

RADYOGRAFİ İLE KAYNAK DİKİŞİ KONTROLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fiz.Lis. Mine DUMAN
(3040960065 011)

98126

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Haziran 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Haziran 2000

Tez Danışmanı : Prof.Dr.A.Beril TUĞRUL

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hasbi YAVUZ

Yrd.Doç.Dr. Nesrin ALTINSOY

M. Beril 30.06.2000

Hasbi 29.06.2000

Nesrin 30.06.2000

HAZİRAN 2000

TC. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, tahribatsız muayene yöntemlerinden, malzeme iç yapısına ilişkin olarak bilgi verebilen hacimsel bir muayene yöntemi olan radyografi ile çalışılmıştır. Bu teknik kullanılarak, endüstride en yaygın kullanım alanlarından biri olan kaynak dikişlerinin kontrolü konusu incelenmiştir. Sanayiye yönelik olarak gerçekleştirilmeye çalışılan bu çalışmanın, konu ilgililerine yardımcı olacağını umarım.

Bu Yüksek Lisans tez çalışmamın yapılması esnasında bana her aşamada büyük destek olan ve hiçbir yardımı esirgemeyen ve mezuniyet aşamasına gelmemde büyük katkısı bulunan Sayın Hocam Prof.Dr.A.Beril TUĞRUL'a en içten şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu çalışmayı gerçekleştirmemde bana yardımcı olan İGDAŞ yetkilileri ve çalışanları ile ENKON Ltd. Şti yetkilileri ve çalışanlarına da teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2000

Mine DUMAN

İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. RADYOGRAFİ	4
2.1. Radyografik Görüntünün Oluşması	5
2.1.1. Girici Elektromanyetik Radyasyonun Mdde İle Etkileşimi	5
2.1.2. Girici Elektromanyetik Radyasyonun Zayıflaması	8
2.2. Görüntü Kalite Faktörleri	10
2.2.1. Kaynak Faktörü	10
2.2.1.1. Gama Kaynakları	12
2.2.1.2. X-Işını Kaynağı	15
2.2.2. Geometri Faktörü	19
2.2.3. Film Faktörü	20
2.2.4. Ekran Faktörü	23
2.2.5. Poz Süresi	24
2.3. Görüntü Kalitesi Tayini	25
3. KAYNAK TEKNİĞİ VE KAYNAK DİKİŞLERİNİN RADYOGRAFİK DEĞERLENDİRİLMESİ	29
3.1. Kaynak Teknikleri	32
3.2. Kaynak Birleştirmeleri	33
3.2.1. Dip ve Uç Birleştirme	33
3.2.2. Kenar Birleştirme	35
3.2.3. T Birleştirme	35
3.2.4. Köşe Birleştirme	36
3.2.5. Bindirme Birleştirmesi	36
3.3. Kaynak Uygulama Teknikleri	37
3.4. Kaynak Muayenesi	38
3.5. Tahribatsız Kaynak Muayenesi	39
3.6. Radyografi İle Kaynak Muayenesi	40
3.7. Kaynak Hataları ve Radyografik Değerlendirmesi	43

Sayfa No

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	46
4.1. Deneylerde Kullanılan Radyasyon Kaynakları	47
4.2. Çalışılan Kaynak Dikişi Parçaları	48
4.3. Radyografi Çekim Parametreleri	50
4.4. Radyografi Çekim Pozisyonları	54
4.4.1. Düz Levha Kaynak Dikişi Muayeneleri	55
4.4.2. Boru Kaynaklarının Muayenesi	55
4.4.2.1. Tek Cidar Çekimi	55
4.4.2.2. Çift Cidar Çekimi	57
5. DENEY SONUÇLARI	60
5.1. Farklı Kaynak Tekniği Uygulamaları İçin Radyografik Muayeneler	60
5.2. Farklı Radyasyon Kaynakları İle Kaynak Dikişi Muayeneleri	63
5.3. Farklı Kaynakların Radyografik Muayeneleri	65
5.3.1. Düz (Levha) Kaynağa İlişkin Radyografik Muayene	65
5.3.2. Boru Kaynak Dikişlerine İlişkin Radyografik Muayeneler	66
5.3.2.1. Tek Cidar Çekimi	66
5.3.2.2. Çift Cidar Çekimi	68
5.4. Radyografi İle Tespit Edilen Süreksizlikler	69
5.5. Çekilen Radyografların Değerlendirmesi	76
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	78
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	83

KISALTMALAR

ASME	: American Society of Mechanical Engiiners
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CGSB	: Canadian General Standards Board
DIN	: Deutchland International Norm
IAEA	: International Atomic Energy Agency
İGDAŞ	: İstanbul Gaz Dağıtım Anonim Şirketi
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
NCRP	: National Committee of Radiation Protection
NDT	: Non-Destructive Testing
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	
Gama Radyografisinde Kullanılan Yapay Radyoizotop Kaynaklar (Kodak, 1980)	13
Tablo 2.2	
X-Işınları İçin Önerilen Kullanım Enerjisi (Becker, 1990)	17
Tablo 2.3	
Telli Penetremetrelerin Tel Çapları (Tuncel, 1994)	27
Tablo 3.1	
Boru Kaynaklarının Çekim Düzenleri	41
Tablo 3.2	
Kaynak Hataları Grupları ve Simgeleri (TS 5127, 1987)	43
Tablo 3.3	
Hataların Kaynak İçin Arzettiği Tehlikeye Göre Sınıflandırması (TS 5127, 1987)	45
Tablo 4.1	
İGDAŞ'ta Kullanılan ve Kaynak Dikişi İle Birleştirilen Boruların Özellikleri	49
Tablo 4.2	
X-Işını Radyografisi İçin Çekim Parametreleri	51
Tablo 4.3	
Gama ışını Radyografisi İçin Çekim Parametreleri	51
Tablo 4.4	
Boru Kaynaklarının Radyografik Muayenesinde Kullanılan Film Boyutları ve Pozisyonları	53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	Aluminyum İçin Lineer Absorbsiyon Katsayısının Kolime Edilmiş Monokromatik Foton Hüzmesi Şartlarında Enerjinin Fonksiyonu Olarak Değişimi (NCRP, 1985)	7
Şekil 2.2	Kurşun İçin Lineer Absorbsiyon Katsayısının Kolime Edilmiş Monokromatik Foton Hüzmesi Şartlarında Enerjinin Fonksiyonu Olarak Değişimi (NCRP, 1985)	7
Şekil 2.3	Radyografik Görüntü Oluşumu (CGSB, 1981)	9
Şekil 2.4	X ve Gama Işınlарının Elektromanyetik Radyasyon Ailesi İçindeki Yeri ...	11
Şekil 2.5	Ir-192 Gama Kaynağının Enerji Spektrumu (Halmshaw, 1971)	12
Şekil 2.6	Uzaktan Kumandalı Gama Cihazı (Halmshaw, 1995)	14
Şekil 2.7	X-Işını Tüpünün Şematik Görünümü (Halmshaw, 1995)	15
Şekil 2.8	Bir X-Işını Tüpünden Elde Edilen X-Işınlарının Enerji Spektrumu (Halmshaw, 1971)	16
Şekil 2.9	X-Işını Tüpünde Gerilimin Değıştirilmesi Sonucu X-Işınlарının Enerji Spektrumunda Meydana Gelen değışim (Kodak, 1980)	18
Şekil 2.10	X-Işını Tüpünde Akımın Değıştirilmesi Sonucu X-Işınlарının Enerji Spektrumunda Meydana Gelen değışim (Kodak, 1980)	18
Şekil 2.11	Yarı-Gölge Oluşumu (Kodak, 1980)	19
Şekil 2.12	Endüstriyel Radyografide Kullanılan Filmin Kesiti (Becker, 1990)	21
Şekil 2.13	Radyografik film Karakteristik Eğrileri (Catz, 1995)	22
Şekil 2.14	Radyografik Çekimde Ön ve Arka Ekran Kullanımı (Schneman, 1968)	23
Şekil 2.15	Çeliğе İlişkin X-Işını İçin Poz Süresi Tayin Grafiği (Halmshaw, 1971) (2 film yoğunluğу için 900 mm mesafe, D7 film ve 0,05-0,25 mm Kurşun Ekran Şartlarında)	24
Şekil 2.16	Çeliğе İlişkin Gama Işını Poz Süresi Tayin Grafiği (Halmshaw, 1971) (2 film yoğunluğу için 500 mm mesafeden, D7 film ve Ir-192 ve Cs-137 için kurşun ekran, Co-60 için 0,5 mm kurşun ekran ve 1,5 mm bakır ekran şartlarında)	25
Şekil 2.17	Çeşitli Penetremetreler (Halmshaw, 1991)	26
Şekil 3.1	Kaynak Kesiti (TSE 11245, 1994)	30
Şekil 3.2	Kaynak Bölgeleri (TSE 11245, 1994)	31
Şekil 3.3	Kaynak Sembölü (TSE 11245, 1994)	31
Şekil 3.4	Elektrik ark Kaynağının Prensiр Şeması	32
Şekil 3.5	Dip veya Uç Birleştirmе Prensiр Şeması (CGSB, 1981)	33
Şekil 3.6	Dip veya Uç Birleştirmeleri (CGSB, 1981)	34
Şekil 3.7	Kenar Birleştirmе Prensiр Şeması (CGSB, 1981)	35
Şekil 3.8	T Birleştirmе Prensiр Şeması (CGSB, 1981)	35
Şekil 3.9	Köşe Birleştirmе Prensiр Şeması (CGSB, 1981)	35
Şekil 3.10	Bindirme Birleştirmesi Prensiр Şeması (CGSB, 1981)	36
Şekil 3.11	Kaynak Uygulama Tekniklerinin Prensiр Şemaları (CGSB, 1981)	37

Şekil 3.12	Doğrusal Kaynaklarda Işınlama Düzeni (TS 5127, 1987)	40
Şekil 3.13	Eğimli Kaynak; Tek Duvar Geometrisi, Radyasyon Kaynağı Dışarıda, Film İçeride (TS 5127, 1987)	41
Şekil 3.14	Eğimli Kaynak; Tek Duvar Geometrisi, Radyasyon Kaynağı İçeride Merkezden Kaçık, Film Dışarıda (TS 5127, 1987)	42
Şekil 3.15	Eğimli Kaynak; Tek Duvar Geometrisi, Radyasyon Kaynağı İçeride Film Dışarıda (TS 5127, 1987)	42
Şekil 3.16	Eğimli Kaynak; Tek Duvar Geometrisi, (Radyasyon Kaynağı ve Film Dışarıda (TS 5127, 1987)	43
Şekil 3.17	Eğimli Kaynak; Çift Duvar Geometrisi, Radyasyon Kaynağı İçeride ve Merkezde, Film Dışarıda (TS 5127, 1987)	42
Şekil 3.18	Kaynak Hataları ve Radyografik Görüntüleri (CGSB, 1981)	44
Şekil 4.1	X-ışını Tüpü	47
Şekil 4.2	Çalışılan Bir Kaynak Dikişi	48
Şekil 4.3	Telli Penetremetreler	54
Şekil 4.4	Düz Levha Kaynağı Çekim Pozisyonu	55
Şekil 4.5	Film İçerde, Kaynak Dışarıda Yapılan Tek Cidar Çekimi	56
Şekil 4.6	Panaromik Çekim	57
Şekil 4.7	89 mm'den Küçük Çaplı Borular İçin Çift Cidar Çekim Pozisyonu	57
Şekil 4.8	89 mm'den Küçük Çaplı Borular İçin Çift Cidar Çekim Pozisyonu	58
Şekil 4.9	200 mm Çaplı Borularda Çift Cidar Tekniği Çekimi	58
Şekil 4.10	200 mm Çaplı Borularda Çift Cidar Tekniği Çekimi İçin Doğru ve Hatalı Çekimler	59
Şekil 5.1	Elektrik Ark Kaynağı İle Birleştirmeye İlişkin Bir Radyograf	61
Şekil 5.2	Argon Kaynağı İle Birleştirmeye İlişkin Bir Radyograf	62
Şekil 5.3	X-ışını Radyografisi ile Kaynak Dikişi İçin Çekilen Bir Radyograf	63
Şekil 5.4	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı Kullanılarak Gama Radyografisi İle, Kaynak Dikişi İçin Çekilen Bir Radyograf	64
Şekil 5.5	Düz (Levha) Kaynak Dikişine İlişkin Çekilen Bir Radyograf	65
Şekil 5.6	Radyasyon Kaynağı Dışarıda, Fim İçerde Tek Cidar Çekimine İlişkin Radyograf	66
Şekil 5.7	Radyasyon Kaynağı İçerde, Fim Dışarda Tek Cidar Çekimine İlişkin Radyograf	67
Şekil 5.8	Çift Cidar Çekimine İlişkin Radyograf	68
Şekil 5.9	Kaynak Dikişinde Porozite Tespit Edilen Bir Radyograf	69
Şekil 5.10	Kaynak Dikişinde Cüruf Tespit Edilen Bir Radyograf	70
Şekil 5.11	Kaynak Dikişinde Çatlak Tespit Edilen Bir Radyograf	71
Şekil 5.12	Kaynak Dikişinde Nüfuziyetsizlik Tespit Edilen Bir Radyograf	72
Şekil 5.13	Kaynak Dikişinde Kök Hatası Tespit Edilen Bir Radyograf	73
Şekil 5.14	Kaynak Dikişinde Bindirme Hatası Tespit Edilen Bir Radyograf	74
Şekil 5.15	Kaynak Dikişinde Yanık Tespit Edilen Bir Radyograf	75
Şekil 5.16	Kaynak Dikişine İlişkin Örnek Bir Radyografi Raporu Formu	77

SEMBOL LİSTESİ

A	: Gaz Boşlukları (Porozite)
A_a	: Gözenek
A_b	: Kanalcık
B	: Cüruf kalıntısı
B_a	: Rasgele dağılmış cüruf
B_b	: Cüruf hataları
B'	: Film
B_a	: Dışarıya yerleştirilmiş film
B_i	: İçeriye yerleştirilmiş film
b	: Parça yüzeyi-film mesafesi
C	: Eksik kaynama
c	: Işık hızı
D'	: Filmin kararına yoğunluğu
D	: Yetersiz nüfuziyet (nüfuziyetsizlik)
d	: Parça kalınlığı
d₁	: Kaynak-parça uzaklığı
d₂	: Parça-film uzaklığı
E	: Çatlak
E_e	: Elektromanyetik radyasyonun enerjisi
F	: Yanma oluğu (Yanık)
f	: Radyasyon üretici – parça yüzeyi mesafesi
f_{min}	: Minimum radyasyon kaynağı-film uzaklığı
I	: Filme ulaşan radyasyon şiddeti
I'	: Filmi aşan radyasyon şiddeti
I₀	: Parçaya ulaşan radyasyon şiddeti
I₀'	: Filmin emülsiyon tabakasına ulaşan radyasyon şiddeti
K	: Çekme (büzülme) boşluğu, krater kanalcığı
K'	: Kaynak boyutu
λ	: Dalgaboyu
μ	: Parça malzemesinin absorpsiyon katsayısı
ν	: Frekans
S	: Hassasiyet
S_a	: Dışarıya yerleştirilmiş radyasyon kaynağı
S_i	: İçeriye yerleştirilmiş radyasyon kaynağı
S'	: Radyasyon kaynağı
s	: Parça kalınlığı (kaynak takviyesi ve/veya ters tarafta takviye olmaksızın hesaplanan parça kalınlığı)
t	: Malzeme kalınlığı
YG	: Yarı gölge

RADYOGRAFİ İLE KAYNAK DİKİŞİ KONTROLU

ÖZET

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, radyografi ile kaynak dikişlerinin muayenelerinin farklı yönlerden incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle, hacimsel bir tahribatsız muayene metodu olan radyografi tanıtılmış, daha sonra ise endüstride önemli bir birleştirme tekniği olan kaynak tekniği tanıtılmıştır.

Kaynak dikişlerinin kontrolünde kullanılan teknikler ve bunlar arasında radyografinin yeri ve önemine yer verilmiştir. Fazla olarak, kaynak dikişleri için radyografi tekniğinin uygulama biçimleri tanıtılmıştır. Burada, konu ile ilgili ulusal ve uluslararası standartlara ilişkin bilgi de verilmiştir.

Tezin deneysel kısmında iki farklı kaynak tekniği ile çalışılmıştır. Bunlar; elektrik ark kaynağı ve argon kaynağıdır. Ayrıca, endüstriyel radyografide kullanılan iki farklı radyasyon tipi olan X ve gama ışınları kullanılmıştır. Bunlardan ayrı olarak, kimi kez doğrusal kaynak olarak da nitelenen düz (levha) kaynağı ve eğimli kaynak olan boru kaynağı ile de çalışılmıştır. Boru kaynağına ilişkin olarak tek cidar ve çift cidar çekimleri yapılmıştır. Tek cidar çekimi de iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birinde; radyasyon kaynağı dışarıda film içeride, diğerinde ise radyasyon kaynağı içeride ve merkezde, film dışarıdadır ki; bu çekim panoramik çekimi ifade etmektedir.

