

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RADYOGRAFİ YÖNTEMİ İLE KAYNAK DİKİŞLERİNDE HATA
TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Turan YAŞAR**

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**RADYOGRAFİ YÖNTEMİ İLE
KAYNAK DİKİŞLERİNDE HATA TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Turan YAŞAR
(301071027)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Nilgün BAYDOĞAN (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. A. Beril TUĞRUL (İTÜ)

Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU (İTÜ)

HAZİRAN 2010

Eşime ve Fatih Selim'e

ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans Tezi kapsamında yaptığım çalışmaların radyografi ile uğraşanlar ve daha sonra uğraşacaklar için yardımcı olacağını umarım.

Çalışmalarım boyunca değerli katkılarıyla beni yönlendiren Sn. Doç.Dr. Nilgün Baydoğan'a teşekkür ederim. İmkânlarından ve tecrübelerinden yararlandığım DSİ 14. Bölge Müdürlüğü'nden İnşaat Mühendisi A. Gürbüz EKİM'e ve Makine Mühendisi Safiye GEREK'e, DEKA TEST çalışanlarından Harun DÜNDAR'a ve tez çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen İ.B.B çalışanı mesai arkadaşlarıma özellikle Barış ÇİÇEK'e teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni manevi açıdan destekleyen ve yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Haziran 2010

Turan YAŞAR

Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. RADYASYON	1
1.1 Radyasyon ve Radyasyon Çeşitleri	1
2. RADYOAKTİVİTE	3
2.1 Radyoaktivite	3
2.2 Radyoaktif Bozunum Türleri	3
2.2.1 Alfa Bozunumu	3
2.2.2 Beta Bozunumu	4
2.2.2.1 Negatif Beta Bozunumu	4
2.2.2.2 Pozitif Beta Bozunumu	4
2.2.2.3 Elektron Yakalama	5
2.2.3 Gama Bozunumu	5
2.3 Bozunma Sabiti, Bozunma Faktörü ve Yarı Ömür	5
2.4 Radyasyon Şiddeti ve Ters Kare Kuralı	7
2.5 Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşimi	7
2.5.1 Fotoelektrik Olay	8
2.5.2 Compton Açılımı	9
2.5.3 Çift Oluşumu	9
3. RADYOGRAFİK MUAYENE	11
3.1 Radyografik Muayenede X Işınları	11
3.1.1 X Işını Tüpü	11
3.1.2 Anot ve Katot	12
3.1.3 Hedef Malzemesi	12
3.1.4 Kontrol Paneli	13
3.1.5 X Işını Cihazı	13
3.2 Radyografik Muayenede Gama Işınları	14
4. GAMA RADYOGRAFİ	15
4.1 Gama Radyografisinde Kullanılan Radyoizotoplar	15
4.2 Radyoizotopların Zırhlanması	16
4.3 Projeksiyon Tipi Radyografi Cihazları	19
4.4 Radyografi Cihazlarında Karşılaşılan Olası Problemler	21
4.5 Radyoizotopların Zırhlanması ile İlgili Standartlar	21
4.6 Radyografide Radyasyon Güvenliğinin Sağlanması	22

5. RADYOGRAFİK GÖRÜNTÜ OLUŞUMU	25
5.1 Radyografi Görüntü Kalite Faktörleri	25
5.1.1 Geometrik Faktör	26
5.1.2 Radyasyon Kaynağı Faktörü	27
5.1.3 Radyografik Film	27
5.1.4 Ekran Faktörü.....	29
5.1.5 Pozlama Süresi	29
5.2 Görüntü Kalite Göstergeleri	30
5.2.1 Delikli Tip Penetremetreler	30
5.2.2 Telli Tip Penetremetreler	31
5.2.3 Basamaklı Penetremetre.....	33
6. ÇELİK BORULARDA RADYOGRAFİK GÖRÜNTÜ OLUŞTURMA TEKNİKLERİ	35
6.1 Tek Cidar Tekniği.....	35
6.2 Çift Cidar Tekniği.....	37
6.3 Film Banyolama	39
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
7.1 Radyografik İncelemesi Yapılan Çelik Boru Örneklerinin Mekanik Test Sonuçları	42
7.1.1 Çekme Testi.....	42
7.1.2 Darbe Testi	43
7.2 Çalışılan Ir-192 Radyoizotopunun Tanıtımı.....	44
7.3 Deneyde Kullanılan Film Çekim Geometrisi	48
7.4 Deneylerde Karşılaşılan Kaynak Hatalarının Standartlara Göre Değerlendirilmesi	59
8. DENEY SONUÇLARI.....	61
8.1 Kaynak Dikiş Hataları	61
8.2 Çekimi Yapılan Parçaların Radyografik Görüntülerinin Değerlendirilmesi....	62
8.2.1 I Nolu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü	62
8.2.2 II Nolu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü	63
8.2.3 III Nolu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü	64
8.2.4 IV Nolu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü	65
8.2.5 V Nolu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü	65
8.2.6 VI Nolu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü	66
8.2.7 VII Nolu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü	67
8.2.8 VIII Nolu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü	68
8.2.9 IX Nolu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü	69
8. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79

KISALTMALAR

ALARA	: As Low as Reasonably Achievable
ANSI	: American National Standards Institute
ASME	: American Society of Mechanical Engineers
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AWS	: American Welding Society
BS	: British Standard
DIN	: Deutsches Institut Für Normung
DSİ	: Devlet Su İşleri
EN	: European Norm
GMAW	: Gas Metal Arc Welding
IAEA	: International Atomic Energy Agency
ISO	: International Organization for Standardization
IQI	: Image Quality Indicator
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Radyografide kullanılan Gama Işını Kaynaklarının Fiziksel Özellikleri	16
Çizelge 5.1. Standart Delikli Tip Penetremetre Ölçüleri	31
Çizelge 5.2. EN 462-1 Görüntü Kalite Göstergesi Ölçüleri	33
Çizelge 5.3. İngiliz Penetremetresinin Basamak Kalınlıkları ve Delik Çapları.....	34
Çizelge 7.1. Radyografik İncelemesi Yapılan Çeliğin Kimyasal Bileşimi.....	42
Çizelge 7.2. Megafil 713 R Kaynak Telinin Özellikleri.....	42
Çizelge 7.3. Kaynaksız Numunenin Çekme Testi Sonuçları.....	43
Çizelge 7.4. Kaynaklı Numunenin Çekme Testi Sonuçları.....	43
Çizelge 7.5. Testi Sonuçları	43
Çizelge 7.6. Ir-192 Radyoizotopunun Bozunum Şeması.....	44
Çizelge 7.7. TS EN ISO 5817'ye Göre B Değerlendirme Grubu İçin Bazı Hataların Sınır Değerleri.....	59
Çizelge 8.1. Kaynak Hataları Grupları ve Simgeleri	62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Radyasyon Çeşitleri.....	1
Şekil 1.2. Elektromanyetik Dalga Spektrumu.....	2
Şekil 2.1. Radyasyon Şiddetinin Mesafe İle İlişkisi	7
Şekil 2.2. Fotoelektrik olay	8
Şekil 2.3. Compton saçılması	9
Şekil 2.4. Çift Oluşumu.....	10
Şekil 3.1. X ışını tüpü	12
Şekil 3.2. X ışını cihazları.....	13
Şekil 4.1. Radyografi Çalışmasının Şematik Gösterimi	15
Şekil 4.2. Çıkarılabilen Kapaklı Radyografi Cihazları.....	17
Şekil 4.3. Dönebilen Kapaklı Radyografi Cihazları	17
Şekil 4.4. Radyografi Personeli Kapaklı Tip Işınlama Cihazının Kendi Zırhlamasından Yararlanır	17
Şekil 4.5. Panoramik radyografi çekimi için uzaktan kumandalı elemanlar	18
Şekil 4.6. Projeksiyon tip ışınlama cihazı.....	19
Şekil 4.7. S tüpün kesitini ve yardımcı parçalarını gösteren projeksiyon tipi ışınlama cihazı	20
Şekil 4.8. Bağlantıları Yapılmış Projeksiyon Tipi Konteynerin Kullanımı İçin Düzenlenmesi	20
Şekil 4.9. Radyasyon Uyarı İşaretleri.....	23
Şekil 5.1. Radyografik Görüntü ve Yarı Gölge Oluşum Geometrisi.....	26
Şekil 5.2. Filmin Yapısı.....	28
Şekil 5.3. Ir - 192 İçin Poz Tablosu	30
Şekil 5.4. Tel Tipi Delikli Penetremetre	32
Şekil 5.5. İngiliz Basamaklı Penetremetre	34
Şekil 6.1. Film Dışarıda, Radyasyon Kaynağı İçerde Tek Cidar Işınlama	35
Şekil 6.2. Film İçeride, Radyasyon Kaynağı Dışarıda Tek Cidar Işınlama	36
Şekil 6.3. Film Dışarıda, Radyasyon Kaynağı Parçanın Merkezinde Tek Cidar Işınlama.....	36
Şekil 6.4. Film ve Radyasyon Kaynağı Dışarıda Çift Cidar - Tek Görüntü Işınlama Teknikleri	38
Şekil 6.5. Film ve Radyasyon Kaynağı Dışarıda Çift Cidar-Çift Görüntü Teknikleri.....	38
Şekil 7.1. DSİ Büyük İstanbul Melen İçme Suyu Projesi Güzergahı.....	41
Şekil 7.2. Bu Tez Kapsamında Kullanılan Ir-192 Gamagrafi Cihazının Görüntüsü..	45
Şekil 7.3. Ir-192 Radyoizotopunun Bozunma Eğrisi.....	46
Şekil 7.4. Ir-192 Radyoizotopundan Yayınlanan Fotonların Havada Uzaklığa Bağlı Değişimi.....	47
Şekil 7.5. Ir-192 Radyoizotopunun Kumanda Mekanizması.....	48
Şekil 7.6. Ir-192 Radyoizotopunun Kumanda Kablosu ve Işınlama Ucu.....	48
Şekil 7.7. Ir-192 Radyoizotopunun Zırh Kabı.....	49

Şekil 7.8. Çekim Yapılacak Kaynaklı Borunun Görünümü.....	49
Şekil 7.9. Çekim Yapılacak Kaynaklı Borunun Kaynağının Görünümü.....	50
Şekil 7.10. Kurşun Ekran İçindeki Radyografik Filmin Kaynak Üzerine Yerleşimi.....	50
Şekil 7.11. Radyografik Çekim İçin Kullanılan Film.....	51
Şekil 7.12. Radyografik Çekim İçin Kullanılan Filmin hazırlanması.....	51
Şekil 7.13. Rafdyografik Film Üzerine Elastik Bant Sarılması.....	52
Şekil 7.14. Penetremetrenin Yerleştirilmesi.....	52
Şekil 7.15. Radyografik Çekim İçin Hazırlanan Çelik Borunun Dıştan Görünümü.....	53
Şekil 7.16. Telli Penetremetre.....	53
Şekil 7.17. Marka İşaretleri.....	54
Şekil 7.18. Çelik Borunun Merkezine Radyoizotopun Yerleştirilmesi.....	54
Şekil 7.19. Gama Işın Kaynağı Kumanda Kablosu.....	55
Şekil 7.20. Merkezden Işınlama yapmak İçin Hazırlanmış Platform.....	55
Şekil 7.21. Işınlama Başının Platforma Sabitlenmesi.....	56
Şekil 7.22. Işınlama Başının Kaynak Bölgesinin Tam Başına Yerleştirilmesi.....	56
Şekil 7.23. Poz Süresinin Tespiti İçin Kullanılan Hazır Cetvel.....	57
Şekil 7.24. Poz Süresinin Tespiti İçin Kullanılan Hazır Cetvelin Yakın Görünümü.....	57
Şekil 7.25. Kullanılan Kişisel Dozimetre.....	57
Şekil 7.26. Çalışma Sahasında Radyasyon Tespiti.....	58
Şekil 7.27. Radyasyon Dedektörü.....	58
Şekil 7.28. Radyografik Filmleri Aydınlatmakta Kullanılan Işık Kaynağı.....	58
Şekil 8.1. I No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	63
Şekil 8.2. II No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	64
Şekil 8.3. III No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	64
Şekil 8.4. IV No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	65
Şekil 8.5. V No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	66
Şekil 8.6. VI No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	67
Şekil 8.7. VII No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	68
Şekil 8.8. VIII No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	69
Şekil 8.9. IX.a No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	69
Şekil 8.9. IX.b No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	70
Şekil 8.9. IX.c No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	70
Şekil 8.9. IX.d No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	70
Şekil 8.9. IX.e No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	71
Şekil 8.9. IX.f No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	71
Şekil 8.9. IX.g No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	72
Şekil 8.9. IX.h No'lu Parçanın Radyografik Görüntüsü.....	72

SEMBOL LİSTESİ

<u>Sembol</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Birim</u>
E	Elektromanyetik radyasyon enerjisi	[J]
eV	Elektronvolt ($1.602176E-19 \cdot J$)	[eV]
ν	Elektromanyetik radyasyon frekansı	[Hz]
h	Planck sabiti ($6.626176 E-34$)	[$J \cdot Hz^{-1}$]
c	Işık hızı	[m / s]
λ	Dalga boyu	[m , Å^0]
I	Radyasyon şiddeti	[$mR \cdot h^{-1}$, $Sv \cdot s^{-1}$]
U_g	Geometrik keskinsizlik	[m]
t	Malzeme kalınlığı	[m]
A_0	Başlangıç aktivitesi	[Bq]
A_t	t anındaki aktivite	[Bq]
N_0	Başlangıçtaki atom sayısı	
N_t	t anındaki atom sayısı	
λ	Bozunum sabiti	[s^{-1}]
T	Penetremetre kalınlığı	[m]
b	Dikiş taşkınlığının genişliği	[m]
d	Gözenek çapı	[m]
l	Süreksizliğin uzunluğu	[m]
s	Kaynak dikiş kalınlığının ölçü boyu	[m]
t	Boru cidar kalınlığı	[m]

RADYOGRAFİ YÖNTEMİ İLE KAYNAK DİKİŞLERİNDE HATA TESPİTİ

ÖZET

Tahribatsız test yöntemlerinden biri olan gama radyografi yöntemi, malzeme içindeki hataların tespit edilmesinde oldukça hassas olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Birleşme yerlerinde kaynak hatası olan çelik boruların kullanılması ile meydana gelebilecek ciddi kazalar; iyonlaştırıcı radyasyonun giricilik özelliğinden yararlanılarak, malzemeye zarar vermeden, gama radyografi tekniği sayesinde önlenmiştir.

Gama radyografi yöntemi ile, 12 ve 14 mm kalınlıklara sahip, 2000 ve 2100 mm yarıçapındaki çelik boruların, kaynak noktalarındaki radyografik filmlerini, ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bu yüksek lisans tezinde, radyografi metodu ile muayenesi yapılan çelik borular, İstanbul'un 2040 yılına kadarki içme suyu ihtiyacını karşılamak üzere geliştirilmiş olan "Melen İçme Suyu Projesi" nde kullanılan çelik borulardır. Bu projeye, Düzce İli sınırları içerisinde yer alan Melen Çayı'ndan, yaklaşık 185 km lik bir isale hattı ile İstanbul'a içme suyu götürülmesi planlanmıştır.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, çelik boruların, gazaltı kaynağı ile yapılan kaynaklı birleştirmeleri gama radyografi metodu ile incelenmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin radyografik incelemesi, EN 1435'e göre yapılmış ve TS EN 5817 standartına göre değerlendirilmiştir.

Yapılan radyografik incelemeler sonunda, en sık karşılaşılan hataların, gaz boşluğundan kaynaklanan gözenek hataları ile cüruf kalıntılarında oluşan hatalar olduğu tespit edilmiştir. Radyografik incelemeler sonucunda, gazaltı kaynağı metodu ile yapılan kaynak işleminde, çelik boruların kaynaklı birleştirmelerinde en sık karşılaşılan süreksizliklerin poroziteler ve cüruf kalıntıları olduğu tespit edilmiştir. Böylece, Melen İçme Suyu Projesi'nde yapılan işin kalitesini artırmak amacıyla, en sık karşılaşılan kaynak hatalarına bağlı çözümler geliştirilmeye çalışılmıştır.

FLAW DETECTION OF WELDED JOINTS USING RADIOGRAPHIC EXAMINATION

SUMMARY

As gamma radiography, one of the nondestructive testing methods, is quite sensitive to detect the defects in the material, this radiographic method is used widely. Serious accidents depending on the flaws at welding joints of steel pipes were prevented by the penetration ability of the ionizing radiation without the destruction of the material using gamma radiography technique.

Radiographic films of the welding points at steel pipes with thicknesses at 12 and 14 mm and radiuses at 2000 and 2100 mm were investigated clearly by gamma radiography method. In this master thesis, the inspected steel pipes by radiography method are the pipes used at “Melen Water Supply Project”, which was developed to supply the domestic water demand of Istanbul city until 2040. It is planned to supply water with a 185 km pipeline, to Istanbul from Melen River where is within the boundaries of Düzce at the project.

In this master thesis, the welded connection regions of steel pipes formed by gas metal arc welding method were examined by gamma radiography method. Radiographic investigations of the welded joints were performed according to European Norm, EN 1435 and examined according to Turkish Standarts, TS EN 5817.

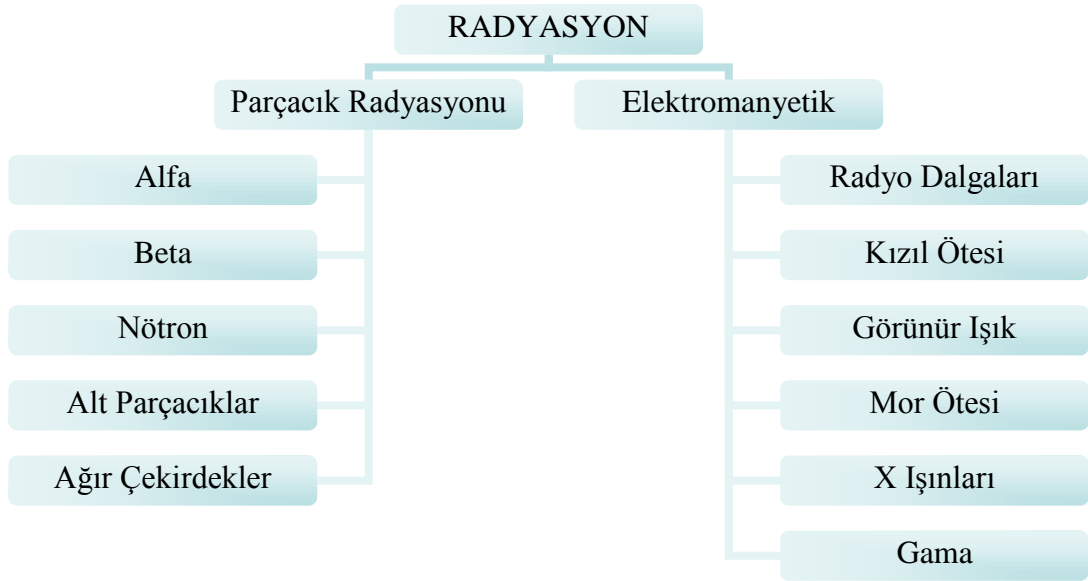
It was determined at the end of the radiographic investigations that the most encountered imperfections in the welding points of the steel pipes were the porosities and slag inclusions at the welding process by gas metal arc welding method. Hence, it was developed the solutions due to the most encountered flaws for the improvement of the quality at the performed work in Melen Water Project.

1. RADYASYON

1.1 Radyasyon ve Radyasyon çeşitleri

Radyasyon, iç dönüşüm geçiren, veya dalga tabiatına uyan atomlar tarafından yayımlanan, boşluğa ve madde içerisine enerji transferi olarak tanımlanır. Yayımlayan kaynağın özelliğine bağlı olarak bu enerji, parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar tarafından taşınabilir. Radyasyon ile ilgili dört ana parametre kullanılır (Şekil 1.1) [1,24].

- Enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon)
- Türü (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- Kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)
- Aktivitesi



Şekil 1. 1 : Radyasyon Çeşitleri.

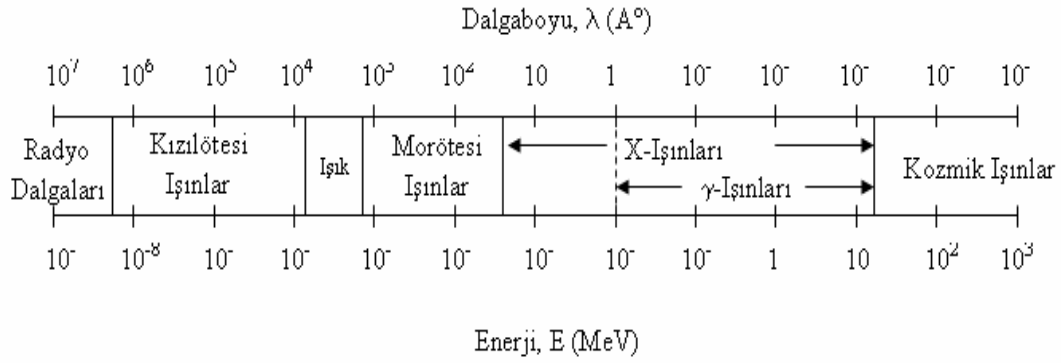
Yüksek enerjili radyasyon iyonize radyasyon olarak da tanımlanır ve atomdan elektron koparabilen dolayısıyla atomu iyonize edebilen radyasyon türüdür. Bunlar: Alfa, Beta, Gama ve X-Işınları'dır.

Düşük enerjili ya da iyonize olmayan radyasyon ise etkileştiği materyal içindeki atomları yeteri kadar enerjisi olmadığı için iyonize edemez ve sadece uyarmakla yetinir.

Mikrodalgalar, görünür ışık, radyo dalgaları, kızılötesi ve morötesi ışık iyonize olmayan radyasyona örnektir.

Elektromanyetik spektrumu oluşturan bütün radyasyonlarda (Şekil 1.2) enerji, yüksüz ve kütsüz fotonlar tarafından taşınmaktadır. Eğer iyonize edici elektromanyetik radyasyon çekirdekte yayımlanıyorsa gama, yörüngeden yayımlanıyorsa X-ışını adını alır.

Kaynaklı birleştirmelerin tahribatsız muayenesi sırasında kullanılan en yaygın yöntemlerden biri iyonize radyasyon kullanılarak yapılan radyografik muayenedir.



Şekil 1.2 Elektromanyetik Dalga Spektrumu [2].

