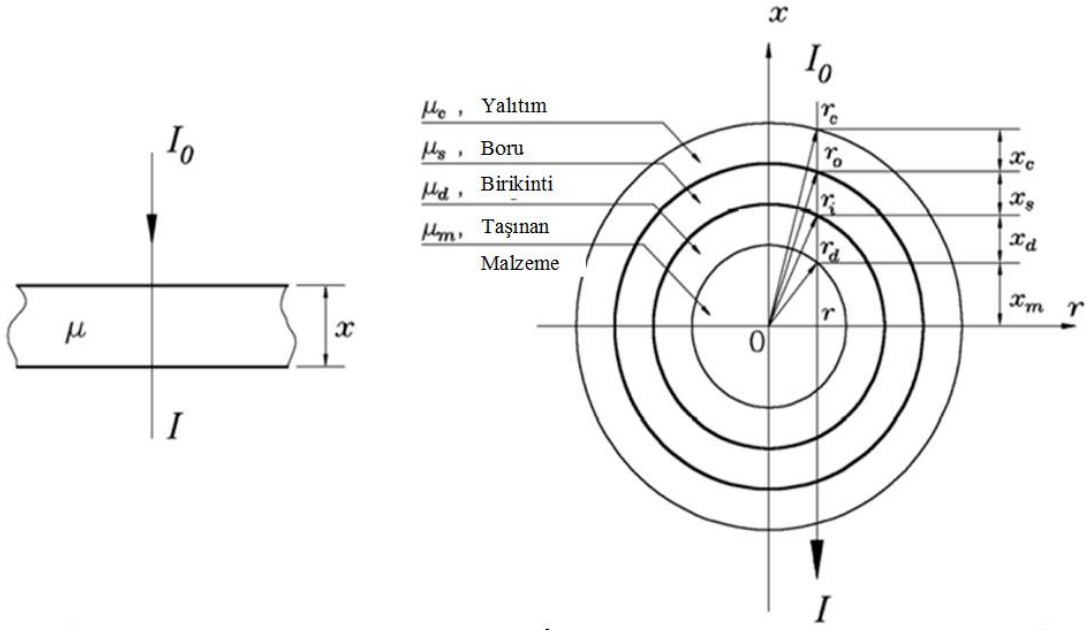
#### 4.1.1 Teğet radyografi tekniği ile cidar kalınlığı ölçümü

Radyasyon demeti, birikinti içeren, izole bir borudan geçiyorsa, radyasyon şiddeti (I) Eşitlik 4.1'den yararlanarak bulunur;

$$I = I_0 e^{-2(\mu_c X_c + \mu_s X_s + \mu_d X_d + \mu_m X_m)} \quad (4.1)$$

Eşitlikde  $\mu_c$ ,  $\mu_s$ ,  $\mu_d$ ,  $\mu_m$  sırasıyla yalıtkan malzemenin, çeliğin, birikintinin ve içinde malzeme taşınan maddenin zayıflama katsayılarıdır.  $x_c$ ,  $x_s$ ,  $x_m$ ,  $x_d$  ise yine sırasıyla yalıtkan malzemenin, çeliğin, birikintinin ve içinde malzeme taşınan maddenin kalınlıklarıdır.

Şekil 4.4'den, geometri prensipleri çerçevesinde, radyasyonun geçtiği her bir katmanın kalınlığı radyal koordinat göz önünde bulundurularak hesaplanabilir.



**Şekil 4.4 :** Yalıtımlı, birikinti içeren tipik bir boru kesitinin farklı katmanlarında zayıflatma katsayıları.

- Nüfuz edilen yalıtım malzemesinin kalınlığı Eşitlik 4.2’de verilmiştir.

$$X_c = \sqrt{r_c^2 - r^2} - x_s - x - x_m \quad (4.2)$$

- Nüfuz edilen boru kalınlığı Eşitlik 4.3’de verilmiştir.

$$X_s = \sqrt{r_o^2 - r^2} - x_d - x_m \quad (4.3)$$

- Nüfuz edilen birikinti kalınlığı Eşitlik 4.4’de verilmiştir.

$$X_d = \sqrt{r_i^2 - r^2} - x_m \quad (4.4)$$

- Nüfuz edilen taşıyan maddenin kalınlığı Eşitlik 4.5’de verilmiştir.

$$X_m = \sqrt{r_d^2 - r^2} \quad (4.5)$$

Burada  $r_c$  yalıtım malzemesinin yarıçapı,  $r_o$  borunun dış yarıçapı,  $r_i$  borunun iç yarıçapı,  $r_d$  ise birikimin yarıçapıdır.

Radyasyon şiddetinin değişimi için genel denklem kullanılarak, farklı boru tiplerine göre özel formül çıkarılabilir:

- Yalıtımsız boş bir boru (Şekil 4.4’de  $X_c = 0$ ,  $X_d = 0$ ,  $X_m = 0$  alındığında) için radyasyon şiddeti eşitlik 4.6 ile verilmiştir.

$$I = I_0 e^{-2\mu_s x_s} \quad (4.6)$$

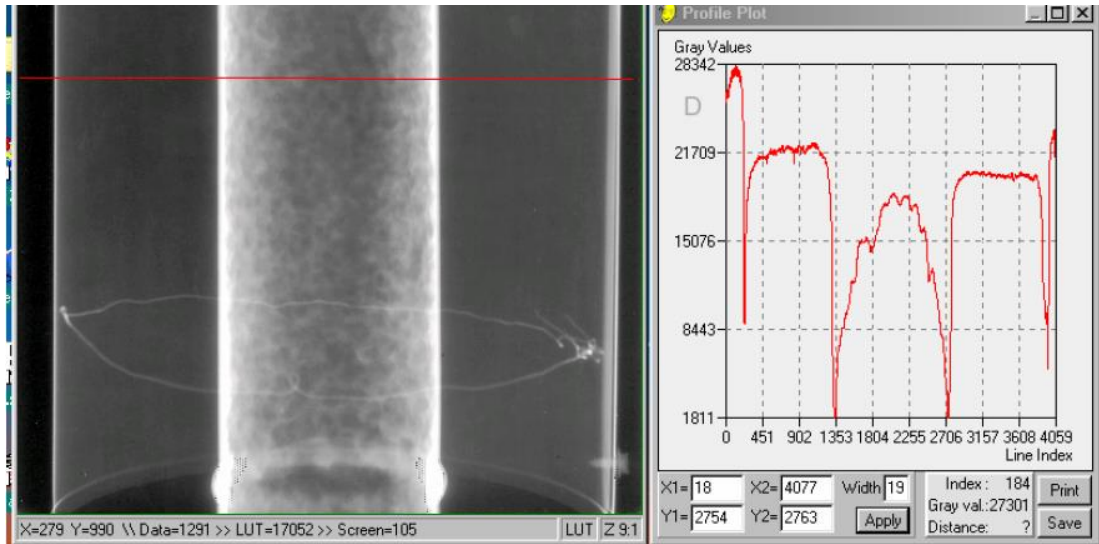
- Yalıtımlı boş bir boru (Şekil 4.4'de  $x_d = 0$ ,  $x_m = 0$  alındığında) için radyasyon şiddeti eşitlik 4.7 ile verilmiştir.

$$I = I_0 e^{-2(\mu_c x_c + \mu_s x_s + \mu_d x_d + \mu_m x_m)} \quad (4.7)$$

- Yalıtımsız, birikinti içeren boş bir boru (Şekil 4.4'de  $x_d = 0$ ,  $x_m = 0$  alındığında) için radyasyon şiddeti eşitlik 4.8 ile verilmiştir.:

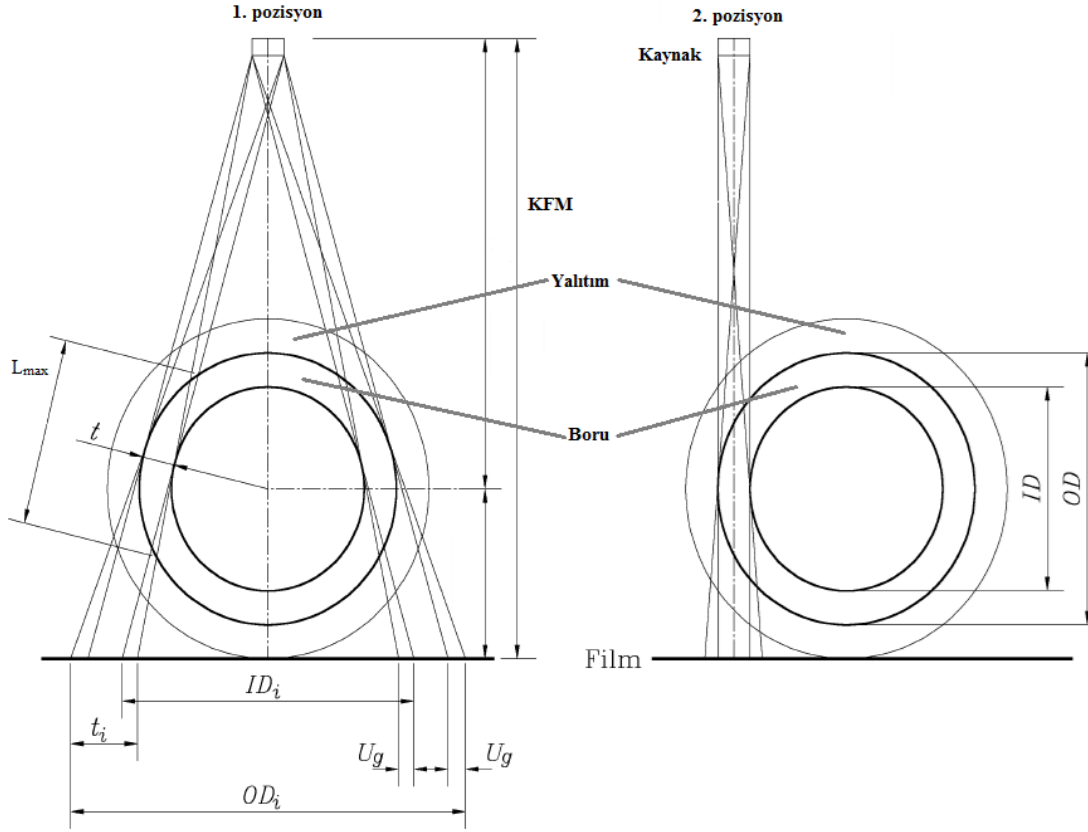
$$I = I_0 e^{-2(\mu_c x_c + \mu_s x_s + \mu_d x_d)} \quad (4.8)$$

Bu eşitlikler kullanılarak yoğunluk mesafe eğrileri teorik olarak çizilebilir. Eğrinin dönüm noktaları farklı katmanlar arasındaki sınırlara karşılık gelmektedir. Dönüm noktaları arasındaki mesafeler ise her bir katmanın kalınlığına karşılık gelir. Şekil 4.5'de yalıtımlı ve korozyon barındıran bir borunun üzerinde dönüm noktaları görülmektedir.