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, farklı kaynak hataları tespit edilmiş ve bunlara ait örnek radyograflar tezde verilmiştir. Bu hatalar; standartlarda da belirtilen; porozite, cüruf, çatlak, nüfuziyetsizlik, kök hatası, bindirme hatası ve yanıktır.

Elde edilen sonuçlardan görülmüştür ki; radyografik açıdan kaynak tekniği farklılığı fazla önem arzetmemekte, buna karşın, parçanın durumu radyografik çekim şartlarının belirlenmesinde etken olmaktadır. Ancak, radyografik değerlendirme felsefesi tüm kaynak dikişleri için benzer olmaktadır.

Ayrıca,, kaynak dikişlerinin radyografik kontrollerinin, kalite güvence çerçevesinde önemli olduğu ve radyografinin uygulamasının her aşamasında konuya bilinçli ve bilgi yaklaşımının gerekli olduğu gözlenmiştir. Böylelikle, yapılan bu çalışmayla, kaynak dikişlerinin radyografik muayenesi, rasyonel ve sistematik şekilde incelenmiştir.

WELDING CONTROL BY USING RADIOGRAPHY

SUMMARY

In this MSc. Thesis, it is aimed to investigation of welding joints in the different points of view. For this purpose, radiography that is volumetric non-destructive testing (NDT), is explained firstly and then, welding technique that is an important joint technique for the industry is determined with details.

Hence, it is explained that the importance of the radiography between the control techniques of the welding joints. Moreover, application techniques are determined in the radiography for the welding joints. In here, some detailed knowledge are given in the related with national and international standards.

In the experimental parts of the thesis, it is studying with two different welding techniques. These are; electric arc welding technique and argon welding technique. Two different penetrating radiation as X rays and gamma rays are used for the experimental studies. Furthermore, positions of plate welding and tubular welding cases are arranged for the experiments. Single and double wall applications are also arranged for the tube radiography. Two different cases are arranged for the single wall case. In one case, radiation source is outside and film is inside of the tube, in the other case, radiation source is inside and in the centre, the film is outside of the tube that case is panoramic exposure case also.

Welding defects are determined in the study and some examples are given. These defects are porosity, inclusion, crack, undercutting, incomplete fusion, incomplete root, icicles and burn.

It is seen that it is not important the welding joint types for the evaluation of the radiographs, but the position of the object is important for the determination of the radiographic exposure factors. However, the philosophy of the radiographic evaluation is the similar.

It is observed that radiographic controls of the welding joints are important in the view of point of the quality control and quality assurance, and it is necessary of the training for the related personnel. Therefore, radiographic control of the welding joints are investigated rationally and systematically with this experimental study.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve globalleşen dünya şartları, üretim ve tüketimde kalite şartlarını öne çıkarmakta ve giderek de arta giden bir önem kazandırmaktadır. Bu bağlamda, kalite temini (quality assurance) ve kalite kontrol (quality control) işlemleri ağırlık kazanmaktadır. Bir başka deyişle, kalite güvence, günümüzde üretimde ve bunun uzantısında olarak da rekabette vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Nükleer teknoloji uygulamalarında ve nükleer güç santralleri ile diğer nükleer tesislerde de kalite güvence önde gelen bir konu olup, ilgili standart ve mevzuatlar geliştirilerek uygulamaya konmuştur (IAEA,1996).

Kalite güvence faaliyetleri içinde ise tahribatsız muayene metodları ayrı ve önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle kalite kontrol ile tahribatsız muayene metodları birbirini tamamlayan konuları oluşturmaktadır (Cartz, 1995).

Tahribatsız muayene metodları; bilindiği üzere, bir malzeme veya ürüne zarar vermeden yapısındaki süreksizlik ve hataların belirlenmesi ve de işlevsel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan tekniklerin tümüdür. Tahribatsız muayene metodlarının kullanımıyla üretilen ürünün bizzat kendisinin muayene edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Böylelikle de, kullanılacak malzemenin veya ürünün özellikleri ve bu bağlamda da güvenilirliği hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir (Bray ve McBride , 1992).

Tahribatsız muayene metodları tanımına giren çok sayıda teknik mevcuttur (Reis, 1990). Gelişen teknoloji ile de, var olan tahribatsız muayene metodlarına yenileri eklenmektedir. Gelişen yeni teknikler ise, tahribatsız muayene metodlarının daha yaygın ve farklı alanlarda kullanılabilme olanağını yaratmaktadır. Bir başka deyişle, gelişen teknoloji tahribatsız muayene metodlarına gereksinimi arttırmakta, artan gereksinim ise, yeni ve ileri tahribatsız muayene metodlarının geliştirilmesi talebini arttırmaktadır.

Tahribatsız muayene yöntemlerini kendi içinde farklı yönlerden sınıflandırmak mümkündür. Genel bir sınıflama, malzemedeki bilgi alınabilme durumuna göre yapılan sınıflamadır. Buna göre Tahribatsız muayene metodları üç grupta toplanabilir.

Bunlar:

- **Hacimsel Tahribatsız Muayene Metodları**
Malzeme iç yapısı hakkında bilgi verebilen yöntemlerdir. Çoğu kez tercih edilen yöntemler olmaktadır.
- **Yüzeysel Tahribatsız Muayene Metodları**
Malzeme yüzeyi veya hemen yüzey altı hakkında bilgi verebilen yöntemlerdir. Bir çok yöntem bu gruba girebilmektedir.
- **Bileşik Tahribatsız Muayene Metodları**
Malzeme veya ürünün iç bölgelerinden, ancak sonucun çoğu kez yüzeyden alındığı yöntemlerdir.

Tahribatsız muayene metodları tanımına giren onlarla ifade edilebilecek teknik olmasına karşın, günümüzde sanayinin genel taleplerine cevap verebilen teknikler yine de belirlidir. Bunlar arasında; radyografi, ultrasonik test, manyetik parçacık, sıvı girinim (liquid penetrant) ve girdap akımları teknikleri ile akustik emisyon, termografi, kaçak testi sayılabilir

Burada sayılan tekniklerden ilk beşi rutin olarak nitelenebilen tahribatsız muayene metodları olup, kullanımları ve kullanıcı vasıflandırılması standartlaşmış, yaygın tekniklerdir. Bu tekniklerin her birinin uygulama amacı ve yerine bağlı olarak tercih edilebileceği şartlar söz konusudur (Tuncel, 1994).

Bu beş tekniğin dışında olanlar ise rutinleşmekte olarak nitelenebilecek ve sanayide kullanımı yaygınlaşmakta olan teknikler mevcuttur. Bunların dışında da farklı talepler ve şartlar için kullanılan çok sayıda teknik bulunmaktadır (Mix, 1987).

Bu yöntemlerden radyografi ve ultrasonik test ve termografi hacimsel tahribatsız muayene metodları içinde, manyetik parçacık ve sıvı girinim yöntemleri yüzey tahribatsız muayene metodları içinde, akustik emisyon ve kaçak tayini yöntemleri de bileşik yöntemler içinde yer almaktadır.

Hacimsel tahribatsız muayene metodları, sanayinin, diğer tahribatsız muayene metodlarına göre daha çok talepte bulunduğu yöntemlerdir. Hacimsel muayene metodları ile, malzeme veya ürüne hasar vermeksizin iç yapıdan bilgi alınıyor olması, hacimsel tahribatsız muayene metodlarının uygulamasını öne çıkarmaktadır.

Radyografi; bir hacimsel tahribatsız muayene metodu olarak, yaygın kullanımı olan gelişkin bir tahribatsız muayene metodudur. Kronolojik gelişim açısından da endüstriyel amaçlı radyografi uygulamalarının kullanımı yarım asrı aşmış bulunmaktadır.

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, endüstride kullanımı yaygın olan bir hacimsel tahribatsız muayene metodu olan radyografi ile, endüstride birleştirme tekniği olarak yaygın olarak kullanılmakta olan kaynak dikişlerinin muayenesi incelenecektir. Bu bağlamda, kaynak dikişlerinin farklı ve özel şartlarda muayenesi ve de çekilen radyografların yorumlanması bu Yüksek Lisans tezinin kapsamı içinde düşünülmektedir.

BÖLÜM 2

RADYOGRAFİ

Radyografi; girici radyasyonla malzeme iç yapısına ilişkin görüntü alma tekniğidir. Hacimsel bir tahribatsız muayene metodu olarak sanayinin çoğu kez, taleplerine cevap verebilen bir tekniktir. Böylelikle, malzemenin iç yapısında olan süreksizlikler incelenebilir ve malzemeye zarar vermeden iç yapı hakkında bilgi alınabilir (**Becker, 1990**).

Radyografi tekniği uygulamalarında farklı radyasyon tipleri, girici radyasyon olarak kullanılabilir. Radyografi tekniği çoğu kez, kullanılan radyasyon tipi ile beraber anılmaktadır. Örneğin; X-ışını radyografisi, Gama radyografisi, elektron radyografisi, beta radyografisi ve nötron radyografisi gibi...

Ancak, endüstriyel amaçlı olarak kullanımda; endüstrinin tercih ettiği demir ve alaşımları gibi yoğun malzemelerin radyografisinde malzemeye nüfuziyet kabiliyeti yüksek radyasyona gereksinim duyulmaktadır. Dolayısıyla da endüstriyel amaçlı yaygın kullanım, girici elektromanyetik radyasyonun radyografide kullanılmasıdır. Bu bağlamda, X ve gama radyografi teknikleri “endüstriyel radyografi” olarak nitelenmektedirler (**Halmshaw, 1995**). Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında amaç, endüstriyel değerlendirme olduğundan, burada X-ışını radyografisi ve gama radyografisi üzerinde durulacaktır.

2.1. RADYOGRAFİK GÖRÜNTÜNÜN OLUŞMASI

Radyografik işlemler sonucunda, esas itibariyle, film üzerine görüntü alınır. Film üzerine alınan görüntüye “radyograf “ denir. Radyograf değerlendirmesiyle malzeme iç yapısı hakkında bilgi edinilir. Radyograf üzerindeki görüntü ise malzemeden geçen ve filme ulaşan radyasyon şiddeti ile ilgilidir.

Radyografik muayene; maddeden geçen radyasyonun zayıflaması esasına dayanır. Işınım kaynağından belirli özellik ve miktarda çıkan radyoaktif ışınım malzemeyi geçmesi esnasında zayıflar. Işının geçtiği bölgenin et kalınlığına ve malzeme cinsine bağlı olarak, zayıflama şiddeti farklı olabilmektedir. Bu şekilde gerçekleşen farklı radyasyon zayıflamaları sonucunda, film üzerine düşen ışın şiddetlerinin farklılığı ortaya çıkar. Dolayısıyla farklı bölgeler, bir başka deyişle süreksizlikler tespit edilebilir olur.

2.1.1. Girici Elektromanyetik Radyasyonun Madde İle Etkileşimi

Malzemeden geçen ışının zayıflaması, bu ışının malzeme içinde bir takım olaylarla soğurulmasından kaynaklanır. Girici elektromanyetik radyasyon fotonları, malzeme ile etkileşirken üç farklı olay meydana gelebilir. Bunlar, fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu olaylarıdır.

Foton tüm enerjisini atom elektronuna vererek yok olur ve elektron eşik enerjisi üzerinde enerji aldığından, atom uzayından kopar. Bu elektrona “fotoelektron” adı verilir. Genellikle, düşük enerjili X ve gama ışınları için bu olayın meydana gelme olasılığı yüksektir.

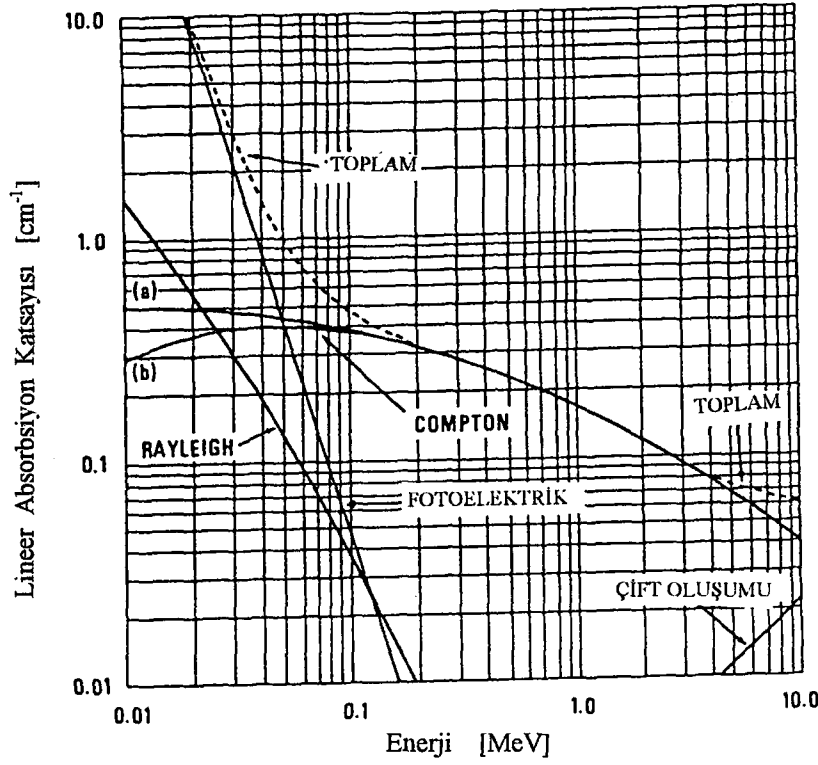
Foton, elektronla etkileşir, ancak, tüm enerjisini kaybetmez, enerjisinin bir kısmını elektrona verir. Elektron, eşik enerjisinin üzerinde aldığı enerji nedeniyle, atom uzayından ayrılır. Foton ise, yön değiştirerek ve enerjisinin bir kısmını kaybetmiş olarak yoluna devam eder.

Compton saçılmasında enerji ve momentum korunur. Compton saçılması yapan bir foton, daha sonra bir fotoelektrik olay yapabilir.

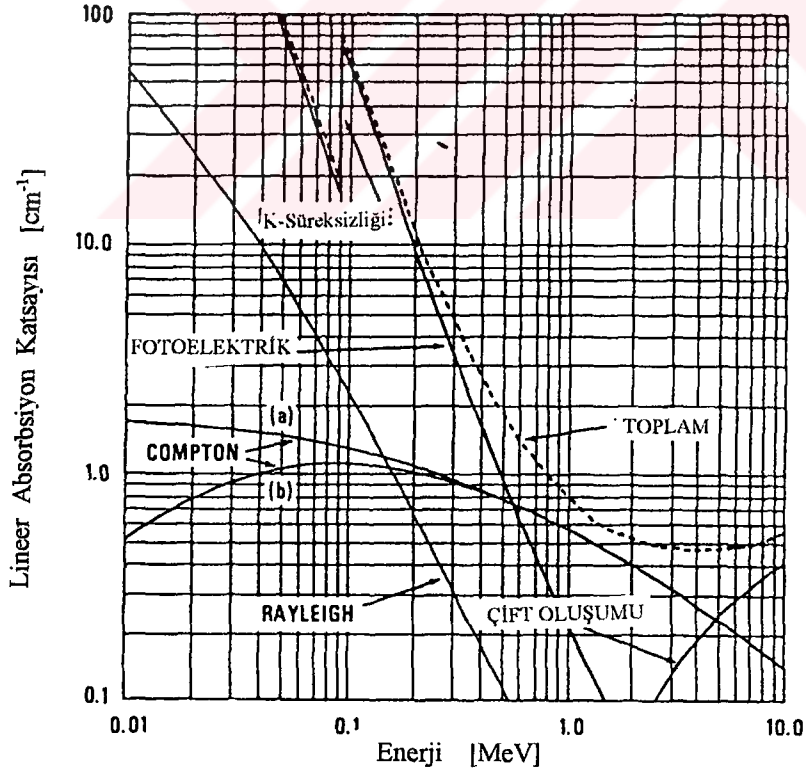
Fotonun enerjisi 1,02 MeV'in üzerinde ise çift oluşumu meydana gelebilir. 1,02 MeV'in üzerinde enerjitik bir foton, atom çekirdeğinin yakınından geçerken bir pozitron ve elektron çifti oluşumuna neden olur ve foton kaybolur. Pozitron ve elektron ise "anihilasyon radyasyonu"na neden olurlar.

Fotonun malzemeyle etkileşimi sonucunda absorpsiyona uğraması radyografik görüntünün oluşması açısından önemli bir faktördür. Elektromanyetik radyasyon kaynağının enerjisinin 1 MeV'den düşük olması sıkça rastlanan bir durumdur. Bu halde, fotoelektrik olay ve Compton saçılması söz konusu olur ve çift oluşumu meydana gelmez. Zira, çift oluşumunun meydana gelmesi için gerekli foton enerjisi bulunmamaktadır.

Fotonun madde ile etkileşimini ifade eden parametre esas itibarıyla lineer absorpsiyon katsayısıdır. Lineer absorpsiyon katsayısının kolime edilmiş monokromatik foton hüzmesi şartlarında enerjinin fonksiyonu olarak değişimi alüminyum ve kurşun için sırasıyla Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de görülmektedir (NCRP, 1985).