2. RADYOAKTİVİTE

2.1 Radyoaktivite

Bir çekirdeğin kararlı olabilmesi için, belli sayıda nötrona ve protona sahip olması gerekir. Bu sayıların dışına çıkıldığı zaman, çekirdekler kararsız bir yapıya dönüşürler. Kararlı hale gelebilmek için parçalanan bu tür çekirdekler, "radyoaktif çekirdek" ler olarak adlandırılırlar. Ağır elementlerin çoğu radyoaktif özelliklere sahiptir. Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Herhangi bir şekilde müdahale edilip yavaşlatılamaz veya durdurulamaz. Üstel bir fonksiyon şeklinde zayıflayan bir tempo ile azalarak tükeninceye kadar devam eder. Buna radyoaktif bozunma denir. Radyoaktif çekirdekler kararlı bir nötron/proton oranına ulaşıncaya kadar, bozunmayı sürdürürler [2].

2.2 Radyoaktif Bozunum Türleri

2.2.1 Alfa Bozunumu

Çekirdeğin kararsızlığı hem proton hem de nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdek iki proton ve iki nötrondan oluşan bir alfa parçacığı yayımlayarak bozunur. Böylece Denklem 2.1'de görüldüğü gibi bozunan çekirdeğin atom numarası 2, kütle sayısı ise 4 azalır. Rutherford alfa parçacığının gerçekte He çekirdeği olduğunu göstermiştir. Bu bozunumda proton ve nötron sayıları ayrı ayrı korunur. Ayrıca toplam enerji de korunmalıdır (Denklem2.2) [1] .



$$Q = \Delta mc^2 = [m(X) - m(X') - m({}^4_2He)].c^2 \quad (2.2)$$

Bozunum nedeniyle ortaya çıkan enerjinin büyük kısmını, momentumun korunumu gereğince küçük kütleyle sahip olan alfa parçacığı alır. He çekirdeği yüksek enerjiye sahip olsa da ağır kütlesi nedeniyle menzili çok kısadır. Alfa bozunumu genellikle

kütle numarası 190'dan büyük çekirdeklere daha sık görülür. Enerji spektrumu kesiklidir ve 4 ile 10 MeV arasında değişim gösterir. Çünkü yüklü bir parçacık olduğundan içerisinden geçtiği maddenin elektronları ile yoğun bir şekilde etkileşir [1].

2.2.2 Beta Bozunumu

Çekirdekteki bozunumunun üç farklı türü vardır. Bunlar;

2.2.2.1. Negatif β bozunumu

Eğer bir radyonüklidin kararsızlığı çekirdekteki nötron fazlalığından ileri geliyorsa, çekirdeğindeki enerji fazlalığını gidermek için nötronlardan birini proton ve elektron haline dönüştürür (Denklem 2.3). Proton çekirdekte kalırken, elektron hızla atomdan dışarı atılır [1].



Bu yüksek hızlı elektrona beta parçacığı (veya negatron) adı verilir. Bu şekilde beta emisyonu yapan radyonüklidin atom numarası bir artarak kendinden bir sonraki elementin izobar atomuna dönüşür. Bu bozunumda kütle sayısı değişmediği için izobarik bozunma adı verilmiştir (Denklem 2.4). [1]



2.2.2.2. Pozitif β bozunumu

Atomun kararsızlığı nötron azlığından veya proton fazlalığından ileri geliyorsa protonlardan biri nötron ve pozitif yüklü elektrona (pozitrona) dönüşür (Denklem 2.5) [1].



Nötron çekirdekte kalır, pozitron dışarı fırlatılır. Böylece pozitron yayımlayan radyonüklidin proton sayısı (atom numarası) bir eksilerek kendinden bir önceki elementin (izobar) atomuna dönüşür, fakat kütle sayısı değişmez (Denklem 2.6) [1].



2.2.2.3. Elektron Yakalama Olayı

Çekirdek proton fazlalığından dolayı kararsız ise atomun çekirdeğe yakın (K, L) yörüngelerine yakın elektronlarından biri çekirdek tarafından yakalanır. Elektronla bir proton birleşerek nötron ve nötrino haline dönüşür (Denklem 2.7). Bu bozunumda çekirdekten parçacık salınmaz ancak pozitron bozunmasında olduğu gibi proton sayısı bir eksilir. Kütle numarası ise aynı kalır (Denklem 2.8). Bu olayda boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerdeki başka bir elektron geçer ve bremmstrahlung (frenleme) radyasyonu adı verilen x ışınları yayınlanır [1].



Yukarı da bahsedilen her üç beta bozunumunda da proton ve nötron sayıları bir birim değişmesine rağmen kütle numarası sabit kalır. Bu bozunumda nötrino ve antinötrino denilen yüksüz ve kütsüz parçacıkların yayımlandığı görülmektedir [1].

2.2.3 Gama Bozunumu

Çekirdekteki enerji fazlalığı dolayısıyla veya nüklid bozunma olayı ile radyasyon yayınladıktan sonra çok defa hemen kararlı (temel enerji seviyesi) durumuna geçemez, bozunmada oluşan nüklid hala yarı kararlı durumdadır. Bu fazla kalan uyarılma enerjisini hemen elektromanyetik özellikte olan bir gama radyasyonu şeklinde yayımlar. Bu şekilde bozunan yarı kararlı nüklidin atom ve kütle sayılarında bir değişme olmaz, bu nedenle izomerik bozunma adı verilmiştir [1].

2.3 Bozunma Sabiti (λ), Bozunma Faktörü ve Yarı Ömür

Her radyoaktif çekirdek birim zamanda belli bir olasılıkla bozunuma uğrar. İçinde N kadar radyoaktif atom bulunan bir örnekte t zamanı boyunca ortalama bozunma hızı $-\lambda N$ 'dir [3].

$$\Delta N / \Delta t = -\lambda N \quad (2.9)$$

λ , radyonüklid bozunma sabitidir. Her radyonüklid için bozunma hızı sabittir, yani ona özgüdür. Isı, basınç ve kimyasal olaylardan etkilenmez. Radyoaktif bozunmaya uğrayan atomların belirli bir fraksiyonunun birim zaman boyunca bozunma miktarını gösterir. $\lambda = 0,01$ saniye ise ortalama olarak 1 saniyede atomların %1'i bozunmaya uğruyor demektir. Eşitlikteki eksi işareti atom sayısının zamana karşı azaldığını belirtmek içindir [1].

Zaman geçtikçe N sayıdaki radyoaktif atomlar azalmaya devam eder. Örneğin 1000 atomu bulunan bir radyonüklidin λ 'sı 0,1 ise 1 s sonra 900 atom, 1 s daha sonra 810 atom kalır. Böylece sifıra doğru yaklaşırlar, ancak hiçbir zaman tam sıfır olmazlar. Bu durum matematiksel olarak aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.10)$$

N_t : t zaman sonundaki atom sayısı

N_0 : Başlangıçtaki atom sayısı

$e^{-\lambda t}$: t zamanı sonunda kalan radyoaktif atom fraksiyonudur (buna bozunum faktörü de denir)

Daha önce de belirtildiği gibi radyoaktif bozunma, bir örnekteki radyoaktivitenin belirli bir zamanda sabit bir fraksiyonunun kaybolmasıdır. Fiziksel yarı ömür ise radyonüklidin başlangıçtaki atom sayısının ya da aktivite düzeyinin %50'sine inmesi için geçen süredir (t_p). Yarı ömür ile bozunma sabiti arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde gösterilir [3,24] ;

$$t_{1/2} = 0.693 / \lambda \text{ veya } \lambda = 0.693 / t_{1/2} \quad (2.11)$$

Bozunma faktörü ise;

$$DF = e^{-0.693t/t_{1/2}} \text{ olarak gösterilir.} \quad (2.12)$$

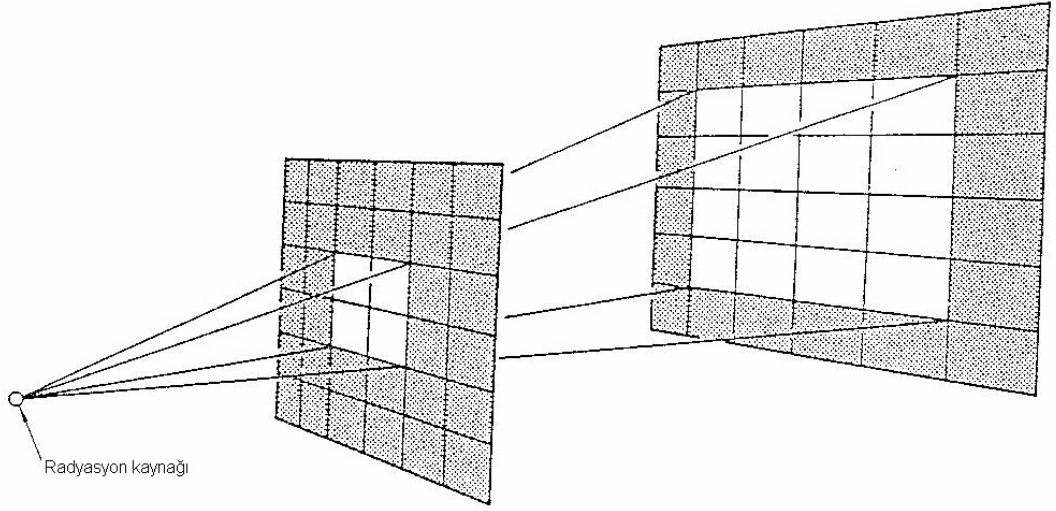
Bir radyonüklidin aktivitesi birim zaman başına bozulan atom sayısını gösterir.

$$A_t = A_0 x e^{-\lambda t} \quad (2.13)$$

Aktivite, atom sayısındaki azalmayı gösterdiğinden bozunma formülü ile ifade edilir. Radyoaktivite birimi Becquerel olup (Bq) 1 saniyede 1 bozunum gösteren bozunma hızıdır. Diğer bir aktivite birimi de Curie'dir (Ci). 1 Ci 1 saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunum gösteren radyoaktivite miktarıdır [1,26].

2.4. Radyasyon Şiddeti ve Ters Kare Kuralı

Gerek x-ışını gerekse gama-ışını elektromanyetik radyasyonları, boşlukta ışık hızında doğrusal olarak yayılır. Bu yayınma ters kare kanununa uymaktadır. Bunun nedeni ışık kanunları ile açıklanabilir. X-ışını anodundan yayılan ışınım miktarının sabit olması durumunda nesneden uzaklaştıkça şiddet uzaklığın karesi ile azalmaktadır. Başka bir deyişle, Şekil 2.1’de görülen sabit A kaynağından yayılan radyasyon için, d mesafesinde bulunan objenin 2d mesafesine kaydırılması durumunda, radyasyon birim alana düşen radyasyon şiddeti dört kat azalacaktır [4].



Şekil 2.1. Radyasyon şiddetinin mesafe ile ilişkisi [4]

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (2.14)$$

Bu durum pratik uygulamada aynı film densitesi elde etmek için şu şekilde kullanılmaktadır. X-ışını kaynağı için, mesafe 2 kat artması neticesinde miliamper ya da poz süresi 4 kat arttırılmalıdır [4].

2.5. Elektromanyetik Radyasyonun Madde İle Etkileşimi

Gama ve X ışını gibi bütün elektromanyetik radyasyonlar birçok olayda parçacıklara benzer davranış gösterdiği için, çok küçük enerji paketleri anlamına gelmek üzere bu radyasyonların birim elemanına foton adı verilmiştir. Radyasyonun belli bir frekansı için bütün paketlerde taşınan enerji aynıdır ve Denklem 2.15’teki gibi ifade edilir [5].

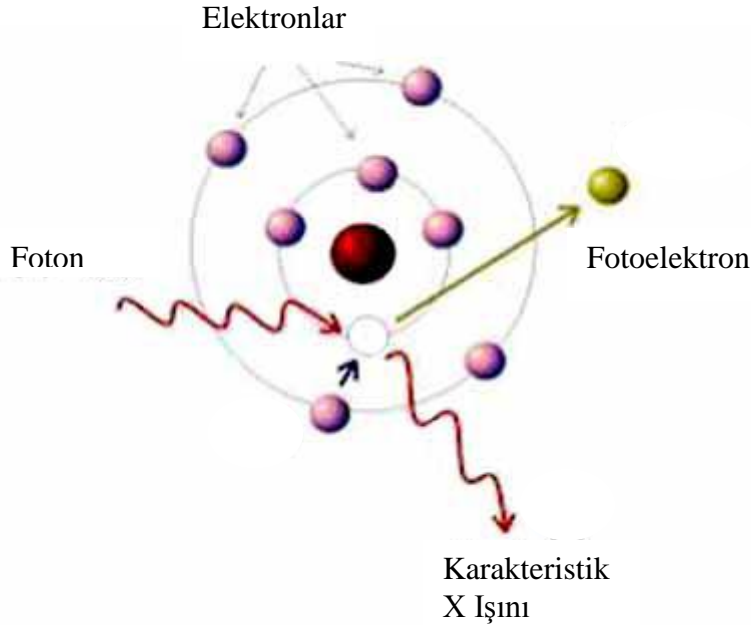
$$E = h.v \quad (2.15)$$

Fotonlar, içinden geçtikleri ortamın (maddenin) atomları ile rasgele yaptıkları karşılıklı etkileşimler sonucunda ortama enerji bırakarak absorblanabileceği gibi saçılıma da uğrayabilirler. Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşiminde rol oynayan en önemli üç olay;

- ❖ Fotoelektrik Olay
 - ❖ Compton Saçılımı
 - ❖ Çift oluşumu
- olaylarıdır [5].

2.5.1. Fotoelektrik Olay

Düşük enerjili bir foton genellikle içinden geçtiği ortamdaki atomların K veya L yörüngesindeki bir elektrona bütün enerjisini vererek onu pozitif yüklü çekirdeğin bağlayıcı kuvvetinden kurtarır. Dışarıya fırlatılan bu elektrona *fotoelektron* denir (Şekil 2.2). Fotoelektronun atılmasını takiben; dış yörüngeden diğer bir elektron, boşluk bulunan yörüngeye geçer, bu geçişte karakteristik X ışınları yayımlanır [5,40].

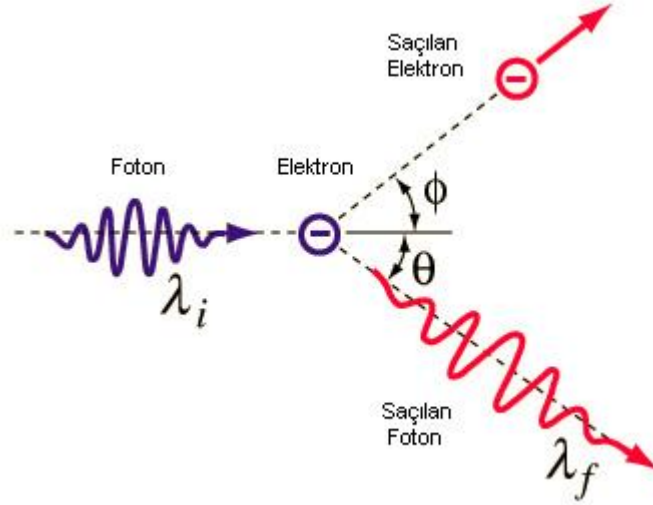


Şekil 2.2. Fotoelektrik olay.

Bu olay sırasında gelen fotonun enerjisinin bir kısmı elektronu bağlı olduğu atomdan koparabilmek için harcanır, geri kalan kısmı ise koparılan elektrona kinetik enerji olarak aktarılır.

2.5.2. Compton Saçılımı

Atoma gevşek olarak bağlanmış bir dış yörünge elektronu, enerjisi kendisine kıyasla çok daha büyük olan bir fotonla çarpışması sonucunda meydana gelen olaya Compton Saçılması denir (Şekil 2.3). Elektron kütleli bir parçacık olduğu için fotonun bütün enerjisini absorblaması momentumun korunumu gereği mümkün değildir. Dolayısıyla foton, enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır saçılıma uğrayarak yoluna devam eder. Foton ile elektron arasında oluşan açı fotonun enerjisine bağlıdır [5,40].

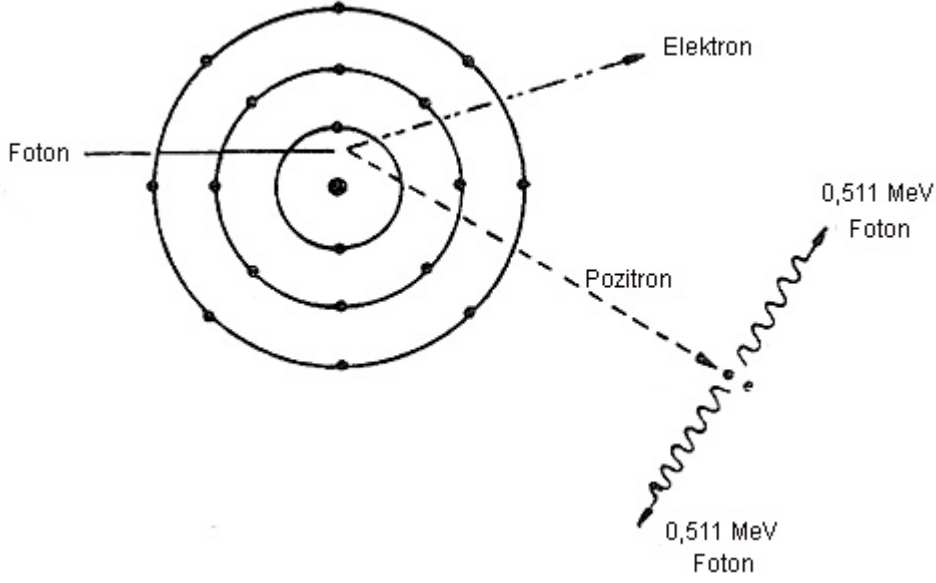


Şekil 2.3. Compton saçılması.

Compton olayındaki h/mc , Compton dalgaboyu olarak adlandırılır. Enerjileri 0,5 – 2,0 MeV arasında olan fotonların hafif elementlerden oluşan ortamlar tarafından soğurulmasında bu olay diğerlerine göre daha önemlidir. Yüksek enerjili fotonlar enerjileri belirli bir seviyeye düşene kadar Compton saçılımına uğrarlar bu andan sonra da fotoelektrik olayla soğurulurlar. Çünkü sadece Compton saçılımı ile fotonlar tamamen soğurulamazlar [5,40].

2.5.3. Çift Oluşumu

Eğer, fotonun enerjisi yeteri kadar büyük ise ve bu foton atom çekirdeğinin çok yakınından geçerse, kütlesi olmayan fotonun enerjisinden çekirdek yakınında aynı anda biri negatif yüklü elektron diğeri pozitif yüklü pozitron olmak üzere iki parçacık yaratılır. Böylece elektromanyetik bir dalgadan madde oluşur (Şekil 2.4) [5,40].



Şekil 2.4. Çift oluşumu.

Teorik olarak böyle bir çift oluşumunun meydana gelebilmesi için, fotonun enerjisinin en az $2 \times 0.511 = 1,022$ MeV olması gerekir. Foton enerjisinin daha büyük olduğu durumlarda ise bu enerjinin artakalan kısmı elektrona ve pozitrona kinetik enerji olarak aktarılır. Oluşan elektron, atomla serbest elektronlar gibi etkileşirken, pozitron ise bir yörünge elektronu ile birleşir ve zıt yönlü iki foton salarak yok olur. Bu foton ise fotoelektrik yolla soğurulur. Pratikte çift oluşumu 2 MeV'den daha büyük enerjili fotonlar ve ağır elementler için göreceli olarak daha baskındır [5,40].

3. RADYOGRAFİK MUAYENE

Tahribatsız Muayene metodları tanımına giren çok sayıda teknik mevcuttur [37]. Bu tekniklerin her birinin uygulama amacı ve yerine bağlı olarak tercih edilebileceği şartlar söz konusudur [29]. Tahribatsız muayene denilince akla gelen en önemli yöntemlerden bir tanesi radyografik muayenedir. Radyografik muayene, X veya Gama ışınlarının kullanılarak incelenecek malzeme parçalarının görüntüsünün elde edilmesidir. X ve gama ışınları yüksek enerjili elektromanyetik dalgalardır. Bu dalgaların doğrusal ilerleme, zayıflama, iyonlaştırma ve nüfuz edebilme özelliklerinden yararlanılarak radyografik muayenelerde kullanılması sağlanmaktadır [1,2,9].

3.1. Radyografik Muayenede X Işınları

X ışınlarının üretimi fiziksel bir kurama dayanır ve X ışını tüpleri ile elde edilir. Hareket eden elektrik yüklü parçacıklar, örneğin elektronlar, yollarında bulunan bir engele çarptıklarında kinetik enerjilerini yitirirler ve bu enerjinin bir kısmı X ışınlarına dönüşür ve oluşum alanından ışıyarak uzaklaşır. Endüstriyel X-ışını ekipmanları bremsstrahlung radyasyonu üretirler [6].

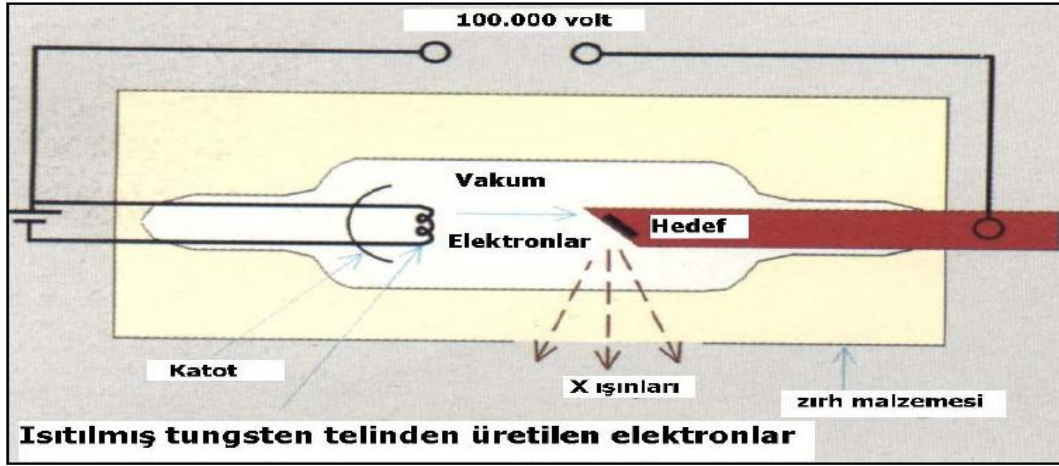
Endüstriyel X ışını üretimi için üç aşamanın gerçekleşmesi gereklidir.