**Şekil 4.5 :** Yalıtımlı bir borunun tipik radyografi ve yoğunluk eğrisi.

Teğet yöntemindeki geometrik parametreler Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Teğet radyografi ile pozisyon 2 deki gibi tek cidara bakılabileceği gibi aynı anda iki cidara da bakılabilir. Ancak boru çapı büyüdükçe ve kaynak boruya yaklaştıkça görüntü kalitesi de düşecektir. Radyograf üzerinde boru cidar kalınlığı, kaynağın uçlarından borun iç ve dış yarıçaplarına teğet geçen doğrular yardımıyla belirlenir. Radyasyonun cidar kalınlığı içinde katettiği en uzun yol  $L_{max}$  ile gösterilmiştir. Radyograf üzerinden okunacak cidar kalınlığı borunun gerçek kalınlığından daha büyüktür. Bu büyüme miktarı, kaynak–film ve kaynak–boru mesafeleri ile ilişkilidir.



**Şekil 4.6 :** Teğet radyografi geometrik parametreler.

Teğet radyografide, radyasyonun malzemeye nüfuz ettiği en büyük uzaklık duvar cidar kalınlığından çok daha fazladır. Radyasyon kaynağının seçimi bu  $L_{max}$  kalınlığına bağlıdır. Borunun çap ve cidar kalınlığına bağlı  $L_{max}$  değerlerine karşılık kullanılacak ışınlama kaynakları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1 :** Boru boyutlarına karşılık kullanılacak kaynaklar

Boru dış çapı, mm	25	50	75	114	159	219	426	630
Cidar kalınlığı, mm	4	4	6	10	14	20	14	20
$L_{max}$	18.3	27.1	40.7	64.5	90	126	152	221
Uygun radyasyon kaynağı	X-ışınları			Lineer hızlandırıcı				
	Se-75, Ir-192			Co-60				

Şekil 4.6 da geometrik düzeni verilen durumda yarı gölge  $U_g$  olarak gösterilmiştir.  $U_g$  aşağıda verilen 4.9 denkleminde bulunabilir (IAEA, 2005).

$$U_g = \frac{(K,0,5OD)}{KFM-0,5OD} \quad (4.9)$$

Burada, K kaynak boyutu, OD ise boru dış çapıdır.  $U_g$ , film üzerinde ölçülen cidar kalınlığı  $t_i$  nin içinde yer alır. Bundan dolayı gerçek boru cidar kalınlığını bulmak için  $U_g$  hesaplanıp  $t_i$  den çıkarılmalıdır.

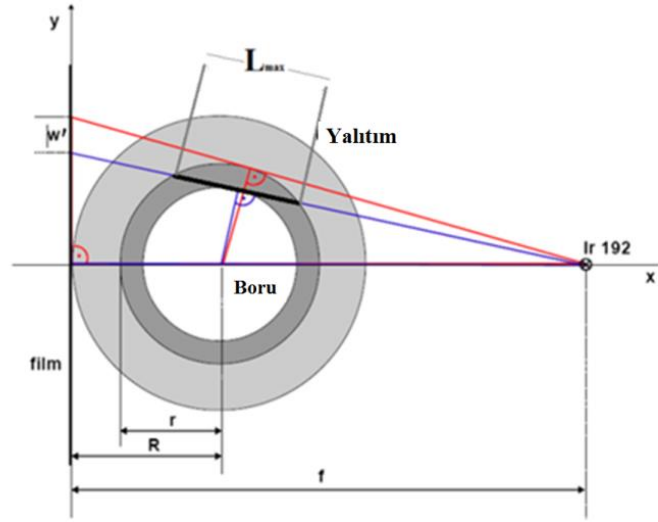


#### 4.1.2 Büyütme faktörü

Şekil 4.7'deki teğet ışınlama tekniğinin geometrik kurulumuna göre bir büyütme faktörü gereklidir. Buna göre film üzerinden alınan ölçüme bir düzeltme uygulanmalıdır. Bunun için Eşitlik 4.10'dan yararlanılarak düzeltilmiş cidar kalınlığı bulunabilir.

$$w = \left( \frac{f-R}{f} \right) \cdot w' \quad (4.10)$$

Eşitlik 4.10'da  $w$  düzeltilmiş cidar kalınlığı,  $w'$  film üzerindeki cidar kalınlığı,  $R$  borunun yarıçapı (varsa yalıtım malzemenin kalınlığı dahil),  $f$  ise kaynak film mesafesidir.



Şekil 4.7 : Büyütme faktörü  $w'$ .

#### 4.1.3 Teğet radyografi tekniğinin sınırları

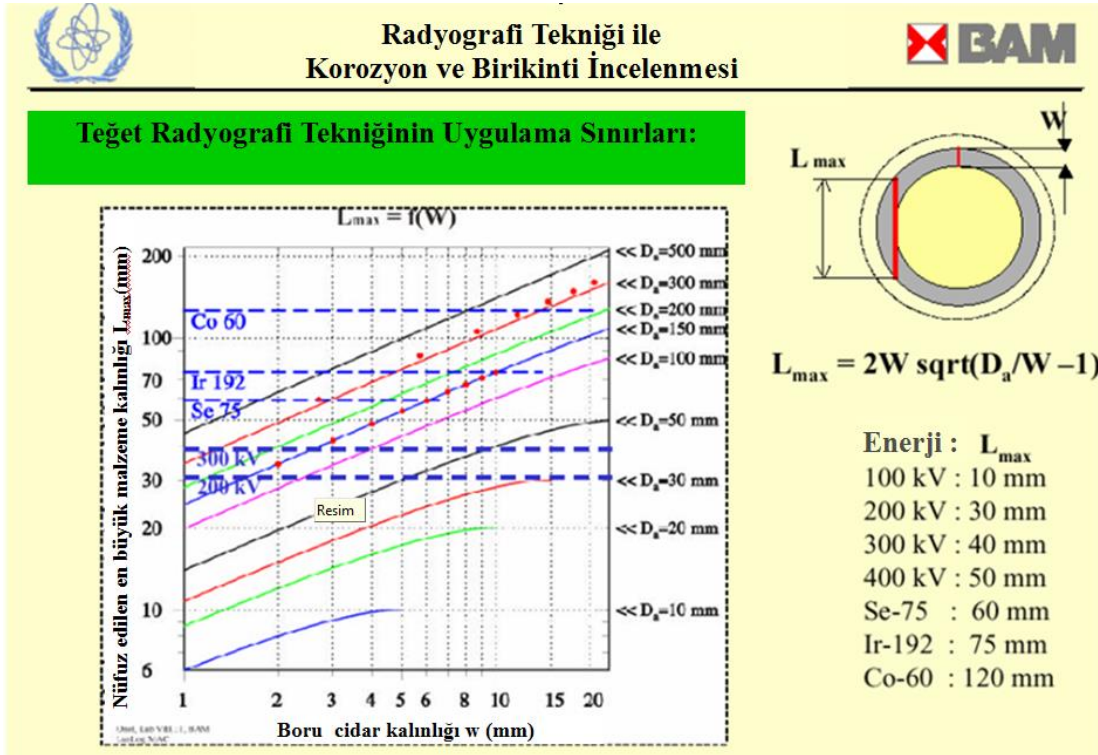
Teğet radyografi tekniğinde radyasyon boruya nüfuz ettiğinde malzeme içinde katettiği en büyük kalınlık borunun iç teğet yüzeyinden geçen kırıntıdır. Şekil 4.7'de mavi doğru üzerindeki koyu kısım ile gösterilen bu kırıntı teğet radyografinin de konusunu oluşturur. Söz konusu bu maksimum kalınlık değeri  $L_{max}$  olarak adlandırılır ve aşağıda verilen Denklem 4.11 yardımıyla hesaplanır.

$$L_{max} = 2t \sqrt{\frac{2r_o}{t} - 1} \quad (4.11)$$

Burada;  $t$  : cidar kalınlığı,  $2r_o$  borunun dış çapıdır.

Teğet radyografi yönteminde ışınlama bu kalınlığa göre yapıldığından  $L_{max}$  değerinin bilinmesi son derece önemlidir. Teğet yönteminde boruya nüfuz eden radyasyonun katettiği mesafe borunun cidar kalınlığı değil  $L_{max}$  kalınlığıdır ve cidar kalınlığından daha büyüktür. (IAEA, 2008)

Şekil 4.8'de, boru dış çapına ve kaynağın enerjisine bağlı olarak radyasyonun katettiği maksimum kalınlıklar ( $L_{max}$ ) verilmiştir. Bu grafikten yararlanarak  $L_{max}$ 'a göre uygun enerjili kaynak seçilir. Grafikte kesikli çizgiler X veya gama kaynaklarının üst uygulama sınırını göstermektedir.



**Şekil 4.8 :** Boru boyutlarına bağlı olarak kullanılabilir radyasyon kaynakları.

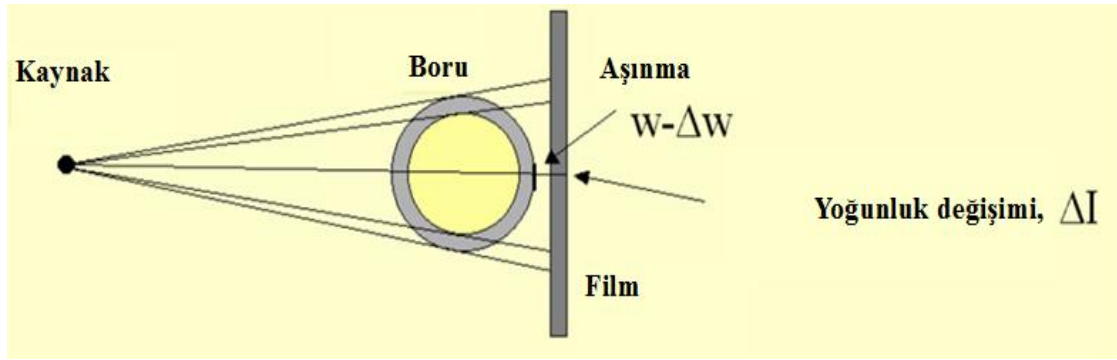
Eğer malzeme kalınlığı Şekil 4.8'de gösterilen uygulama sınırının üzerine ulaşırsa kaydedilen görüntü nüfuz edilen bölge hakkında bilgi vermeyecektir. Böyle bir durumda daha yüksek enerjili bir kaynak tercih edilmeli veya başarılı bir uygulama için çift cidar tekniği uygulanmalıdır (IAEA, 2008).