Şekil 2.1. Alüminyum İçin, Lineer Absorbsiyon Katsayısının Kolime Edilmiş Monokromatik Foton Hüzmesi Şartlarında Enerjinin Fonksiyonu Olarak Değişimi (NCRP, 1985).



Şekil 2.2. Kurşun İçin, Lineer Absorbsiyon Katsayısının Kolime Edilmiş Monokromatik Foton Hüzmesi Şartlarında Enerjinin Fonksiyonu Olarak Değişimi (NCRP, 1985).

2.1.2. Girici Elektromanyetik Radyasyonun Zayıflaması

Girici elektromanyetik radyasyon malzeme ile etkileşimi sonucunda, 1 MeV'in altındaki enerji seviyelerinde, girici ışın için farklı olasılıklar söz konusudur. Eğer girici elektromanyetik radyasyon fotoelektrik olaya uğrarsa, fotoelektrik olaya uğrayan ışınlar yok olduğundan filme ulaşamaz. Compton saçılmasına uğrarsa, yön değiştirerek filme ulaşabilir. Hiç etkileşim yapmazsa, bu durumda, ışınlar, doğrudan filme ulaşır.

Görüldüğü gibi, girici elektromanyetik radyasyonun malzeme ile etkileşimi sonucunda, radyasyonun şiddetinde azalma meydana gelmesi söz konusudur. Girici elektromanyetik radyasyonun zayıflaması, soğurma kanunu ile ifade edilir (**Gardner ve Ely, 1967**)..

$$I = I_0 e^{-\mu d} \quad (2.1)$$

Burada;

I : Filme ulaşan radyasyon şiddeti

I_0 : Parçaya ulaşan radyasyon şiddeti

μ : Parça malzemesinin absorpsiyon katsayısı

d : Parça kalınlığı

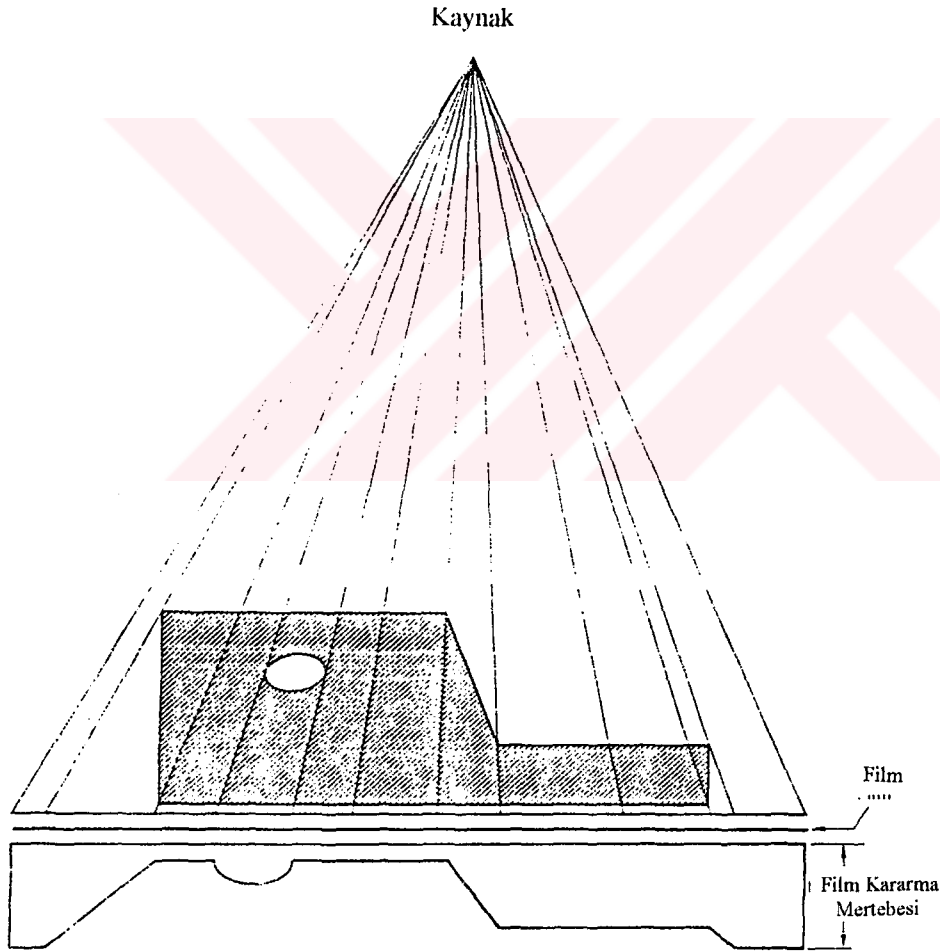
temsil etmektedir.

Denklem 2.1'den görüldüğü gibi girici elektromanyetik radyasyonun zayıflamasında parça kalınlığı ve malzeme cinsi önemlidir. Bir başka deyişle, malzemeye ilişkin iki önemli özellik radyasyonun zayıflamasında etkin olmaktadır. Radyografik görüntü oluşumu açısından, özellikle, girici elektromanyetik radyasyonun kat ettiği malzeme kalınlığı önemlidir.

Eğer malzemedeki süreksizlik bir boşluk (çatlak,gözenek vs.) ise radyograf üzerindeki görüntüde boşluk kısmı daha koyu görünür. Çünkü bu boşluktan geçen ışın şiddeti çevresindekilere göre daha yüksektir, dolayısıyla buradan geçen ışın film üzerine daha fazla etki eder ve o bölge daha karanlık olur.

Süreksizlik boşluk değil de, absorpsiyon katsayısı muayene edilen malzemeninkinden daha büyük olan farklı bir madde ise bu farklı maddeyi geçen ışın şiddeti daha az olacağından bu bölgenin görüntüsü daha açık olur. Böylelikle, radyograf üzerinde farklı koyulukda bölgeler oluşur ve bunlar malzeme içindeki süreksizlikleri temsil eder.

İşte bu şekilde oluşan, koyuluk ve açıklık bölgeleri değerlendirilerek süreksizlik tipi ve mertebesi belirlenip, kabul edilir olup olmadığına karar verilir. Kabul edilemez boyutta ve tipteki süreksizlikler “hata” olarak nitelenir ve parçanın kullanılmaması için red kararı verilir. Şekil 2.3’de radyografik görüntü oluşması şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.3. Radyografik Görüntü Oluşumu (CGSB, 1981).

2.2. GÖRÜNTÜ KALİTE FAKTÖRLERİ

Radyografik görüntü, kontrast ve tanım ile değerlendirilir. Burada, parçanın farklı özelliklere sahip iki farklı bölgesi için radyograf üzerindeki kararma yoğunluğu farklılığı “kontrast”, bu iki farklı bölgenin radyograf üzerinde ayırtılabilme keskinliğini ise “tanım” ifade eder. Kontrast ve tanım, beraberce radyografide “görüntü kalitesi”ni oluşturur.

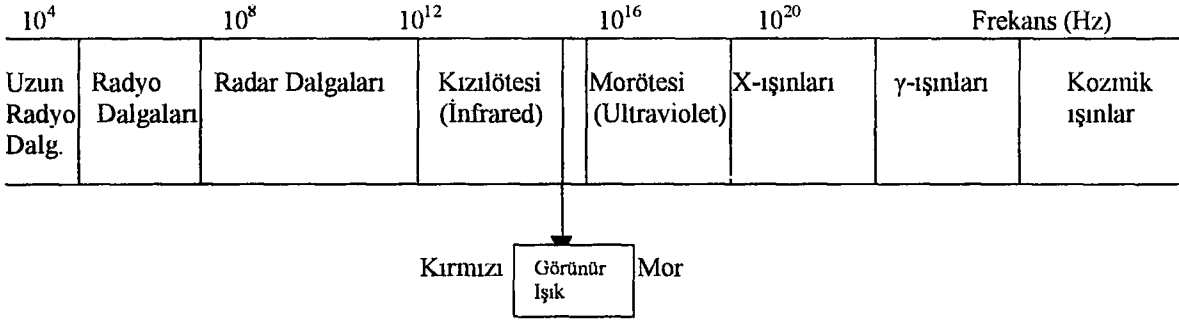
Görüntü kalitesine etken olan radyografik çekim parametreleri söz konusudur. Parçadaki detay süreksizliklerin tespit edilebilmesi için “Görüntü Kalite faktörleri” adı verilen bu faktörlerin uygun olarak seçilip, radyografik çekimin bu uygun faktörlerle yapılması gerekir. Aksi takdirde, uygun bir radyografik çekim yapılamamış olur ki; bu da tespiti istenen süreksizliklerin görüntülenmemesi sonucunu doğurur.

2.2.1. Kaynak Faktörü

Endüstriyel radyografide, elektromanyetik radyasyon ailesinin iki enerjilik ve girici ışını olan X ve gama ışınları kullanılır. Bu iki ışın elektromanyetik radyasyon ailesinin genel özelliklerini gösterdikleri gibi, maddeye nüfuz edebilme kabiliyetine de sahiptirler. Şekil 2.4’te X ve gama ışınlarının elektromanyetik radyasyon ailesi içindeki yeri frekansa göre düzenlenmiş olarak görülmektedir. c ışık hızı olmak üzere; frekans (ν) ve dalga boyu (λ) arasındaki bağıntı ise

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

olarak ifade edilebilir.



Şekil 2.4 X ve Gama Işınlrının Elektromanyetik Radyasyon Ailesi İçindeki Yeri

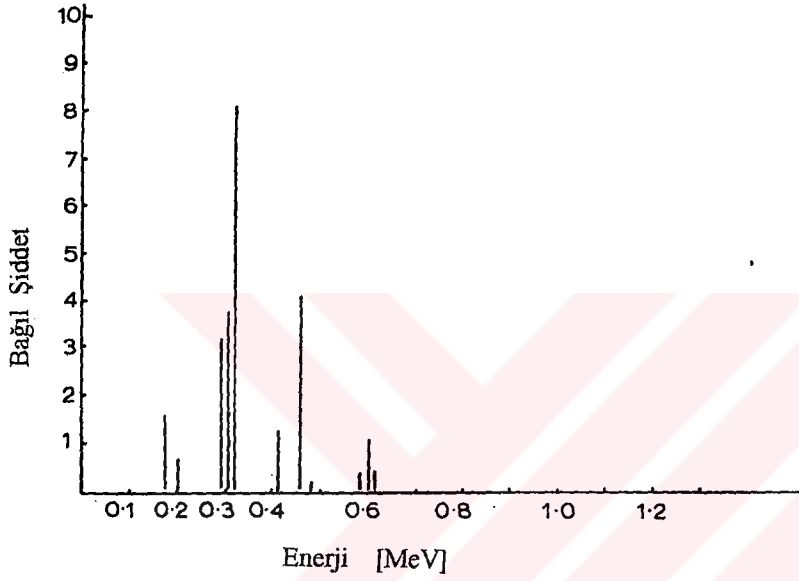
Girici elektromanyetik radyasyonlar olan X ve gama ışınlarından hangisinin kullanılacağına karar verilmesi kaynak faktörü kapsamındadır. Muayene amacına ve uygulamanın yapılacağı şartlar da göz önüne alınarak X veya gama ışını kaynaklarından biri seçilir. Her iki radyasyon kaynağının, birbirine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur.

Kalın ve yoğun parçaların radyografik uygulamaları için nüfuziyeti daha fazla olan gama kaynakları tercih edilir. Keza saha çalışmaları için de elektrikten bağımsız olması ve taşınma kolaylığı nedeniyle gama radyografisi tercih edilir. Buna karşın 5 cm'ye kadar cidar kalınlığına sahip parçaların yerleşik düzende radyograflarının çekiminde X-ışını radyografisi tercih edilebilir.

Seçilen radyasyon kaynağı X- ışını ise, kumanda faktörleri olan gerilim (kV) ve akım (mA) değerlerinin radyografi çekilmek istenen parçanın özelliklerine uygun olarak tayin edilmesi gerekir. Gama ışını, radyasyon tipi olarak seçilmişse, bu takdirde de radyografi çekilmek istenen parça için uygun bir radyoizotop kaynağın seçilmiş olması gerekir.

2.2.1.1. Gama Kaynakları

Gama ışınları atom çekirdeğinden yayınlanırlar. Bu durumda, gama kaynakları radyoizotop kaynaklar olmaktadır. Gama ışınları, atom çekirdeğinden belirli enerji veya enerjilerde yayınlanırlar. Bir başka deyişle, gama ışınları çizgisel spektruma sahiptirler (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Ir-192 Gama Kaynağının Enerji Spektrumu (Halmshaw, 1971).

Endüstriyel radyografi amaçlı kullanılacak doğal radyoizotoplar sınırlıdır ve genellikle doğal şartlardan ayırılma zorlukları arz etmektedir. Nükleer teknolojinin gelişimiyle, nükleer reaktörlerin yaygınlaşmasından sonra, yapay radyoizotopların kullanımı bir çok uygulama alanı için tercih edilir olmuştur. Bu bağlamda, radyografi kaynağı olarak da yapay radyoizotoplardan yararlanılmaktadır. Radyografi için gama radyoizotop kaynağı olarak kullanılacak yapay radyoizotoplar ve özellikleri Tablo 2.1’de bir araya getirilmiştir (Kodak, 1980).

Tablo 2.1

Gama Radyografisinde Kullanan Yapay Gama Radyoizotop Kaynakları
(Kodak, 1980)

Radyoizotop Kaynak	Yarı-Ömür	Enerji (MeV)	Kullanılması Tavsiye Edilen Şartlar
Tulyum-170	127 gün	0,084 ve 0,052	Hafif Alaşımlar, Plastik, Tahta ve eşdeğeri malzemeler
İridyum-192	74 gün	0,31 – 0,47 – 0,61 (En önemli pikleri)	3,75 cm – 6,30 cm çelik ve eşdeğeri malz.
Sezyum-137	33 yıl	0,660	2,5 cm – 8,80 cm çelik ve eşdeğeri malz
Kobalt-60	5,3 yıl	1,17 ve 1,33	6,30 cm -22,5 cm çelik ve eşdeğeri malz

Radyografik muayene için gama ışını kaynağı kullanılmak istendiğinde ise, yapılacak muayeneye göre uygun radyoizotop seçilmesi gerekir. Gama aktif elemanlar, sürekli gama ışını yayınladığından bunlar “sürekli ışınım kaynakları” olarak nitelenirler. Bu bakımdan endüstriyel uygulamalar için çoğu kez tercih edilirler. Ancak, aktivitelerinin zamanın fonksiyonu olarak değişimi söz konusudur. Ayrıca, devamlı olarak, nükleer güvenlik şartlarının sağlandığından emin olunması, gerekli bir zorunluluktur.

Gama radyoizotop kaynakların giriciliğe etken parametresi enerjisi olup, kantite faktörü ise radyoizotopun aktivitesidir. Tablo 2.1’de tavsiye edilen kalınlıklar, radyoizotop kaynağın yayınladığı gama fotonlarının enerjilerine göre belirlenmiştir. Buna karşın, radyoizotop kaynağın aktivitesi, kaynağın yarı-ömrüne bağlı olarak zamanın fonksiyonu olarak değiştiğinden, radyografik her uygulama için uygulayıcı tarafından göz önüne alınması gerekir.

Gama kaynağının enerjisi, kullanım amacına uygun olarak, bir kez radyoizotop kaynak temin edilirken seçilmiş olur. Buna karşın aktivite uygulayıcının isteği dışında, yarı-ömür bağlamında değişir. Ancak, kullanılan yapay radyoizotopların reaktörde ısılatılmalarıyla aktivitelerini yükseltmek mümkündür.

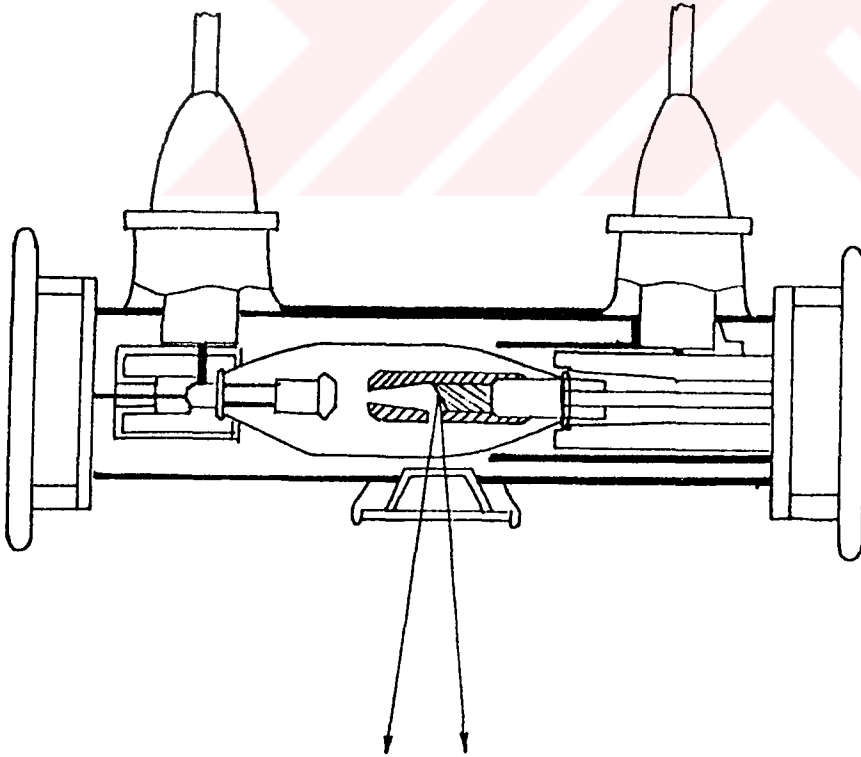
The diagram shows a cable labeled "Kablo" on the left and a component labeled "Kaynak" on the right. The cable is shown entering the component and being welded to it. The welding process is indicated by a shaded area around the point of contact.