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

3.1.1. X ışını tüpü

Endüstriyel radyografide; X ışınlarının üretimi X ışını tüpleri ile elde edilir. X ışını tüpü, cam bir muhafaza içinde bulunan bir anot ve bir katottan ibarettir. İçerisi vakumlanmıştır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi ısıtılmış bir flaman tel elektron kaynağı görevini yapar. Elektronların yüksek hızda hareket etmeleri için sadece anoda yüksek pozitif yük uygulamak yeterlidir. Ayrıca katodun negatif yükü de elektronları iterek, bir demet halinde anoda yönelmelerini sağlar. Katot, anodun içine gömülü hedefe odaklanmıştır. Yüksek hızdaki elektronların hedefe çarpması ile devamlı ve

karakteristik X ışınları üretilir. X ışınları, elektronların tüm enerjilerinin atoma transferi ile ortaya çıkar. Bu işlem Bremsstrahlung prosesi olarak bilinir. Bu süreçte çekirdek, elektronlardan aldığı enerjiyi, yüksek enerjili X ışınları olarak yayınlar. Karakteristik X ışınları ise flamanndan çıkan yüksek hızdaki elektronların orbital elektronlarla çarpışması sonucu üretilir, dar bantlı ve yüksek yoğunluktur. Bu ışınlar düşük enerjili ve istenmeyen saçılmış radyasyon kaynağıdır [1,5,23].



Şekil 3.1. X ışını tüpü

3.1.2. Anot ve katot

Anot genellikle bakırdan yapılarak gaz ve gözenek oluşmasını önlemek için vakum altında dökülür. Bakır anot yüksek ısı iletkenliğine sahiptir. Hedefte meydana gelen ısıyı kolayca alır. Anodun katoda bakan yüzü içine metal hedef malzemesi gömülmüştür. Cam muhafaza arasından geçen bir tel, anot için harici elektrik bağlantısı görevini yapar. Katot diye bilinen kısım filaman ile birlikte elektron kaynağı görevini yapar. Negatif yüklü elektroda odaklama kabı meydana getirecek şekilde uygun bir şekil verilir. Bu odaklama kabının içinde elektron yayan tungsten tel filaman (doğru ve sarmal şekilde) vardır. Bu filaman yüksek sıcaklıklara ısıtılırsa her yönde elektronlar verir. Fakat anot ve katod arasına uygulanan gerilim ile elektronlar hedefe doğru bir demet halinde yönelir. Katot malzemeleri genellikle saf demir veya nikeldir ve gaz kabarcıkları içermeyen ısıya dayanıklı malzemelerden üretilmektedir [1,5,7].

3.1.3. Hedef malzemesi

Hedef malzemenin, flamen telde üretilen elektronlarla bombardıman edilmesi ile X ışınları meydana gelir. Kullanılan malzemenin yüksek atom numarası, yüksek ısı

iletkenlik, yüksek ergime noktası ve düşük buhar basıncı gibi özelliklere sahip olması gerekir [1,5,7].

3.1.4. Kontrol paneli

Bir X ışını kontrol panelinin başlıca iki görevi vardır. Bunlar; üretilecek X ışınlarının enerjisini ve anot ile katot arasına uygulanan voltajı kontrol etmektedir..

X ışını kontrol paneli, akım ve voltaj ayar düğmelerini, akım ve voltaj göstergelerini, ikaz ışıklarını ve zaman ayarını içerir. Uygulanan voltaj kilovolt (kV) ile ölçülür. Üretilen radyasyonun gircilik 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 süresi denir ve kontrol panelindeki saat ile ayarlanır. X ışını radyasyonunun başlamasını veya durmasını tayin eder.

3.1.5. X Işını Cihazı

X ışını üretimi için gerekli olan gereksinimler X ışını cihazları için de gereklidir. Endüstriyel radyografi amacı için özel olarak geliştirilmiş olan X ışını cihazları (Şekil 3.2) portatif kumanda ünitesi ile x ışını tüpünden oluşmaktadır.

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



a) Taşınabilir Tip



b) Hareketli Tip



c) Taşınabilir Tip

Şekil 3.2. X ışını cihazları

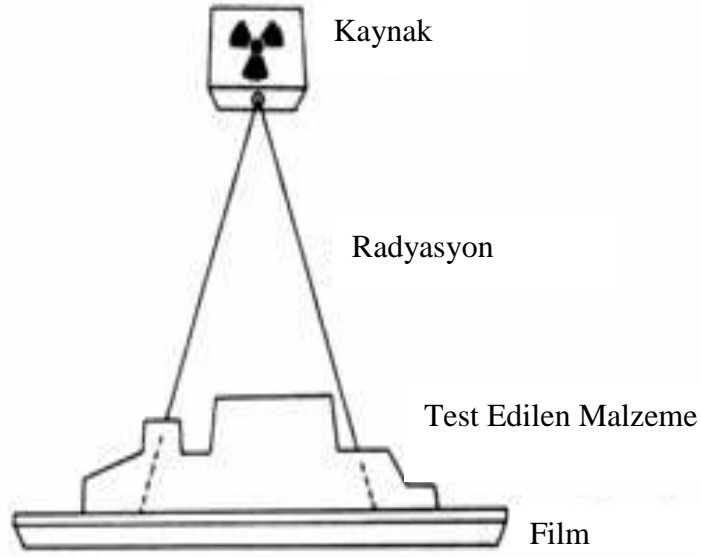
3.2. Radyografik Muayenede Gama Işınları

Gama ışınımı yayınımlı "radyoaktivite kavramı" ile açıklanabilir. Radyoaktif bir maddede, atomik kararsızlığa neden olan fazla enerjinin ışınım enerjisi olarak açığa çıktığı süregiden bir bozunma olayı meydana gelir. Bozunum türüne göre, Alfa (α), Beta (β) ya da Gama (γ) ışınları veya bunların karışımları gözlenir. Radyografik muayene için genellikle gama ışınları kullanılır. Alfa ya da beta parçacıkları ile görüntüleme ve nötron radyografisi ise endüstriyel radyografi açısından çok önemlidir. Gama ışınımı doğal olarak izotop halinde bulunan maddelerden de yayılır. Nötronlarla bombardıman edilen atom çekirdeğinde yapay olarak oluşturulmuş aşırı enerji, doğal haliyle ışınım yaymayan bir maddeyi ışınım yayar hale getirebilir. Bu işlem, bir nükleer reaktörde (nötron aktivasyonu) olduğu gibi, kararlı haldeki bir atom çekirdeğinin nötron (elektriksel olarak nötr parçacıklar) bombardımanına tutularak kararsız (dengesiz) hale getirilmesiyle yapılabilir. Bu işlem sonunda atomun çekirdeğindeki nötron ve protonların toplamı olan Atom Kütle Numarası değişir. Bu tip aşırı yüklü ve kararsız çekirdek radyoizotop olarak adlandırılır. Ir 192, Co 60, Tm-170, Yb-169 ve Se-75 piyasada en çok kullanılan radyoizotoplardır [2].

4. GAMA RADYOGRAFI

Birleşme yerlerinde kaynak hatası olan borular ile üretim hatası olan metal veya döküm parçalarının kullanılması sonucu meydana gelebilecek ciddi kazalar; iyonlaştırıcı radyasyonun giricilik özelliğinden yararlanılarak malzemeye zarar vermeden uygulanan radyografi tekniği sayesinde önlenebilir. [8]

Radyografi tekniğinde, tahribatsız muayene (NDT-Non Destructive Test) olarak tanımlanan bu yöntemle arızalı veya kusurlu parça veya malzemelerin kalıcı bir filmi çekilir (Şekil 4.1). Bu yöntem aynı zamanda Kalite Temini (QA-Quality Assurance) Testi olarakta nitelenir [8].



Şekil 4.1. Radyografi Çalışmasının Şematik Gösterimi.

4.1. Gama Radyografisinde Kullanılan Radyoizotoplar

Gama radyografisi, gama ışınları ile yapılır. Bu teknik için gerekli olan cihazlar taşınabilir özellikte olup inşaat ve montaj alanları gibi zor çalışma koşullarında uzaktan kumandalı olarak kullanılırlar. Gama radyografi için Ir-192 en uygun radyoizotoptur. Ancak kontrol edilecek malzemenin özelliklerine göre Çizelge 4.1’de gösterilen diğer radyoizotoplar da kullanılabilir [8].

Çizelge 4.1. Radyografide kullanılan gama ışın kaynaklarının fiziksel özellikleri. [8]

Radyoizotoplar	Gama Enerjileri (MeV)	En uygun çelik kalınlıkları (mm.)
Kobalt - 60	Yüksek (1.17 ve 1.33)	50-150
Sezyum - 137	Yüksek (0.662)	50-100
İridyum - 192	Orta (0.2-1.4)	10-70
İtriyum - 169	Düşük (0.008-0.31)	2.5-15
Tulyum - 170	Düşük 0.08	2.5-12.5

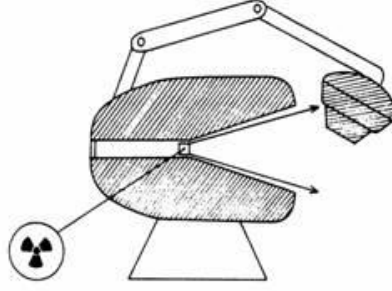
Radyasyon, malzeme içine nüfuz edebilecek yeterli düzeyde enerjiye sahip olmalıdır. Malzeme içerisinden geçerken radyasyonun şiddeti azalır ve malzeme içerisindeki hatalı bölgenin özelliğine göre, film üzerinde normal malzemeye oranla daha açık veya daha koyu renkli görüntü oluşur. Gerekli olan radyasyon miktarı radyasyon kaynağının aktivitesi ile belirlenir. Fazla radyasyon, filmi daha çok karartır. Radyasyon şiddeti ayarlanarak kusurlu bölgenin belirlenmesi sağlanır. Radyografi çekimi yapılan bölgenin çevresinde geniş bir alanda güvenlik önlemi alınması gereklidir. Düşük aktivitede bir kaynağın kullanılması durumunda film üzerinde görüntü oluşturmak için uzun ışınlama süresi gereklidir. Uzun ışınlama süresi, çalışmanın uzamasını ve dolayısı ile güvenlik önlemlerinin de bu süreleri kapsamalarını gerektirir [8].

4.2. Radyoizotopların Zırhllanması

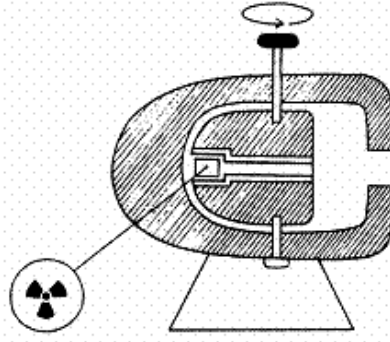
Radyografide kullanılan kaynaklar paslanmaz çelik kapsül içinde sızdırmaz yapıda ve yüksek aktivitelidir. Sürekli gama ışınımı yayımlayan bu kaynaklar özel zırlı taşıma kapları içinde taşınır ve nakledilirler. Işınlama kamerası olarak da tanımlanır. Bu zırlı ışınlama kaplarında kaynak kurşun veya daha etkili olan uranyum malzeme ile koruma altına alınmıştır. Bu tip ışınlama cihazlarının çoğu uluslararası kullanım ve taşıma kurallarına uygun olarak üretilirler [8].

Söz konusu cihazlardan radyasyon demeti, aşağıdaki üç yöntemden biri ile alınır.

1. Zırhın bir bölümü açılır,
2. Kaynak, ışınlama kabı içinde kalacak şekilde, fakat zırhlamanın özel olarak ince yapıldığı bir bölgeye geçici olarak hareket ettirilir veya
3. Kaynak, ışınlama kabı içinden tamamıyla dışarıya çıkartılır.



Şekil 4.2. Çıkarılabilen kapaklı radyografi cihazları [8].



Şekil 4.3. Dönebilen kapaklı radyografi cihazları [8].

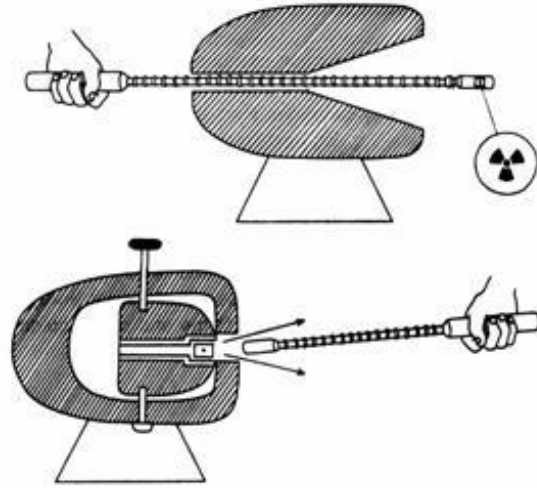
Şekil 4.2 ve 4.3'de resimleri verilen radyografi cihazları kapak veya beam (demet) tipi konteynerler olarak tanımlanır. Bu tip cihazlar radyasyon demetinin sınırlı ve belli yönde yayınlanmasını sağlar [8].

Kapak sistemi otomatik veya elle kontrollü olabilir. İkinci durumda da radyografi yapan kişinin, radyografi cihazının kapak bulunmayan arka tarafında durması (Şekil 4.4), maruz kalacağı radyasyon dozunu en aza indirmek için önemlidir [8].



Şekil 4.4. Radyografi Personeli Kapaklı Tip Işınlama Cihazının Kendi Zırhlamasından Yararlanır [8].

Kapaklı tip cihaz kullanılarak yapılan radyografi çalışmalarında bu olasılık çok azdır. Işınlama yapmak için konteyner yeterli uzaklığa yerleştirilmemiş ise veya ışınlanacak film alanı ışın demeti boyutlarını aşıyorsa sızıntı radyasyonlara maruz kalınabilir. Ancak ışınlama yapmak için konteynerin konulacağı yüzeyin uygun olmaması durumunda, üretici firma tarafından özel olarak yapılmış, Şekil 4.5'te gösterilen uzaktan kumandalı elemanlar yardımı ile radyasyon kaynağı konteyner içerisinden çıkarılır ve uygun bir demet sınırlayıcı (kolimatör) içerisine yerleştirilerek kullanılır veya radyasyon kaynağı dışarıda tutularak panoramik (küresel) çekimler de yapılır. Fakat panoramik çekimlerde radyasyon demetinin yönünü sınırlama olanağı yoktur ve maruz kalınan radyasyon dozu yüksek olur. Bu nedenle uzaktan kumandalı elemanların boyu yeterli uzunlukta olmalıdır (en az 1 m). Yüksek aktivitedeki kaynağa birkaç saniye dokunmak bile hemen etkisini göstermeyen, fakat birkaç hafta sonra ortaya çıkan cilt hasarlarına neden olur [8].



Şekil 4.5. Panoramik radyografi çekimi için uzaktan kumandalı elemanlar. [8]

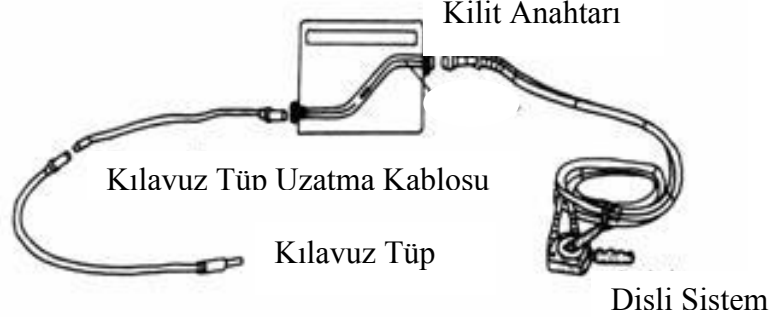
Bugün en fazla kullanım alanı olan cihazlar ise üçüncü tipte olanlardır. Bunlar projeksiyon konteyner (Şekil 4.6) olarak tanımlanır. Söz konusu cihazların tasarım özellikleri nedeniyle radyografik çekim yapan personelin; cihazın içerdiği radyoaktif kaynaktan belirli uzaklıkta bulunması halinde tam olarak radyasyondan korunması sağlanmış olur [8].



Şekil 4.6. Projeksiyon tip ışınlama cihazı.

4.3. Projeksiyon Tipi (Radyasyon Kaynağı Hareketli) Radyografi Cihazları

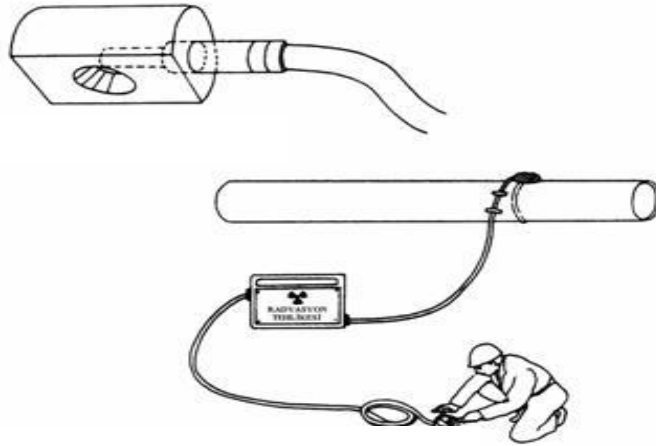
Projeksiyon tip gama kaynaklarında radyoaktif kaynak, kurşun zırhın içinde Radyoizotopun yerleştiği kısım esnek bir tel ucuna monte edilir. Kurşun zırhın radyoaktif kaynakla temas etmeyen diğer ucu konteynerin kısmen dışına çıkarılır. Ayrıca bu soketin hemen arkasında kurşun zırhın içinde Radyoizotopun yerleştirildiği kısmın dışarı çıkmasını engelleyen durdurma topu bulunur ve kaynağın, gama kaynağı içinde orta kısımda zırhlanmış bölgede güvenli olarak durması için bir kilitleme halkası ile irtibatlandırılır. Gama ışın cihazı ortasında bulunan bu zırhlanmış bölge S şeklinde (Şekil 4.7) olup radyasyonun dışarıya doğrudan çıkmasını engeller. S tüpün diğer ucu, radyasyon kaynağının, çalışmalar için konteyner dışına çıkış ucu olup burada bir kurşunlu kapak bulunur. Kapak çalışma yapılmadığı zaman sürekli olarak kapalı tutulur. Kapak aynı zamanda S-tüpün içindeki aktif tozların dışarı çıkışını önler. Projeksiyon tip ışınlama cihazının yardımcı parçaları; kontrol kablosu, sürgü kablosu, dişli sistemi, kılavuz (guide) tüp ve uzatma kablosudur. (Uzatma kablosu her zaman kullanılmaz) kılavuz kablosu ucunun Işınlama başı olarak tanımlanan burun kısmına değişik demet sınırlayıcılar da (kolimatör) takılabilir [8].



Şekil 4.7. S tüpün kesitini ve yardımcı parçalarını gösteren projeksiyon tipi ışınlama cihazı [8].

Projeksiyon tipi konteyner ile çalışılırken, sürgü kablosu kurşun zırhın içinde Radyoizotopun yerleştiği kısmın ucuna takılır ve sürgü kablo bağlantısı ile kılavuz kablosu, konteyner çıkış uçları, cihaz kullanma talimatında belirtildiği şekilde irtibatlandırılır. Işınlama başı ise filmi çekilecek olan cisme uygun bir şekilde konumlandırılır. [8].

Kılavuz kablosunun konteynere olan bağlantısının güvenliği için emniyet halkası çevrilerek sıkıştırılır. Bu işlemle kurşun zırhın içinde Radyoizotopun yerleştiği kısım serbest kalmış olur. Dişli sistem döndürüldüğünde (Şekil 4.8), sürücü kablo kurşun zırhın içinde Radyoizotopun yerleştiği kısmı kılavuz tüp içinden ışınlama ucuna ulaşıncaya kadar yürütür. Kılavuz tüp ve kolimatör, bant veya benzeri bir bağlantı malzemesi ile sıkıca bağlanmalı ve kaynak ışınlama ucuna ulaştığında hareket etmesi önlenmelidir. Kaynağın geriye çekilmesi dişli sistemin geriye çevrilmesi ile yapılır [8].



Şekil 4.8. Bağlantıları Yapılmış Projeksiyon Tipi Konteynerin Kullanımı İçin Düzenlenmesi [8].

4.4. Radyografi Cihazlarında Karşılaşılan Olası Problemler

Üretici firma yönelgelerine uygun olarak radyografik ışınlama cihazları ve yardımcı parçaların düzenli bakımlarının yapılması çok önemlidir. Yapılan bu bakım ve kontrollara ait kayıtlar tutulmalıdır. Işınlama cihazlarının otomatik ve mekanik olarak çalışan parçaları daha çabuk hasar görürler ve bozulan parçalardan dolayı radyasyon kaynağı ışınlama pozisyonunda kalarak sakıncalı durumlara neden olabilir. Radyografik çekim yapan personelin deneyimi ve cihazın el kitapları sayesinde olası hasarlar belirlenerek bunların anında giderilmesi sağlanabilir. Radyografik çekim yapan personelin alacağı dozun en az düzeyde tutulması açısından projeksiyon tipi konteynerlerin çok güvenilir olmasına rağmen birçok olası problemlerle karşılaşmaktadır. Örneğin;

1. Kontrol kablosundaki bir hata veya kılavuz tüp veya ışınlama başı güvenliğindeki arıza nedeni ile sürgü kablosunun ucu dişli sistemine doğru istenmeyen bir şekilde hareket edebilir.
2. Kablo ile taşınan ince kum gibi parçacıklar nedeni ile dişli sistem zor dönebilir veya sıkışarak dönmeyebilir.
3. Kablo veya radyoizopun yerleştirildiği kısmın telleri, bükülür veya dolaşırsa zayıflayarak kırılabilir.
4. Kablo- radyoizopun yerleştirildiği kısım bağlantısı herhangi bir hasar, yırtılma veya kum tanesi nedeni ile ayrılabilir.
5. Kablo yuvası bağlantısı, kötü kullanımdan bozulmuş veya herhangi bir hasar nedeni ile konteynerden ayrılmış olabilir.
6. Kablo yuvası bağlantısı ezilmiş olduğundan kabloyu sıkıştırabilir.
7. Kılavuz tüp veya bağlantısı ezilebilir ve pigtail veya kaynağı sıkıştırabilir.

Bu olası arızaların bilinmesi, gereken önlemlerin alınmasını sağlar [8,4,27].

4.5. Radyoizotopların Zırhlanması ile İlgili Standartlar

Radyografi cihazlarının ISO 3999 koşullarını sağladığı üzerlerinde belirtilmiş olmalıdır - Gama radyografi cihazları (ISO/TC 85.SC 2 N 78) - kalite standartlarına uygun teknoloji ile üretilirse ortaya çıkabilecek problemler en aza iner [8,4].

Konteynerin bu standartlara sürekli olarak uygun olması sağlanmalı, temiz tutulmalı ve üzerindeki üç yapraklı yonca şeklindeki radyasyon uyarı sembolü ve "Radyoaktif" yazısı kolaylıkla okunabilir şekilde bulunmalıdır. Kaynağın güvenliğini sağlayan kilit

sürekli olarak çalışır durumda olmalıdır. Konteynere yeni kaynak yükleneceği zaman kaynak aktivitesi, konteynerin tasarım kapasitesini aşmamalıdır. Örneğin; konteyner üzerinde 4 TBq İridyum-192 yazılı ise, yeni yüklenen kaynağın aktivitesi aşağıdaki doz şiddetlerini sağlamak üzere (P Sınıfı taşınabilir konteyner için) bu değerden fazla olmamalıdır [8].