#### 4.2 Çift Cidar Tekniği (DWT)

Boru çapı çok büyük ya da radyasyon kaynağının enerjisi sınırlı ise teğet tekniği uygulanamaz. İşletme halindeki kapalı sistemlere ait boruların iç yüzeyine ulaşmak genelde mümkün olmadığından bu teknikle borunun iki cidarını birden görüntülenir.

Bu teknikte genellikle boru 90 derece döndürülerek iki defa çekim yapılır. Çift cidar tekniğinin iki değişik uygulaması vardır.

Bu teknikte efektif zayıflama katsayıları ( $\mu_{\text{eff}}$ ) ve film üzerinde yoğunluk ölçümü değerlendirilmesi ile boru üzerindeki oyuk veya korozyon derinliği tespiti yapılır. Şekil 4.9'da bir boru üzerinde oluşmuş aşınma ve çift cidar tekniğine ait ışınlama düzeneği görülmektedir. Radyasyonun nüfuz ettiği cidar kalınlığı merkezi projeksiyona ve malzemenin şekline bağlı olarak değişebilir.(IAEA, 2008)



**Şekil 4.9 :** Çift cidar tekniğinin ışınlama kurulumu.

### 4.3 Çift Cidar ve Teğet Radyografi Tekniklerinin Karşılaştırılması

Çift cidar tekniği ve teğet radyografi tekniği karşılaştırılacak olursa şunlar söylenebilir (IAEA, 2005):

- Teğet radyografi ve yoğunluk ölçüm (çift cidar) teknikleri birbirini tamamlayan yöntemlerdir. Yalıtılmış borularda sadece teğet radyografi tekniği önerilir. Bunun nedeni, yoğunluk ölçümü, borunun kendisi dışında korozyon, birikintiyi hesaba katarken bunlara bir de yalıtım malzemesi eklendiğinde çift cidar tekniğinin normalde karmaşık olan simülasyonları, içinden çıkılmaz hale gelebilir.
- Korozyon nedeniyle cidar kalınlığındaki beklenen incelme boru kesitinde düzensiz ise çift cidar tekniği önerilmez. Çünkü bu yöntem sadece ortalama cidar kalınlığını vermektedir.
- Oyuk derinliği ve bölgesel korozyonlu alanların tespitinde yoğunluk ölçüm yöntemleri önerilir. Teğet radyografi tekniğinde oyuk derinliği ölçümü uygun değildir. Çünkü oyuk içeren bölgenin teğet pozisyona getirilmesi çok zaman alır ve çok fazla çekim yapmak gerekir. Yoğunluk ölçüm tekniğinde mümkün

olan düşük enerjilerde kaynak kullanmak yüksek kontrast sağlar. Bu metodu kullanırken, derinliği yanlış değerlendirmemek için düzenek doğru konumda bulunmalıdır.

- Cidar kalınlığı veya oyuğun boyutları radyografin mikrodensitometre taramasıyla tespit edilebilir. Optik cihazlar veya cetvel gibi diğer araçlar da görüntünün boyutu için kullanılabilir. Çift cidar tekniğinde oyuğun derinliği yoğunluk- kalınlık referans eğrisinden belirlenir.
- Teget radyografi tekniğinde X-ışınlarının enerjisi seçilirken boru cidarının maksimum nüfuziyet kalınlığı dikkate alınmalıdır. Radyografıta borunun dış kısımlarına denk gelen kısımlarda aşırı yanmayı önlemek için X ışınlarının düşük enerjili kısmı filtrelenmesi gereklidir. Mümkünse daha iyi tanımlama için X-ışınları yerine Ir-192 radyoizotopu kullanılmalıdır.
- Boru dış kısmındaki aşırı yanmayı ve iç kısmındaki keskinliğin düşüklüğünü çift film tekniği uygulanarak iyileştirilebilir. Bunun için farklı hızlardaki iki film üst üste bindirilerek kullanılır. Bu sayede iç ve dış hatlar daha iyi belirlenebilir.
- Yoğunluk ölçüm tekniği için düşük hızlı filmler tavsiye edilir. Teget tekniği için, film hızı çok önemli değildir. Filme yakın temas halindeki yoğunlaştırıcı kurşun ekran kullanılmalıdır. Bir kurşun plaka da film arkasında geri saçılmadan filmi korumak için kullanılır.
- Yoğunluk karşılaştırma metodunun doğruluğu, yoğunluk ölçüm şartlarına bağlıdır. Daha iyi bir çözünürlük için ölçülebilir aralık dahilinde mümkün olduğunca yüksek bir film yoğunluğu kullanılması önerilir.
- Sıvı ile dolu borularda depozit tayini için teget tekniği uygulaması sınırlıdır. Bunun nedeni sıvı ile birikinti arasında yoğunluk farkının düşük olmasıdır. Ancak depozit materyalinden bir basamaklı blok yapılabilir ve kullanılırsa birikinti kalınlığı, yoğunluk karşılaştırma yöntemi ile belirlenebilir (IAEA, 2008).

## **5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı, bilgisayarlı radyografi (CR) sistemi kullanılarak çelik boruların cidar kalınlıklarındaki korozyon kaynaklı incelemelerin belirlenmesidir. Bu amaçla ayrıntıları bölüm 4.1’de verilen teğet radyografi tekniği kullanılmıştır. Deney numunesi olarak bölüm 5.2’de ayrıntıları verilen özel olarak tasarlanmış basamaklı çelik boru, radyografik çekimler Co-60 kaynağı ve bilgisayarlı radyografi sistemi ile yapılmıştır. Farklı parametrelerle yapılan çekimlerle farklı cidar kalınlığına denk gelen boruların farklı korozyon boyutlarına ilişkin gerçek değerlerle hata değerlendirmesi yapılmıştır. Kullanılan yöntem ile boru cidar kalınlıklarına ait tespit edilebilecek korozyon miktarları için sınırlar belirlenmeye çalışılmıştır.

### **5.1 Bilgisayarlı Radyografi Sisteminin Tanıtılması**

Bu çalışmada deneyler Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim, Radyografi Laboratuvarlarında bulunan “VMI 5100MS” bilgisayarlı radyografi sistemi ve Co-60 gama ışınlama ünitesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1’de görülen “VMI 5100MS” bilgisayarlı radyografi sistemi, çok geniş bir aralıkta uygulama imkanı sağlayan, görüntü plakası (Imaging Plate) temelli bir sistemdir.

Bu sistem farklı radyasyon kaynakları ile kullanıma imkan veren yapısıyla, tahribatsız muayene gerektiren bir çok farklı alanlarda kullanılabilir. Sistem “VMI5100MS” film sayısallaştırıcı, fosfor temelli görüntüleme plakası, Starrview 8 görüntü işleme yazılımı ve yüksek çözünürlüklü bir radyografik ekrandan oluşmaktadır.

#### **5.1.1 Film sayısallaştırıcı**

Dijital teknolojiye gelişmelerle birlikte VMI 5100MS tam 16 bit performansı 25 mikrona varan çözünürlükte sunar. VMI 5100MS 35,5 x 43,2 mm formata kadar her şekilde görüntüleme plakalarını tarayabilir. Bu sistem, tüm ışınlama enerjilerinde, konvansiyonel film uygulamalarının yerine, bir alternatif sunmaktadır.



**Şekil 5.1 : VMI 5100MS görüntüleme plakası sayısallaştırıcı**

**Çizelge 5.1 : VMI 5100MS'in teknik özellikleri.**

<b>Sayısallaştırıcı Özellikleri</b>	
<b>Işık Kaynağı / Sensör</b>	Lazer Diyot / PMT
<b>Piksel Derinlik / Bit Derinliği</b>	65000/16 bit kaynak dosyası
<b>Lazer Nokta Boyutu</b>	25 $\mu$ ~ 200 $\mu$ (10 $\mu$ basamaklarında)
<b>İşlem hacmi</b>	Saatte 60'tan fazla resim
<b>Besleme Mekanizması</b>	Tek Hareketli Sürücü Sistemi
<b>Besleme/silme</b>	Otomatik, düz tek yol
<b>Arayüz</b>	USB 2.0
<b>İşletim sistemi</b>	Windows 7, 64 Bit
<b>Güç gereksinimleri</b>	100-240V AC / 2.5A max ; 47-63 Hz
<b>Ağ-Bağlantı</b>	DICOM / DICONDE Uyumlu
<b>Ağırlık</b>	32 kg
<b>Ölçüleri</b>	Masaüstü Boyutlarında

### 5.1.2 Görüntüleme plakası

Görüntüleme Plakası (Imaging Plate-IP) teknolojisi yıllardır varlığını sürdürüyor. 1975 yılında bulunan ve patenti alınan fosforlu (phosphor) görüntüleme plakası fiziksel görünümü ile standart X-ışını floresan ekranına benzerdir. Fosfor içeren etkin tabaka iki değerlikli europium katkılı baryum fluorohalide kristalleri içerir. Fosforlu görüntüleme plakası radyasyona maruz kaldığında, ekrandaki elektronlar daha yüksek enerji seviyesine uyarılırlar ve boş halejenür renk merkezlerine hapsedilirler. Eksik değerlik elektronlar tarafından oluşturulan delikler  $\text{Eu}^{2+}$  nın  $\text{Eu}^{3+}$  hale gelmesine yol açarlar. Bu sayede latent görüntü elde edilmiş olur ve birkaç güne kadar stabil kalabilir.



**Şekil 5.2 :** Görüntüleme plakası.

Şekil 5.2’de bir örneği verilen görüntüleme plakaları tek seferde, malzeme kalınlıklarının veya malzeme kompozisyonlarını geniş bir aralıkta nesnelere

görüntülemeye imkan verir. 25,4-mm çaplı boru etrafında sarmak için yeterince esnektir. Endüstriyel ortamlar için dayanıklı, esnek ve gerekli ışınlama sürelerini azaltacak şekilde geliştirilmiştir. Kablolü veya kablosuz, rijit kasetlere, çok farklı büyüklüklerde esnek kasetlere çekilebilir.

**Çizelge 5.2 : Görüntüleme plakası teknik verileri**

Fosfor tabaka bileşimi	BaFBr:Eu <sup>2+</sup> (Baryumflorbromid)
Tabaka Boyutları (inch)	5x7, 4.5x10, 4.5x17, 8x10, 10x12, 7x17, 14x17
Çalışma sıcaklık aralığı	-40°F dan 120°F

### 5.1.3 Görüntü işleme yazılımı

Yazılım, endüstriyel kullanım için tasarlanmıştır. STARRView yazılımı, satın alma, proses sonrası, kullanım kolaylığı, çıkış seçenekleri ve ham veri toplama gereksinimleri için standartlaştırılmıştır.