Şekil 2.6. Uzaktan Kumandalı Gama Cihazı (Halmshaw, 1995)

2.2.1.2. X-Işını Kaynağı

X- ışınları iki farklı şekilde oluşur. Bunlardan biri; karakteristik X- ışınları, diğeri ise, frenleme (Bremsstrahlung) tipi X-ışınlarıdır. Endüstriyel radyografide de karakteristik X- ışınları kullanılmaz. Çünkü karakteristik X-ışınlarının enerjileri endüstriyel radyografi için yeterli yüksek enerjilerde değildir.

Endüstriyel radyografide, frenleme (Bremmstrahlung) tipi X-ışınları kullanılır. Frenleme tipi X-ışınları, X-ışını tüpünde üretilir. Hızlandırılmış elektronların bir hedef elemana çarptırılmalarıyla, frenleme tipi X-ışınları üretilir. Tüpte serbest elektronların oluşturulması için bir flaman üzerinden akım geçirilir. Oluşturulan elektronların hızlandırılmaları için ise, katodu oluşturan flaman ile tungsten hedef elamanın yerleştirildiği anod arasına gerilim uygulanır. Burada, kumanda faktörleri: uygulanan gerilim ve akım parametreleridir. Şekil 2.7'de şematik olarak bir X-ışını tüpü görülmektedir.



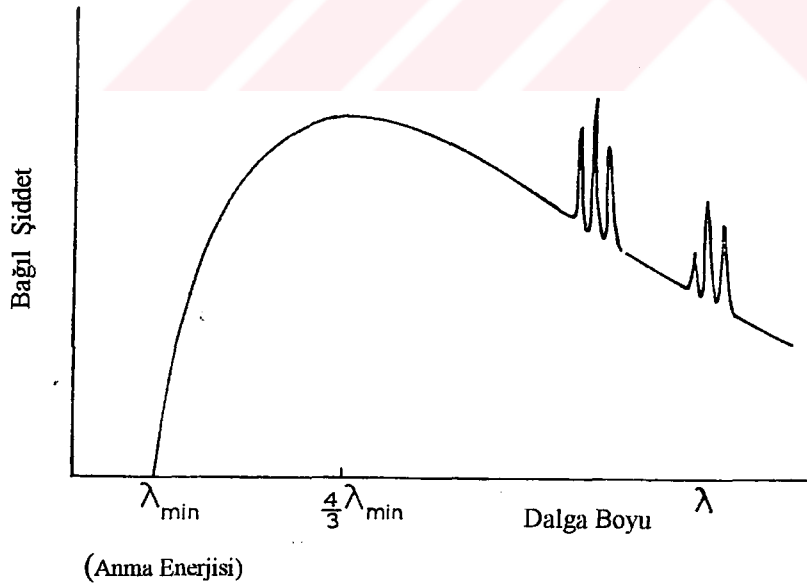
Şekil 2.7. X-Işını Tüpünün Şematik Görünümü (Halmshaw, 1995)

X-ışını tüpü ile çalışmanın uygulama açısından önemli bir avantajı, tüpe akım ve gerilim uygulandığı sürece X-ışını üretimi sürer. Diğer zamanlar, radyasyon üretimi söz konusu değildir. Endüstriyel radyografi cihazları olarak kullanılan X-ışını tüplerinin kapasitesi 300 kV– 400 kV voltaj kapasitelidir ve verimleri yüksektir. 300 kV’luk bir X-ışını tüpü ile maximum 5 cm. çelik kalınlığı veya eşdeğer malzeme kalınlığına kadar radyografi çekimi yapılması uygun olmaktadır.

Bir X-ışını tüpünde oluşturulan frenleme tipi X-ışınlarının enerji spektrumları geniş spektrumdur. Ancak, bu geniş spektrumun üzerinde, anoddaki hedef elemanların karakteristik X-ışını pikleri de yer alır. Geniş spektrumun maksimum enerji seviyesi, “Anma Enerjisi” olarak nitelenir ve üretilen geniş spektrumlu X-ışınları bu enerji seviyesi ile anılır. Elektromanyetik radyasyonun dalga boyu ve enerjisi (E_e) arasında;

$$E_e \text{ (keV)} = \frac{12,4}{\lambda(A^\circ)} \quad (2.3)$$

şeklinde bağıntı bulunmaktadır. Şekil 2.8’de bir X-ışını tüpünden elde edilen dalga boyu spektrumu verilmektedir.



Şekil 2.8. Bir X-ışını Tüpünden Elde Edilen X-ışınlarının Enerji Spektrumu
(Halmshaw, 1971)

X-ışını cihazlarının ürettiği frenleme tipi X-ışınları ile çalışılması önerilen malzeme ve gerilim önem arz etmektedir. Tablo 2.2’de önerilen kullanım voltajları verilmiştir (Becker, 1990). Görüldüğü üzere, endüstriyel radyografide esas itibariyle orta ve sert olarak nitelenen X-ışınları kullanılmaktadır.

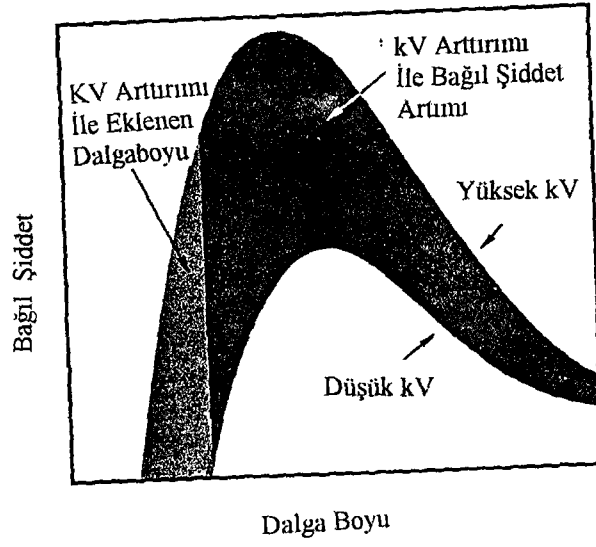
Tablo 2.2

X-ışınları İçin Önerilen Kullanım Enerjisi (Becker, 1990).

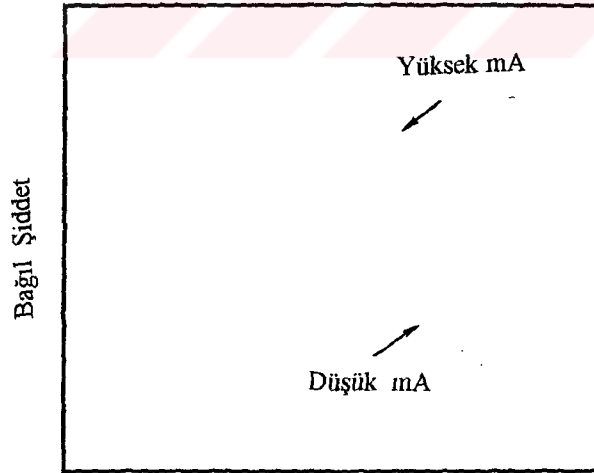
Malzeme	Malzeme Kalınlığı (mm)	X-ışını Enerjisi (keV)
Alüminyum	50	70-120
Çelik	5	90-120
Çelik	10	100-140
Çelik	25	150-250
Çelik	50	250-400

X ışıını tüpü kullanımında; kumanda faktörleri olan gerilim ve akım, dolayısı ile kalite ve kantite faktörleri tüpün maximum kapasitesine göre istenen mertebelerde ayarlanabilir. Kalite faktörünü değiştirmek için tüpe uygulanan voltajı, kantite faktörünü değiştirmek için de uygulanan akımı değiştirmek yeterlidir. Şekil 2.9’da ve Şekil 2.10’da sırasıyla gerilim (kV) ve akımın değiştirilmesi durumunda enerji spektrumunun gösterdiği değişim görülmektedir.

Burada önemli bir husus; X-ışını tüpüne uygulanan akım (mA) değiştirildiğinde spektrumun anma enerjisi değişmemektedir. Buna karşın, X-ışını tüpüne uygulanan gerilim (kV) değiştirildiğinde anma enerjisi değişmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, X-ışını “Kumanda Faktörleri” olarak nitelenen gerilim ve akım kumandalarından gerilim kumandası, X-ışınlarının malzemeye nüfuziyeti ile ilgili olarak üretilen radyasyonun enerjisinin değişmesi anlamını taşıdığından daha önemli olan kumanda faktörü durumundadır.



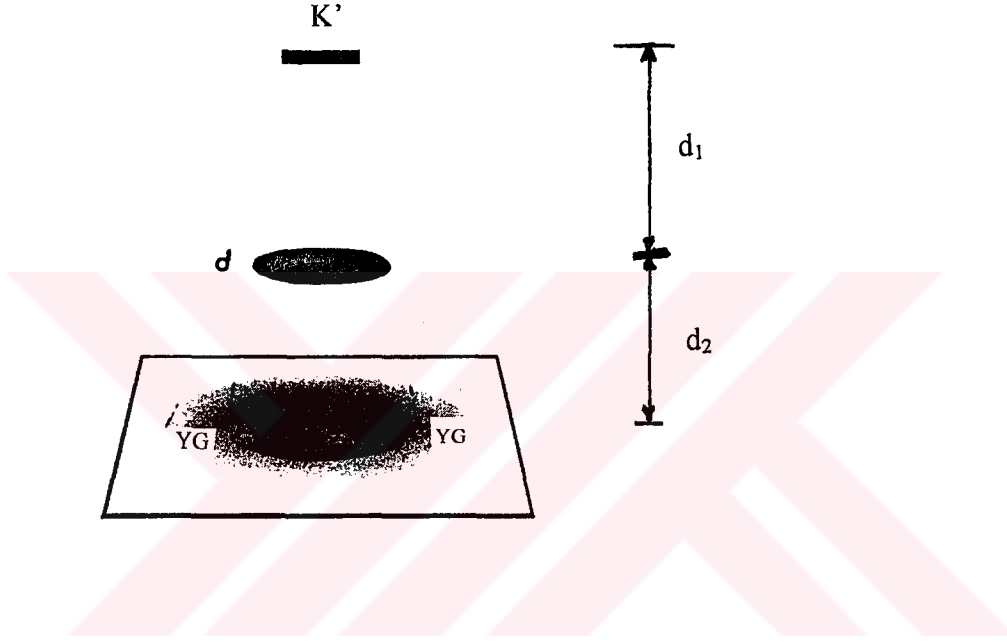
Şekil 2.9. X-Işını Tüpünde Gerilimin Değiştirilmesi Sonucu X-Işınlarının Enerji Spektrumunda Meydana Gelen Değişim (Kodak, 1980)



Şekil 2.10. X-Işını Tüpünde Akımın Değiştirilmesi Sonucu X-Işınlarının Enerji Spektrumunda Meydana Gelen Değişim (Kodak, 1980).

2.2.2. Geometri Faktörü

Geometri faktörü, radyografya oluşan görüntü kalitesi ile doğrudan ilgili, önemli bir faktördür. İdeal nokta kaynak kullanılamaması nedeniyle “Yarı-gölge” oluşur. Yarı-gölgenin oluşumuna ilişkin bir şematik gösterim şekil 2.11’de görölmektedir.



şekil 2.11. Yarı-Gölge Oluşumu (Kodak, 1980).

Yarı-gölge oluşumu istenmeyen bir husus olup, olabildiğince elimine edilmeye çalışılır. Burada önemli olan radyasyon kaynağı-parça ve film yerleşim geometrisidir. Bu nedenle de bu faktör “Geometri Faktörü” olarak anılır.

Yarı-gölge;

$$YG = K' d / [(d_1 - d_2) - d] \quad (2.4.)$$

olarak ifade edilebilir. Burada; K' kaynak boyutunu, d1 kaynak-parça uzaklığını, d2 parça-film uzaklığını ve d parça kalınlığını ifade etmektedir.

Kaynak, parça ve filmin yerleşimi en iyi görüntüyü elde edecek şekilde olmalıdır. Bunun için parça film üzerine mesafe bırakılmadan yerleştirilir. Ayrıca, parça kalınlığı yarı-gölgeyi artırıcı bir etken olduğundan parçanın en dar boyutu, kaynak-film arasına gelecek şekilde yerleşim yapılır.

Yarı gölgeyi minimize etmek için d_1 artırılabilir. Bazı durumlarda, bu mesafe ortam şartları nedeniyle istendiği kadar artırılamayabilmektedir. Bu bağlamda, yarı-gölge açısından minimum radyasyon kaynağı-film uzaklığı (f_{min}) tanımlanmıştır. d parça kalınlığı olmak üzere;

$$f_{min} \geq 8 d \quad (2.5)$$

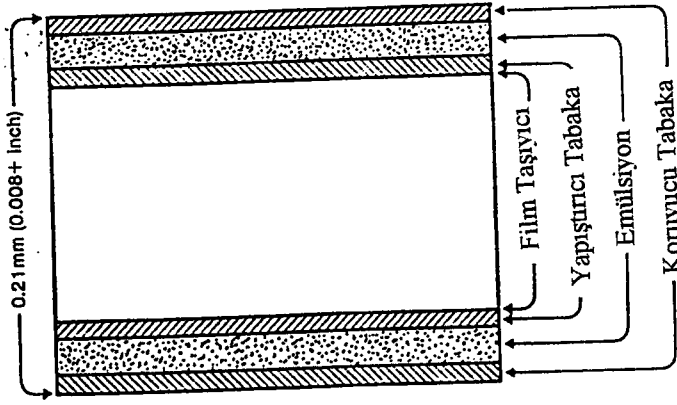
olmalıdır.

Görüldüğü üzere, her radyografik çekim için radyasyon kaynağı-film mesafesi uygulayıcı tarafından ayarlanması gereken bir parametredir. Bir başka deyişle, kaynak-film mesafesi için yapılacak uygun bir seçim, doğrudan elde edilecek görüntü kalitesini etkiler.

2.2.3. Film Faktörü

Bilindiği gibi fotonlar boyutsuz enerji paketçikleridir. Fakat dalga mekaniğine uydukları için madde ile etkileşebilirler. X ve gama ışınları da fotonlardan oluşur, ancak insanlar tarafından aracısız olarak algılanamazlar. Film, X ve gama ışınları için bir algılama aracıdır. Film, radyografide elde edilen bilgilerin kaydedilmesini sağlar.

Filmin etken elemanı olarak gümüş-bromür kullanılır. Gümüş-bromürün molekül yapısı dışında topluluk oluşturma, beraberce tanecik oluşturma özelliği vardır. Bu taneciklere “gren” adı verilir. Grenlerin büyük olduğu filmlere “iri taneli”, küçük olduğu filmlere ise “ince taneli” film denir. Radyografik filmlerde gümüş-bromür dışında bazı yan elemanlarda bulunur. Şekil 2.12’de bir radyografik filmin kesiti şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.12 Endüstriyel Radyografide Kullanılan Filmin Kesiti (Becker, 1990).

Aynı kaynak karşısında, aynı sürede, iri taneli filmde bir grene, ince taneli filmdeki bir grene göre daha fazla ışın isabet eder. Dolayısıyla, iri taneli filmde, gren alması gereken ışını, daha kısa sürede alır. Bu yüzden, iri taneli filmler “ hızlı film” olarak adlandırılır. Ancak, bir gren, üzerine gelen ışınların, bileşkesiyle bilgi aktarımı sağlar. Bu bağlamda iri taneli – hızlı filmler detayı ayırt edemez. Buna karşın, ince taneli - yavaş filmlerde ise gren alması gereken ışını daha uzun sürede alır, ancak, detayı kaydedebilirler. Hızlı ve yavaş filmler arasında, orta taneli orta hızlı filmler de geliştirilmiştir.

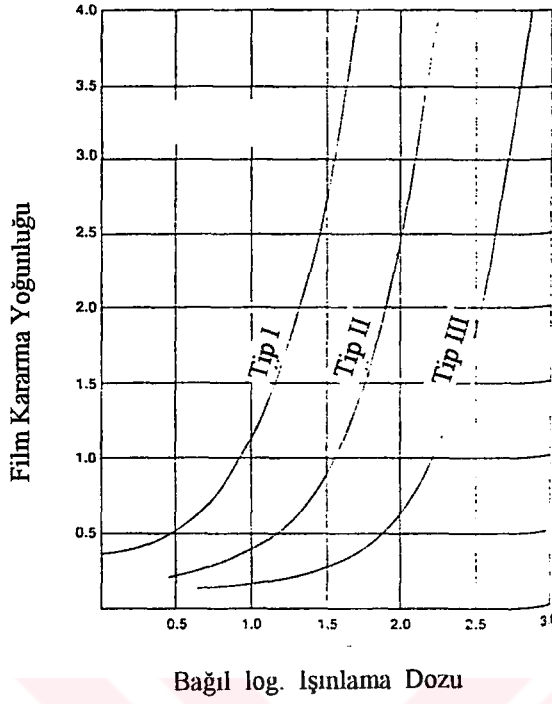
Tıpta objenin daha az radyasyona maruz kalması istendiğinden hızlı film kullanımı tercih edilir. Buna karşın, endüstride obje daha uzun süre radyasyona maruz bırakılabileceğinden yavaş ya da orta hızlı filmler kullanılır.