4.6. Radyografide Radyasyon Güvenliğinin Sağlanması

Yapılacak bütün radyasyon işlemlerinde ışınlama ortamı ve radyasyon çalışanları için maruz kalınan radyasyonun mümkün olan en alt düzeyde tutulması sağlanmalıdır. Bu ilke "ALARA" prensibi olarak bilinmektedir [25].

Radyografi kaynağı ışınlama konumunda iken, kaynak çevresinde geniş bir bölgedeki doz değeri 7,5 $\mu\text{Sv/h}$ 'den daha yüksektir. Radyoizotopun cinsi ve aktivitesi biliniyorsa etkili olabileceği maximum alanın boyutları hesaplanabilir. Bu tip alanlar genelde KONTROLLU ALAN olarak tanımlanır ve radyografik çekim yapan personel ile yetkili yardımcılarının dışında başka personelin bu alana girişi yasaklanmalıdır. Bazı durumlarda çalışma alanında radyografi cihazının durumuna göre kontrollü alanın doz değeri, yukarıda belirlenen doz değerinin üzerinde veya altında olacak şekilde belirlenebilir [8,4,1].

Demet tipi radyografi cihazları ile çalışılırken özellikle ışın demeti yere doğru yönlendirilmiş ise kontrollü alan daha küçük olur. Kontrollü alanın küçük tutulabileceği diğer bir yöntem; radyografisi çekilen parçanın etrafının filmden geçen radyasyonu azaltacak şekilde zırhlamasıdır. Bu tür zırhlamalar için kurşun veya atom ağırlığı yüksek herhangi bir metal kullanılabilir [8,4,1].

Kontrollü alanın sınırlarını belirlemek için yeterli koruyucu engeller ve uyarı işaretleri sağlanmış olmalıdır. Radyasyon Uyarı İşaretleri Şekil 4.9'da görülmektedir. Çevredeki personel ve halkın; kontrollü alan içerisinde yapılan işi ve bölgeye giriş yasağının nedenini anlayabilmesi için uyarı işaret ve levhalarının üzerindeki yazılar Türkçe olarak yazılmalıdır. Bu önlemlere ilaveten kontrollü alana girişi engellemek amacı ile uyarı levhaları ve işaretleri çevresinde yardımcı personel bulundurulmalıdır [8,4,1].

Radyografik çekim yapan personel, yardımcı personeli ve diğer çalışanları, olası bir ışınlanmaya karşı uyarmak için ışınlama öncesi sesli bir uyarı sinyali kullanır. Işınlama sırasında engel ve gözcüleri geçerek kontrollü alana habersiz giren şahısları

uyarmak için ışınlama kaynağının mümkün olduğunca yakınına görülebilir büyüklükte Şekilde 4.8’de gösterildiği gibi bir uyarı levhası, flaşör veya işaretler koyulur. Radyografi çalışması, çevrede, diğer personelin en az bulunduğu zamanda yapılmalıdır [8,4,1].

Radyografik çekim yapan personel, ışınlama konteynerini taşıırken, radyografi çekimi için ön çalışma yaparken, film çekim anında ve çekim yapılan filmleri alırken, çalışma sahasında çalışır durumda bir radyasyon ölçme aleti bulundurmalıdır. Radyografik çekim yapan personel ve yardımcısı kontrollü alana girerken ve ışınlama yaparken personel dozimetrelerini üzerlerinde taşımalıdır. Çalışanların düzenli sağlık kontrolleri (genelde yılda bir) yaptırılmalı ve yıllık olarak maruz kaldıkları doz değerlerinin kayıtları tutulmalıdır. Yıllık toplam vücut dozu izin verilen sınırların üzerine çıkmamalıdır [8,4,1].



Şekil 4.9. Radyasyon Uyarı İşaretleri

5. RADYOGRAFİK GÖRÜNTÜ OLUŞUMU

Radyografi ile bir cisimdeki kalınlık farklılıkları, iç yapıdaki kalıntı ve boşluklar ve diğer süreksizlikler bir film üzerinde görünür hale getirilir. Bu yöntemde malzeme içinden geçen X veya gama ışınları, malzemedeki kalınlık farkları nedeniyle, bu ışınlara duyarlı filmler üzerinde, farklı kararma miktarları yaratır. Radyografik muayenede, görüntü elde etmek için, ışınım kaynağı malzemenin bir tarafına, film ise diğer tarafına yerleştirilir. Malzemeyi kateden ışınlar bir miktar zayıflamış olarak filme ulaşırlar ve onu karartırlar.

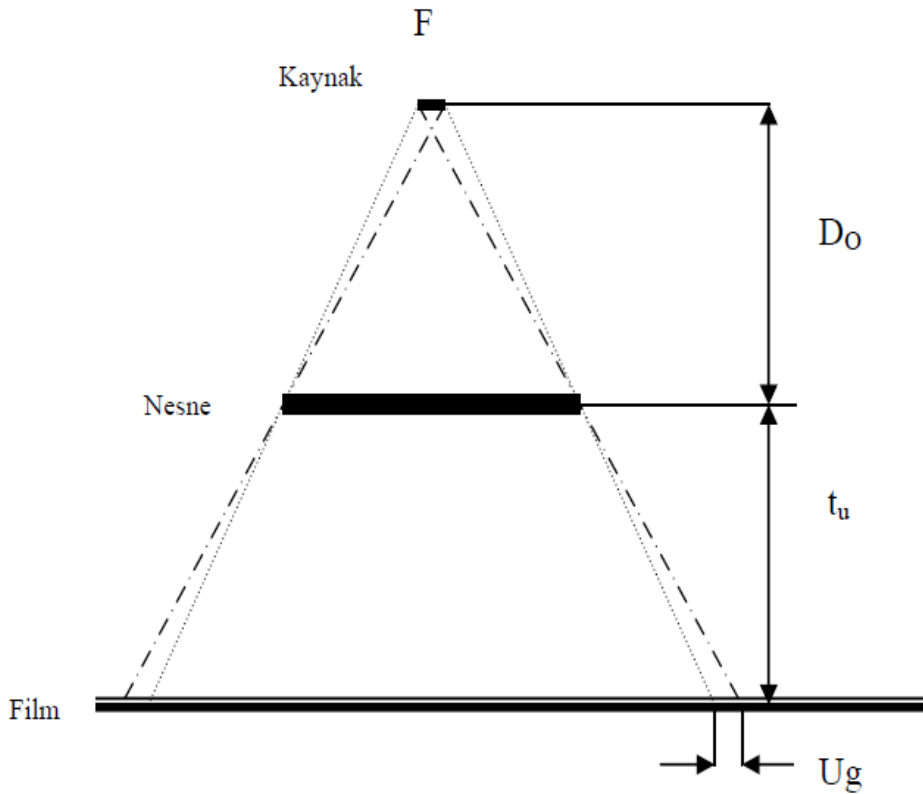
Malzeme homojen bir kalınlığa sahipse, malzemeyi geçerek filme ulaşan ışınlar her noktada aynı ölçüde zayıflamış olurlar ve film üzerinde homojen bir kararma meydana getirirler. Malzeme, farklı kalınlıkta bölgelere sahipse, bu kesitlerden geçen ışınlar kalınlığa bağlı olarak değişik ölçülerde zayıflayarak filme ulaşırlar. Malzeme içindeki bir süreksizliğin (boşluk, çatlak v.b.) ışınlar üzerindeki etkisi, kalınlık değişimelerindeki etki gibidir. Radyasyonun malzeme ile etkileşimi sırasında radyasyonun şiddetinde azalma meydana gelmesi söz konusudur. Girici elektromanyetik radyasyonun zayıflaması soğurma kanunu ile ifade edilir [9, 31]. Elektromanyetik radyasyonun zayıflamasında malzeme kalınlığı ve malzeme cinsi önemlidir. Malzeme içindeki süreksizlik, ışınların geçtiği malzeme kesitini azalttığından, bu bölgelerdeki birincil ışınım daha az zayıflamaya uğrayacak, böylece parçanın arkasına geçen ışınım şiddeti daha fazla olacaktır. Işınım şiddetinin daha yüksek olması bu bölgelerde filmin komşu alanlara oranla daha fazla kararmasına yol açacaktır.

5.1. Radyografi Görüntü Kalite Faktörleri

Radyografin kalitesine etki eden başlıca beş faktör söz konusudur. Bunlar geometrik faktör, radyasyon kaynağı faktörü, film faktörü, ekran faktörü ve poz (ışınlama) süresidir [1, 3, 9, 10].

5.1.1. Geometrik faktör

Bir radyasyon kaynağı nokta kadar sonsuz küçük olamayacağından, radyografik görüntü hiçbir zaman tam net olmayacaktır. Net olmayan bu kenarlara, radyografide yarı gölge denir. Geometrik etkenlerle oluşan yarı gölgenin kontrol edilmesi ve daha net bir film elde edebilmek için, radyasyon kaynağının boyutu küçültülmeli, kaynak – film uzaklığı mümkün olduğu kadar büyük tutulmalı, malzeme filmin üzerine yerleştirilmeli ve radyasyonun filme dik gelmesi sağlanarak önlenir. Şekil 5.1’ de görülen geometri faktörlerinin oluşturduğu yarı gölge genişliği denklem 5.1’deki gibi ifade edilir [1, 3, 9, 10].



Şekil 5.1. Radyografik Görüntü ve Yarı Gölge Oluşum Geometrisi

$$U_g = F \cdot t / D_o - t \quad (5.1)$$

Burada; U_g : Geometrik yarıgölge (mm), F : Kaynak boyutu, D_o : Kaynak malzeme uzaklığı, t : Malzeme kalınlığını ifade etmektedir.

5.1.2. Radyasyon kaynağı faktörü

Radyografa etki eden radyasyon kaynağı faktörleri; kaynağın boyutu, şiddeti ve enerjisidir. Radyografide kullanılan radyasyonun X ışını tüpünden veya radyoizotoptan gelmesi, esas itibariyle radyografik görüntüde herhangi bir değişime neden olmaz. Tüp gerilimi (kV) değiştirilerek X ışınlarının enerjisi değiştirilebilir. Buna karşın, oluşturulan X ışınlarının miktarı, akımı (mA) değiştirerek ayarlanabilir. Bu bağlamda, radyasyonun enerjisi kalite faktörü, şiddeti kantite faktörü olarak ifade edilebilmektedir. Böylelikle, X ışınlarını kalite ve kantite faktörleri X ışını cihazı kumanda kısmından kolaylıkla değiştirilebilmektedir [1, 3, 9, 10].

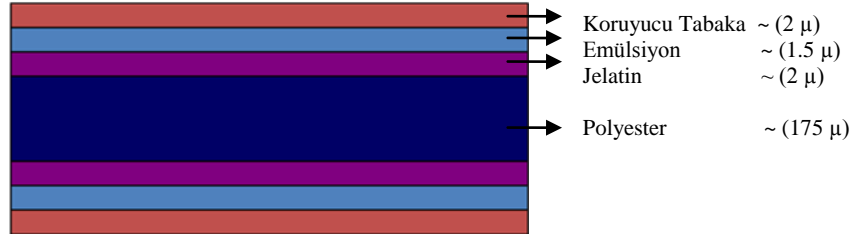
Gama ışınlarının enerjisi veya kalite faktörü, radyoizotop kaynağın enerjisi (MeV) ile ifade edilmektedir. Buna karşın kantite faktörü ise, radyoizotopun aktivitesi (Ci) ile ilgilidir. Gama ışınlarının enerjisi değiştirilmek istendiğinde kaynağın değiştirilmesi, kantite faktörü değiştirilmek istendiğinde ise radyoizotopun aktivitesinin değiştirilmesi gerekmektedir [1, 3, 9, 10].

5.1.3. Radyografik film

Radyografa etki eden film faktörleri; filmin hızı ve emülsiyonunda bulunan AgBr kristallerinin boyutlarıdır. Kristal boyutları filmin kontrast ve tanımına etki eder. Diğer faktörler sabit kaldığında filmin hızı, kristallerin boyutlarıyla ters orantılıdır. Bilinen radyasyon poz süresinde filmin hızının bilinmesi ile film yoğunluğu tayin edilir. Hızlı film daha az poz süresi ister. Fakat endüstriyel uygulamalarda hızlı filmler tercih edilmez. Çünkü bu tür filmlerde tanımlama tam sağlanamaz. Yavaş ve orta hızlı filmler tercih edilir [1, 3, 9, 10].

Şekil 5.2’de radyografik filmin hangi tabakalardan oluştuğu şematik olarak gösterilmektedir. Film tabanı olarak, saydam asetat veya polyester kullanılır. Filmlerin iki tarafı da elektromanyetik radyasyona ve ışığa duyarlı emülsiyonla kaplanmıştır. Filmin iki tarafının da emülsiyon tabakası ile kaplı olması poz süresini kısaltır ve daha ekonomik sürede film çekmemize olanak sağlar. Bu duyarlı emülsiyon tabakası genellikle gümüş halojenür kristalleri içeren sodyum bromidden meydana gelir. Filmin en dış tabakası ise emülsiyon tabakasını, çizilme ve hasarlara karşı koruyan jelatin tabakasıdır. Film üzerindeki gizli görüntü AgBr kristallerinin elektromanyetik radyasyon tarafından iyonize edilmesi sonucu oluşur. Ancak bu görüntü geliştirilmeden görünür hale gelmez. Filmin banyosu esnasında, AgBr

tanecikleri siyah metalik gümüş taneciklerine indirgenerek gizli görüntü görünür hale gelir [1, 3, 9, 10].



Şekil 5.2. Filmin yapısı.

Elektromanyetik radyasyona maruz kalmış (x ve gama ışınları ile pozlanmış) her gümüş taneciği görüntünün oluşmasına katkıda bulunur. Bir taneciğin kısmi pozlanması diye bir şey söz konusu değildir. Filmdeki koyu veya açık olan bölgelerin, o alandaki pozlanmış gümüş taneciklerinin sayısını gösterir. Ne kadar çok sayıda gümüş taneciği etkilenmişse, film o kadar koyu olur. Çalışma esnasında filmlere azami dikkat gösterilmelidir. Küçük dikkatsizlikler, büyük zahmetlerle çekilmiş bir filmin yeniden çekilmesine neden olabilir [1, 3, 9, 10].

Film çeşitleri, AgBr tanelerinin boyutuna göre sınıflandırılabilir;

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

Hızlı filmler iri taneli yapıya sahip olduklarından tane yapıları çıplak gözle dahi görülebilir. İnce taneli filmlerin tane yapısı ancak güçlü bir büyüteç yardımıyla görülebilir. İri taneli filmlerle çekilen radyografda detaylar kaçırılabilir. Endüstriyel uygulamalarda hassas çekimler yavaş, rutin çekimler orta hızlı filmlerle yapılır. Film cinsi radyografik kaliteyi etkileyen önemli bir etkendir [1, 3, 9, 10].

Kullanılan film ve ekranlara göre elde edilen kontrast esas olarak film yoğunluğuyla belirlenir. Film yoğunluğu arttıkça görüntü kalitesi artar. Film yoğunluğu filmin kararına derecesinin sayısal ölçüsüdür ve filmin ışık geçirgenliği ile ölçülür. Film yoğunluğu matematiksel olarak Eşitlik 5.1'deki gibi gösterilmektedir [1, 3, 9, 10, 35].

$$D = \log (I_0 / I) \quad (5.1)$$

D = Filmin yoğunluğu,

I_0 = Filmin üzerine gelen ışık şiddeti,

I = Filmi geçen ışık şiddetidir.

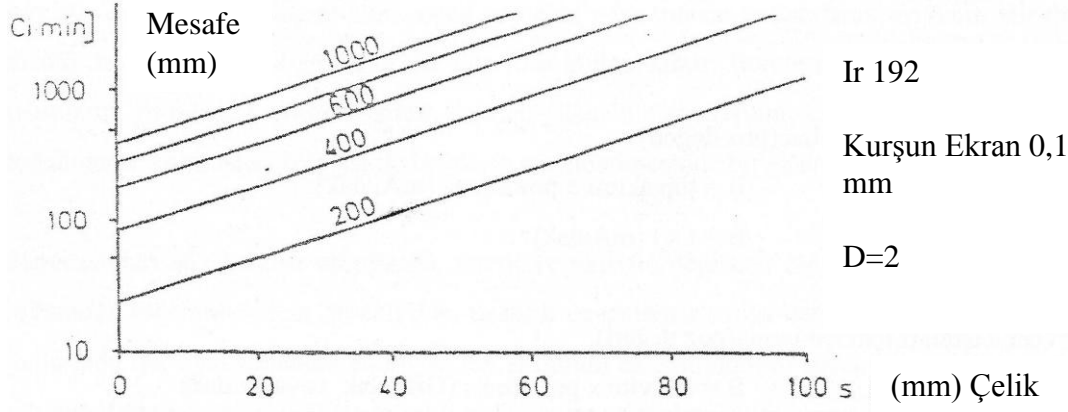
5.1.4. Ekran faktörü

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.[1, 3, 9, 10]

Film üzerine gelen radyasyonun etkisini artırmak için ön ekranlar kullanılır. Gerçekte film üzerine gelen radyasyonun ancak % 1 kadarı filme etki eder. Geri kalan kısmı filmi etkilemeden geçer. Ön ekran kullanıldığında, ekrana gelen radyasyon, ekran atomlarından elektron koparır (foto elektron), bu elektronlar filme etki eder. Bu ikinci etki daha büyüktür ve bu elektronlar sayesinde radyasyonun film üzerindeki etkisi 2-3 kat artar. Bu nedenle ön ekranlar, kuvvetlendirici ekran adı da alır. Endüstriyel radyografide ön ekran olarak metal ekranlar kullanılır. Yaygın olarak kullanılan metal ekranlar, kurşun, yüksek enerjilerde ise çelik veya bakırdır. Zeminden veya başka yerlerden saçılarak film üzerine gelen radyasyonu önlemesi bakımından arka ekranlar kullanılır. Arka ekranlar ön ekranlara göre biraz daha kalın olmalıdır. Uygulamalarda ekranlar; karton, plastik ve metalden yapılan kasetler içerisinde kullanılmaktadır. Kasetlerin ana görevi, filmi ışıktan korumak ve zarar görmesini önlemektir [1, 3, 9, 10].

5.1.5. 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. Herhangi bir malzemedan yapılmış belli bir kalınlıktaki muayene parçasının poz süresini hesaplamak için Şekil 5.3’de görüldüğü gibi Poz Çizelgeleri kullanılır. Bu çizelgeler farklı film türleri, gama ve X ışını cihazları, film-odak mesafesi, belli bir yoğunluk 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 saptanabilir. Bu çizelgeler genellikle çelik malzeme için hazırlanırlar ancak çelik dışında bir malzemenin çekimi yapılması gerektiğinde de kullanılabilirler [1, 3, 9, 10].



Şekil 5.3. Ir - 192 için poz tablosu [3].

5.2. Görüntü Kalite Göstergeleri (Penetremetreler)

Penetremetreler radyografik kalite seviyesini (hassasiyetini) tayin etmek için kullanılan diğer bir deyişle kullanılan tekniğin yeterli olup olmadığını radyograf üzerinde belirlemeye yarayan ve görüntüsü film üzerinde gözükken bir elemandır [1, 3, 9].

Radyografi tekniğinin yeterli olup olmadığını kontrol etmek için, standart bir muayene parçası genelde her radyografa eklenir.

Görüntü kalite göstergeleri çeşitli çaplarda teller veya çeşitli çaplardaki delik açılmış metal levhalar ya da basamaklı levhalar halindedir. Basamakların kalınlığı veya delik ve tellerin çapı T ile ölçülür. Burada T malzeme kalınlığının % 2'sine eşittir. Örneğin içinde T, 2T ve 3T çapında üç delik olan metal levha kullanılır. Penetremetreler normal olarak muayene edilen parçanın üzerine, kaynak tarafına yerleştirilir [1].

5.2.1. Delikli tip penetremetreler

ASTM dizaynı penetremetrelerdir. Bu penetremetreler üç delikli dikdörtgen şeklinde bir metalden yapılmıştır. Penetremetreler üzerlerindeki kurşundan yapılmış rakamlarla tanınırlar. Kurşun harflerle yazılmış bu sayı penetremetre kalınlığının 1000 katıdır. Penetremetre, muayene edilen muayene malzemesi ile aynı malzemeden yapılır ve genellikle malzeme kalınlığının % 2 si kadar bir kalınlığa sahiptir. [1]

Standart bir penetremetrenin kalınlığı (T), penetremetreyi tanıma işaretinin gösterdiği kalınlığın yüzde ikisidir. Delik çapları A : 2T , B:T , C: 4T dir. Standart penetremetre boyutları aşağıda Çizelge 5.1'de verilmiştir [1, 3, 33].

Çizelge 5.1. Standart Delikli Tip Penetremetre Ölçüleri [1]

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

5.2.2. Telli penetremetreler

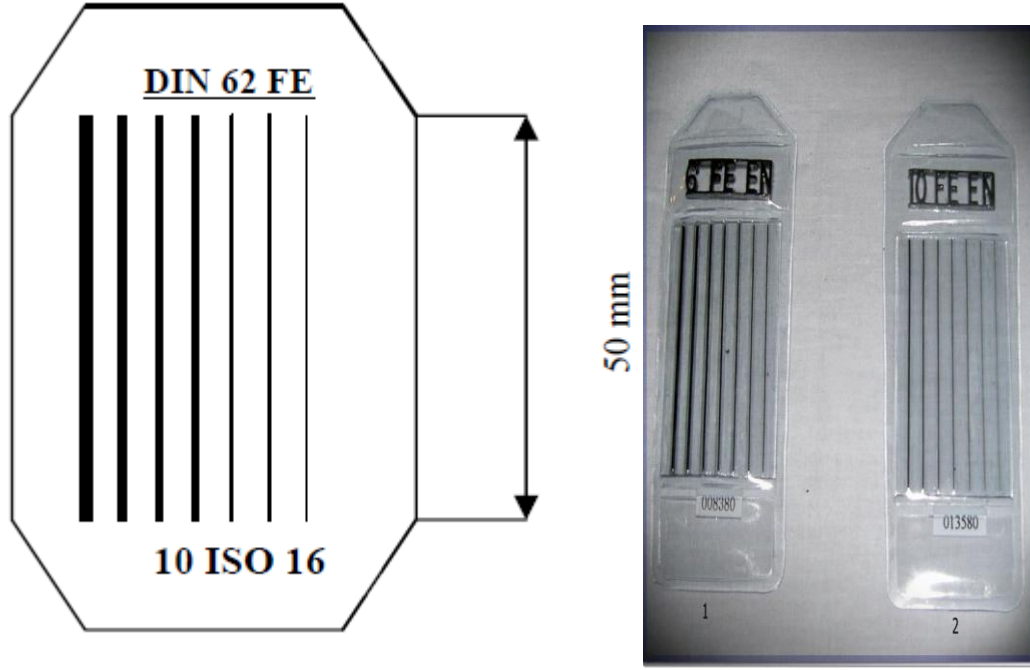
Almanya’da TS EN 462-1 normu ile telli penetremetreler standartlaştırılmıştır. Bu penetremetreler plastik bir muhafaza ile kaplanmış ve birbirine paralel farklı çaplarda bir çok telden meydana gelmiştir. En kalın tel 3,2 mm’den başlar ve çap geometrik olarak azalarak 0,1 mm’ye kadar iner. Şekil 5.4’de telli penetremetre, Çizelge 5.2’de ise tel kalınlıklarına ait bilgiler görülmektedir [1, 3].