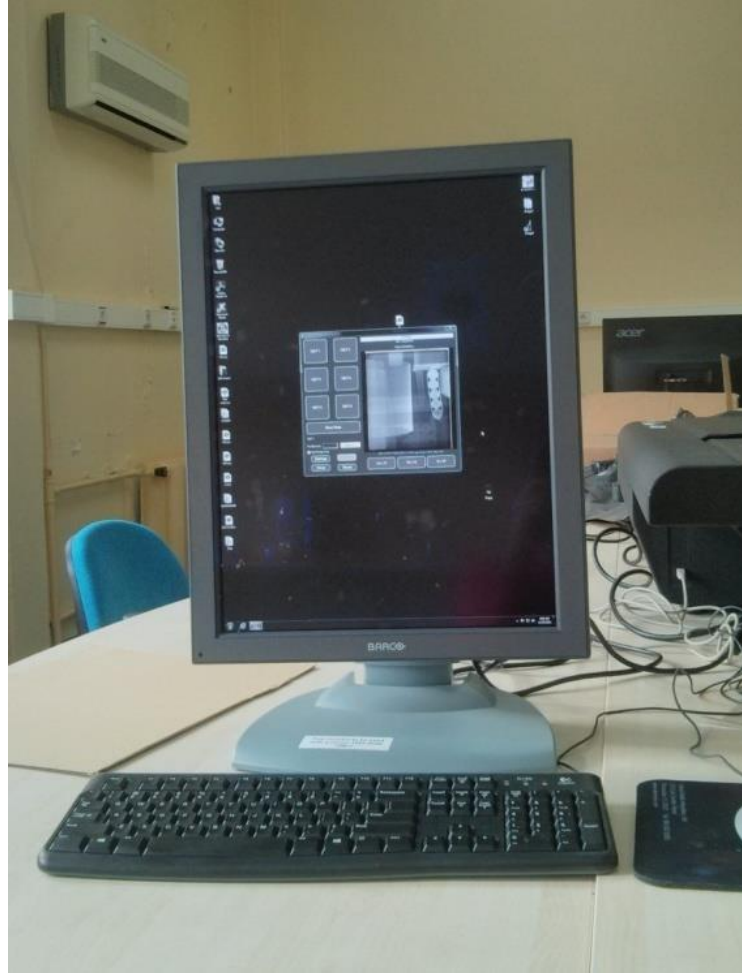
Film dijitalleşme, bilgisayarlı radyografi ve gerçek zamanlı doğrudan radyografi ihtiyaçlarını tek yazılım paketi ile sağlanması amaçlanmıştır.

STARRView yazılım çoklu sistemlerini destekler, yığın depolama aygıtları ile entegre ve 140 farklı dosya formatında kaydetmesi sayesinde farklı dijital ortamlarda sorunsuz iletişim amaçlanmıştır. STARRView 8.0, DICOM gereksinimleri ile uyumludur. Görüntü yönetimi ve ortalama ASTM E-2339-06 depolama uygulamalarına ek olarak ek bilgi ve gömülü objeleri de destekler.

### 5.1.4 Radyografik ekran

Şekil 5.3’de görülen, radyografik ekran 3 Mega Piksel (2048 x 1536) gibi yüksek bir çözünürlük sağlamaktadır. Ekran 10 bit (gri tonları 1024 görüntülenir) derinlik sağlarken grinin 65000 farkı tonunu verebilmektedir. Ekranla ilgili diğer özellikler Çizelge 5.3’te verilmiştir.





**Şekil 5.3** : CR sisteminin bileşeni, radyografik ekran.

**Çizelge 5.3** : Radyografik ekran özellikleri

Teknoloji	TFT AMLCD Çift Etki IPS
Bit Derinliği	10 bit (gri tonları 1024 görüntülenir)
Ekran Kartı	Yüksek Çözünürlüklü Ekran Kartı Dahil
Doğal Çözünürlük	3 Mega Piksel (2048 x 1536)
Piksel Aralığı	0.207
Aktif Ekran diagonal	528 mm (20.8")
Aktif Ekran genişlik	423,9 mm (16.7 ")
Aktif Ekran yüksekliği	318
Görüntüleme açısı	170 ° (10: 1 kontrast)
Karanlık Oda Kontrast	900:1
Işık	500 cd / m2 Kalibre 700 cd / m2 maksimum
Işık Çıkışı Stabilizasyonu	Arka Işık Çıkış Stabilizasyonu (BLOS)
Dijital Video Girişi	DVI konektörü
Ekran Yapılandırması	Dikey veya Yatay
Güvenlik	Kensington kilit yuvası
Çalışma sıcaklığı	0 ° C ile 40 ° C
Spekifikasyon ile(önerilir)	15 ° C ile 35 ° C

### 5.1.5 Co-60 ışınlama laboratuvarı

Şekil 5.4’de görülen elektrikli, gama kaynağı kumanda birimi ile zaman ayarlaması yapılarak çekimler tekrarlanmıştır.



Şekil 5.4 : Gama ışınlama cihazına ait kumanda birimi

Kullanılan Co-60 kaynağının güncel aktivitesi 29 Ci, boyutları ise 3mmx2mm’dir. Kaynağın kullanılmadığı durumda muhafaza görevini yapan ve kaynağın güvenli biçimde giriş çıkışını sağlayan projektörün markası Sentinel modeli G80-OP’dur ve Şekil 5.5’de görülmektedir.



Şekil 5.5 : Sabit olarak kullanılan gama projektörü (URL-7)



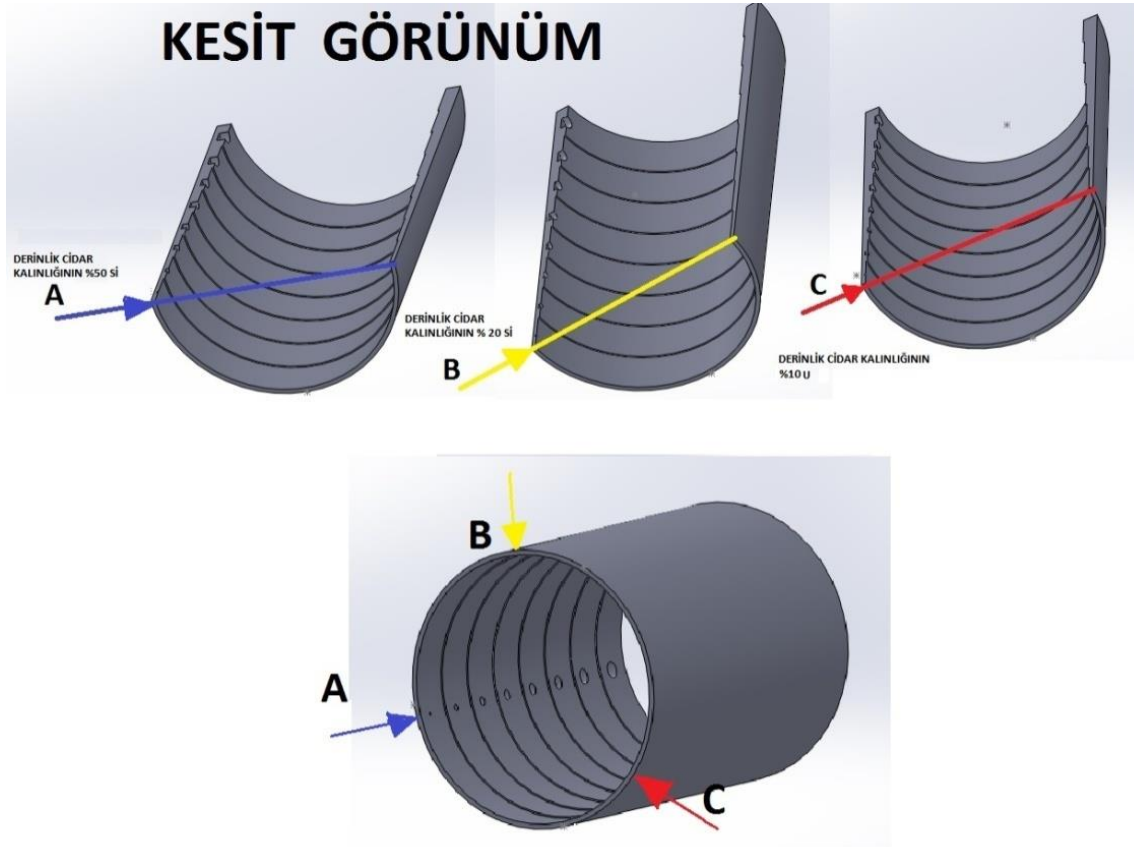
**Şekil 5.6 :** Radyografik çekimlere ait ışınlama düzeneği.

Resim 5.6'da görülen sarı kablo vasıtasıyla kaynak projektörden çıkarak ışınlama başlığına otomatik olarak ulaşmakta ve süre tamamlandığında geri çekilmektedir. Çekimin yapıldığı oda radyasyon güvenliği açısından yeterince zırhlanmıştır. Çekimlerin kumanda edildiği bölümde ışınlama sırasında doğal düzey civarında salınımlar okunmaktadır.

## 5.2 8 Farklı Kalınlıktaki Boruları Bir Arada Temsil Eden Karbon Çeliği Boru

Radyografik çekimlerde kullanılan karbon çeliği boru, 8 farklı kalınlıktaki boruları bir arada temsil eden, iç adımlı basamak (ince ucu 3- kalın ucu 10mm) şeklinde karbon çeliği borudur. Çeliğin temel alaşım elementi olan karbon, çeliğin sertlik ve dayanım özelliklerini etkilemektedir. Çelikteki artan karbon miktarı sertliği belli bir ölçüde yükseltirken, çeliğin kaynak edilebilirliğini düşürürebilmektedir. Karbon çeliğinin kimyasal kompozisyonunda başlıca, C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni ve Mo yer almaktadır.

Radyografik görüntüsünün oluşturulması amacıyla kullanılan karbon çeliği boru numunesinin, 3D MAX modelleme programı ile oluşturulan görüntüsü Şekil 5.7 de verilmiştir.



Şekil 5.7 : 3D MAX ile oluşturulan numuneye ait model çizimleri.

İç adımlı basamak şeklindeki karbon çeliği boru, 8 farklı cidar kalınlığına sahip olup, her bir cidar kalınlığı üzerinde 120°'lik açılarla korozyon hatalarını temsil eden oyuklar yerleştirilmiştir. Karbon çeliği boru üzerinde, derinlik cidar kalınlığının %10 (Şekil 5.7'de A ile gösterilen), derinlik cidar kalınlığının %20 (Şekil 5.7'de B ile

gösterilen), derinlik cidar kalınlığının %50 (Şekil 5.7’de C ile gösterilen) korozyon kaynaklı cidar kaybını temsil eden oyuklar oluşturulmuştur. En küçüğü 3 mm olmak üzere, her bir oyuk, ait olduğu cidar kalınlığı ile aynı çapta oluşturulmuştur. Toplam uzunluğu 245.7mm olan borunun her bir basamağı yaklaşık 30 mm boyundadır.