Filmin kararma yoğunluğu (D'); I'_0 filme ulaşan ışın ve I' filmi aşan ışın olmak üzere:

$$D' = \log (I'_0/I') \quad (2.6)$$

olarak ifade edilir (McIntire, 1985, Becker, 1990)..

Farklı filmlerin farklı kararma kapasiteleri söz konusudur ve bu bağlamda çizilen grafiklere “film karakterisrik eğrisi” denir. Şekil 2.13’de sıkça kullanılan, farklı filmlerin karakteristik eğrileri görülmektedir (Cartz, 1995)..



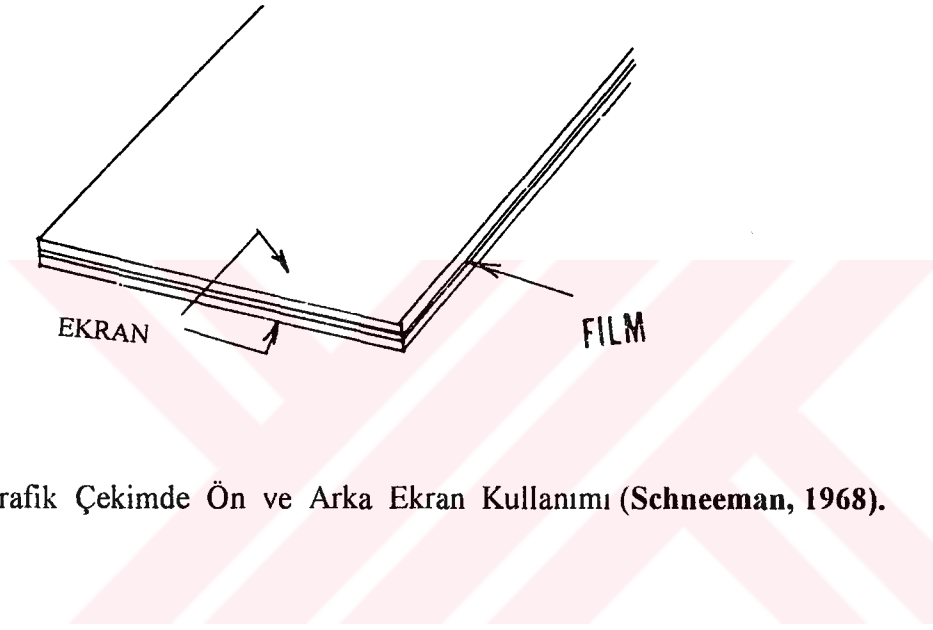
Şekil 2.13. Radyografik Film Karakteristik Eğrileri (Catz, 1995).

Endüstriyel radyografide film kararma yoğunluğunun 2 ile 3,5 arasında olması istenir. Bu şartlarda, istenen nüfuziyetle malzeme iç yapısına ilişkin görüntü alınmış olur. Dolayısı ile bu kararma aralığında kararmanın sağlanmış olacağı bir radyografik çekim “uygun” bir çekim olarak nitelenir.

Film kararma yoğunluğu ve radyografin kalitesini belirleyen hususlar “kontrast” ve “tanım” ile belirlenir. Kontrast, parçanın iki farklı bölgesine ilişkin radyografıta oluşan film kararma yoğunluğu farklılığı, tanım ise keskin bir kalınlık değişiminin radyograf üzerine aktarılabilme yetisini ifade eder. Bu bağlamda, radyografların rezolüsyonu söz konusudur ve detayın tespiti için önem arzeder (Çetin Şişman, 1992).

2.2.4. Ekran Faktörü

Radyografik çekim sırasında, filmlerin iki tarafına konan elemanlardır. Filmin parça tarafına yerleştirilen ekran “ön ekran”, diğer tarafına yerleştirilen ekran ise, “arka ekran” olarak nitelenir. Şekil 2.14’te ön ve arka ekran kullanarak hazırlanmış film şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.14. Radyografik Çekimde Ön ve Arka Ekran Kullanımı (Schneeman, 1968).

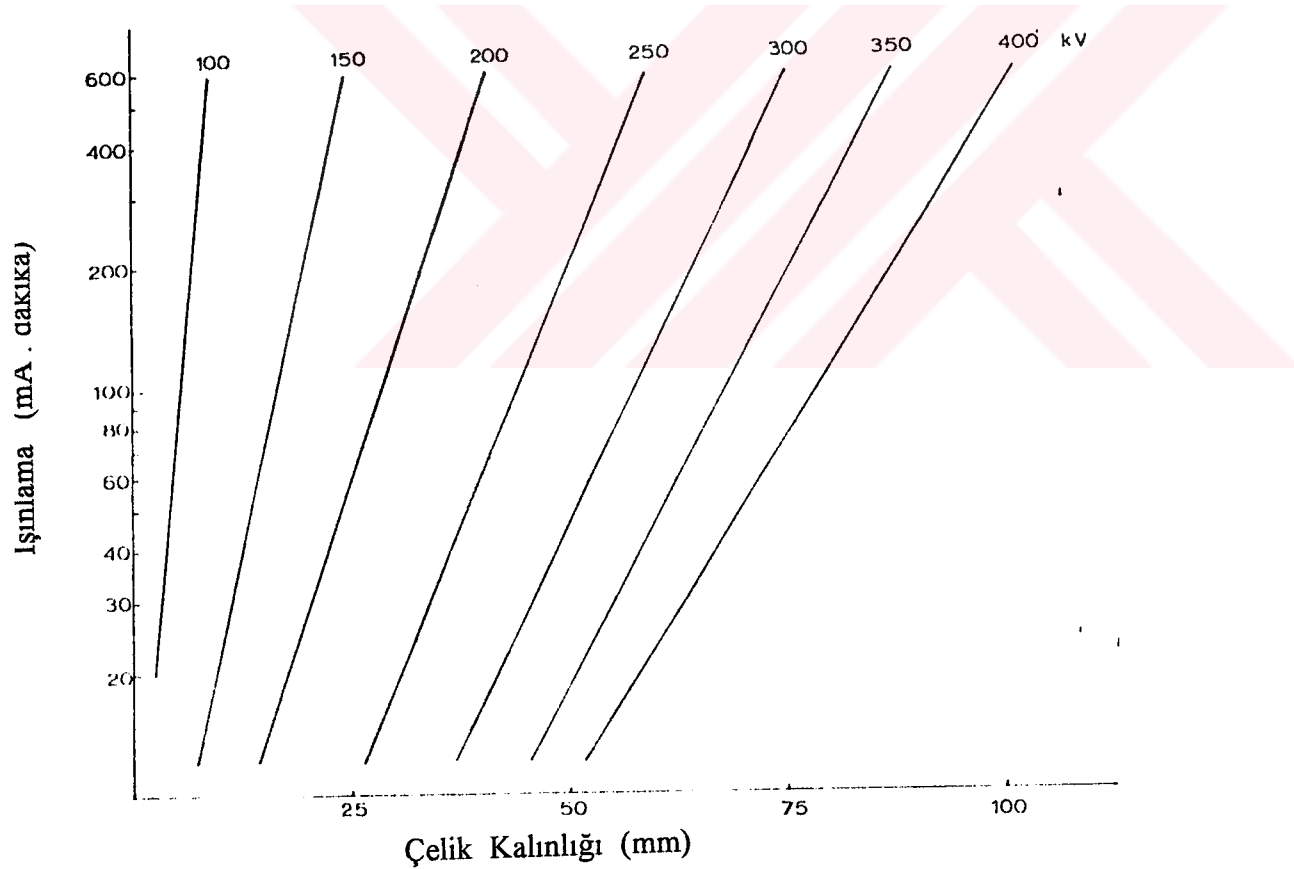
Ön ekran, “kuvvetlendirici ekran” olup, parçayı kat ederek gelen ışınların filmi daha fazla etkileyebilmesi için yerleştirilmiş ekranlardır. Arka ekran ise, çevreden kaynaklanan geri saçılan ışınları absorblamak üzere yerleştirilirler ve bu nedenle de “koruyucu ekran” olarak nitelenirler.

Genellikle ön ve arka ekran aynı kalınlıktadır. Endüstride ön ve arka ekran olarak çoğu kez 0,125 mm. kalınlığında kurşun folyo kullanılmaktadır. Ön ekran konusunda farklı uygulamalar için farklı öneriler söz konusudur (Bulubay ve Tuğrul, 1998, Bulubay, 1995). Ancak, kaynak dikişi kontrollerinde rutin kullanım tercih edilmektedir. Tıpta ise, kuvvetlendirme etkisi yüksek olan tuz veya floresans ekran olarak nitelenen ekranlar tercih edilir. Bu tip ekranlar, görüntü rezolüsyonunu arttırdığı için endüstriyel amaçlı olarak kullanılmazlar.

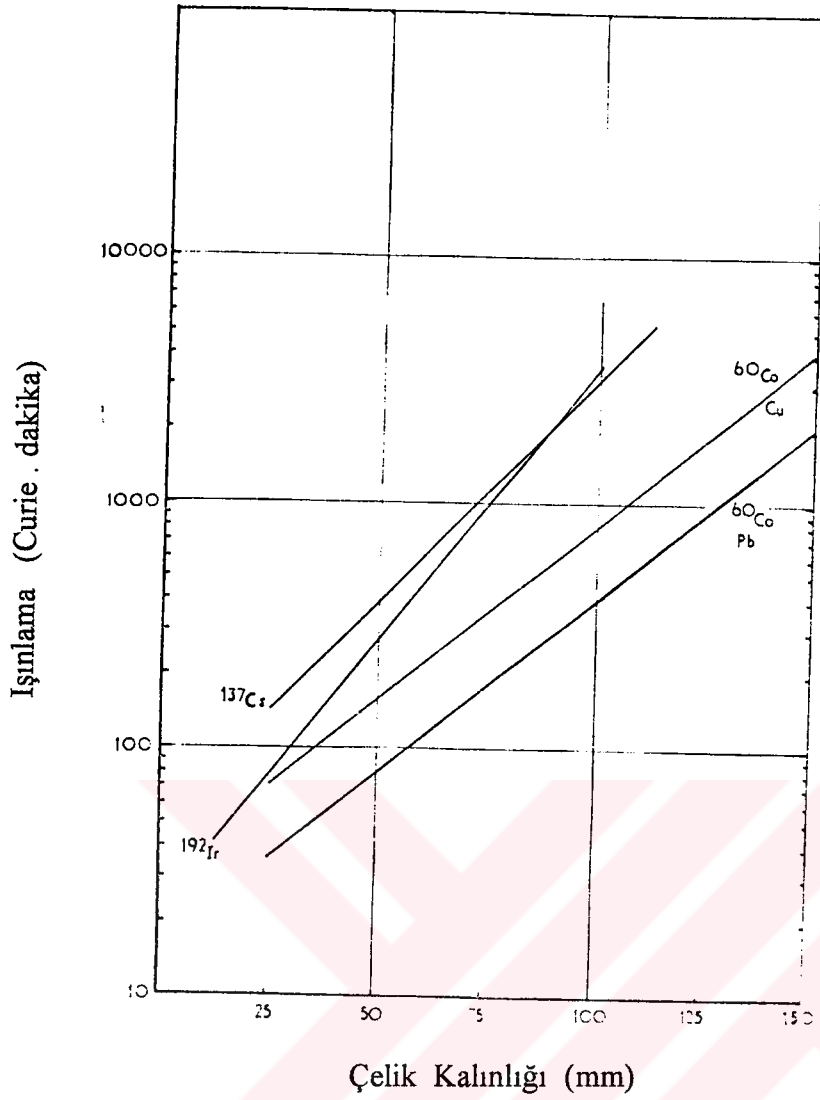
2.2.5. Poz Süresi

Buraya kadar açıklanan dört görüntü kalite faktörü göz önüne alınarak radyografik çekim süresi tayin edilmektedir. Çekim süresi “poz süresi” olarak nitelenir. Bu bağlamda, poz süresi; çalışılacak kaynak, geometri, film ve ekran tayin edildikten sonra belirlenir.

Poz süresi tayinine ilişkin olarak abaklar veya grafikler geliştirilmiştir. Şekil 2.15’te çeliğe ilişkin X-ışını için poz süresi tayin grafiği, Şekil 2.16’da ise, çeliğe ilişkin gama ışını poz süresi grafiği görülmektedir.



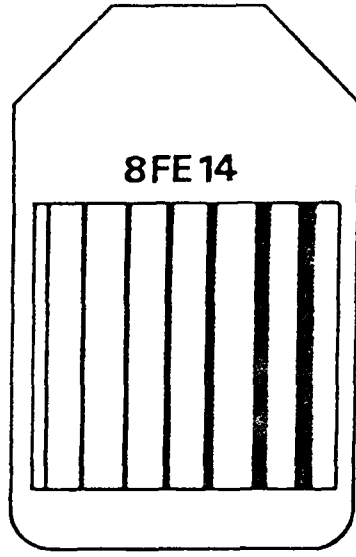
Şekil 2.15 Çeliğe ilişkin X-ışını İçin Poz Süresi Tayin Grafiği (Halmshaw, 1971)
(2 film yoğunluğu için 900 mm mesafe, D7 film ve 0,05-0,25 mm Kurşun Ekran şartlarında)



Şekil 2.16 Çeliğe İlişkin Gama Işını Poz Süresi Tayin Grafiği (Halmshaw, 1971)
(2 film yoğunluğu için 500 mm mesafeden, D7 film ve Ir-192 ve Cs-137 için kurşun ekran, Co-60 için 0,5 mm kurşun ekran ve 1,5 mm bakır ekran şartlarında)

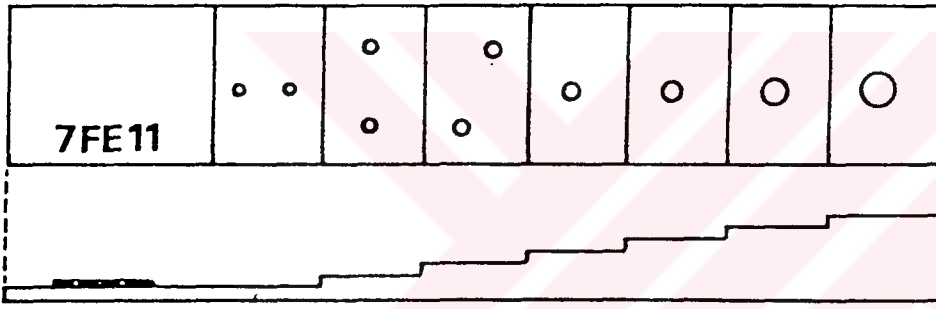
2.3. GÖRÜNTÜ KALİTESİ TAYİNİ

Görüntü kalitesinin tayini için radyografik çekim sırasında parça üzerine “görüntü kalite göstergeci” olarak nitelenen penetremetreler yerleştirilir. Penetremetreler çeşitli olup, basamaklı, delikli veya telli olabilir. Şekil 2.17’de çeşitli penetremetreler görülmektedir.



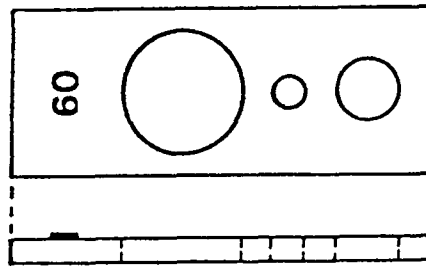
(a)

Telli Penetremetre



(b)

Basamaklı Penetremetre



(c)

Delikli Penetremetre

Şekil 2.17. Çeşitli Penetremetreler (Halmshaw, 1991)

Endüstride en yaygın kullanımı olan penetre metreler, telli penetre metrelerdir. IQI (Image Quality Indicators) olarak telli penetre metrelerin tel çapı ise, DIN Normu çerçevesinde Tablo 2.3’de verilmektedir

Tablo 2.3

Telli Penetre metrelerin Tel Çapları (Tuncel, 1994)

Görüntü Kalite No	Tel Çapları (mm)	Tel Penetre metre No
1	3,20	
2	2,50	
3	2,00	Penetre metre 1/7
4	1,60	
5	1,25	
6	1,00	
7	0,80	
8	0,63	
9	0,50	Penetre metre 6/12
10	0,40	
11	0,32	
12	0,25	
13	0,20	
14	0,16	Penetre metre 10/16
15	0,12	
16	0,10	

Görülebilen en ince tel (veya delik veya kalınlık) kalınlığından yararlanılarak, penetre metreler aracılığıyla hassasiyet tayini yapılmaktadır.