Telli penetremetre ile radyografik hassasiyetin tayini yapılırken muayene edilen malzeme görüntüsünün ilgilenilen kısımda görülebilen en ince telin görüntüsü tespit edilir. Bulunan bu tel çapı o noktadaki muayene parçasının kalınlığına oranlanır [1,3, 33].

$$\text{Hassasiyet (\%)} = (a / b) \times 100 \quad (5.2)$$

a: Görülebilen en ince tel çapı (mm)

b: Test parçasının kalınlığı (mm)



Şekil 5.4. Tel tipi penetremetre [21].

Bu şekilde, DIN 62 standardın kabul edildiği yılı, FE penetremetrenin yapıldığı malzemeyi, 10 ISO 16, Uluslararası Standartlar Enstitüsü işareti ISO ile en kalın ve en ince tel numaralarını gösterir. Toplam 16 farklı çaptaki telden oluşur (Çizelge 5.2). Her grupta birbirini takip eden 7 tel numarası vardır [1,16, 17].

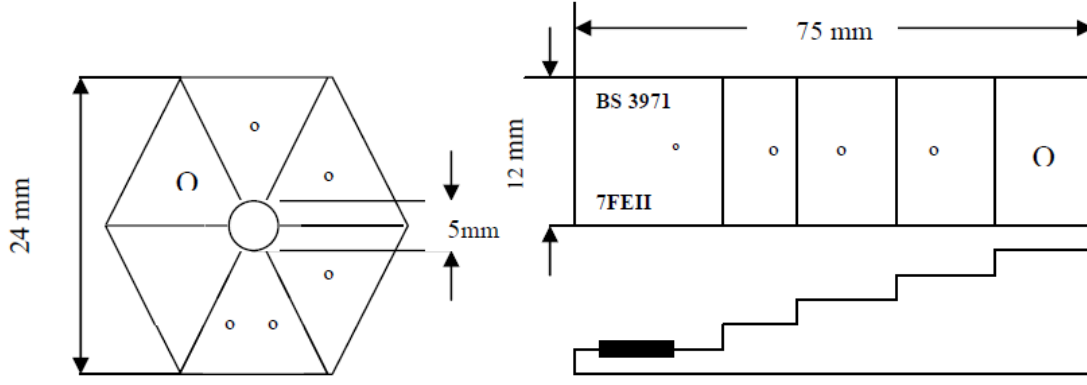
Çizelge 5.2 : EN 462-1 Görüntü Kalite Göstergesi Ölçüleri.

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

5.2.3. Basamaklı penetremetre

Basamaklı penetremetreler, Şekil 5.5'te görüldüğü gibi çeşitli kalınlıkta basamaklardan oluşan penetremetrelerdir. BS 3971'e göre imal edilmiş basamaklı penetremetreler basamaklarda, basamak düzlemine dik ve basamak kalınlığına eşit çapta bir veya iki delik bulunur. Deliklerin basamak kenarından olan uzaklığı yaklaşık 3 mm dir. Basamak ve delik çapı Çizelge 5.3'de verilmiştir. [1]

Basamaklı penetremetrelerde hassasiyet, film üzerinde görülen en küçük deliğin çapının numune kalınlığına oranının yüz ile çarpımına eşittir [1].



Şekil 5.5. İngiliz basamaklı penetremetre.

Çizelge 5.3. İngiliz penetremetresinin basamak kalınlıkları ve delik çapları

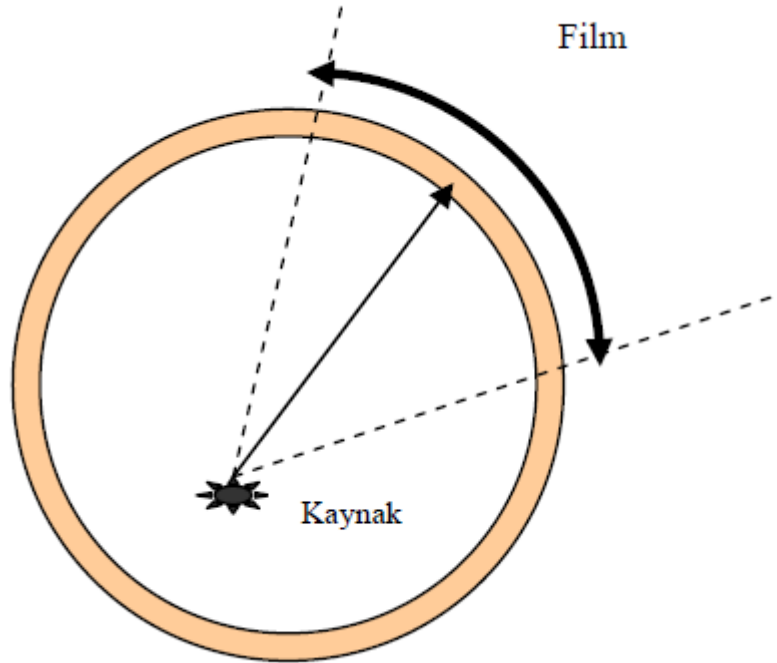
Basamak no	Çap ve basamak kalınlığı (mm)	Basamak no	Çap ve basamak kalınlığı (mm)
1	0,125	10	1
2	0,16	11	1,25
3	0,2	12	1,6
4	0,25	13	2
5	0,32	14	2,5
6	0,4	15	3,2
7	0,5	16	4
8	0,63	17	5
9	0,8	18	6,3

6. ÇELİK BORULARDA RADYOGRAFİK GÖRÜNTÜ OLUŞTURMA

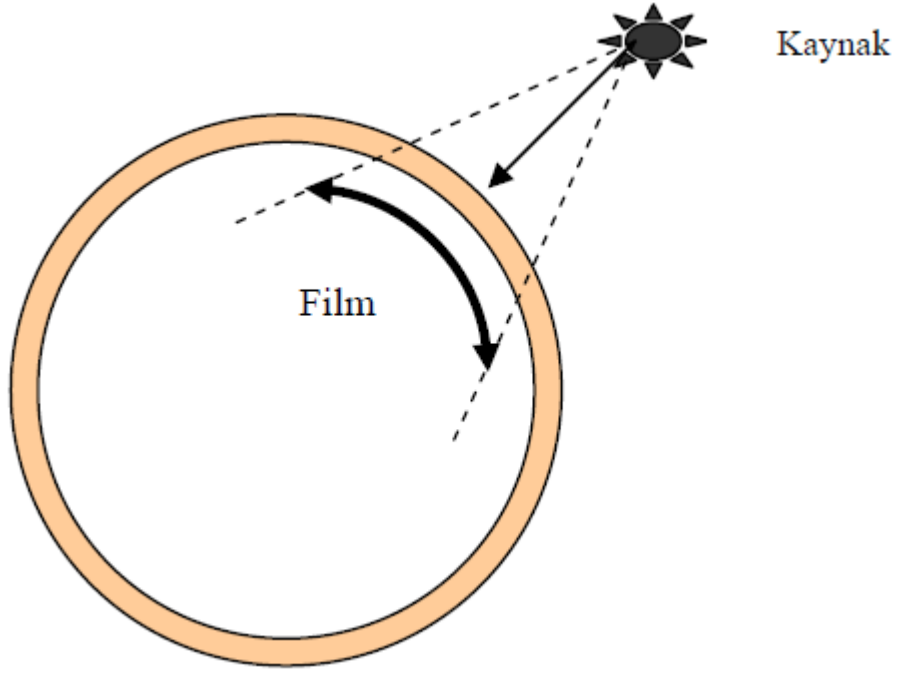
TEKNİKLERİ

6. 1. Tek cidar tekniği

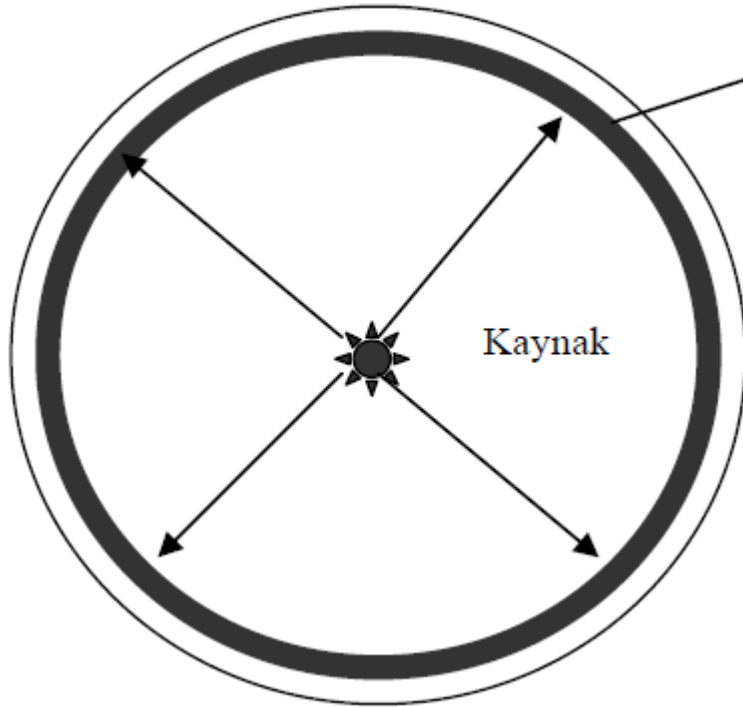
Tek-cidar tekniğinde radyasyon; radyografıta görünmesi istenen sadece bir cidardan geçer. Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3’de boru dış çapı > 89 mm olan malzemelerde bu çekim teknikleri uygulanabilir [11, 14, 18].



Şekil 6.1. Film Dışarıda, Radyasyon Kaynağı İçerde Tek Cidar Işınlama



Şekil 6.2. Film İçerde, Radyasyon Kaynağı Dışarıda Tek Cidar Işınlama



Şekil 6.3. Film Dışarıda, Radyasyon Kaynağı Parçanın Merkezinde Tek Cidar Işınlama

6.2. Çift cidar tekniği

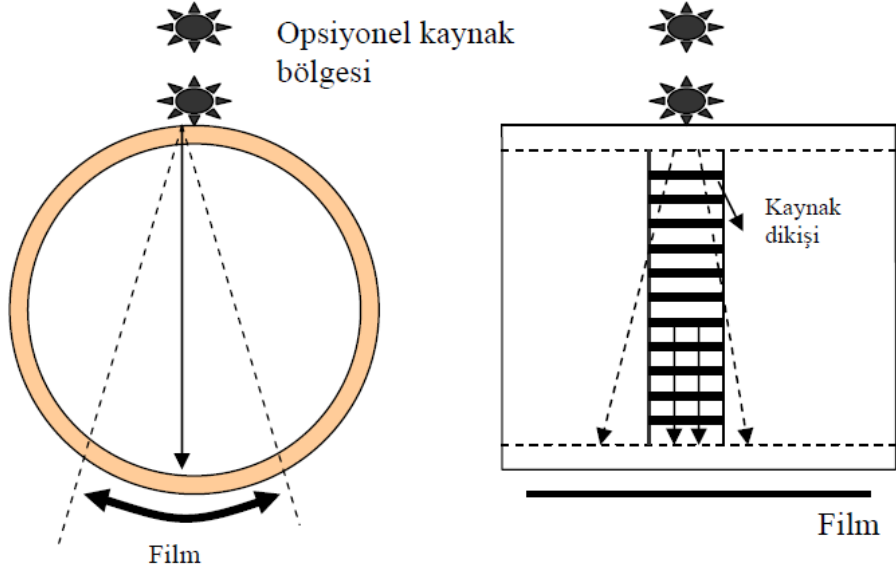
Tek cidar tekniğini kullanmak pratik değilse aşağıdaki çift cidar tekniklerinden biri uygulanacaktır;

Tek-cidar görüntüsü ; malzemelerdeki kaynaklar için radyasyonun her iki cidardan geçtiği sadece film tarafındaki cidarda bulunan kaynağın (veya malzemenin) radyograf üzerinde kabul için izlenebildiği bir teknik kullanılabilir. Çevresel kaynakların tamamını kapsaması istenildiğinde en az 120° aralıkla üç ışınlama yapılacaktır (Şekil 6.4). Boru dış çapı > 31/2 inç (89 mm) olan malzemelerde bu çekim teknikleri uygulanabilir [11, 14,18].

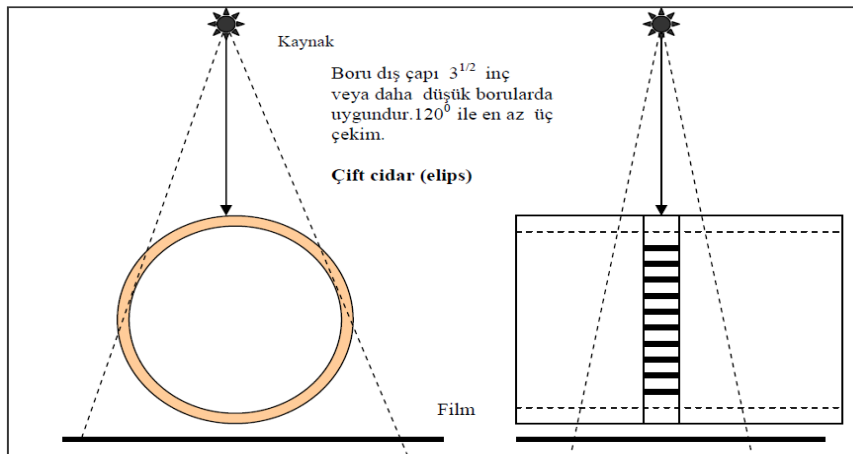
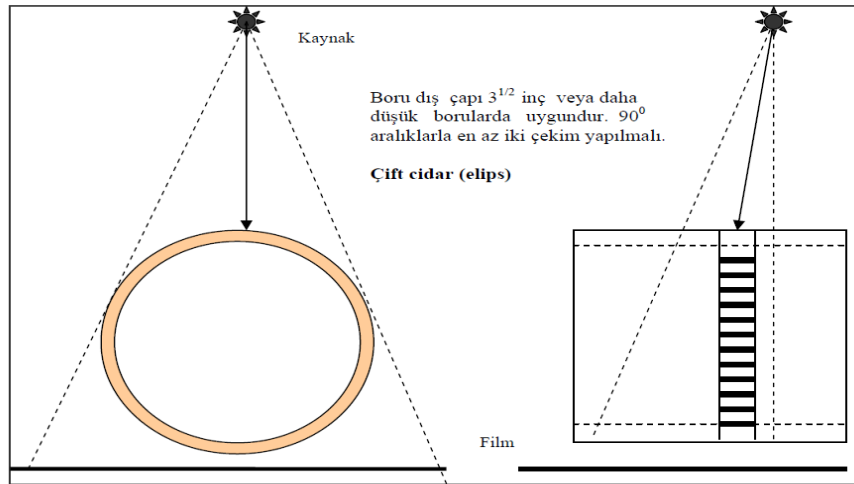
Çift - cidar görüntüsü; nominal dış çapı 31/2 inç (89 mm) veya daha az olan malzemelerde ve parçalardaki kaynaklarda radyasyonun her iki cidardan geçtiği ve her iki cidardaki kaynağın aynı radyograf üzerinde kabul için izlenebildiği bir teknik kullanılabilir (Şekil 6.5). Çift-cidar görüntü için sadece kaynak tarafı penatremetre kullanılacaktır. İstenilen geometrik düzgünlük değerinin aşılmadığından emin olmak için dikkat edilmelidir. Eğer geometrik düzgünlük şartı sağlanamaz ise tek cidar görüntüsü uygulanmalıdır [11,14, 18].

Kaynaklar için; değerlendirme yapılacak bölgede bindirme olmaması için radyasyon ışını, kaynak düzleminde (film ve kaynak tarafı görüntülerini ayırmak için yeterli olacak bir açıda) kaçırılabilir. Kaynağın tamamının kontrolü istenildiğinde her bir birleştirme için birbirinden 90° farklı en az iki ışınlama yapılacaktır. [11, 14 18]

Alternatif olarak; kaynak, her iki cidarın (kaynak tarafı ve film tarafı) görüntüsü üst üste gelecek şekilde radyasyon ışını pozisyonlandırılarak radyografi alınabilir. Kaynağın tamamının kontrolü istenildiğinde; her bir dikiş için birbirine 60 derece veya 120 derece aralıkla yapılmış en az üç ışınlama yapılacaktır [11, 14 18].



Şekil 6.4. Film ve Radyasyon Kaynağı Dışarıda Çift Cidar - Tek Görüntü Işınlama Teknikleri.



Şekil 6.5. Film ve Radyasyon Kaynağı Dışarıda Çift Cidar – Çift Görüntü Teknikleri

6.3 Film Banyolama

Radyografik çalışmalardan sonra banyolama işlemi, ışınlanmış bir filmde oluşan gizli görüntüyü ortaya çıkarmak için bir seri kimyasal işlemin uygulanmasıdır. Radyografik görüntünün, görünür imaj haline getirilmesi için banyolama işlemi gerçekleştirilerek birkaç aşamada görüntü elde edilir. Geliştirme banyosu işlemi gizli imajda bulunan gümüş iyonlarının görünür siyah metalik gümüşe çeviren kimyasal bir reaksiyondur. Kimyasal malzeme içinde indirgeyici ve solvent bulunur ve indirgeyici malzemenin görevi gerekli elektron transferinin gerçekleştirilmesi ile gerekli kimyasal süreci sağlamaktır. Solvent malzeme olarak genellikle şebeke suyu kullanılmaktadır ve geliştirici çözeltisinin %80'ini içermektedir. Geliştirme işlemi, geliştiricinin pH seviyesi (9.5 – 11.5), sıcaklık ve reaksiyon süresi gibi etkenlere bağlı olarak gerçekleştirilir. Geliştirme süresinin artması durumunda film kontrastı düşmektedir. Bu süre film üreticilerince belirtilmekle birlikte $20\pm 2^{\circ}$ C için yaklaşık olarak 5 dakikadır. Durdurma banyosu, %2-3 su ile asetik veya sitrik asit çözelti yardımıyla geliştirme sürecinin durdurulması işlemidir. Genellikle 30 sn ile 1 dakika arasında tamamlanır. Tesbit banyosu, gümüş tuzlarının film üzerinden uzaklaştırılması amacıyla gerçekleştirilmektedir ve pH oranı 4-4.5 civarında asidik ortamda gerçekleştirilir. Sodyum thiofosfat (Hypo) ya da amonyum fosfat tuzları bu amaçla kullanılır. Yıkama banyosu; en son aşama olup, film su ile yıkanmakta ve film üzerindeki tuz çözeltileri ve diğer kimyasal artık malzemeleri uzaklaştırılmaktadır [6].

7. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

DSİ ve İSKİ Melen Çayı'nın önüne bir set yaparak su havzası oluşturmuş ve bu proje kapsamında, İstanbul'a suyun pompalanacağı bölge, Melen'in Karadeniz'e ulaşmak için geçtiği son belde olan Ortaköy olarak seçilmiştir (Şekil 7.1). Melen Çayı projesi, birden çok sözleşme paketi ile imalatı devam etmekte ve aşamalı olarak yürütülmektedir. Su depolarında biriktirilen suyun Melen'den İstanbul'a (Ömerli Barajı'na) gelmesini sağlamak için, 157 kilometrelik alana ~ 2,5 metre çapında çelik boruların döşenmesi çalışmaları devam etmektedir. Ortaköy'den döşenmeye başlayan borularla gelecek olan su önce Ağva'ya, ve daha sonra Ömerli'ye, buradan da Kağıthane Su Depolarına'na akıtılacaktır. Ömerli Barajı'na ulaşan Melen Suyu'nun Avrupa yakasına getirilmesi için bu proje kapsamında, İstanbul Boğazı'na boru hattı döşenmesi devam etmektedir (www.dsi.gov.tr/bolge/dsi14/insa.htm#SP-7). Bu tez çalışması kapsamında radyografik muayenesi yapılan borular, Ayazağa - Kağıthane arasında döşenmiş olan içme suyu borularıdır.



Şekil 7.1. DSİ Büyük İstanbul Melen İçme Suyu Projesi Güzergahı.

Radyografik incelemesi yapılan çelik borular St 52-3 kalitesinde çelikler olup kimyasal bileşenleri Çizelge 7.1' de arz edilmektedir.

Çizelge 7.1. Radyografik incelemesi yapılan çeliğin kimyasal bileşimi (%)

Fe2 97,68	C .189	Si .509	Mn1 1.13	P .017	S .0134	Cr1 .030	Mo .001
Ni3 .015	Al .048	As .005	B .0005	Co .009	Cu1 .026	Nb .008	Pb1 .00
Sn .021	Ti .00	V1 .014	W .055				

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında radyografik incelemesi yapılan çelik boruların kaynaklı birleştimelerinde kullanılan kaynak telinin özellikleri ise Çizelge 7.2’de arz edilmektedir.

Çizelge 7.2. Megafil 713 R kaynak telinin özellikleri

Tipik Kimyasal Bileşim (%)				
C	Mn	Si	p	Ni
0.05	1.3	0.5	<0.015	<0.015
Mekanik Özellikleri				
Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Darbe Enerjisi ISO-V (J)	Uzama (I _o =5d _o) (%)	
> 460	550-650	-20° C: > 60 -20° C: > 60	>22	

7.1 Radyografik incelemesi yapılan çelik boru örneklerinin mekanik test sonuçları

7.1.1 Çekme Testi

14 mm kalınlıktaki kaynaklı çelik boru örneklerinin çekme testi sonuçları EN 10002 ye göre, 22 °C de ve 749 mmHg basınçta ve % 47 nispi nem şartlarında yapılmış olup ölçme belirsizliği +- %1,62 dir. Elde edilen test sonuçları aşağıdaki Çizelge 7.3’te arz edilmektedir.