Farklı boruları temsil eden tabakalar için  $L_{max}$  değerlerine uygun olarak Co-60 radyoizotopunun kullanıldığı gama kaynağı ile çekimler yapılmıştır. Her bir boru örneği için farklı cidar kalınlıklarına karşılık, Bölüm 4.1.3’de verilen  $L_{max}$  değerleri Çizelge 5.4’de verilmiştir.

**Çizelge 5.4 :** Farklı cidar kalınlıklarına karşılık  $L_{max}$  değerleri.

Boru Örnek No	Dış Çap(mm)	Cidar Kalınlığı(mm)	$L_{max}$ değeri(mm)
1	272,5	10	102.47
2		9	97.40
3		8	92.00
4		7	86.22
5		6	79.97
6		5	73.14
7		4	65.54
8		3	56.87

Tablo 5.4’deki değerler ve Şekil 4.8 birlikte göz önünde bulundurulduğunda, çalışmamızdaki örneklerin bulunduğu bölgede, 400kV da dahi ancak 50mm  $L_{max}$  değerini incelemize müsaade eden X-ışınları oldukça yetersiz kalmaktadır. Se-75 kaynağı ise sınırda kalmakta ve uygun bir incelemeye müsaade etmemektedir. Ir-192 ise bölgenin ortasında kalmakta ve örneklerin büyük kısmı için ideal kaynak olarak görünmektedir. Ne var ki boru cidar kalınlığının dolayısıyla  $L_{max}$  değerinin 7.5 mm’nin üzerine çıktığı durumlarda yetersiz kalabilmektedir.  $L_{max}$  değerinin 70 değerini aştığı noktada ise en etkin radyasyon kaynağı olarak Co-60’ı görmekteyiz. Grafikten Co-60 için üst sınır olarak yaklaşık 120 mm  $L_{max}$  değeri görülmektedir. Bu değer de tüm örneklerimizi kapsayacak kadar yüksektir.



**Şekil 5.8 :** Deneyde kullanılan boru örneği.

### **5.3 Deney Düzeneginin Tanıtılması**

Deney düzeneği, Radyografi Laboratuvarı, Co-60 ışınlama odasında, boru çekimleri için uygun geometri ve kaynak-dedektör mesafesine (FFD) göre Şekil 5.9'da gösterildiği gibi hazırlanmıştır. Çekimler, Bölüm 4.1'de anlatılan teğet tekniği ne uygun olarak yapılmıştır. Bu teknikte en önmeli noktalardan biri boru-kaynak geometrisidir. Elde edilen görüntüde görülmek istenilen hatanın boru cidarında kalması son derece önemlidir. Bunu sağlamak için doğruluğuna güvenilir bir mastarı istenilen bölgede boruya teğet geçecek şekilde tuttuğumuzda tam olarak kaynak doğrultusunda olması sağlanacak şekilde boru eksenini etrafında çevrilmiştir.

Deneyde kaynak ve boru çapı dikkate alınarak görüntüleme plakası ve kaynak arasındaki mesafe 1000 mm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.9 : Radyografik çekimlere ait değişik açılardan çekim düzeneği.

#### **5.4 Deneyin Yapılışı**

Boru numunelerinin radyografi çekimi, cidar kalınlıkları tayin edilmek üzere, Bölüm 5.3'te anlatılan deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çekimler farklı çalışma parametrelerine göre tekrarlanmıştır.

Deneylere hazırlık aşamasında farklı parametrelerle çalışılırken nihai ışınlamalarda asıl değişken parametre olarak ışınlama süresi göz önünde bulundurulmuştur. Henüz yeni gelişmekte olan ve standartları olgunlaşmamış olan bilgisayarlı radyografide en uygun sonuçlara varabilmek için nihai deney ışınlamalarından önce mümkün olduğunca değişik sürelerde ışınlamalar yapılmış süre optimize edilmeye çalışılmıştır.

#### **5.5 Yarı Gölgenin Hesaplanması**

Yarı gölge ( $U_g$ ) konusu Bölüm 3.2.1.1'de anlatılmış ve hangi parametrelere bağlı olarak değiştiği açıklanmıştır. Buna göre kaynak-dedektör mesafesi (1000 mm) ve boru numunelerinin ortak olan dış çaplarına bağlı olarak yarı gölge ( $U_g$ ) 0,473 olarak hesaplanmıştır ve bu değer temsil edilen bütün boru örnekleri için ortaktır.

#### **5.6 Düzeltilmiş Cidar Kalınlığı Hesabı**

Bölüm 4.1.2'de bahsedilen büyütme faktörü, çalışmamızdaki boru çapının (272mm), kaynak-görüntüleme plakası mesafesi (1000mm) ile mukayese edilebilecek boyutta olması nedeniyle önemi büyüktür. Büyütme faktörü formülünden yararlanarak ilgilendiğimiz bölge ile bu bölgenin plaka üzerindeki izdüşümü arasındaki büyütme oranı 0,864 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer üzerinden Yazılımın kalibrasyon özelliği kullanılarak "auto side wall" aracının büyütme faktörünü hesaba katarak ölçüm yapması sağlanmıştır.



## 6. DENEY SONUÇLARI

Bir önceki bölümde ayrıntıları verilen bilgisayarlı radyografi sistemi kullanılarak, boru numunelerinin radyografik görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler hem nitelik hem de nicelik olarak incelenmiştir.

Nitel olarak, bilgisayar ortamında işlenmiş radyografin üzerinde tespit edilebilen cidar kaybı, kayıpların boyutu ve kaybın bulunduğu cidar kalınlığı göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan ön çalışmalarda en uygun görüntüyü elde etmek için Quality1 ve Quality2 filtrelerinin ardarda uygulanması gerektiği görülmüştür. Bu aşamada hangi tip boru temsilinde ne kadar cidar kaybı tespit edilebildiğine bakılmıştır.

Sayısal olarak dijital görüntü üzerinde cidar kalınlığı tespit edilmiştir. Bunun için yazılımın “Auto Side Wall” özelliği kullanılmıştır. Görüntü, boyutları bilinen standart bir basamaklı blok ile kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sırasında büyütme faktörü göz önünde bulundurulmuştur. Auto side wall özelliği dijital görüntünün piksel şiddeti değişim profilinden faydalanılarak kalınlık tespiti yapmaktadır. Borularda piksel şiddeti değişim eğrisinin başlangıç ve birinci dönüm noktası arasındaki mesafe cidar kalınlığına karşılık gelmektedir. Auto side wall bu değişimden faydalanarak cidar kalınlığını ölçmektedir.

Görüntü kalitesinin tayini için “penetremetre” denilen farklı tiplerde görüntü kalite göstergeleri kullanılır ve bu penetremetreler çekim sırasında malzeme üzerine yerleştirilir ve film üzerinde görülmesi istenir (Bilge ve Tuğrul, 1990). Radyografik film üzerinde görülebilen en küçük delik veya en ince tel kalınlığına göre hassasiyet tayini yapılması önem taşımaktadır.

Hassasiyet tayini = (Filmde görülen penetremetre kalınlığı / Malzeme kalınlığı) x 100 şeklinde açıklanabilmektedir. Radyografik çekimin “uygun” bir çekim olabilmesi için hassasiyetin % 2 veya daha düşük olması istenir. Yapılan bu tez çalışmasında, iç adımlı basamak şeklinde üretilen karbon çeliği borunun kendi içinde penetremetreye sahip olacak şekilde tasarlandığı kabul edilmiştir. Söz konusu iç

adımlı basamak şeklindeki borunun ince ucu 3 mm ve kalın ucu 10mm olacak şekilde tasarlanarak imal edilmiştir. Kullanılan borunun radyografik görüntülerinde, basamak uzunluğu kalibrasyonu (Şekil 6.7) yapıldıktan sonra, gözlenen cidar kayıpları yazılımın “ruler” özelliği kullanılarak tek tek ölçülmüştür.

## 6.1 Cidar Kaybının Nitel Tesbiti

Üç farklı cidar kayıp oranına karşılık 66 ve 72 dakika olmak üzere iki farklı ışınlama süresi kullanılmıştır.

Yazılımda öntanımlı olarak bulunan, uygun filtreleme işlemi her numune için eşdeğer biçimde yapıldıktan sonra boru cidarı üzerinde “Area Adjust” özelliği ile bilgisayar ekranındaki radyografik görüntü iyileştirilmiştir (Şekil 6.1- Şekil 6.6).

### 6.1.1 Yüzde 10 cidar kaybı olan örneklerle ait deney sonuçları

Radyografik çekimlerde, radyasyon kaynağı ile dijital radyografik görüntünün oluşturulduğu görüntüleyici (imaging plate) mesafesi 1000 mm alınmıştır. Radyografik görüntüyü oluşturmak amacıyla, ışınlama süresi 66 dakika alınmıştır ve radyografik çekimlerde, Şekil 6.1’de verilen görüntü elde edilmiştir. % 10’luk korozyonu temsil eden oyukları barındıran karbon çeliği borunun, radyografik görüntülerinde herhangi bir cidar kaybı tespit edilememiştir.



**Şekil 6.1** : % 10 cidar kaybı olan örneklerin dijital radyografi sisteminde, 66 dakikada elde edilen radyografik görüntüsü.

Radyografik çekim süresinin 66 dakikadan, 72 dakikaya çıkarılması sonucu, (1000mm kaynak plaka mesafesi sabit tutularak) yapılan radyografik çekimlerin görüntüsü Şekil 6.2’de arz edilmiştir. Dijital radyografi sisteminde, yapılan çekim

süresinin 6 dakika arttırılması sonucu, monitörde oluşturulan görüntüde, iç adımlı borunun, 10 ve 9mm cidar kalınlığını temsil eden kısımda, radyografik görüntülerdeki %10 luk cidar kayıpları hafif bir şekilde tespit edilebilmiştir. Borunun daha ince kalınlıkları temsil eden kısımlarındaki cidar kayıpları, radyografik muyaene yöntem ile tespit edilememiştir.



**Şekil 6.2 :** %10 cidar kaybı olan örneklerin dijital radyografi sisteminde, 72 dakikada elde edilen radyografik görüntüsü.