Hassasiyet (S) Tayini;

$$S (\%) = \frac{\text{Radyograf ta görülebilen en ince penetre metre kalınlığı}}{\text{Parça kalınlığı}} \times 100 \quad (2.7)$$

olarak tayin edilmektedir (Halmshaw, 1991).

Hassasiyetin % 2 veya daha aşağıda değerde olması istenir. Bir başka deyişle, hassasiyeti % 2 veya daha düşük olan radyograf çekimi “uygun” bir çekim olarak nitelenebilir.

BÖLÜM 3

KAYNAK TEKNIĞİ VE KAYNAK DİKİŞLERİNİN RADYOGRAFİK DEĞERLENDİRMESİ

Kaynak tekniğı, önemli bir birleştirme tekniğı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu teknik sadece metallere değil, ancak, günümüzde örneğın; plastiklere de başarıyla uygulanabilmektedir.

Tanım olarak, kaynak; önceleri, “iki metalin füzyon ile birleştirilmesi” olarak tanımlanmıştır (Patton, 1967). Zaman içinde, geliştirilen teknolojiler ile, kaynağın uygulama alanı genişletilmiş ve bu bağlamda da kaynak tanımında da değişiklik yapılması gerekmiştir. Buna örne; daha kapsamlı bir tanım olarak; kaynak, metal veya plastiklerin ilave bir parça kullanılmadan yapılan birleştirme tekniğı olarak verilmektedir (Patton, 1967).

Kaynak tekniğı birçok metale veya metal alaşımına başarıyla uygulanabilmektedir. Bununla beraber, halihazırda en çok kullanılan malzeme demir olduğundan, demir ve demir alaşımlarının kaynağı ayrı bir önem taşımaktadır. Bu bakımdan metallerin kaynağı sınıflandırıldığında; “demir ve alaşımlarının kaynağı” ve “demir dışı metal kaynağı” olarak iki gruba ayırmak mümkün olabilmektedir (Patton, 1967).

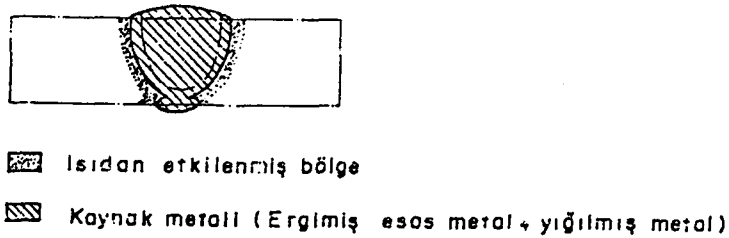
Günümüzde, en yaygın ve rutin kullanımı olan bir malzeme demir ve demir alaşımlarıdır. Bu bağlamda, kaynak tekniğinin en yaygın ve geniş anlamda kullanıldığı malzeme olarak demir ve demir alaşımlarından bahsedilebilir. Bu Yüksek Lisans tezi çerçevesinde de esas itibarıyla demir ve demir alaşımı olan çelik kaynağı üzerinde durulacaktır.

TS 11245 (1994)'te yer alan ve esas itibariyle metal kaynağını betimleyen kaynak tanımı; “kaynak metali ve ısıdan etkilenmiş bölgeyi ihtiva eden genel bir terim” olarak verilmektedir. Kaynak etme işlemi ise; iki veya daha çok parçanın atomlar arası bağ vasıtasıyla mevzii olarak bağlanma işlemi olarak belirlenmektedir (**TS 11245, 1994**). Bu durumda, kaynaklı yapı; elemanları kaynakla birleştirilmiş komple bir yapıdır (**TS 11245, 1994**).

Kaynak tekniği metal dışı elemanlara da kullanılıyor olmasına karşın, halen en yaygın ve geniş kullanımı metaller içindir. Bu bağlamda, kaynak denince ilk olarak, metal kaynağı aklı gelmektedir. Metal kaynağı, öncelikle bir metalurjik işlemdir ve bu nedenle “kaynak metalurjisi” kaynağın önemli bir konusunu oluşturur. Fazla olarak, kaynak, ısı bir işlem olup, “kaynak dikişi” olarak adlandırılan kaynak bölgesinin ısı transferi açısından incelenmesi, bu tekniğin bir diğer önemli konusunu oluşturur.

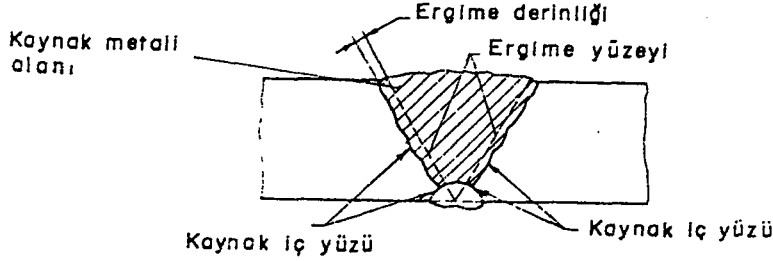
Burada, malzeme açısından önemli farklı bölgeler mevcuttur. “Esas malzeme” veya “esas metal” nitelemesiyle, kaynak yapılan malzeme kastedilir. “Yığılmış metal” ile kaynak işlemi vasıtasıyla ilave metalden esas metale yığılan metal ifade edilir. Kaynak metali olarak ise; kaynak esnasında ergiyip katılaştan esas metal ve yığılmış metalin karışımı ile meydana gelen metal betimlenir (**TS 11245, 1994**).

Kaynak esnasında kaynak yapılacak yere verilen ısı “ısı girdisi” olarak nitelenmekte ve kesme veya kaynak ısı vasıtasıyla esas metalde yapı ve mekanik özelliklerin değiştiği ergimemiş bölge “ısıdan etkilenmiş bölge” olarak adlandırılmaktadır (**TS 11245, 1994**). Şekil 3.1’de bir genel kaynak kesiti görülmektedir.



Şekil 3.1 Kaynak Kesiti (TS 11245, 1994)

Kaynağın farklı bölgeleri söz konusudur. Bunlar arasında; kaynak metali alanı, ergime derinliği, ergime yüzeyi, kaynak iç yüzeyi sayılabilir. Şekil 3.2’de kaynağın farklı bölgeleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Kaynak Bölgeleri (TS 11245, 1994).

Kaynak standartlarda belirtildiği üzere, grafik olarak sembolize edilmektedir. Şekil 3.3’te kaynak sembolü görülmektedir.



Şekil 3.3 Kaynak Sembolü (TS 11245, 1994)

Kaynak “kaynak makinası” adı verilen aparat kullanılarak, kaynakta kullanılan donanım elemanları olan “kaynak takımı” ile yapılır. Kaynağın önemli bir elemanı da “elektrot”dur. Bu Kaynak makinası, kaynak takımı, elektrottan ayrı olarak, kullanılan koruyucu atmosferi veya ortamı ve havalandırma hücresi gibi özel bölme veya bölgeler ve de kullanılan gerilim “kaynak şartlarını” oluşturur. Kaynağın “doğrusal” veya “eğimli” olması da üzerinde durulması gereken bir diğer şarttır.

3.1. KAYNAK TEKNİKLERİ

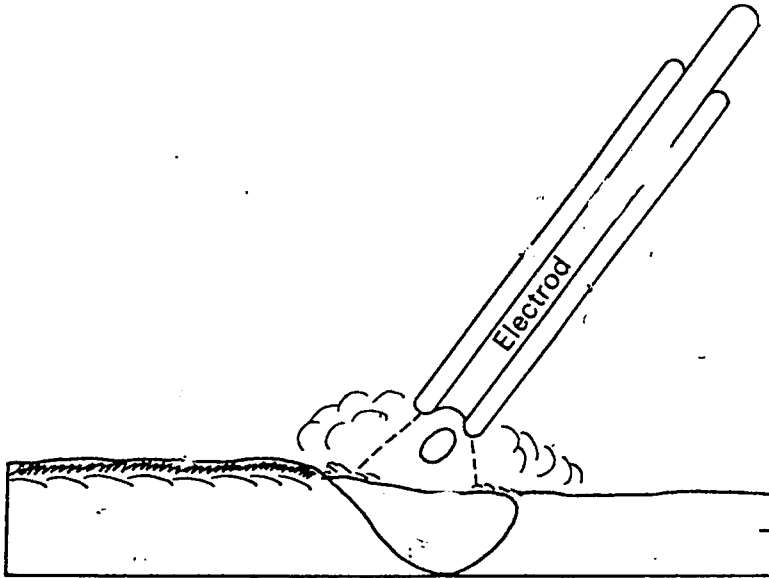
Gelişen teknoloji ile hayli farklı kaynak tekniği geliştirilmiştir. Bu kapsamda, sıralama yapılmak istenirse, “çok sayıda” kaynak tekniğinden bahsedilebilir. Ancak, burada, genel bir sınıflandırma çerçevesinde konu ele alınacaktır. Bu anlamda, kaynak tekniklerini dört grupta toplamak mümkündür.

Kaynak Teknikleri:

- Gaz kaynağı
- Elektrik Direnç Kaynağı
- Elektrik ark Kaynağı
- Özel Metodlar

Bu sınıflandırma içinde yer alan ve elektrik direnç ve elektrik ark kaynağı olarak tanımlanan teknikler de kendi içinde farklı uygulama teknikleri içerirler. Ayrıca, diğer kaynak teknikleri için de elektrikten yararlanılmaktadır. Ancak, bu sınıflandırma, kaynak tekniği açısından ana birleştirme unsuru göz önüne alınarak yapılmıştır (**Patton, 1967**).

Elektrik ark kaynağı sıkça kullanılan bir teknik olup, demir alaşımları içinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.4’de bir elektrik ark kaynağının prensibi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.4 Elektrik Ark Kaynağının Prensip Şeması (Milner ve Apps, 1968)

3.2. KAYNAK BİRLEŞTİRMELERİ

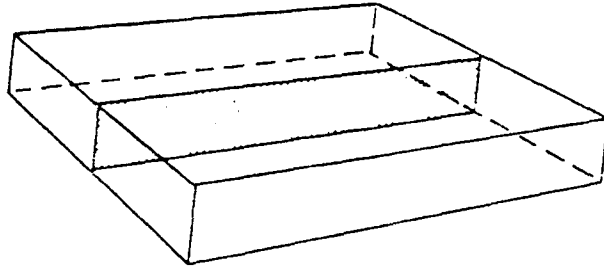
Kaynak birleştirmeleri parça durumuna göre farklılıklar arz edebilmektedir. Bu çerçevede kaynak birleştirmelerini ayırmak mümkündür. Buna göre; kaynak birleştirmeleri dört ana grupta toplanabilir. Bunlar (CGSB, 1981):

- Dip veya Uç Birleştirme (Butt Joint)
- Kenar Birleştirme (Edge Joint)
- T Birleştirme (Tee joint)
- Köşe Birleştirme (Corner Joint)
- Bindirme Birleştirme (Lap Joint)

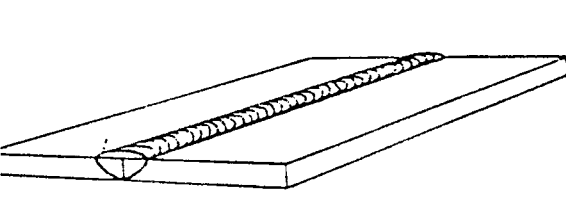
Olarak sıralanabilir.

3.2.1. Dip veya Uç Birleştirme

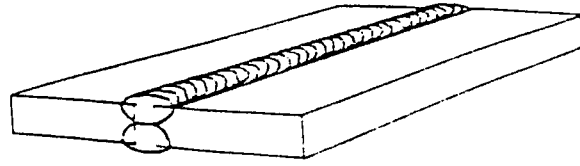
Dip Birleştirme, en yaygın kullanılan kaynak birleştirmesi olarak nitelenebilir. Kaynağın amacına uygun olarak, iki parçanın karşılıklı getirilerek birleştirilmesini ifade eder. Şekil 3.5'te dip veya uç birleştirmenin prensip şeması görülmektedir.



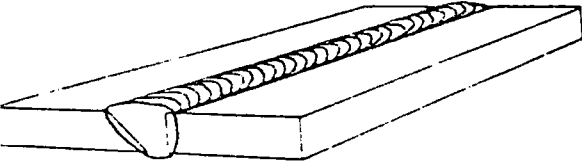
Şekil 3.5. Dip veya Uç Birleştirme Prensip Şeması (CGSB, 1981)



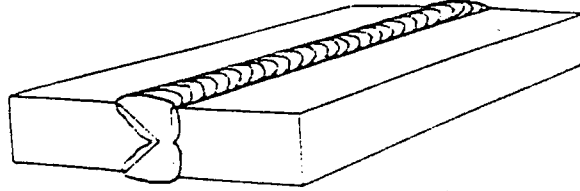
Yuvarlak



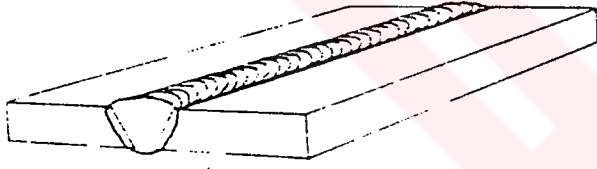
Çift Taraflı Yuvarlak



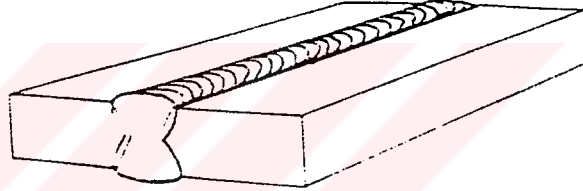
Tek Ağız



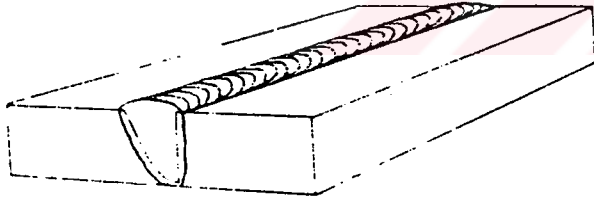
Çift Taraflı Tek Ağız



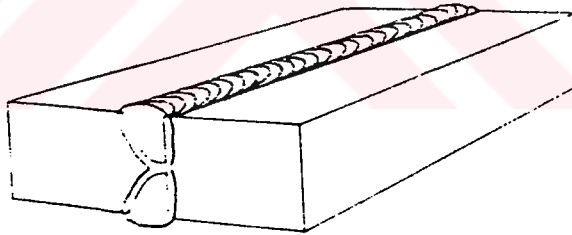
Tek V



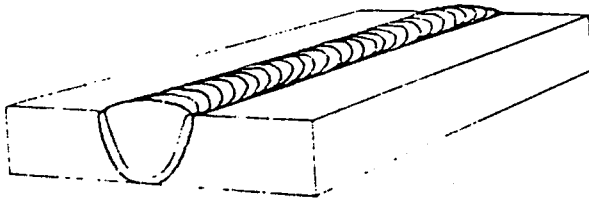
Çift V



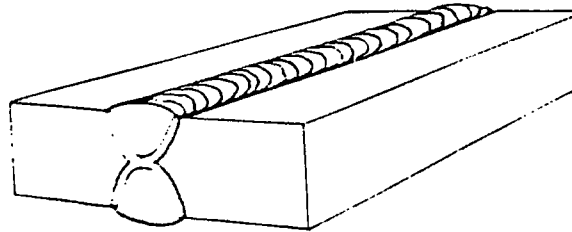
Tek J



Çift J



Tek U



Çift U

Şekil 3.6 Dip veya Uç Kaynak Birleştirmeleri (CGSB, 1981)

Dip veya Uç birleştirme de kendi içinde karşılıklı getirilen parçaların uç kısımlarına verilen şekiller ve “kaynak ağzı” olarak tabir edilen bu uç şekillerinin durumuna göre kendi içinde başlıca beş alt gruba ayrılabilir. Bunlar; dairesel kaynak, U kaynağı, V kaynağı, J kaynağı, açılı kaynaktır. Bu kaynak birleştirmelerinin de kendi içinde detay ayrımlanması mümkündür (Şekil 3.6).

3.2.2. Kenar Birleştirme

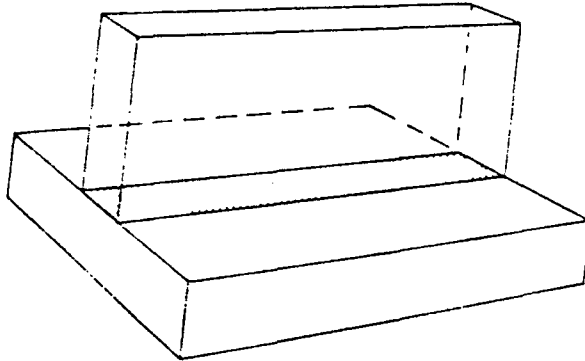
Kenar birleştirme, kaynakta özel şartlarda uygulanan bir birleştirme şeklidir. Uygulaması özen ister. Şekil 3.7’de yan birleştirmenin prensip şeması görülmektedir. Yan birleştirmede de yuvarlak, U, V,J, açılı kaynak mümkündür.