Çizelge 7.3. Kaynaksız Numunenin Çekme Testi Sonuçları

Numune No	Boyutlar (mm)		Ölçme Boyu L _o	Akma Dayanımı kp/mm ² (Mpa)	Çekme Dayanımı kp/mm ² (Mpa)	Uzama (%)
	a	b				
1	13,62	40,47	130	37,73 (269,9)	56,27 (552,0)	28,4

Radyografik incelemesi yapılan 14 mm kalınlıkta ve st 52-3 özellikli kaynaklı numunenin çekme testi sonuçları EN 895 standardına uygun olarak, 22 0C de, 749 mmHg basınçta ve %47 nispi nem şartlarında yapılmış olup ölçme belirsizliği +- %1,62 dir. Elde edilen test sonuçları aşağıdaki Çizelge 7.4'te arz edilmektedir.

Çizelge 7.4. Kaynaklı Numunenin Çekme Testi Sonuçları

Numune No	Boyutlar (mm)		Çekme Dayanımı (Rm) kp/mm ² - (MPa)	Açıklama
	a	b		
1	13,66	39,55	56,67 - (555,9)	Numune ana malzeme bölgesinden koptu.
	13,59	39,79	56,88 - (558)	Numune ana malzeme bölgesinden koptu.

7.1.2 Darbe Testi

Radyografik incelemesi yapılan 14 mm kalınlıkta ve st 52-3 özellikli numunenin darbe testi sonuçları TS EN 10045 standardına uygun olarak, 22 0C de, 749 mmHg basınçta ve %47 nispi nem şartlarında yapılmıştır. Test cihazının enerjisi 300 J'dür. Darbe testinde standart V çentikli örnekler kullanılmıştır. Ölçme belirsizliği kırma enerjisi için +- %1,15, darbe tokluğu için +- %1,62'dir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 7.5'te arz edilmektedir.

Çizelge 7.5. Darbe Testi Sonuçları

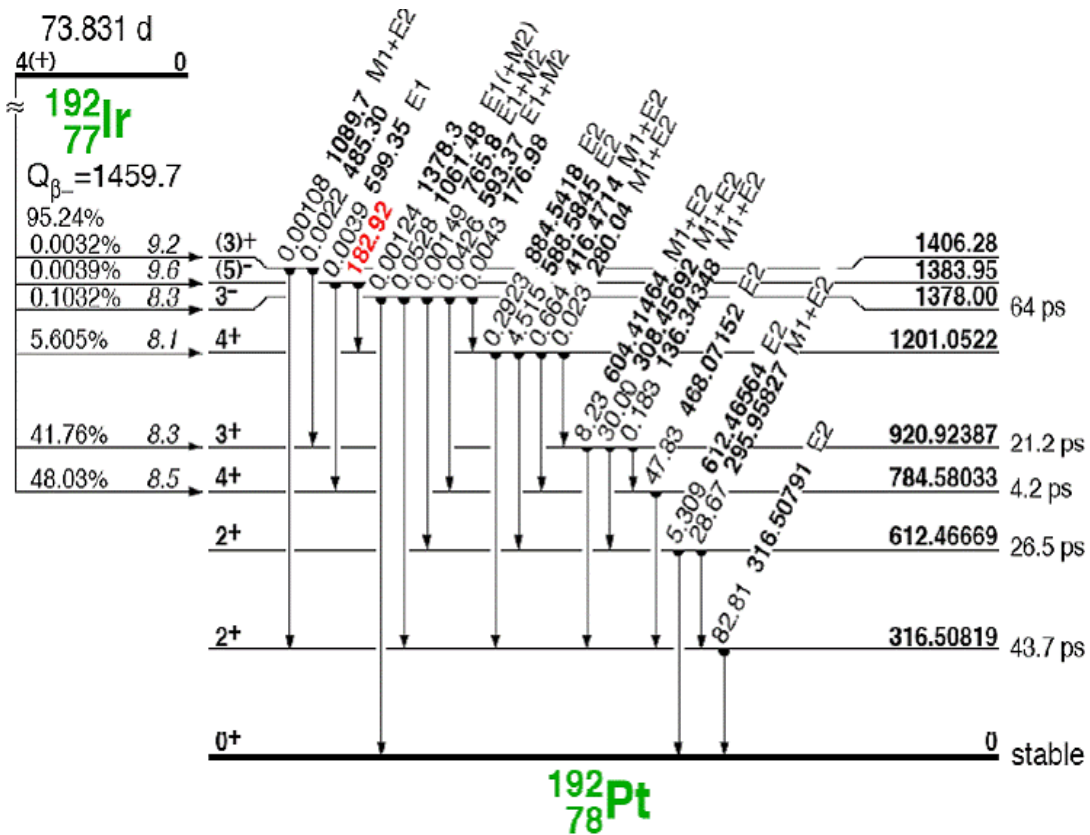
Numune No	Boyutlar (mm)		Test Sıcaklığı	Kırma Enerjisi Kp.m (J)	Darbe Tokluğu Kp.m/cm ² (J/cm ²)
	H (mm)	W (mm)			
1	7,82	9,93	Ortam Sıcaklığı	9,9 (97,1)	12,75 (125,0)
	7,87	9,89		10,6 (104,0)	13,62 (133,6)
	7,86	9,92		10,9 (106,9)	13,98 (137,1)

7.2 Çalışılan Ir-192 Radyoizotopunun Tanıtımı

İridyum 192 (Ir-192) radyoizotopunun radyografik metodlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ir-192'nin yarılanma ömrü 74 gündür. [1]

Ir-192 radyoizotopundan yayınlanan gama ışınlarının yüksek enerjili fotonlara sahip olması, bu radyoizotopun nakil hatlarındaki boruların muayenesinde tercih edilerek kullanımına neden olmaktadır. Ir-192 radyoizotopundan, yayınlanan fotonların enerjisi Çizelge 7.6'da sunulmuştur. [6]

Çizelge 7.6 : Ir-192 radyoizotopunun bozunum şeması [41].

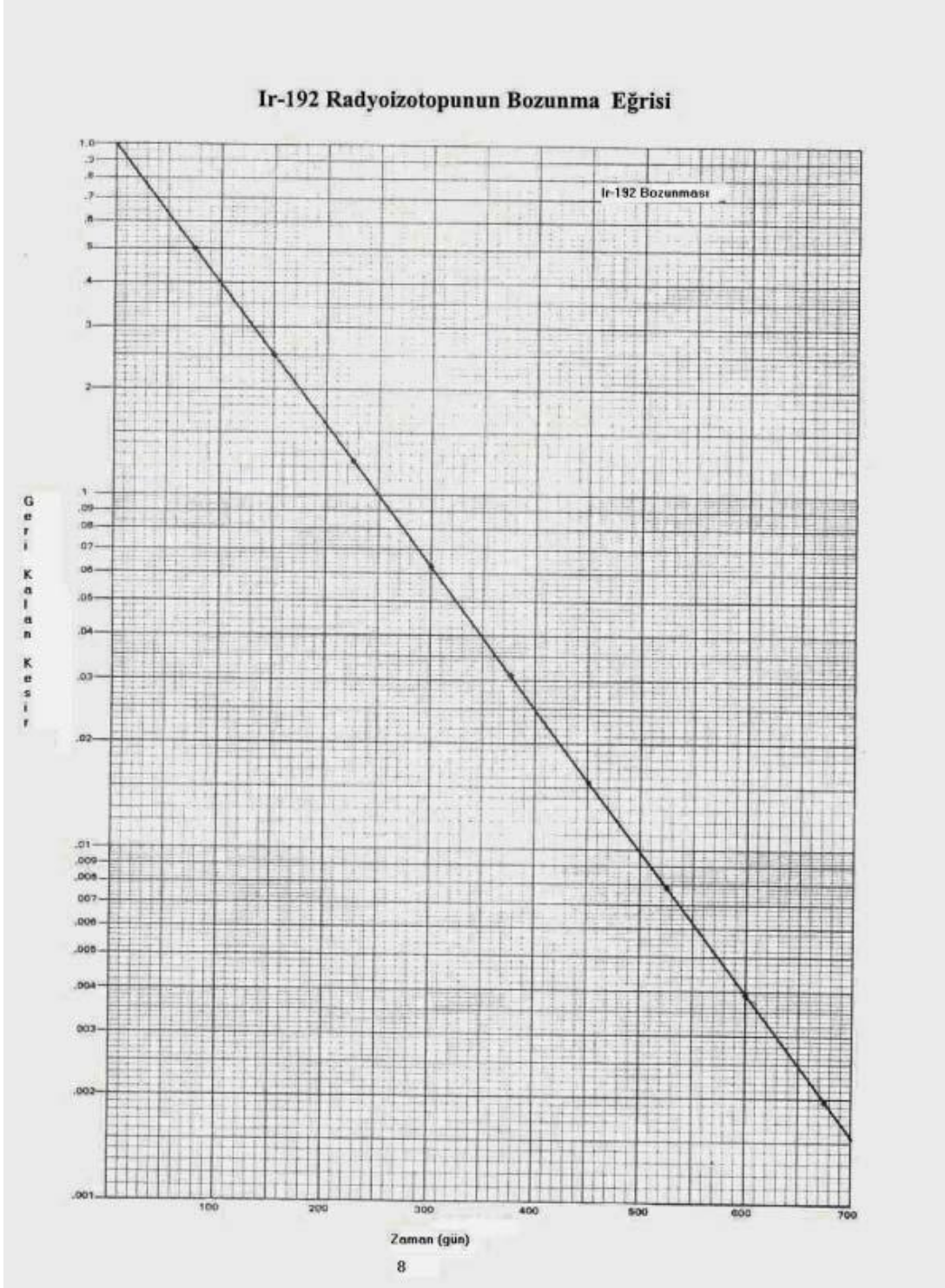


Ir-192 radyoizotopu, Co-60 ve Cs-137 gibi diğer radyoizotoplara nazaran, yukarıda belirtilen düşük enerji seviyesi nedeniyle, daha düşük zırhlama gerektirmektedir. Dolayısıyla daha hafif ve elle taşınabilir ekipmanlarda bulunmaktadır. Bu tez kapsamında kullanılan Ir-192 radyoizotopunun görüntüsü Şekil 7.2'de arz edilmektedir. Radyografik çalışmalarda kullanılan Ir-192 radyoizotopunun aktivitesi, radyografik çekimi yapılan parçaların görüntü kalitesi ve radyasyon güvenliği açısından, ~ 50 Ci olması tercih edilmektedir [6].



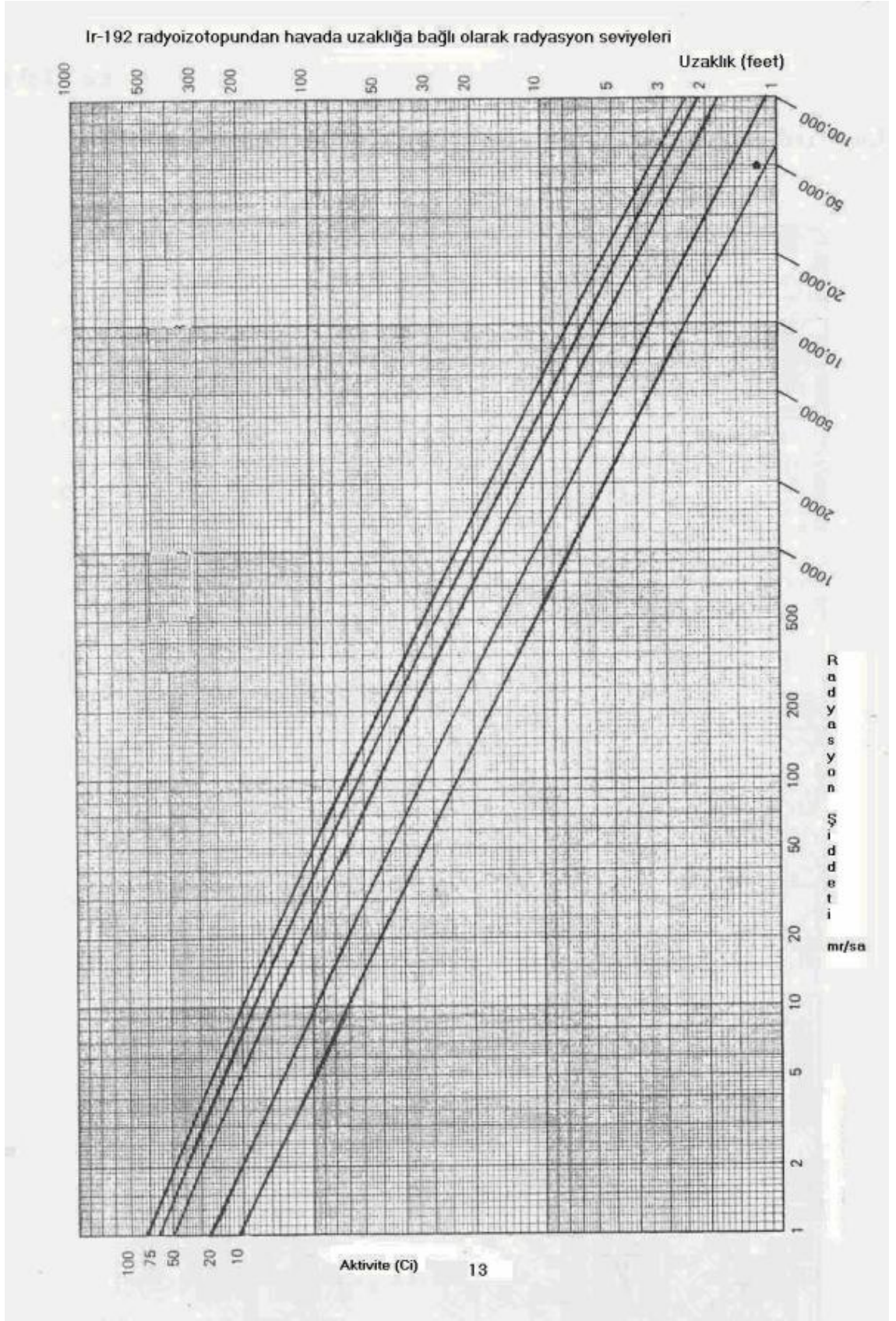
Şekil 7.2. Bu Tez Kapsamında Kullanılan Ir-192 Gamagrafi Cihazının Görüntüsü

İridyum metali, platinyum ailesinden olup, oldukça sert bir metaldir. Özgül ağırlığı 22.4 gr/cm^3 ' dir ve genellikle doğadaki izotopik bolluğu Ir-191 (%38) ve Ir-193 (%62) şeklinde olup, iki izotopu mevcuttur. Nükleer reaktörde nötron bombardımanı neticesinde Ir-192 ve Ir-194 oluşmaktadır. Dolayısıyla kısa yarıömürlü Ir-194 radyoizotopunu elimine edilebilmekte ve birkaç gün sonra aktivite ölçümleri yapılmaktadır. Ir-192 beta emisyonu yaparak Pt-192 ve elektron yakalayarak Os-192 meydana gelmektedir. Bu iki reaksiyon neticesinde kararlı metaller oluşabilmektedir. [6]. Ir-192 radyoizotopunun bozunma eğrisi Şekil 7.3'de arz edilmektedir.



Şekil 7.3. Ir-192 Radyoizotopunun Bozunma Eğrisi [12].

Ir-192 radyoizotopundan yayınlanan gama fotonlarının havada uzaklığa bağlı değişimi Şekil 7.4’de verilmektedir.



Şekil 7.4. Ir-192 Radyoizotopundan Yayınlanan Fotonların Havada Uzaklığa Bağlı Değişimi [12].

7.3. Deneyde Kullanılan Film Çekim Geometrisi

Radyografik çekimlerde kullanılan Ir-192 radyoizotopunun, kumanda mekanizması Şekil 7.5'te, aksesuarları (kumanda kablosu, ışınlama ucu) Şekil 7.6'da ve zırh kabı Şekil 7.7'de görülmektedir.



Şekil 7.5. Ir-192 Radyoizotopunun Kumanda Mekanizması.



Şekil 7.6. Ir-192 Radyoizotopunun kumanda kablosu ve ışınlama ucu.



Şekil 7.7. Ir-192 Radyoizotopunun Zırh Kabı.

Bu çekim pozisyonunda ışın kaynağı kaynaklı borunun merkezine sabitlenerek, film bir referans noktası alınarak çepeçevre dikişin üzerine yapışacak şekilde yapılarak sarılmıştır. Tek ışınlama ile film elde edilmiştir. Ayazağa-Kağıthane güzergahında döşenen içme suyu borularındaki gazaltı kaynağı ile yapılan kaynakların radyografik muayene ile incelenmesi için yapılan çelik borunun görünümü Şekil 7.8’de arz edilmektedir..



Şekil 7.8. Çekim yapılacak kaynaklı borunun görünümü.

Radyografik çekim yapılmadan önce kaynaklı bölgenin üstü temizlenerek çekim yapmaya uygun hale getirilmiştir. Çekim yapılacak kaynaklı bölgenin yandan görünümü Şekil 7.9’da gösterilmektedir.



Şekil 7.9. Çekim yapılacak kaynaklı borunun kaynağının görünümü.

Çekim yapılmadan önce kaynak hatalarının yerini tespit etmek için şerit metre yerleştirilmiş, daha sonra radyografik kurşun ekran içindeki filmin kaynak üzerine yerleşimi Şekil 7.10’da görüldüğü üzere yapılmıştır.



Şekil 7.10. Kurşun ekran içindeki radyografik filmin kaynak üzerine yerleşimi.

Bu çalışma sırasında Şekil 7.11’deki gibi kurşun ekran içerisinde hazır olarak paketlenmiş filmler kullanılmıştır.



Şekil 7.11. Radyografik çekim için kullanılan film.

Yeterli uzunluktaki film, uç kısımları ışık almayacak şekilde kapatılarak radyografik çekim yapılacak kaynaklı bölgenin üzerine Şekil 7.12’deki gibi sarılmıştır.



Şekil 7.12. Radyografik çekim için kullanılan filmin hazırlanması.

Radyografik filmin çekimi yapılacak kaynaklı bölgenin üzerine tam sarılması için dış kısma elastik bir bant Şekil 7.13'teki gibi sarılmıştır.



Şekil 7.13. Radyografik film üzerine elastik bant sarılması.

Hassasiyetin doğru belirlenebilmesi için penetremetre kaynak tarafına yerleştirilmiştir. Penetremetrenin kaynak üzerine yerleşimi Şekil 7.14'te arz edilmektedir.



Şekil 7.14. Penetremetrenin yerleştirilmesi.

Radyografik çekim için hazırlanmış çelik borunun dıştan görünümü Şekil 7.15'te arz edilmektedir.



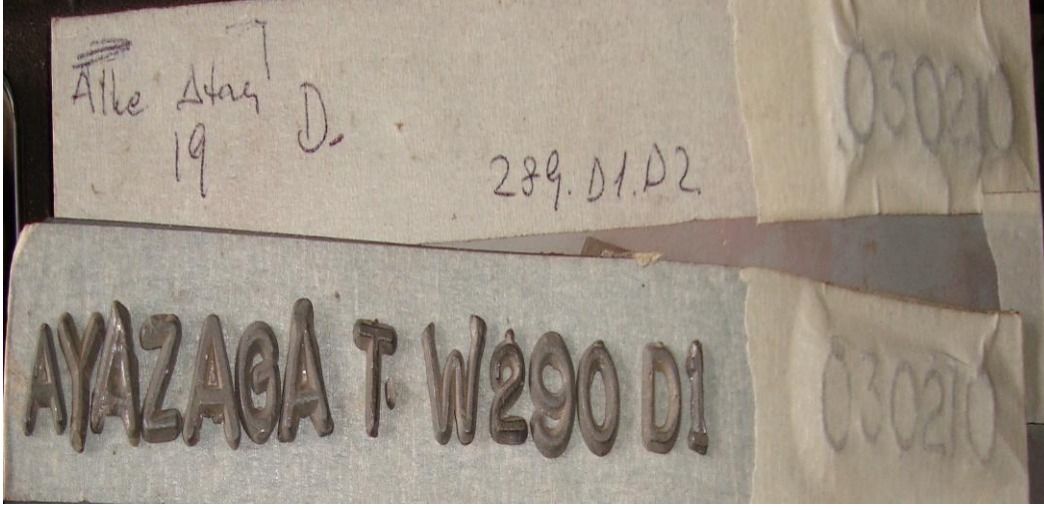
Şekil 7.15. Radyografik çekim için hazırlanmış çelik borunun dıştan görünümü.

Radyografik çekimlerde kullanılan, DIN 62 standartlarında tanımlanan telli tip penetremetrenin görüntüsü Şekil 7.16'da gösterilmektedir.



Şekil 7.16. Telli penetremetre.

Radyografik çekim yapılmadan önce radyografik filmlerin doğru arşivlenebilmesi için radyografik çekimi yapılan her parça için markalama işlemi yapılmıştır. Hazırlanan markalama işaretleri Şekil 7.17’de arz edilmektedir.



Şekil 7.17. Marka işaretleri.

Kaynak yapılacak çelik borunun merkezine radyoizotopun yerleştirilmesi için Şekil 7.18’de görüldüğü gibi özel bir düzenek hazırlanmıştır.



Şekil 7.18. Çelik borunun merkezine radyoizotopun yerleştirilmesi.

Zırh kabının içerisindeki radyoizotopun zırh kabına bağlı kumanda kablosu ve kumanda mekanizması (Şekil 7.19) kullanılarak ışınlama başına getirilmesi sağlanır.



Şekil 7.19. Gama ışın kaynağı kumanda kablosu.

Radyografik çekim yapılacak boru için hazırlanmış özel düzeneğin platformu Şekil 7.20'deki gibi borunun merkezine göre ayarlanmıştır. Işınlama başı Şekil 7.21'de gösterildiği gibi platforma sabitlenerek Şekil 7.22'deki gibi kaynak bölgesinin tam merkezine göre ayarlanmıştır.



Şekil 7.20. Merkezden ışınlama yapmak için hazırlanmış platform.



Şekil 7.21. Işınlama başının platforma sabitlenmesi.



Şekil 7.22. Işınlama başının kaynak bölgesinin tam merkezine yerleştirilmesi.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, sahada yapılan radyografik çalışmalara uygun olarak hazırlanmış, ışınlama süresi hesabında kullanılan cetveller Şekil 7.23'te, yakın görünümü ise Şekil 7.24'te arz edilmektedir.



Şekil 7.23. Poz süresinin tespiti için kullanılan hazır cetvel.



Şekil 7.24. Poz süresinin tespiti için kullanılan hazır cetvelin yakın görünümü.

Kişisel dozimetre kullanımı radyografik çalışmalarda bir zorunluluk karşımıza çıkmaktadır. Bu yüksek lisans tezi kapsamında, kullanılan kişisel dozimetre şekil 7.25'de arz edilmektedir.