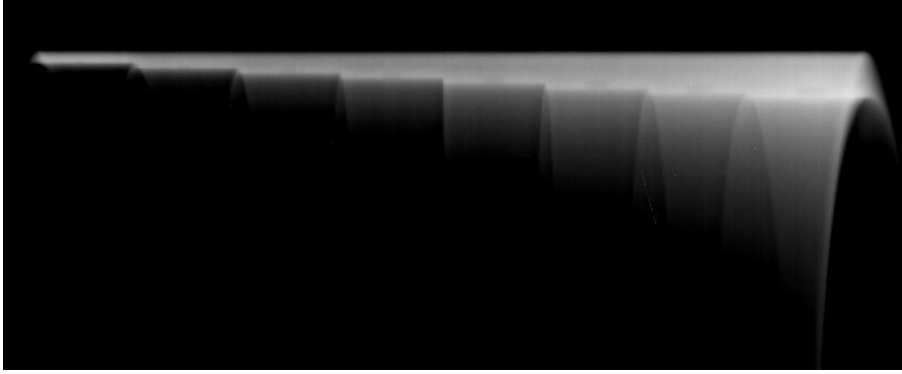
#### **6.1.2 Yüzde 20 cidar kaybı olan örnekler için deney sonuçları**

% 20 cidar kaybı olan örnekler için monitörde elde edilen dijital görüntüler, Şekil 6.3'de verilmiştir. Görüntüde 8mm, 9mm ve 10mm cidar kalınlığına sahip örnekler üzerinde cidar kaybı gözlemlenmiştir. Radyografik çekimlerde, radyasyon kaynağı ile dijital radyografik görüntünün oluşturulduğu görüntüleyici (imaging plate) mesafesi 1000 mm alınmıştır. Radyografik görüntüyü oluşturmak amacıyla, ışınlama süresi 66 dakika alınarak yapılan çekimlerde, Şekil 6.3'de verilen görüntü elde edilmiştir.



**Şekil 6.3 :** %20 cidar kaybı olan örneklerin dijital radyografi sisteminde, 66 dakikada elde edilen radyografik görüntüsü.

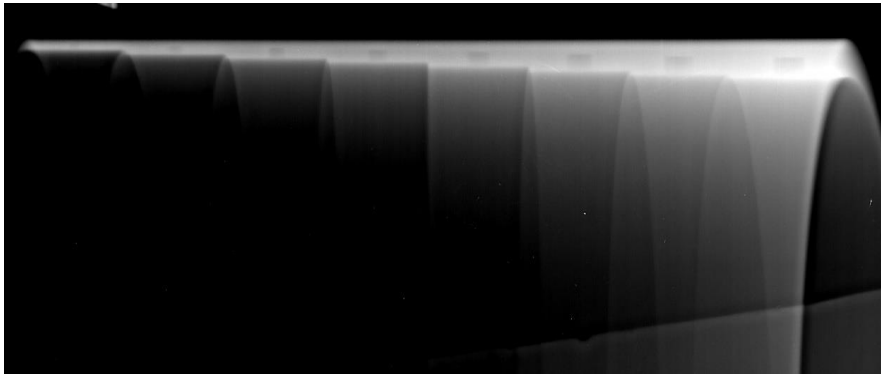
72 dakika süre ile 1000 mm kaynak plaka mesafesi sağlanarak yapılan radyografik çekimlerde, % 20 cidar kaybı olan örneklere ait monitörde elde edilen dijital görüntüler, Şekil 6.4’de verilmiştir. Görüntüde 7mm, 8mm, 9mm ve 10mm olmak üzere dört farklı cidar kalınlığını temsil eden, iç adımlı basamak (ince ucu 3- kalın ucu 10mm) karbon çeliği boruya ait radyografik görüntüde, cidar kaybı tespit edilmiştir.



**Şekil 6.4 :** %20 cidar kaybı olan örneklerin dijital radyografi sisteminde, 72 dakikada elde edilen radyografik görüntüsü.

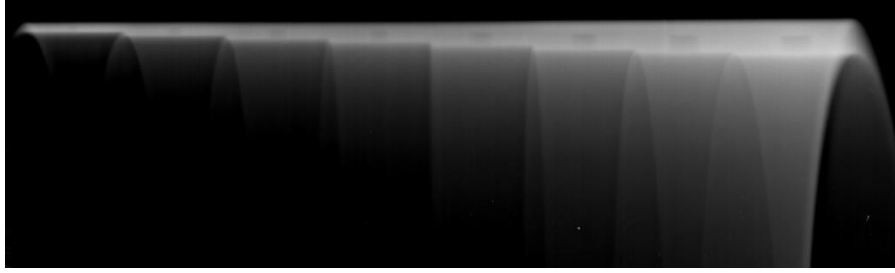
### **6.1.3 Yüzde 50 cidar kaybı olan örnekler için deney sonuçları**

% 50 cidar kaybı olan örnekler için monitörde elde edilen dijital görüntüler Şekil 6.5’de verilmiştir. Görüntüde 4mm’den 10mm’ye kadar cidar kalınlığına sahip örnekler üzerinde cidar kaybı gözlemlenmiştir. Radyografik çekimlerde, radyasyon kaynağı ile dijital radyografik görüntünün oluşturulduğu görüntüleyici (imaging plate) mesafesi 1000 mm alınmıştır. Radyografik görüntüyü oluşturmak amacıyla, ışınlama süresi 66 dakika alınarak yapılan çekimlerde, Şekil 6.5’de verilen görüntü elde edilmiştir.



**Şekil 6.5 :** %50 cidar kaybı olan örneklerin dijital radyografi sisteminde, 66 dakikada elde edilen radyografik görüntüsü.

72 dakika süre ile 1000mm kaynak plaka mesafesi sağlanarak yapılan radyografik çekimlerde, % 50 cidar kaybı olan örnekler için monitörde elde edilen dijital görüntüler Şekil 6.6’da verilmiştir. Görüntüde 4mm’den 10mm’ye kadar cidar kalınlığına sahip örnekler üzerinde cidar kaybı gözlenebilirken, 3mm cidar kalınlığı olan bölgedeki kayıp, gözlenme sınırında olarak değerlendirilmiştir.



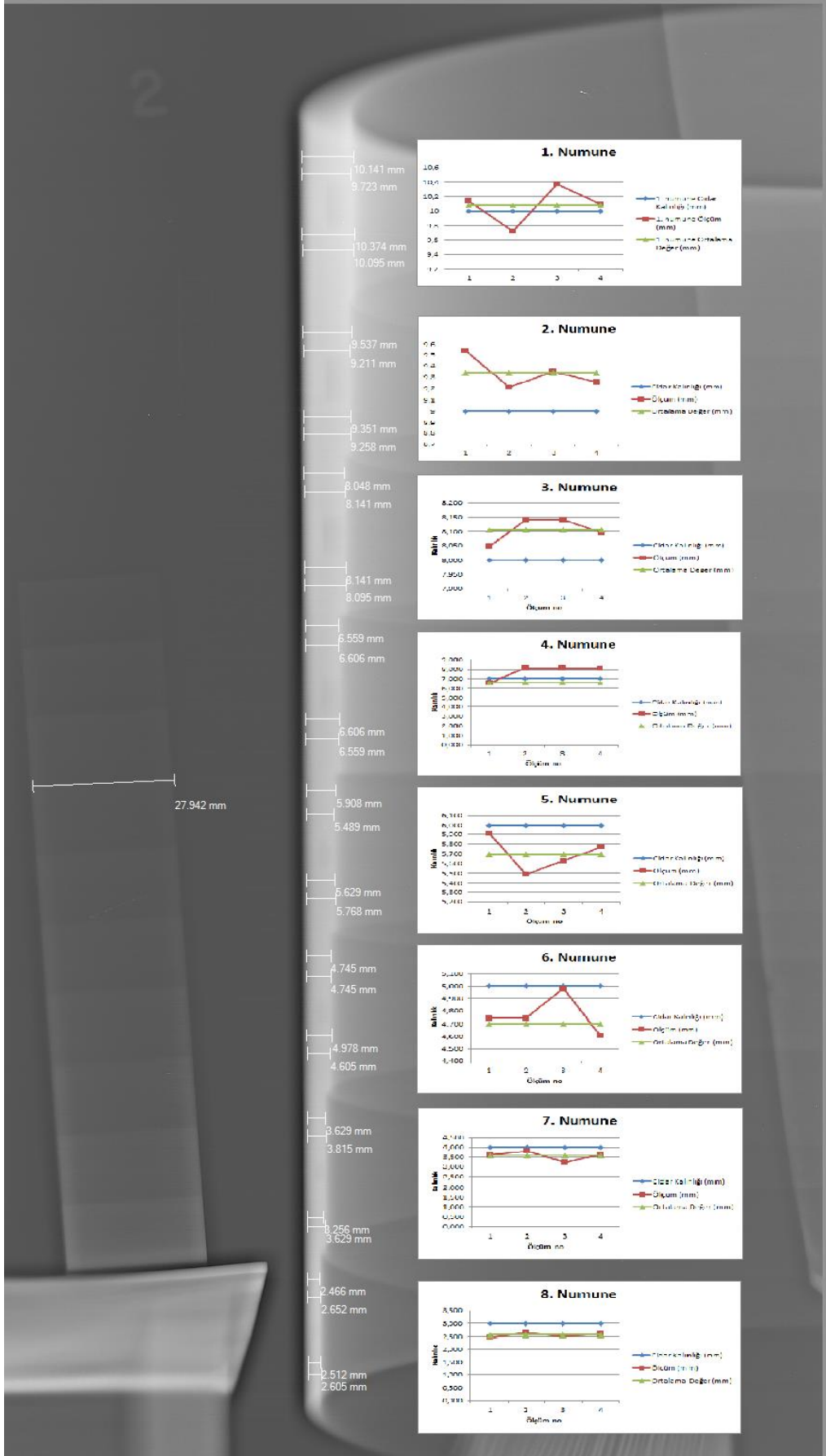
**Şekil 6.6 :** %50 cidar kaybı olan örneklerin dijital radyografi sisteminde, 72 dakikada elde edilen radyografik görüntüsü.

## 6.2 Boru Cidar Kalınlığı Ölçümü Deney Sonuçları

Uygun filtreleme işlemleri her bir filmde aynı şekilde olacak biçimde yapıldı. Görüntülerdeki boyutlar Bölüm 5.6’da verilen büyütme faktörü göz önünde bulundurularak kalibre edildikten sonra, cidar kalınlığı tayininde bilgisayarlı radyografi sisteminin “Auto Side Wall” özelliği kullanıldı. Auto Side Wall özelliği piksel yoğunluğunu temel almaktadır. Piksel yoğunluğu görüntü üzerinde her noktada aynı olmadığından dört farklı bölgeden alınan cidar kalınlık ölçümlerinin ortalaması alındı. Söz konusu dört bölge seçilirken, ölçümlerin yapay kusurlardan etkilenmemesi için bu noktalar dışında kalan kısımlardan ölçüm alındı. Alınan ölçümlere ait radyograf görüntüsü Şekil 6.7’de görülmektedir. Bilinen cidar kalınlıkları, alınan ölçümler, ortalamalar ve bilinen cidar kalınlığı ile ölçülen değerlerin ortalaması arasındaki yüzde değişim Çizelge 6.1’de verilmektedir.