Şekil 3.7 Kenar Birleştirme Prensip Şeması (CGSB, 1981)

3.2.3. T Birleştirme

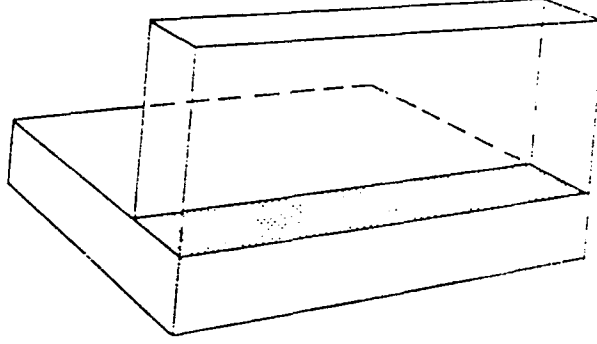
T birleştirme, sıkça rastlanan bir birleştirme şeklidir. Şekil 3.8’de T birleştirmenin prensip şeması görülmektedir. Bu birleştirmede açılı, J kaynaklar mümkündür



Şekil 3.8 T Birleştirme Prensip Şeması (CGSB, 1981)

3.2.4. Köşe Birleştirme

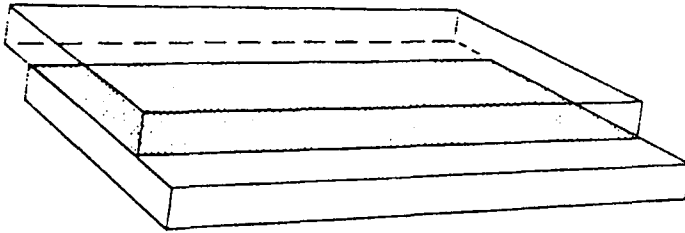
Köşe birleştirme, köşeler için kullanılan bir birleştirme şeklidir. Şekil 3.9'da köşe birleştirmenin prensip şeması görülmektedir. Bu birleştirmede yuvarlak, U,V,J ve açılı kaynak mümkündür.



Şekil 3.9 Köşe Birleştirme Prensip Şeması (CGSB, 1981)

3.2.5. Bindirme Birleştirmesi

Bindirme birleştirmesi, kaynakta özel şartlarda bir birleştirme şeklidir. Şekil 3.10'da bindirme birleştirmenin prensip şeması görülmektedir. Burada, açılı ve J kaynak birleştirmeleri yapılabilmektedir.



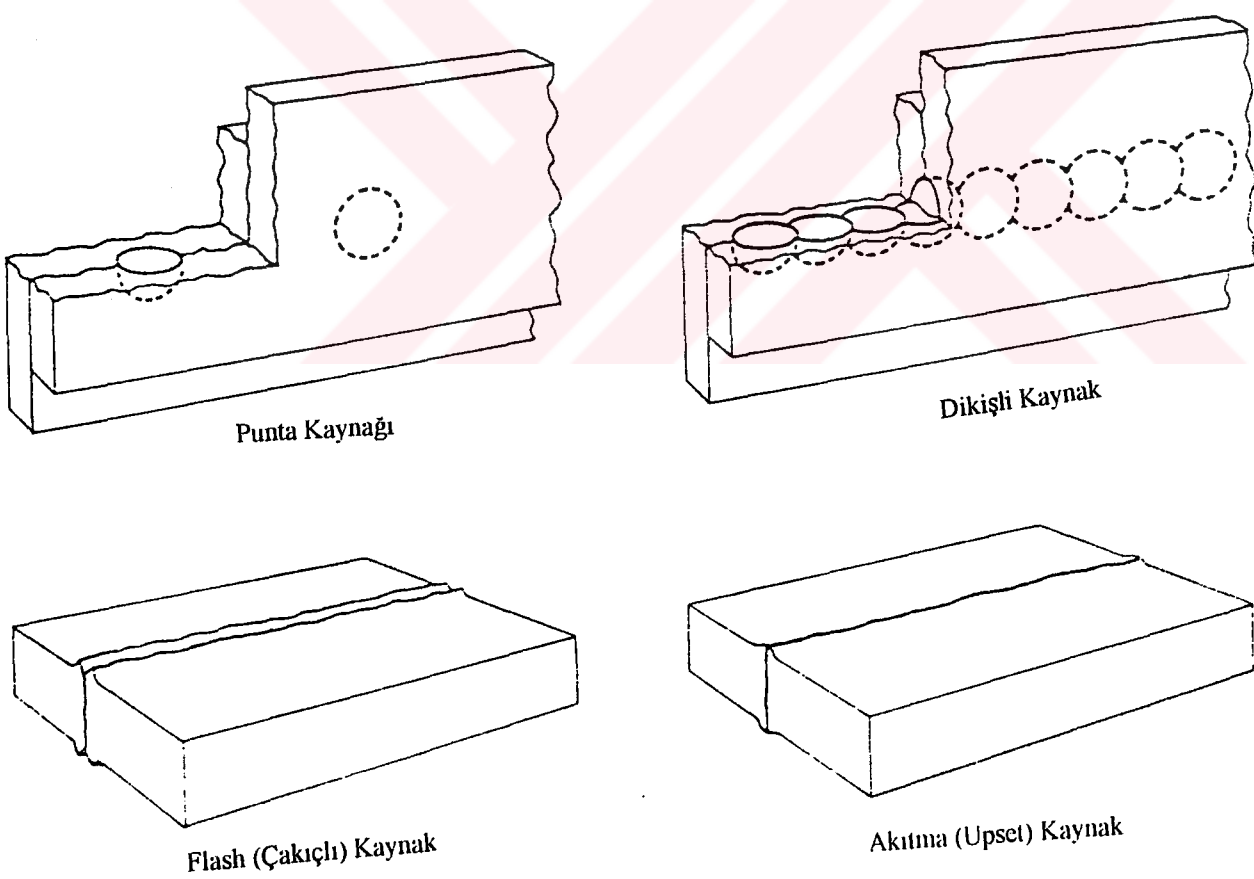
Şekil 3.10 Bindirme Birleştirmesi Prensip Şeması (CGSB, 1981)

3.3. KAYNAK UYGULAMA TEKNİKLERİ

Kaynak uygulamaları, amaca ve birleştirmeden istenen mukavemete bağlı olarak farklı olabilmektedir. Kaynak Uygulama teknikleri başlıca dört grupta incelenebilir. Bunlar,

- Punta Kaynağı
- Dikişli kaynak
- Flash (çakıçlı) kaynak
- Akıtma (upset) kaynağı

Olarak sıralanabilir. Kaynak uygulama tekniklerinin prensip şemaları Şekil 3.11’de görülmektedir.



Şekil 3.11 Kaynak Uygulama Tekniklerinin Prensip Şemaları (CGSB, 1981)

3.4. KAYNAK MUAYENESİ

Burada, “kaynak muayenesi” ile; “kaynak dikişlerinin teknik şartnamelere ve istenen kalite seviyesine uygunluğunun onaylanması için gereken bütün kontrol işlemlerinin tamamı” ifade edilmektedir (TS 11245, 1994). Kaynak muayenesi, kaynak uygulamaları için, kalite güvence faaliyetleri içinde yer alır. Bilindiği üzere; “kalite güvencesi”; “bir mamul veya hizmetin belirtilen ihtiyaçları, yeterli bir güvenilirlik ile temin etmek için yapılması gereken planlı veya sistematik faaliyetlerin tamamıdır” (TS 11245, 1994).

Bu bağlamda, “kabul edilebilir kaynak” tanımı verilmektedir. TS 11245 (1994)’e göre; kabul edilebilir kaynak; kaynak şartnamesindeki bütün şartları karşılayan kaynaktır. Ancak, kaynakta süreksizliklerin olması da mümkündür. “Süreksizlik (discontinuity)”; bir malzeme veya kaynaklı yapıda mekanik, metalurjik ve fiziki karakterler bakımından homojenliğin bozulmasıdır (TS 11245, 1994). Süreksizlik her zaman hatayı ifade etmez.

“Hata (defect)”; özelliği veya toplam etkisi itibariyle bir parça veya mamülün kendi standardına veya şartnamesine uygunluğunu engelleyen süreksizlik veya süreksizliklerdir (TS 11245, 1994). Bu durumda ise, “kusur (flaw)”; istenmeyen fakat standart ve şartnamelere uygunluğu engellemeyen süreksizlik olarak tanımlanmaktadır (TS 11245, 1994).

Kaynağın kabul edilebilir olup, olmadığıın tespiti için “kaynak muayenesi” olarak nitelenen işlem veya işlemlere gereksinim duyulur. Kaynak muayenesi farklı şekillerde yapılabilir. Bunlar;

- Gözle Kaynak Muayenesi
Kaynağı dışarıdan, gözle algılamaya dayanan yüzeysel muayenesidir.
- Tahribatlı Kaynak Muayenesi
Birbirine benzer şartlarda yapılan kaynakların içinden seçilen örnek(ler)in kaynağa zarar vererek muayenesidir.
- Tahribatsız Kaynak Muayenesi
Kaynağa zarar vermeden, yapılan kaynağın tahribatsız muayene metodlarıyla muayenesidir. Günümüzde, çoğu kez yapılması zorunlu olarak istenen kaynak muayenesidir.

3.5. TAHRİBATSIZ KAYNAK MUAYENESİ

Tahribatsız muayene metodları, kalite güvence kavramının gelişmesi ve kullanılacak kaynağın bizzat kendisinin kalitesinden emin olunabilmesi için uygulanması gerekli kaynak muayene metodu olmaktadır. Kaynak muayenesinin iç ve dış yapısının incelenebilmesi çoğu kez istenen bir olgudur.

Yüzeysel tahribatsız muayene metodları olan ve rutin kullanım çerçevesinde sayılabilecek, sıvı girinim (liquid penetrant) ve manyetik parçacık (magnetic particles) yöntemleri kaynak dış yapısı hakkında bilgi verebilmektedir. Girdap akımları (eddy current) yöntemi ise, “bir miktar” yüzey altından bilgi verebilmekle beraber, kaynağı tüm iç yapısı hakkında ileri bilgi verememektedir. Bu bakımdan çoğu kez, kaynak muayenesinde yüzeysel tahribatsız muayene metodları, istenen kalite güvence temini için yeterli olamamaktadır.

Kaynak iç yapısı hakkında ileri bilgilerin alınması, hacimsel bir tahribatsız muayene metodunun uygulanması ile mümkün olabilmektedir. Bu bakımdan, hacimsel tahribatsız muayene metodları, kaynak muayenesi için tercih edilmekte ve çoğu şartnamelerle de zorunlu olarak talep edilmektedir.

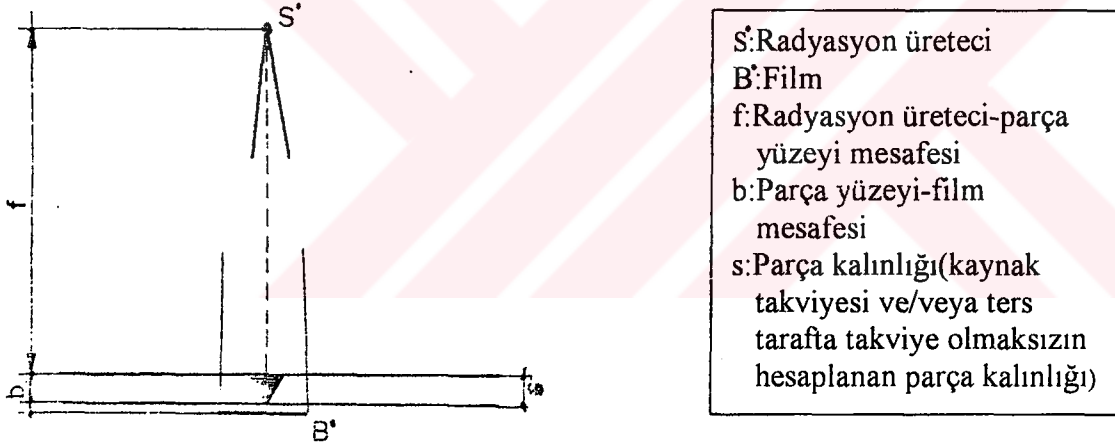
Hacimsel, tahribatsız muayene metodu olarak ise, radyografi ve ultrasonik muayene metodları uygulanabilir. Ancak, çoğu kez, kaynak muayenesinde; kalıcı belgeye ulaşılması ve görsel süreksizlik ve hata değerlendirmesine olanak verdiği için radyografi tercih edilmektedir.

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında kaynak dikişlerinin radyografik muayenesinin incelemesi konu olarak seçildiğinden, burada sadece radyografik muayene üzerinde durulacaktır. Bu bakımdan, bu bölüm içinde de sadece radyografi ile kaynak muayenesi konusunda bilgi verilecektir.

3.6. RADYOGRAFİ İLE KAYNAK MUAYENESİ

Radyografi, Bölüm 2’de bilgi verildiği üzere, gelişkin bir hacimsel tahribatsız muayene metodudur. Radyografi kaynak dikişlerine uygulanırken, özellikle doğrusal veya eğimli kaynak olması göz önüne alınarak, özenle uygulanır.

Doğrusal kaynaklar, esas itibariyle levha kaynaklarında karşımıza çıkan bir olgudur ve nispeten daha kolay bir uygulamadır. Bir başka deyişle, doğrusal kaynak terimi ile düz (levha) kaynağı kastedilmiş olmaktadır. Buradaki uygulama, klasik radyografi uygulaması olup, kaynak için “tek duvar” uygulaması olarak nitelenmektedir. Şekil 3.12’de doğrusal kaynaklarda ışınlama düzeni görülmektedir (TS 5127, 1987).



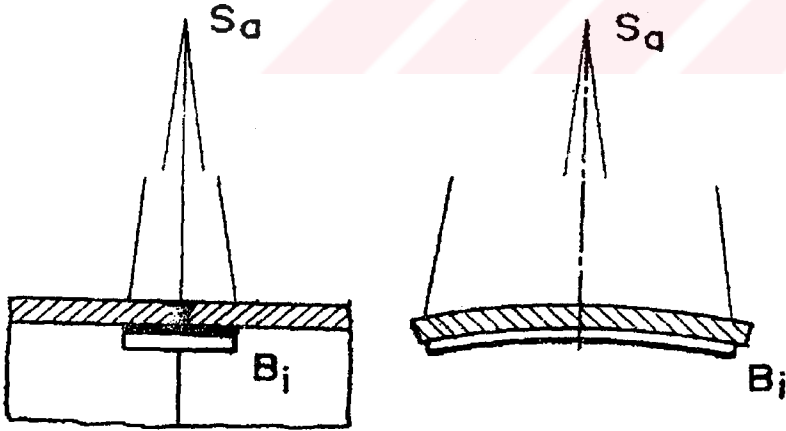
Şekil 3.12 Doğrusal Kaynaklarda Işınlama Düzeni (TS 5127, 1987)

Kaynak dikişlerinin eğimli olması söz konusu olabilmektedir. Örneğin; boru kaynakları ve bunların radyografik muayenesi sıkça karşılaşılan bir durumdur. Bu bağlamda, eğimli kaynaklara radyografi uygulaması önem arz etmektedir. Eğimli kaynakların “tek duvar” ve “çift duvar” uygulaması söz konusu olmaktadır.

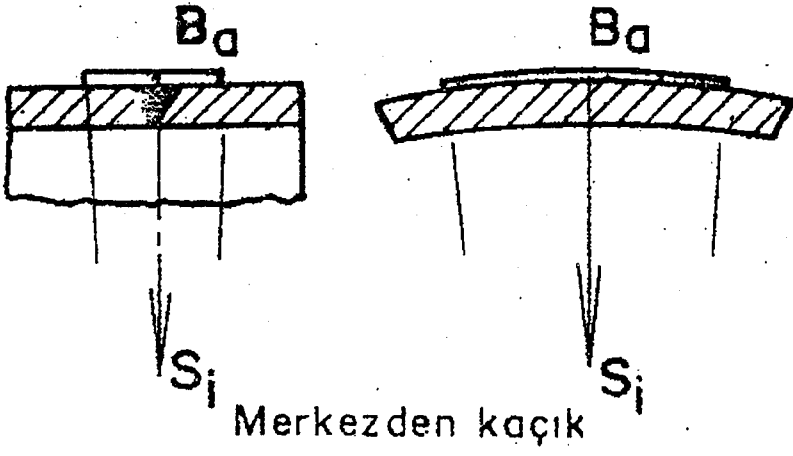
Boru kaynaklarının radyografik muayenesi için geliştirilmiş çekim düzenleri söz konusudur. Bu çekim düzenleri Tablo 3.1’de verilmektedir (TS 5127, 1987). Bu çekim düzenlerine ilişkin örnekler ise, Şekil 3.13 – Şekil 3.16’da verilmektedir.