Şekil 7.25. Kullanılan kişisel dozimetre.

Sahada yapılan radyografik çalışmalarda, radyasyon dozu tespiti amacıyla kullanılan dedektörler (Şekil 7.27) kullanılmış ve sahadaki radyasyon miktarı çalışma süresince belirlenmiştir (Şekil 7.26).



Şekil 7.26. Çalışma sahasında radyasyon tespiti.



Şekil 7.27. Radyasyon dedektörü.

Elde edilen radyografik filmler radyografik filmlerin incelenmesine uygun bir ışık kaynağı üzerine yerleştirilerek gözle muayene edilmiştir. Radyografik filmleri aydınlatmakta kullanılan ışık kaynağının görüntüsü Şekil 7.28’te arz edilmektedir.


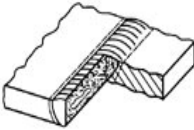
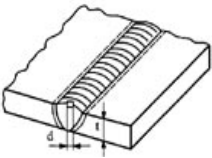

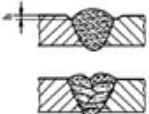
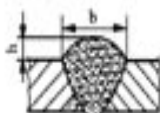


Şekil 7.28. Radyografik filmleri aydınlatmakta kullanılan ışık kaynağı.

7.4. Deneylerde Karşılaşılan Kaynak Hatalarının Standartlara Göre Değerlendirilmesi

Bu tez kapsamında tahribatsız muayene için süreksizliklerin kabul kriterleri TS EN ISO 5817'ye göre değerlendirilmiştir. Hacimsel bir kontrol yöntemi olan radyografiye ilişkin olan hata tipleri için Çizelge 7.7'de TS EN ISO 5817'ye göre B değerlendirme grubu için bazı hataların sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.7. TS EN ISO 5817'ye göre B değerlendirme grubu için bazı hataların sınır Değerleri. [13].

ISO Nr.	Hata	Gösterim	Açıklamalar	t (mm)	Sınır değerler
1000	Çatlaklar			$\geq 0,5$	Müsaade edilmez
2013	Toplu gözenek			$\geq 0,5$	Müsaade edilmez
2015	Uzamış oyuklar		Alın kaynakları	$\geq 0,5$	$d \leq 0,2s$, ancak en çok 2mm
2017	Yüzey gözeneği		Tek bir deliğin en büyük çapı Alın kaynakları için	0,5 - 3	Müsaade edilmez
300	Katı kalıntıları		Alın kaynakları	$\geq 0,5$	$h \leq 0,2s$, ancak en çok 2mm
401	Ergime noksanlığı			$\geq 0,5$	Müsaade edilmez
402	Nufuziyet noksanlığı			$\geq 0,5$	Müsaade edilmez
5011 5012	Yanma oluşu sürekli veya kesintili		Düzgün geçiş gerektirir	0,5 - 3	Müsaade edilmez $h' \leq 0,05t$, ancak en çok 0,5mm
502	Aşırı kaynak metal		Düzgün geçiş gerektirir	$\geq 0,5$	$h' \leq 0,05t$

Çizelge 7.7'de; b: dikiş taşkınığının genişliğı, d: gozenek çapı, h: süreksizliğın boyutları, l: süreksizliğın uzunluğı, s: küt kaynak dikiş kalınlığının ölçü boyu veya nufuziyetin sınırlarının derinliğı, t: boru cidar veya levha kalınlığınını göstermektedir.

8. DENEY SONUÇLARI

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, çelik boruların radyografik çekimlerinden elde edilen görüntülerde, sadece kaynak hatası olan kısımlar ele alınmıştır. Radyografların değerlendirilmesi amacıyla, çekilen radyografik filmlerin siyah-beyaz görüntüleri, ışık kasasından dijital fotoğraf makinesi ile alınarak jpg. formatında bilgisayara kaydedilerek düzenlenmiştir.

Radyografik incelemesi yapılan çelik boruların kalınlığı 12 ile 14 mm arasında değişmekte olup, iki farklı kalınlıktaki çelik boru üzerinde çalışılmıştır. Bu tez çalışması kapsamındaki yapılan çalışmalarda, boru içerisinde çekim yapmak mümkün olduğu için, ışınlama süresini kısaltmak amacıyla, standartlara uygun bir şekilde tek cidar tekniğinin kullanılması tercih edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında film banyolama işlemi otomatik film banyolama cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Böylece klasik banyolama sırasında oluşabilecek hatalarında önüne geçilmiştir.

8.1. Kaynak dikiş hataları

Bu Yüksek Lisans tezi kapsamında incelenen, Melen İçme Suyu İsale Hattı Projesinde kullanılan çelik boruların radyografik muayenesinde, farklı kaynak hatalarının bulunduğu tespit edilmiştir. Çelik borulardaki söz konusu bu hata grupları sınıflandırıldığında, kaynak hataları olarak, gaz boşluğundan kaynaklanan gözenekler ve cüruf kalıntıları olduğu tespit edilmiştir.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında yapılan çalışmalarda tespit edilen hatalar standartlara göre değerlendirildiğinde, Çizelge 8.1'de arz edilen, gaz boşlukları olarak Aa gözenek hatası ve cüruf kalıntısı olarak, Bb grubu hatalar olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 8.1. Kaynak Hataları Grupları ve Simgeleri [9, 22].

Simge	İsim
A	Gaz boşlukları Aa Gözenek Ab Kanalcık
B	Cüruf Kalıntısı Ba Rastgele dağılmış Cüruf Bb Cüruf Hataları
C	Eksik Kaynama
D	Yetersiz Nüfuziyet (nüfuziyetsizlik)
E	Çatlak Ea Boyuna çatlak Eb Enine Çatlak
F	Yanma oluşu (Yanık)
K	Çekme (büzülme) başlığı Krater Kanalcığı

8.2. Çekimi Yapılan Parçaların Radyografik Görüntülerinin Değerlendirilmesi

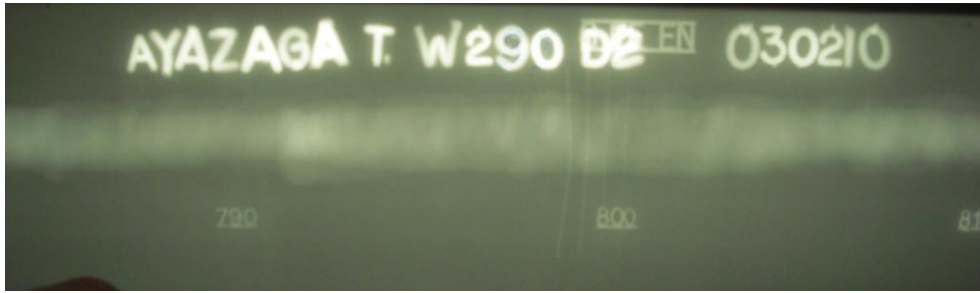
Bu Yüksek Lisans tezi kapsamında, Melen İçme Suyu İsale Hattı Projesi kapsamında, sahada yapılan radyografik çekimlerde tespit edilen ve standartlara göre gruplandırılan hatalara, anında müdahale edilerek, hatalı noktanın sağ ve sol kısımlarından 10 mm açılmış ve kaynak yeniden yapılmıştır. Tekrar tekrar aynı nokta üzerinde kaynak yapmanın kaynak bölgesinde malzemeye zarar vermesini engellemek için ikinci kez kaynak yaparken çok dikkat edilmiş ve tekrar hata çıkmasının önüne geçilmiştir. Aynı noktadan yeniden yapılan radyografik çekimlerde, onarılan kaynaktaki hatanın giderildiği tespit edilerek, proje kapsamındaki çalışmalara devam edilmiştir.

8.2.1. I No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik görüntüsü

I No'lu Parçada Kullanılan Teçhizat Ve Malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), Kaynak Aktivitesi (80 Ci), Çelik kalitesi (ST 52,3), Kaynak Yöntemi (Gazaltı (GMAW)), Kaynak Birleştirmesi (Alın Kaynağı), Film Sınıfı (AGFA D5), Film Ebadı (10 x boru çevresi cm), Film Ekranı Tipi (Kurşun), Densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), Rad. Emniyet Teçhizatı (dozimetre), Film Banyo Teçhizatı (Kodak), Film Çekim Tekniği (Tek cidar – Panoramik), Kaynak-Malzeme Mesafesi (2100 mm), Malzeme Et Kalınlığı (14 mm), Poz Süresi (25 dakika), Film

Yoğunluğu (2,4), NDT-Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi Test standardı (EN 1435), Film Değerlendirme standardı (TS EN 5817), Penetremetre tipi (6 FEEN), Penetremetre Sayısı (1 adet), Markalama (Kurşun harf ve rakamlar), Kullanılan Standartlar (TS EN 5817, EN 1435), İzotop Çapı (3,9 mm), Yarı Gölge (0,03mm) olarak uygulanmıştır.

I No'lu Parçanın Radyografik görüntüsüne ilişkin olarak, Şekil 8.1'de arz edilen radyografteki görüntüde, kaynak dikişi, standart gereksinimleri karşılamaktadır. Söz konusu şekilde görüldüğü gibi, elde edilen görüntüde herhangi bir kusura rastlanmamıştır.

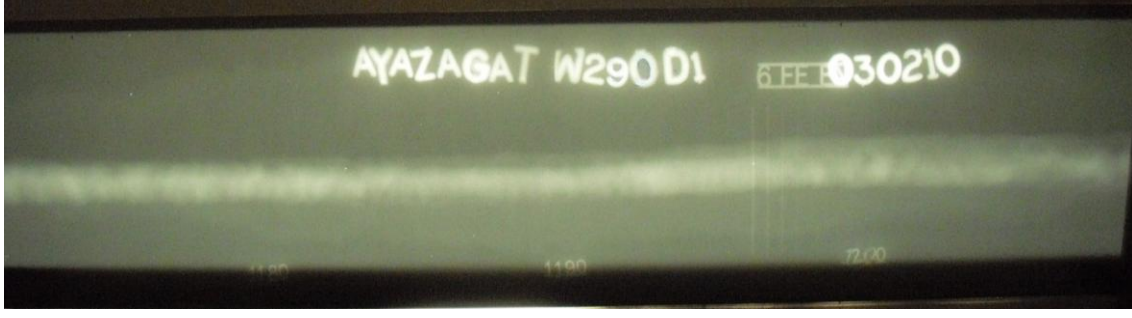


Şekil 8.1. I Nolu Parçanın Radyografik Görüntüsü.

8.2.2. II No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü

II No'lu Parçada Kullanılan Teçhizat Ve Malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), Kaynak Aktivitesi (80 Ci), Çelik kalitesi (ST 52,3), Kaynak Yöntemi (Gazaltı (GMAW)), Kaynak Birleştirmesi (Alın Kaynağı), Film Sınıfı (AGFA D5), Film Ebadı (10 x boru çevresi cm), Film Ekranı Tipi (Kurşun), Densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), Rad. Emniyet Teçhizatı (dozimetre), Film Banyo Teçhizatı (Kodak), Film Çekim Tekniği (Tek cidar – Panoramik), Kaynak-Malzeme Mesafesi (2100 mm), Malzeme Et Kalınlığı (14 mm), Poz Süresi (25 dakika), Film Yoğunluğu (2,4), NDT-Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi Test standardı (EN 1435), Film Değerlendirme standardı (TS EN 5817), Penetremetre tipi (6 FEEN), Penetremetre Sayısı (1 adet), Markalama (Kurşun harf ve rakamlar), Kullanılan Standartlar (TS EN 5817, EN 1435), İzotop Çapı (3,9 mm), Yarı Gölge (0,03mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 8.2'deki radyografik görüntüye ilişkin incelenen alın kaynağında için, söz konusu dikişte, herhangi bir kusura rastlanmamıştır.

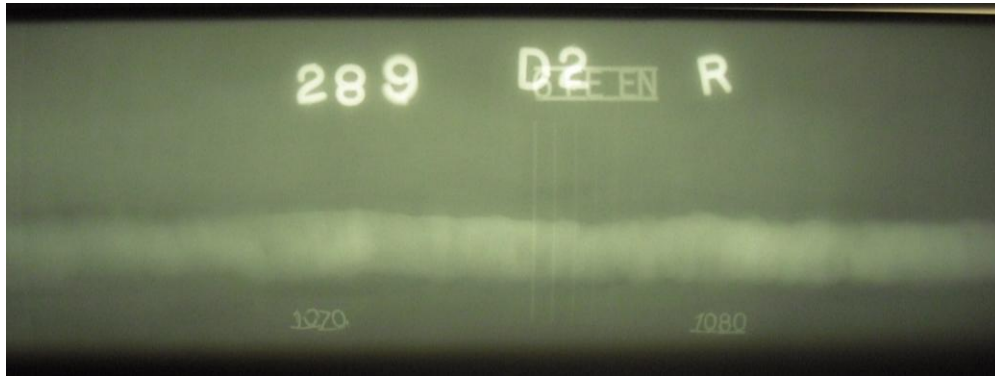


Şekil 8.2. II No'lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

8.2.3. III No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü

III No'lu Parçada Kullanılan Teçhizat Ve Malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), Kaynak Aktivitesi (40 Ci), Çelik kalitesi (ST 52,3), Kaynak Yöntemi (Gazaltı (GMAW)), Kaynak Birleştirmesi (Alın Kaynağı), Film Sınıfı (AGFA D5), Film Ebadı (10 x 48 cm), Film Ekranı Tipi (Kurşun), Densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), Rad. Emniyet Teçhizatı (dozimetre), Film Banyo Teçhizatı (Kodak), Film Çekim Tekniği (Tek cidar – Panoramik), Kaynak-Malzeme Mesafesi (2000 mm), Malzeme Et Kalınlığı (12 mm), Poz Süresi (44 dakika), Film Yoğunluğu (2,4), NDT-Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi Test standardı (EN 1435), Film Değerlendirme standardı (TS EN 5817, API 1104), Penetremetre tipi (6 FEEN), Penetremetre Sayısı (1 adet), Markalama (Kurşun harf ve rakamlar), Kullanılan Standartlar (TS EN 5817, EN 1435, API 1104), İzotop Çapı (3,9 mm), Yarı Gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 8.3'de arz edilen radyografik görüntüye göre kaynak dikişi standart gereksinimleri karşılamaktadır. Elde edilen görüntüde herhangi bir kusura rastlanmamıştır.



Şekil 8.3. III No'lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

8.2.4. IV No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü

IV No'lu Parçada Kullanılan Teçhizat Ve Malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), Kaynak Aktivitesi (40 Ci), Çelik kalitesi (ST 52,3), Kaynak Yöntemi (Gazaltı (GMAW)), Kaynak Birleştirmesi (Alın Kaynağı), Film Sınıfı (AGFA D5), Film Ebadı (10 x 48 cm), Film Ekranı Tipi (Kurşun), Densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), Rad. Emniyet Teçhizatı (dozimetre), Film Banyo Teçhizatı (Kodak), Film Çekim Tekniği (Tek cidar – Panoramik), Kaynak-Malzeme Mesafesi (2000 mm), Malzeme Et Kalınlığı (12 mm), Poz Süresi (44 dakika), Film Yoğunluğu (2,4), NDT-Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi Test standardı (EN 1435), Film Değerlendirme standardı (TS EN 5817), Penetremetre tipi (6 FEEN), Penetremetre Sayısı (1 adet), Markalama (Kurşun harf ve rakamlar), Kullanılan Standartlar (TS EN 5817, EN 1435), İzotop Çapı (3,9 mm), Yarı Gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 8.4'de arz edilen radyografik görüntüye göre, kaynak dikişi standart gereksinimleri karşılamaktadır. Elde edilen görüntüde herhangi bir kusura rastlanmamıştır.



Şekil 8.4. IV No'lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

8.2.5. V No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü

V No'lu Parçada Kullanılan Teçhizat Ve Malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), Kaynak Aktivitesi (40 Ci), Çelik kalitesi (ST 52,3), Kaynak Yöntemi (Gazaltı (GMAW)), Kaynak Birleştirmesi (Alın Kaynağı), Film Sınıfı (AGFA D5), Film Ebadı (10 x 48 cm), Film Ekranı Tipi (Kurşun), Densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk

okuyacak şekilde), Rad. Emniyet Teçhizatı (dozimetre), Film Banyo Teçhizatı (Kodak), Film Çekim Tekniği (Tek cidar – Panoramik), Kaynak-Malzeme Mesafesi (2000 mm), Malzeme Et Kalınlığı (12 mm), Poz Süresi (44 dakika), Film Yoğunluğu (2,4), NDT-Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi Test standardı (EN 1435), Film Değerlendirme standardı (TS EN 5817), Penetremetre tipi (6 FEEN), Penetremetre Sayısı (1 adet), Markalama (Kurşun harf ve rakamlar), Kullanılan Standartlar (TS EN 5817, EN 1435), İzotop Çapı (3,9 mm), Yarı Gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 8.5’de arz edilen radyografik görüntüye göre, kaynak dikişi standart gereksinimleri karşılamaktadır. Elde edilen görüntüde herhangi bir kusura rastlanmamıştır.



Şekil 8.5. V No’lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

8.2.6. VI No’lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü

VI No’lu Parçada Kullanılan Teçhizat Ve Malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), Kaynak Aktivitesi (40 Ci), Çelik kalitesi (ST 52,3), Kaynak Yöntemi (Gazaltı (GMAW)), Kaynak Birleştirmesi (Alın Kaynağı), Film Sınıfı (AGFA D5), Film Ebadı (10 x 48 cm), Film Ekranı Tipi (Kurşun), Densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), Rad. Emniyet Teçhizatı (dozimetre), Film Banyo Teçhizatı (Kodak), Film Çekim Tekniği (Tek cidar – Panoramik), Kaynak-Malzeme Mesafesi (2000 mm), Malzeme Et Kalınlığı (12 mm), Poz Süresi (44 dakika), Film Yoğunluğu (2,4), NDT-Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi Test standardı (EN 1435), Film Değerlendirme standardı (TS EN 5817), Penetremetre tipi (6 FEEN), Penetremetre Sayısı (1 adet), Markalama (Kurşun harf ve rakamlar), Kullanılan

Standartlar (TS EN 5817, EN 1435), İzotop Çapı (3,9 mm), Yarı Gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 8.6'da arz edilen radyografik görüntüye göre, kaynak dikişi standart gereksinimleri karşılamaktadır. Elde edilen görüntüde herhangi bir kusura rastlanmamıştır.



Şekil 8.6. VI No'lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

8.2.7. VII No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü

III No'lu Parçada Kullanılan Teçhizat Ve Malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), Kaynak Aktivitesi (50 Ci), Çelik kalitesi (ST 52,3), Kaynak Yöntemi (Gazaltı (GMAW)), Kaynak Birleştirmesi (Alın Kaynağı), Film Sınıfı (AGFA D5), Film Ebadı (10 x 48 cm), Film Ekranı Tipi (Kurşun), Densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), Rad. Emniyet Teçhizatı (dozimetre), Film Banyo Teçhizatı (Kodak), Film Çekim Tekniği (Tek cidar – Panoramik), Kaynak-Malzeme Mesafesi (2000 mm), Malzeme Et Kalınlığı (12 mm), Poz Süresi (40 dakika), Film Yoğunluğu (2,4), NDT-Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi Test standardı (EN 1435), Film Değerlendirme standardı (TS EN 5817, API 1104), Penetremetre tipi (6 FEEN), Penetremetre Sayısı (1 adet), Markalama (Kurşun harf ve rakamlar), Kullanılan Standartlar (TS EN 5817, EN 1435, API 1104), İzotop Çapı (3,9 mm), Yarı Gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 8.7'de arz edilen radyografik görüntüye göre, filmin tam orta noktasında gaz boşluğundan kaynaklanan gözenek topluluğunun olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu bu kaynak hatasını TSE standartlarına (TSE 5127) göre, Aa gözenek hatası olarak sınıflandırmak mümkündür. Daha sonra hatalı noktanın sağ ve sol kısımlarından 10 mm açılmış, kaynak yeniden yapılarak problem çözümlenmiştir.



Şekil 8.7. VII No'lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

8.2.8. VIII No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü

VIII No'lu Parçada Kullanılan Teçhizat Ve Malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), Kaynak Aktivitesi (40 Ci), Çelik kalitesi (ST 52,3), Kaynak Yöntemi (Gazaltı (GMAW)), Kaynak Birleştirmesi (Alın Kaynağı), Film Sınıfı (AGFA D5), Film Ebadı (10 x 48 cm), Film Ekranı Tipi (Kurşun), Densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), Rad. Emniyet Teçhizatı (dozimetre), Film Banyo Teçhizatı (Kodak), Film Çekim Tekniği (Tek cidar – Panoramik), Kaynak-Malzeme Mesafesi (2000 mm), Malzeme Et Kalınlığı (12 mm), Poz Süresi (44 dakika), Film Yoğunluğu (2,4), NDT-Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi Test standardı (EN 1435), Film Değerlendirme standardı (TS EN 5817), Penetremetre tipi (6 FEEN), Penetremetre Sayısı (1 adet), Markalama (Kurşun harf ve rakamlar), Kullanılan Standartlar (TS EN 5817, EN 1435), İzotop Çapı (3,9 mm), Yarı Gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 8.8'de arz edilen radyografik görüntüye göre, kaynak içerisinde kalıntı cürufu tespit edilmiştir. Söz konusu bu kaynak hatasını TSE standartlarına (TSE 5127) göre, Bb grubu olan ve cüruf kalıntısından kaynaklanan hata olarak sınıflandırmak mümkündür. Daha sonra hatalı noktanın sağ ve sol kısımlarından 10 mm açılmış ve kaynak yeniden yapılarak problem çözülmüştür.