**Çizelge 6.1 :** Boru cidar kalınlıkları, ölçümler ve yüzdelerdeki farklar.

Boru Numune No	Cidar Kalınlığı (mm)	1.Ölçüm (mm)	2.Ölçüm (mm)	3. Ölçüm (mm)	4. Ölçüm (mm)	Ortalama Değer (mm)	Yüzdelerdeki fark
1	10	10.141	9.723	10.374	10.095	10.083	0,832
2	9	9.537	9.211	9.351	9.258	9.339	3,769
3	8	8.048	8.141	8.141	8.095	8.106	1,328
4	7	6.559	6.606	6.606	6.559	6.582	5,964
5	6	5.908	5.489	5.629	5.768	5.698	5,025
6	5	4.745	4.745	4.978	4.605	4.768	6,033
7	4	3.629	3.815	3.256	3.629	3.582	10,444
8	3	2.466	2.652	2.512	2.605	2.558	14,708



Şekil 6.7 : Auto Side Wall özelliği ile alınmış cidar kalınlıkları

### 6.3 Boru Cidar Kaybı Ölçümü Deney Sonuçları

#### 6.3.1 Yüzde 50 cidar kaybı olan örnekleme ait ölçüm sonuçları

Çizelge 6.2’de, Şekil 6.8’da radyografları görülen, % 50 cidar kaybı olan örneklerin üzerinden ruler vasıtasıyla alınan kayıp cidar miktarları görülmektedir. Şekil 6.8a’da max. 10 mm kalınlık için, 66 dk’lık çekim için, Şekil 6.8b’da max. 8 mm kalınlık için görüntü elde edilmiştir. Şekil 6.8c’da max. 6 mm kalınlık içinde 3.14 mm’lik korozyon zorlukla tespit elde edilememiştir. Şekil 6.8c’da 72 dk’lık çekim için, ölçüm yapılabilecek kontrast ve keskinlikte bir görüntü elde edilememiştir.

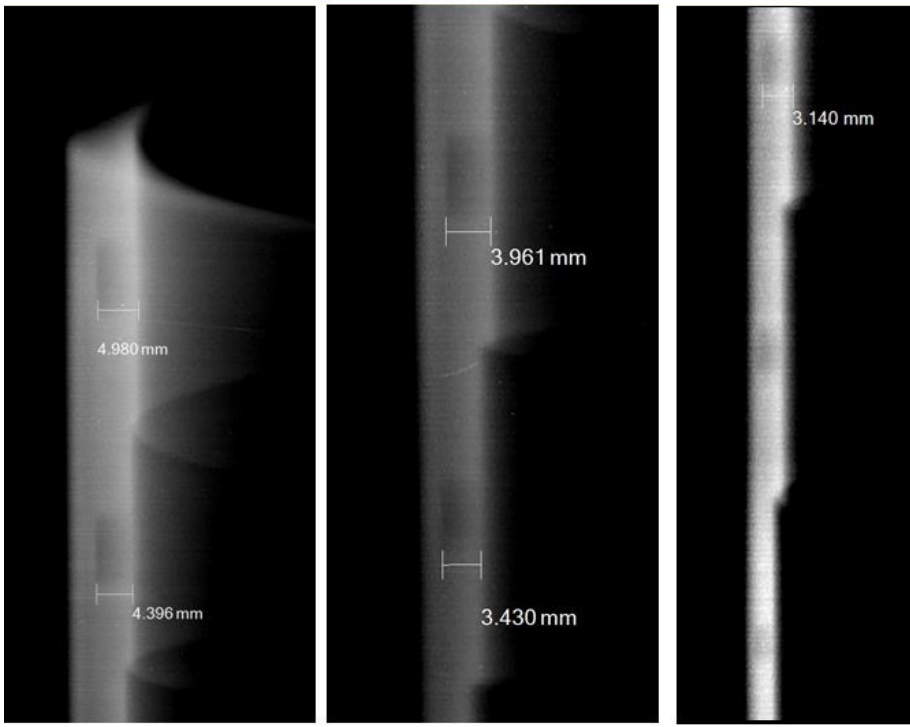
**Çizelge 6.2:** %50 cidar kaybı olan örneklerden, 66 ve 72 dakikalık ışınlamalar ile ölçülebilen cidar kayıpları.

Radyografik film çekim süreleri	Cidar kalınlığı	10 mm	9 mm	8 mm	7 mm	6 mm	5 mm	4 mm	3 mm
	Cidardaki gerçek kayıp	5 mm	4,5 mm	4 mm	3,5 mm	3 mm	2,5 mm	2 mm	1,5 mm
	66 dakika	5,068 mm	4,280 mm	4,200 mm	3,805 mm	3,095 mm	2,61 mm	X	X
	72 dakika	4,980 mm	4,396 mm	3,961 mm	3,430 mm	3,140 mm	X	X	X

Çizelge 6.2’de verilen %50 cidar kaybı olan örneklerden, 66 ve 72 dakikalık ışınlama şartlarına alınan değerlere ilişkin oluşan hata miktarları Çizelge 6.3’de verilmiştir.

**Çizelge 6.3:** %50 cidar kaybı olan örneklerden, 66 ve 72 dakikalık ışınlamaların ölçümü sonucu oluşan hata miktarı.

Radyografik film çekim süreleri	Cidar kalınlığı	10 mm	9 mm	8 mm	7 mm	6 mm	5 mm	4 mm	3 mm
	Cidardaki gerçek kayıp	5 mm	4,5 mm	4 mm	3,5 mm	3 mm	2,5 mm	2 mm	1,5 mm
	66 dk’lık Çekimdeki Hata (%)	1,36	4,8	9,5	8,7	3,1	4,4	-	-
	72 dk’lık Çekimdeki Hata (%)	0,4	2,3	0,9	0,2	4,6	-	-	-



(a) 9-10mm kalınlık (b) 7-8 mm kalınlık (c) 4-5-6 mm kalınlık

Şekil 6.8 : %50 cidar kaybı olan örneklerden 72 dakika ışınlama ile alınan radyograflara ait ölçümler.

### 6.3.2 Yüzde 20 cidar kaybı olan örneklere ait ölçüm sonuçları

Çizelge 6.4’de, yüzde 20 cidar kaybı olan örneklerin, radyograf görüntüleri üzerinden, ruler vasıtasıyla alınan kayıp miktarları görülmektedir. 66 dk’lik çekim için sadece 9mm ve 10mm, 2 nolu ışınlama için 8mm, 9mm ve 10mm kalınlığa sahip cidarlardan ölçüm alınabilmiş, diğer cidar kalınlığına sahip bölgelerden ölçüm yapılabilecek kontrast ve keskinlikte bir görüntü elde edilememiştir.

Çizelge 6.4: %20 cidar kaybı olan örneklerden, 66 ve 72 dakikalık ışınlamalar ile ölçülebilen cidar kayıpları

	Cidar kalınlığı (mm)	10	9	8	7	6	5	4	3
	Cidardaki korozyon (mm)	2	1,8	1,6	1,4	1,2	1	0,8	0,6
Radyografik film çekim süreleri	66 dk’lik çekimden alınan ölçüm	1,604	1,525	X	X	X	X	X	X
	72 dk’lik çekimden alınan ölçüm	1,824	1,661	1,329	X	X	X	X	X



Çizelge 6.4’de verilen %50 cidar kaybı olan örneklerden, 66 ve 72 dakikalık şınlama şartlarına alınan değerlere ilişkin oluşan hata miktarları Çizelge 6.5’de verilmiştir.

**Çizelge 6.5:** %50 cidar kaybı olan örneklerden, 66 ve 72 dakikalık ışınlamaların ölçümü sonucu oluşan hata miktarı.

Radyografik film çekim süreleri	Cidar kalınlığı	10 mm	9 mm	8 mm	7 mm	6 mm	5 mm	4 mm	3 mm
	Cidardaki gerçek kayıp	2 mm	1,8 mm	1,6 mm	1,4 mm	1,2 mm	1 mm	0,8 mm	0,6 mm
	66 dk’lik Çekimdeki Hata (%)	19,8	15,3	-	-	-	-	-	-
	72 dk’lik Çekimdeki Hata (%)	8,8	7,72	16,9	-	-	-	-	-

### 6.3.3 Yüzde 10 cidar kaybı olan örneklerle ait ölçüm sonuçları

Yüzde 10 cidar kaybına sahip örneklerden hiçbir durumda, cidar kaybı ölçüm yapılabilecek kontrast ve keskinlikte bir görüntü elde edilememiştir.

## 6.4 Değerlendirme

6.1, 6.2, 6.3 bölümlerinin herbirinde yapılan ölçümler ve değerlendirmeler incelendiğinde 272 mm çapındaki bir boruda teğet tekniği ile cidar kalınlığı ölçmenin sınırları görülmüştür.

Bölüm 6.1.1’de yüzde 10 cidar kalınlığı kaybı olan örnekler ile yapılan çalışmalarda ne 66 dakika ne de 72 dakika ile yapılan deneylerde hataları tesbit edilememiştir. Bu bölgede yüksek enerjisi nedeniyle Co-60 kaynağının uygun olmadığı yani kontrast vermediği görülmüştür.

Bölüm 6.1.2’de hatalar 72 dakikalık çekimlerde cidar kalınlığı 7mm’den 10 mm’ye kadar, 66 dakikalık çekimlerde 8mm’den 10 mm’ye kadar kalınlıklarda istenilen görüntü kalitesinde gözlenmiştir. Daha düşük cidar kalınlıkları üzerindeki hatalar tesbit edilememiştir.

Bölüm 6.1.3’de hatalar 72 dakikalık çekimlerde cidar kalınlığı 4mm’den 10 mm’ye kadar, 66 dakikalık çekimlerde 4mm’den 10 mm’ye kadar kalınlıklarda istenilen görüntü kalitesinde gözlenmiştir. Daha düşük cidar kalınlıkları üzerindeki hatalar tesbit edilememiştir.

Bölüm 6.2’de ölçülen cidar kalınlıkları 10 mm’den 5 mm’ye kadar yüzde 10’u geçmeyen bir aralıkta hata ile tesbit edilebilmiştir. Hatanın sistematik olarak büyüdüğü ve cidar kalınlığı azaldıkça büyümenin daha da arttığı görülmektedir. İncelenen yüzey alanı daraldıkça görüntü elde etmek hızla zorlaşmaktadır.

Bölüm 6.3’de alınan ölçümler ancak cidar kaybı olan bölgenin sınırları tesbit edilebildiği oranda mümkün olabilmektedir. Yüzde 50 cidar kaybı olan örnekler için iyi sonuçlar alınabilmektedir. Boru cidarı incelidikçe ölçüm yapmak zorlaşmıştır. Yüzde 20 cidar kaybı olan örneklerde ise ancak 9 ve 10 mm kalınlığındaki cidarlardan uygun ölçümler yapılabilmektedir.