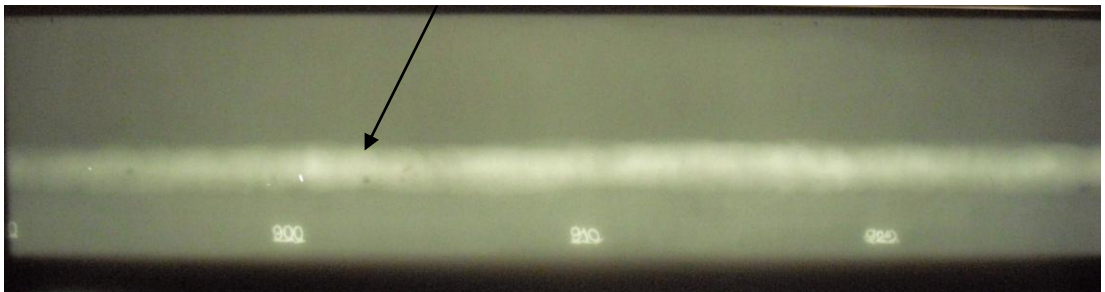


Şekil 8.8. VIII No'lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

8.2.9. IX No'lu Parçanın Radyografik Çekim Parametreleri ve Radyografik Görüntüsü

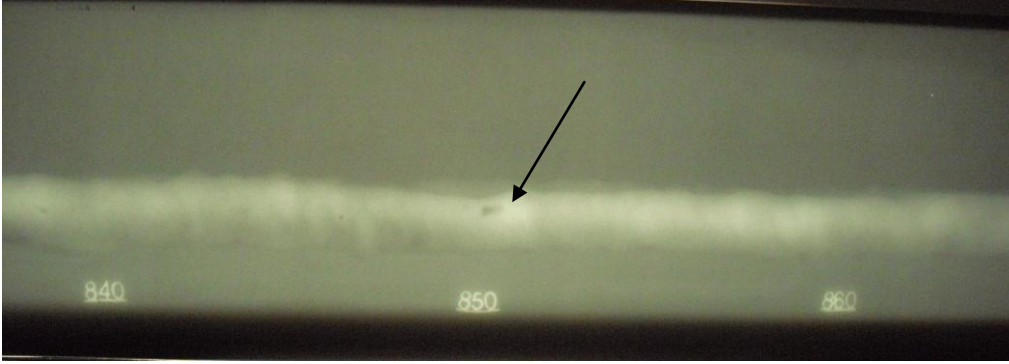
IX No'lu Parçada Kullanılan Teçhizat Ve Malzemeler; Gama ışın kaynağı (Ir-192), Kaynak Aktivitesi (80 Ci), Çelik kalitesi (ST 52,3), Kaynak Yöntemi (Gazaltı (GMAW)), Kaynak Birleştirmesi (Alın Kaynağı), Film Sınıfı (KODAK AA400), Film Ebadı (10 x boru çevresi cm), Film Ekranı Tipi (Kurşun), Densitometre (0 ile 4,0 yoğunluk okuyacak şekilde), Rad. Emniyet Teçhizatı (dozimetre), Film Banyo Teçhizatı (Kodak), Film Çekim Tekniği (Tek cidar – Panoramik), Kaynak-Malzeme Mesafesi (2000 mm), Malzeme Et Kalınlığı (12 mm), Poz Süresi (13 dakika), Film Yoğunluğu (2,4), NDT-Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi Test standardı (EN 1435), Film Değerlendirme standardı (TS EN 5817), Penetremetre tipi (6 FEEN), Penetremetre Sayısı (1 adet), Markalama (Kurşun harf ve rakamlar), Kullanılan Standartlar (TS EN 5817, EN 1435), İzotop Çapı (3,9 mm), Yarı Gölge (0,02mm) olarak uygulanmıştır.

Şekil 8.9a'de arz edilen radyografik görüntüye göre, ok işareti ile gösterilen noktada gaz boşluğundan kaynaklanan gözenek olduğu tespit edilmiştir



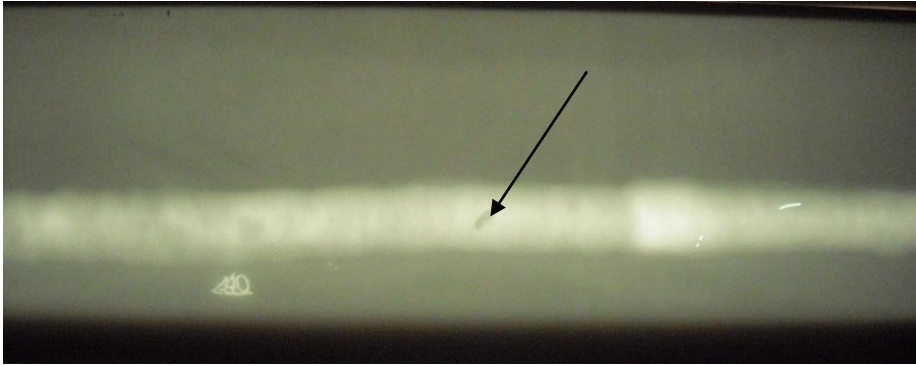
Şekil 8.9a. IX.a No'lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

Şekil 8.9b’de arz edilen radyografik görüntüye göre, ok işareti ile gösterilen noktada yanma oluşu olduğu tespit edilmiştir.



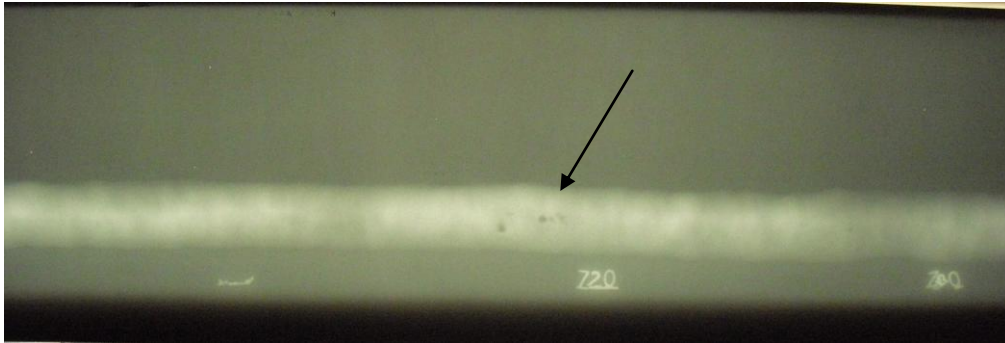
Şekil 8.9b. IX.b No’lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

Şekil 8.9c’de arz edilen radyografik görüntüye göre, ok işareti ile gösterilen noktada yanma oluşu olduğu tespit edilmiştir.



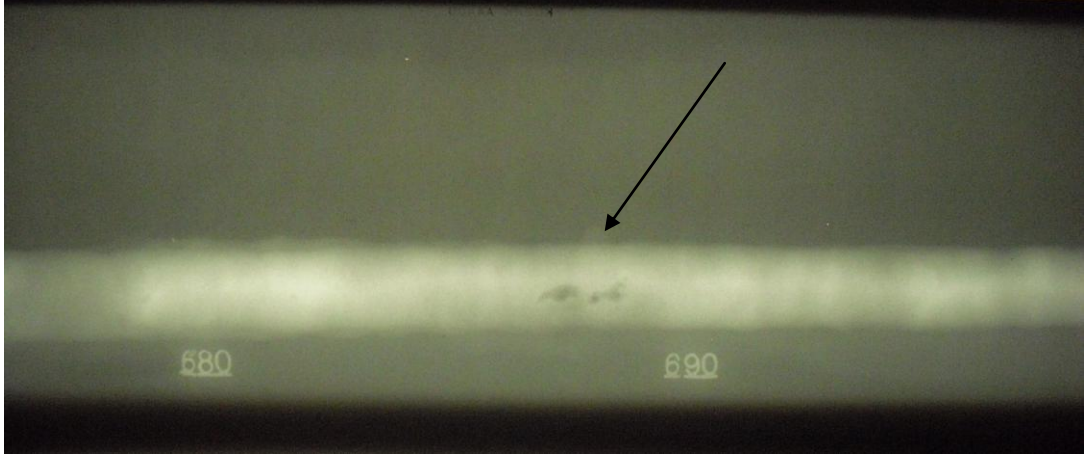
Şekil 8.9c. IX.c No’lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

Şekil 8.9d’de arz edilen radyografik görüntüye göre, ok işareti ile gösterilen noktada gaz boşluğundan kaynaklanan gözenek olduğu tespit edilmiştir



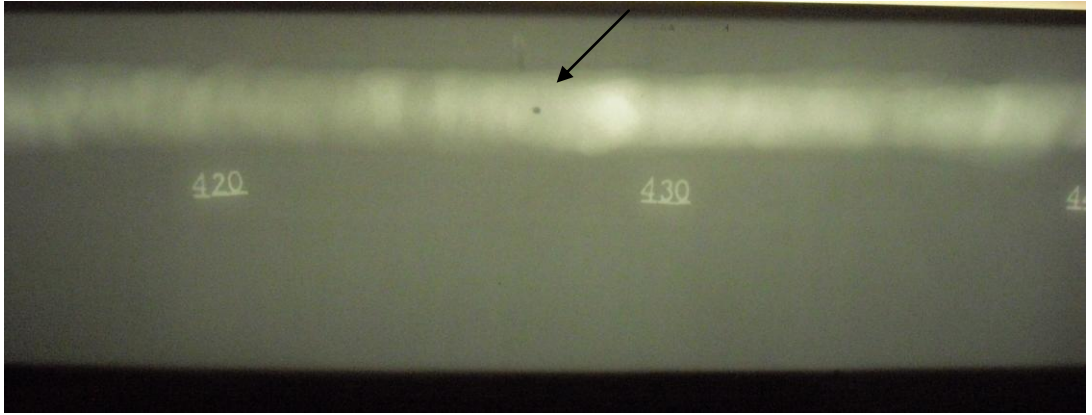
Şekil 8.9d. IX.d No’lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

Şekil 8.9e’de arz edilen radyografik görüntüye göre, kaynak içerisinde kalıntı cürufu tespit edilmiştir.



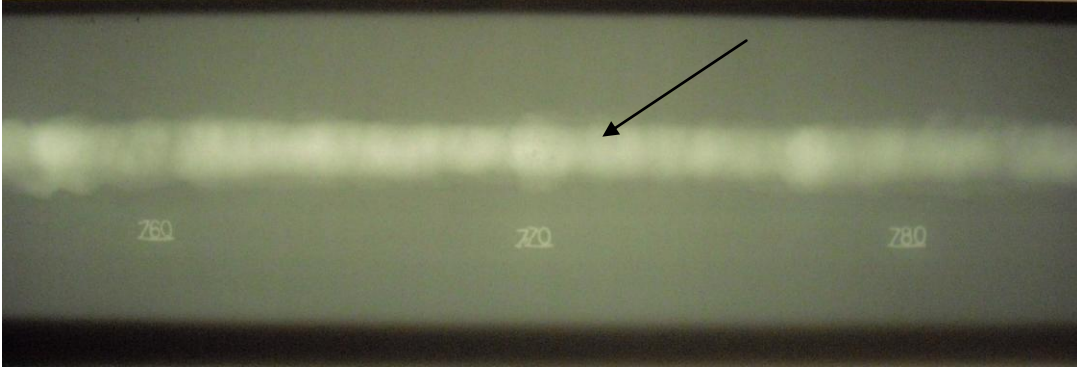
Şekil 8.9e. IX.e No’lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

Şekil 8.9f’de arz edilen radyografik görüntüye göre, ok işareti ile gösterilen noktada gaz boşluğundan kaynaklanan gözenek olduğu tespit edilmiştir



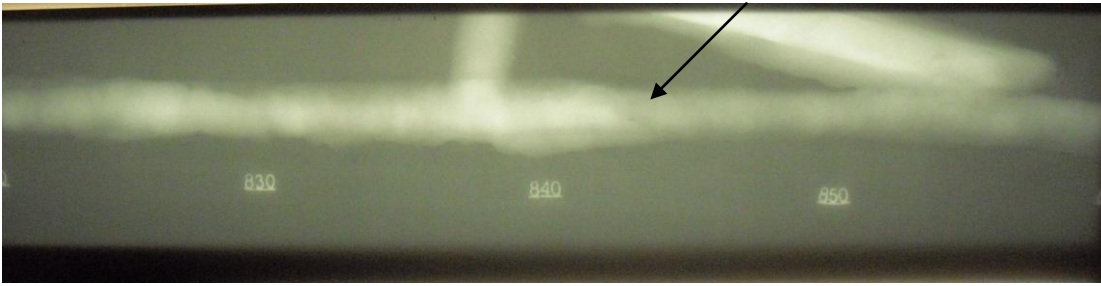
Şekil 8.9f. IX.f No’lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

Şekil 8.9g’de arz edilen radyografik görüntüye göre, ok işareti ile gösterilen noktada gaz boşluğundan kaynaklanan gözenek olduğu tespit edilmiştir



Şekil 8.9g. IX.g No'lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

Şekil 8.9.h'te arz edilen radyografik görüntüye göre, kaynak içerisinde kalıntı cürufu tespit edilmiştir.



Şekil 8.9h. IX.h No'lu Parçanın Radyografik görüntüsü.

Söz konusu bu kaynak hataları TSE standartlarına sınıflandırmak mümkündür. Daha sonra hatalı noktaların sağ ve sol kısımlarından 10 mm açılmış ve kaynak yeniden yapılarak problem çözülmüştür.

9. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu Yüksek Lisans Tez çalışması kapsamında, radyografik çekimi yapılan çelik borular, İstanbul'un 2040 yılına kadarki içme suyu ihtiyacını karşılamak üzere inşaatı devam eden DSİ Büyük İstanbul Melen İçme Suyu Projesi'nde kullanılan çelik borulardır. Bu projeyle, Düzce İli sınırları içerisinde yer alan Melen Çayı'ndan, yaklaşık 185 km lik bir isale hattı ile İstanbul'a içme suyu getirilmesi planlanmıştır. Bu proje, baraj, içme suyu boru hattı, pompa istasyonu, arıtma tesisi, regülatör, yol ve tünel gibi çok sayıda mühendislik uygulamasını içermekte ve mühendislik ölçmeleri bakımından önemli ve çok farklı uygulama alanlarını içermektedir. Bu dev isale hattında, çelik boruların radyografik çekimlerinde standartlara göre temel kriterler dikkate alınarak, hatalı kaynak dikişlerini tespit ederek, daha sonra ortaya çıkabilecek hataların önüne geçilmiştir. Bu proje güzergahında yer alan, çapları 2000-2100 mm arasında ve et kalınlığı ise 12 -14 mm arasında değişen, çok sayıda döşenmiş, dev çelik boruların kaynak noktalarındaki mevcut hataların tespiti yapılmıştır. Tahribatsız test yöntemlerinden biri olarak, gama ışınlarının kullanıldığı gama radyografi yöntemi (gamagrafi) ile sahada anında hatanın giderilmesi sağlanmıştır. Böylece, çalışılan radyografi yöntemi ile zaman kaybını en aza indirerek, sahada optimum çalışma düzeninin sağlanması mümkün olmuştur. Bu amaçla yapılan radyografik çekimlerde, Ir-192 radyoizotopu kullanılmış ve güzergah boyunca muhtelif yerlerde döşenmiş olan çelik boruların kaynak dikişlerinde standartlara uygun nitelikte hata tespiti yapılmıştır. Bu bağlamda, ilerdeki zamanlarda içme suyu taşınımında oluşabilecek sorunların giderilmesi ve içme suyu taşınımının sürekliliğinin sağlanması amaçlanmıştır.

Kaynak hatalarının tespitine ilişkin yapılan radyografik çekimlerde, pozlama süreleri ve yoğunluk gereksinimleri karşılanarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Banyolama hatalarını ortadan kaldırmak amacıyla, radyografik çekimlerin ardından, film banyolama işlemi otomatik film banyolama cihazlarında gerçekleştirilmiştir. Panoramik çekimlerde tek cidar tekniği uygulanarak standartlarda belirtilen geometrik görüntü kalite kıstaslarını (hassasiyet, yoğunluk, geometrik keskinsizlik)

sağlayacak şekilde radyografik muayene tekniği uygulanmıştır. Böylece, DSİ Büyük İstanbul Melen İçme Suyu Projesi'nde kullanılan elik boruların geçtiği sahada, radyografik yöntem ile kaynak dikişlerindeki hatalar hassas bir Şekilde tespit edilebilmiştir. Radyografi tekniğine bağlı olarak, kaynak dikişlerinin, malzeme penetrasyonu da değişmekte, dolayısıyla, pozlama süresi optimizasyonunun sağlanması için, bu tez çalışması kapsamında, tek cidar tekniğinin kullanımı uygun olmuştur.

Bu Yüksek Lisans Tez alışmasında, Melen Sistemi Mühendislik Hizmetleri Projesi kapsamındaki güzergah boyunca kullanılmış olan elik borularda, radyografik hata tipleri incelenmiştir. Genel olarak açık sahadaki gazaltı kaynağı ile yapılan kaynak birleştirmelerine ilişkin yapılan radyografik çekimlerde, cüruf hatası ve gözenek hatasının oluşabileceği dönülmüştür. NDT -Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi Test standartı (EN 1435)'na göre yapılan radyografik muayenelerde ve Film Değerlendirme standartı (TS EN 5817) doğrultusunda, en sık karşılaşılan hata tiplerinin, gaz boşluğundan kaynaklanan ve Aa grubu gözenek hatası olarak tanımlanan gözenek hataları ile Bb grubu cüruf kalıntısı olarak tanımlı cüruf kalıntılarından oluşan hatalar olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] UGETAM, 2007, Radyografi Eğitimi Notları UGT3100, İstanbul
- [2] E. E. SONAT, H. İ. YELBAY, 2008, Dökümlerin Radyografik Muayenesinde Kullanılan Standartlar, ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araş./Uyg.Merkezi, Ankara
- [3] Bilge, A.N., Tuğrul, B., 1990: Endüstriyel Radyografinin Esasları., İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, Genel Yayın No: 20, İstanbul.
- [4] Tepe, E., 2008, “ Endüstriyel radyografide radyasyon güvenliği ”, Müh. Ve Makine, 49 (582) : 19-20
- [5] Aksu, M., Kurtcebe, T., Bingöldağ, M., 1990: “Radyografi için radyasyon fiziği”, TAEK, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, İstanbul, 16 18, 20-21.
- [6] Deligöz, C., 2009, Radyografik Muayene Yöntemi İle Petrol Boru Hatlarındaki Borularda Kaynak Dikişi Ve Diğer Hataların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [7] Yılmaz, G., 1999, “Radyografik hata tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, 30-41. İstanbul
- [8]Url-1 http://www.taek.gov.tr/belgeler/formlar/yayinlar/Gama_Radyografi>, Alındığı tarih 25.09.2009.
- [9] Duman, M., 2000, “Radyografi ile Kaynak Dikişi Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul
- [10] Bilge, A.N., 1991: Endüstride Nükleer Teknikler., İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, Genel Yayın No: 1445, İstanbul.
- [11] ASME Section V, 1996, “Radiographic Examination”, Article 2., T-270
- [12] TAEK, 2005, Endüstriyel Radyografide Radyasyondan Korunma ve Lisanslama Yönetmeliği, RSGD-TD-ER-1, Türkiye Atom enerjisi Kurumu, Ankara
- [13] TS EN ISO 5817, Revizyon, 2007, “Kaynaklı birleştirmeler – kusurlar için kalite Seviyeleri muayenesi, ICS 25.160.40 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [14] TS 5127 EN 1435, 2002, Kaynak Dikilerinin Tahribatsız muayenesi - Kaynaklı Birleştirmelerin, ICS 25.160.40, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [15] TS EN 444, 1996 , Metallerin X- ve Gama Işını ile Radyografik Muayenesinde Genel Prensipler, ICS 77.040.20 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [16] TS EN 462-1, 1995, Tahribatsız muayene- Radyografların Görüntü kalitesi, ICS 77.040.20 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [17] TS EN 462-3, 2004, Tahribatsız muayene- Radyografların Görüntü kalitesi,

ICS 19.100 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- [18] **EN 12681**, 2003 , Radiographic examination, European Committee for Standardization, ICS 77.040.20, Brussels.
- [19] **Bulubay, Ü.**, 1995, “Co ile çelik parçaların radyografisi için oluşturulan tek ve çift ön ekranların ağırlıklı ortalama yöntemi ile değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul
- [20] **Kodak**, 2003, NDT Images, NY 14650 USA Eastman Kodak Company Company Rochester, 2003. Kodak and Industrex are trademarks. IMC-949 CAT No. 892-4177.
- [21] **Url-2** <http://www.enkon.com.tr/NDT_CATALOGUE_ENKON.pdf>, Alındığı Tarih 01.04.2009.
- [22] **Kaya, B.**,1992, “Muayenede Teknolojik Gelişmeler”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Fen Bilimleri Enstitüsü, 22004.
- [23] **Tuncer, E.** 2001, “Kaynaklı Bağlantıların Ultrasonik ve radyografik Muayenelerinin karşılaştırmalı analizi ”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Fen Bilimleri Enstitüsü, 104135.
- [24] **IAEA/PI/A.75/04-00391** 2004, “Radiation, People and the Environment ISBN: 978-975-8898-28-2
- [25] **Url-3** <http://www.taek.gov.tr/belgeler/formlar/yayinlar/endustriyel_rad>, Alındığı Tarih 25.09.2009.
- [26] **Url-4** <<http://www.taek.gov.tr/belgeler/formlar/yayinlar>>, Alındığı Tarih 25.09.2009.
- [27] **Url-5** < http://www.taek.gov.tr/belgeler/formlar/yayinlar/endustriyel_rad> Alındığı Tarih 25.09.2009.
- [28] **ŞİŞMAN F.** 1992, Radyografik Performans ve Görüntü Rezolüsyonu tayini, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü Yüksek Lisans tezi, İstanbul
- [29] **Tuncel N.**, 1994 Tahribatsız Muayene metodlarıyla Malzeme hatalarının tespiti, , İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü Yüksek Lisans tezi, İstanbul
- [30] **Bray, D.E., McBride, D.**, 1992: Nondestructive Testing, John Wiley & Sons, New York.
- [31] **Gardner, Ely.**, 1967: Radioisotope Measurement Applications in Engineering, Reinhold Pub. Corp., New York
- [32] **Halmshaw, R.**, 1995: Industrial Radiology, Chapman & hall, London.
- [33] **Halmshaw, R.**, 1991: Nondestructive Testing, Edward Arnold, London.
- [35] **McIntire**, 1985: Nondestructive Testing Handbook, Vol.3, American Society for Nondestructive Testing, USA
- [36] **Mix, P. E.**, 1987: Introduction to Nondestructive Testing, John Wiley & Sons, New York.
- [37] **Reis H. L. M.**, 1990: Nondestructive Testing and Evaluation For Manufacturing

and construction, Hemisphere Publishing Corporation, New York.

- [38] **EN 462-1**, 1994. Non-Destructive Testing. Image Quality Of Radiographs. Image Quality Indicators (Wire Type). Determination Of Image Quality Value, European Norm.
- [39] **Morisson, A.**, 1951. Ir-192 for Gamma-ray Radiography. Non Destructive Testing, Vol. 10 No:1, 26-28, ASNT.
- [40] **Akıncı, Ş. B.**, 1996, Endüstriyel Radyografide Farklı Zemin Ortamlarının Saçılma etkisinin Görüntü Kalitesine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü Yüksek Lisans tezi, İstanbul
- [41] **Ravinder Nath**, Yale University, 2005 “Source and Delivery System I Radionuclides”.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Turan YAŞAR

Doğum Yeri ve Tarihi: Aybastı 02.03.1981

Adres: Yeşilpınar Mah. Muhtar Camii Sok. Apt. No:2

Eyüp / İstanbul

Lisans Üniversite: Gaziantep Üniversitesi – Makina Fakültesi