Genel olarak toplam cidar kalınlığı azaldıkça ölçme değerlendirilmenin zorlaştığı görülmektedir. Cidar kalınlığı küçüldükçe  $L_{max}$  değerinin küçülmesine karşın hata tesbitinin zorlaşması, projeksiyon doğrultusundaki, görüntüye de yansıyan yüzey alanının küçülmesiyle saçılmaların etkisi artmasıdır.

Yüzde 10 derinlikteki cidar kayıpları ve boruların ince cidar bölgelerindeki yüzde 20 ve yüzde 50 cidar kayıpları gözlenememiştir. Yüksek enerjilerde hassasiyet azaldığından, Co-60 radyoizotop kaynağının yüksek enerjisinin bu kalınlık bölgesinde ayırıcılık gücünün kaybetmektedir. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi enerjisi daha düşük olan ve bu kalınlık bölgesi için daha iyi detay ayırımı sağlayabilecek olan Ir-192 veya Se-75 kaynağı kullanımı ile bu açık kapatılabilir.

Bu örneklerde Co-60 radyoizotopunun kullanılmasının sebebi boru çapına ve cidar kalınlığına bağlı olarak  $L_{max}$  değreinin çok büyük olmasıdır. Buna rağmen aynı boruların 3-5 mm kalınlık bölgesinde Ir-192 veya Se-75 kullanılabilir. Ayrıca daha küçük çaplı borular (<100 mm) için Ir-192 ve Se-75 kaynaklarının Co-60’ı tamamlayacağı düşünülmektedir. Co-60, Ir-192 ve Se-75 kaynaklarının bir arada geniş bir skalada değerlendirme yapmaya müsaade edeceği düşünülmektedir.

## 7. GENEL SONUÇ

Bu tez çalışmasında, bilgisayarlı radyografi kullanılarak çelik borularda korozyonu belirlemek amacıyla cidar kalınlığı ölçümü yapılmıştır. Boru numunelerinin cidar kalınlıkları radyografik teğet tekniği ile ölçülmüştür. Elde edilen dijital radyografik görüntüler üzerinden, hangi cidar kalınlığında ne kadar derinlik ve çapta deliklerin tespit edilebildiği incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan, VMI 5100MS marka bilgisayarlı radyografi cihazı, kalite ve güvenilirliğin sağlanması hususunda tahribatsız muayene teknikleri açısından, malzemeyi hassas ve otomatik bir şekilde inceleme olanağı sunmaktadır. Bu çalışmadaki VMI 5100MS marka bilgisayarlı radyografi cihazının kullanımı neticesinde, radyografik çalışmalar için özel tasarlanmış her bir basamağı farklı bir boruyu temsil eden, maximum dış çapı ~ 272.5 mm'ye kadar olan büyük çaplardaki karbon çeliği borularda, korozyon kayıplarının kullanımdan önce ve kullanım sırasında, tespit edilmesinin mümkün olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, VMI 5100MS marka bilgisayarlı radyografi cihazı kullanılarak radyografik çekimler yapılmıştır. Büyük çaplı borularda yapılan radyografik incelemelerde, VMI 5100MS marka bilgisayarlı radyografi cihazı ile birlikte çalışan Sistem, Starrview 8 görüntü işleme yazılımındaki, Auto Side Wall özelliği, piksel şiddeti değişimini analiz etme imkanı sunmuştur. Böylece, kalın borulardaki boru cidar kalınlığını diğer sistemlere göre daha hassas bir şekilde tayin etme imkanı olmuştur.

Petrol ve kimya endüstrileri, enerji santralleri gibi endüstriyel tesislerde kullanılan karbon çeliği boruların amaçlarına uygun olarak çalışabilmesi için, karbon çeliği borularda oluşabilecek korozyon ve erezyonun vaktinde tespiti için VMI 5100MS marka dijital radyografi cihazı kullanılarak 8 farklı et kalınlıklarındaki iç adımlı borunun radyografik muayenesi yapılarak, korozyon kayıplarının detayları tespit edilmiştir.

Piksel şiddetindeki değişim malzeme yoğunluğunu temsil ettiğinden, bu tez çalışması ile, boru teğetine denk gelen, cidar boyutu (borunun iç ve dış et kalınlığı) değişimi hassasiyetine ilişkin, alınan sonuçların detayları değerlendirilmiştir. VMI 5100MS marka bilgisayarlı radyografi cihazının kullanıldığı sistem sayesinde, piksel şiddeti değişimi profilini değerlendirme işi otomatik hale getirilmiştir. Ancak, büyük çaplı borulardaki hassasiyet, kalınlık arttıkça azalmaktadır. 72 dakikalık çekimlerde, 66 dakikalık çekimlere göre cidar kaybı daha keskin biçimde gözlenmiştir.

IAEA'nın ilgili standartlarına göre, (IAEA-TECDOC-1445, April 2005, "Development of protocols for corrosion and deposits evaluation in pipes by radiography") 3 – 8 (%) Hata kabul edilebilir doğruluk sınırları içindedir. Bu tez kapsamında, 66 dakikalık süre ile çekimi yapılarak elde edilen radyograflar incelendiğinde, 10 mm kalınlıktaki borulardaki ( $57 < L_{max} < 103$ ) mutlak hata (%) 1,36 olarak bulunmuştur. Çekim süresini %10 artırdığımızda hatanın % 5'in altında olduğu görülmüştür. 72 dakikalık süre ile çekimi yapılan 10 mm kalınlıktaki borulardaki radyografları incelendiğinde, ( $57 < L_{max} < 103$ ) mutlak hata (%) 0.40 olarak bulunmuştur. 72 dakikalık süre ile çekimi yapılan 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4 ve 3 mm kalınlıktaki borularda maximum hatanın ~5 mm 'nin altında olduğu görülmüştür. Bu değerler oldukça düşük olup kabul sınırları içindedir.

## KAYNAKLAR

- Aksu, M., Ekinci, Ş.,** (2012) “Radyografik Test Kurs Notları”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul.
- Aksu, M., Akgün, A.F.,** (1991) “Tahribatsız muayene: Radyografi film çekimi”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul.
- Aksu, M., Kurtcebe, T., Bingöldağ, M.** (1990) Radyografi için radyasyon fiziği, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul
- Akyüz, S.**, Gümrükçüoğlu, M., (1999), Tahribatsız muayene yöntemleriyle süreksizliklerin tespiti ve değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makine*.
- Becker, G.L.,** (1990), “Radiographic NDT”, Willmington, Germany.
- Bilge, A. N.,** (1985) “ Nükleer tekniklerin endüstriye uygulanması ”, TAEK, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi*, İstanbul.
- Bilge, A.N., Tuğrul, B.** (1990). Endüstriyel Radyografinin Esasları, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, Genel Yayın No: 20, İstanbul
- Ekinci, Ş.,** (1999), “Corrosion and deposit measurements in pipes by radiographic techniques”, *Insight*, Vol 40, No 9
- Ekinci, Ş.,** (1999) “*Büyük çaplı korozyonlu borularda radyografik teğet tekniği ile cidar kalınlığı ölçümü*”, Ankara
- Ekinci, Ş., Aksu, M.** (2012) Radyografik Test Seviye 2, Ankara.
- Ekinci, Ş., Bingöldağ, M., Aksu, M.** (2003) 5., Dijital radyografi, *II. Uluslar arası Tahribatsız Muayene Sempozyumu*, İstanbul.
- Hellier, C.J.,** (2013) “Handbook of Nondestructive Evaluation”, USA
- Hussein, E.M.A.,** (2003) “Handbook on Radiation Probing, Gauging, Imaging and Analysis” Dordrecht, The Netherlands.
- Jacob Shapiro** (2002) Radiation Protection, Massachusetts, and London, England
- IAEA** (2004) Radiation, People and the Environment, Vienna.
- IAEA.** (2005). International Atomic Energy Agency, Developments of Protocols for Corrosion and Deposits Evaluation in Pipes by Radiography, Vienna, Austria.

- IAEA.** (2008). International Atomic Energy Agency, Developments of Protocols for Corrosion and Deposits Evaluation in Large Diameter Pipes by Radiography, Vienna, Austria.
- Mahmutyazicioğlu N.,** (2008) “Dijital Radyografi-Radyoskopi, Bilgisayarli Radyografi-CR (TS EN 14784-1, TS EN 14784-2) ” Türk Standardlari Enstitüsü)
- Mix P.E.,** (2005) “Introduction Nondestructive Testing, A Training Guide, Second Edition” , New Jersey, USA.
- Staton, J.** (2005), *Published by the American Society for Nondestructiv Muayeneing, Inc.,America.*
- Gözbebek ve Hızarcı,** (1990) “Gama Radyografi”, *TAEK.*
- Venkataraman, B., Raj, B.,** (2004) Practical Radiography, *Alpha Science International Ltd., Pangbourne, U.K.*
- Zirnhelt, J., Einav, I., Infanzon. S.** (2003). Radiographic Evaluation of Corrosion and Deposits: An IEA Co-ordinated Research Project, Rio de Janeiro-RJ-Brasil.
- Zscherpel, U., Ewert, U.** (2007). Computed Radiography, BAM Berlin Division VIII.3, Kalpakkam, India.
- Url-1**<[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverse\\_square\\_law.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverse_square_law.svg)> alındığı tarih: 01.12.2014
- Url-2**<<http://tech.snmjournals.org/content/33/1/3/F7.large.jpg>>, alındığı tarih: 03.12.2014
- Url-3**<<http://www.ndt.net/article/turkey2008/papers/29-ndt-14.pdf>> alındığı tarih: 01.12.2014
- Url-4**<<http://www.ndt.net/article/ecndt02/414/fig3.gif>> alındığı tarih: 03.12.2014
- Url-5**<[http://www.mustafasecil.com/admin/b\\_bilgi\\_dosya/dosya/02032011012311\\_d\\_ijital\\_radyoloji.pdf](http://www.mustafasecil.com/admin/b_bilgi_dosya/dosya/02032011012311_d_ijital_radyoloji.pdf)> alındığı tarih: 02.12.2014
- Url-6**<<http://www.ndt.net/article/turkey2008/papers/29-ndt-14.pdf>>alındığı tarih: 02.12.2014
- Url-7** <<http://xray0.princeton.edu/~phil/Facility/Guides/XrayDataCollection.html>> alındığı tarih: 02.12.2014
- Url-8**<<http://sentinel.thomasnet.com/image?&cid=3321&plpver=10&prodid=1056&itemid=1250>> alındığı tarih: 04.12.2014
- Url-9**<[http://ion.asu.edu/descript\\_easyxrf.htm](http://ion.asu.edu/descript_easyxrf.htm)> alındığı tarih: 04.12.2014

## ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Hüseyin YILDIRIM  
Doğum Yeri ve Tarihi: ANKARA 14.11.1977  
Adres:  
E-Posta: huseyin.yildirim@taek.gov.tr  
Lisans: Çukurova Üniversitesi