Tablo 3.1.
Boru Kaynaklarının Çekim Düzenleri

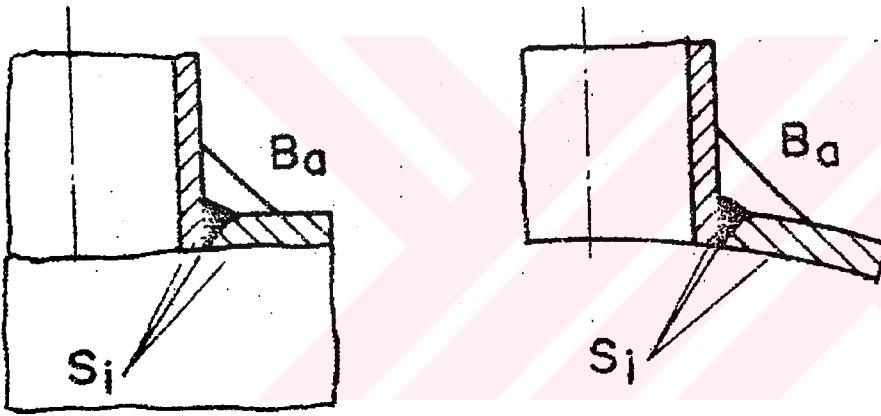
Radyografik Çekim Düzeni	Radyasyon Kaynağının Durumu	Film Pozisyonu
Tek Duvar	Dışarıda	İçeride
Tek Duvar	İçeride Merkezden kaçık	Dışarıda
Tek Duvar	İçeride Merkezde	Dışarıda
Çift Duvar	Dışarıda	Dışarıda



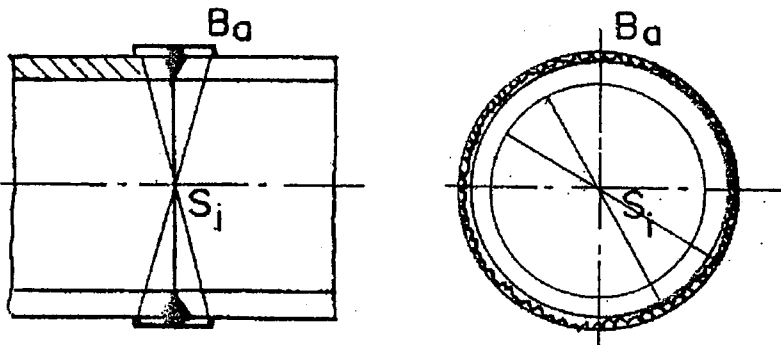
Şekil 3.13 Eğimli Kaynak; Tek Duvar Geometrisi, Radyasyon Kaynağı Dışarıda, Film İçeride (TS 5127, 1987)



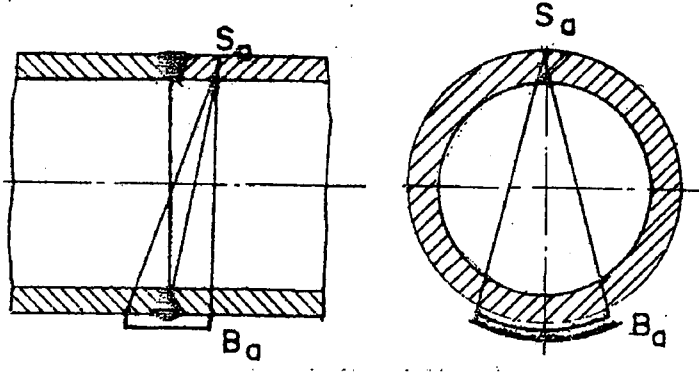
Şekil 3.14 Eğimli Kaynak; Tek Duvar Geometrisi, Radyasyon Kaynağı İçeride
Merkezden Kaçık, Film Dışarıda (TS 5127, 1987)



Şekil 3.15 Eğimli Kaynak; Tek Duvar Geometrisi, Radyasyon Kaynağı İçeride,
Film Dışarıda (TS 5127, 1987)



Şekil 3.16 Eğimli Kaynak; Tek Duvar Geometrisi, Radyasyon Kaynağı İçeride ve
Merkezde, Film Dışarıda (TS 5127, 1987)



Şekil 3.17 Eğimli Kaynak; Çift Duvar Geometrisi, (Radyasyon Kaynağı ve Film Dışarıda)

(TS 5127, 1987)

3.7. KAYNAK HATALARI VE RADYOGRAFİK DEĞERLENDİRMESİ

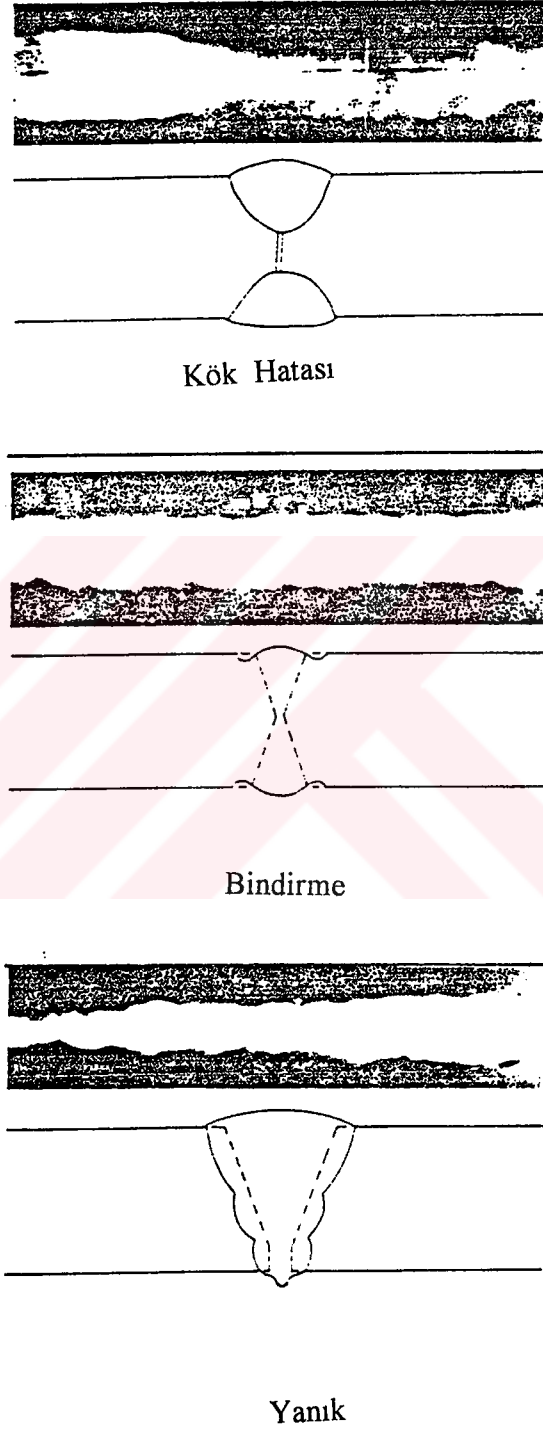
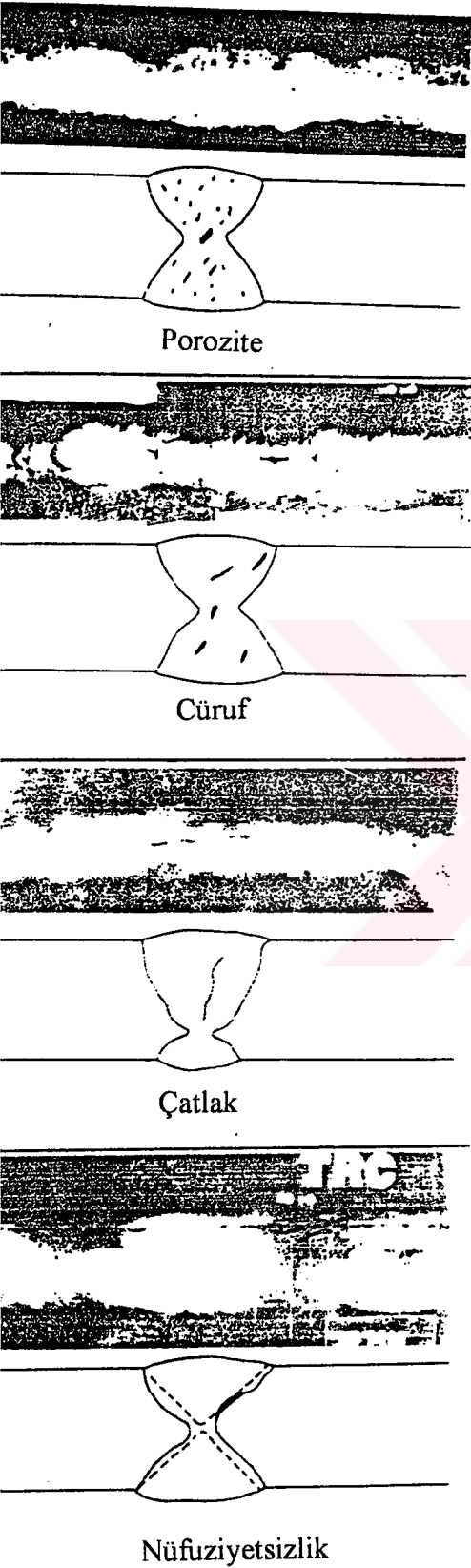
Farklı kaynak hataları söz konusudur. Bunların belirlenmesi kadar, hata-kusur ayırımının yapılması da önemlidir (Yılmaz ve Tuğrul, 1999, Yılmaz, 1999). Bu bakımdan, öncelikle hata gruplarının belirlenmesi gerekmektedir. Kaynak hataları olarak: gaz boşlukları, cüruf kalıntısı, eksik kaynama, yetersiz nüfuziyet, çatlak, yanma oluğu ve çekmeden bahsedilebilir (TS 5127, 1987). Bu hataların simgeleri de standartla belirlenmiştir. Tablo 3.2’de kaynak hataları grupları ve simgeleri verilmektedir.

Tablo 3.2.

Kaynak Hataları Grupları ve Simgeleri (TS 5127, 1987)

Simge	İsim
A	Gaz Boşlukları Aa Gözenek Ab Kanalcık
B	Cüruf Kalıntısı Ba Rasgele dağılmış cüruf Bb Cüruf hatları
C	Eksik Kaynama
D	Yetersiz Nüfuziyet (Nüfuziyetsizlik)
E	Çatlak Ea Boyuna çatlak Eb Enine çatlak
F	Yanma Oluğu (Yanık)
K	Çekme (büzülme) başlığı Krater Kanalcığı

Bazı kaynak hatalarının kaynak içindeki durumu ve radyografik görüntüye örnekler, Şekil 3.18’de verilmektedir.



Şekil 3.18 Kaynak Hataları ve Radyografik Görüntüleri (CGSB, 1981)

Hataların kaynak için arzettiği tehlike hata tipine bağılı olarak farklı olabilmektedir. Bu bakımdan, sınıflandırılması gerekmektedir. Tablo 3.3'te hataların kaynak için arzettiği tehlikeye göre sınıflandırması görölmektedir (TS 5127, 1987).

Tablo 3.3.

Hataların Kaynak İçin Arzettiği Tehlikeye Göre Sınıflandırması (TS 5127, 1987)

Sınıf Simgesi	Hata İçeriği
Siyah	Hatasız kaynak veya sadece çok az ve küçük boyutlarda Aa bulunması
Mavi	Çok az miktarda olmak kaydıyle, A, B ve F hatalarından birinin veya birkaçının bulunması
Kahverengi	Belirgin miktarda A, K, B, F, D, C hatalarından birinin veya birkaçının bulunması
Kırmızı	Büyük miktarda A, K, B, F, D, C, E hatalarından birinin veya birkaçının bulunması

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu Yüksek Lisans tezinde, farklı kaynak dikişlerinin radyografik muayenelerinin yapılması ve değerlendirilmesi amaçlandığından farklı kaynaklar için radyografik çekimler yapılmıştır. Söz konusu bu radyografik çekimler, farklı kurum veya birimlerin olanakları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kurum veya birimler; İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü - Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı Radyografi Laboratuvarı, İstanbul Gaz Dağıtım A.Ş. (İGDAŞ) ve (İGDAŞ adına radyografik çekim yapan) ENKON Ltd.Şti.dir. Böylelikle, üç farklı kurumun imkanları kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir.

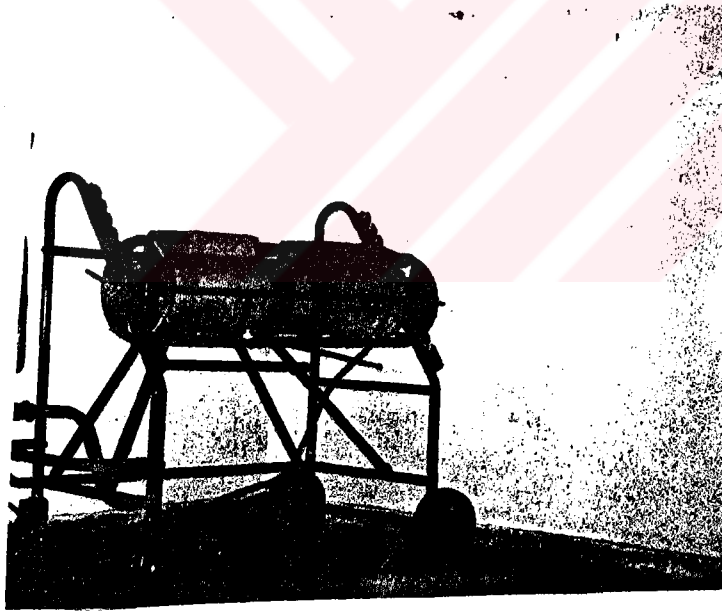
Yapılan radyografik çekimler, kaynak dikişi muayenesine yönelik olmakla beraber, farklı kaynak dikişlerinin muayenesi yapılmaya çalışılmıştır. Bir başka deyişle, Bölüm 3 içinde tanıtılan kaynak tipleri ve çeşitlerinin sanayide en çok rastlanılanlarına ilişkin örnekler oluşturulmuştur.

Deneylerde, her radyografik çekim için, Bölüm 2 içinde açıklanan çekim parametreleri uygun şekilde tayin edilerek, radyografik çekimler yapılmıştır. Böylelikle, standartlara göre kabul edilebilir olarak nitelenebilecek radyograflar elde edilmiştir. Bu bölümde verilecek tüm örneklerin tümü için bu husus geçerlidir.

4.1. DENEYLERDE KULLANILAN RADYASYON KAYNAKLARI

Deneylerde X ve gama ışını kaynakları kullanılmıştır. Böylelikle, endüstriyel radyografide kullanılan iki önemli girici elektromanyetik ışın kaynağı ile de çalışılmış olmaktadır. Kullanılan X-Işını kaynağı, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü - Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı Radyografi Laboratuvarı'nda bulunmaktadır.

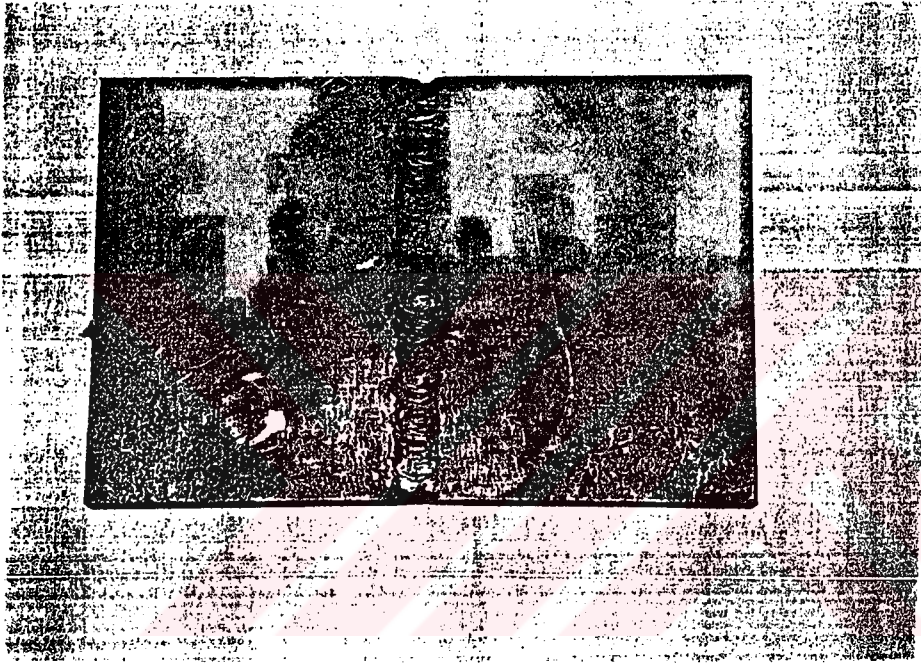
Söz konusu X-ışını cihazı; Balteau marka 300 kV ve 5 mA kapasiteye sahip bir endüstriyel X-ışını radyografi cihazıdır. X-ışını cihazının tüp kısmı Şekil 4.1'de görülmektedir. Kaynak dikişi muayenesinde gama kaynağı olarak Ir-192 radyoizotop kaynağından yararlanılmıştır. Kullanılan kaynak, ENKON Ltd.Şti'ne ait bir kaynaktır



Şekil 4.1 X-Işını Tüpü

4.1. ÇALIŞILAN KAYNAK DİKİŞİ PARÇALARI

Çok sayıda kaynak dikişinin radyografi çekilmiştir. Radyografi çekilen kaynakların bir kısmı düz, bir kısmı ise eğimli kaynaktır. Ayrıca, boru kaynaklarla ilgili de çalışılmıştır. Boru kaynaklara ilişkin çalışma İGDAŞ boru hatlarına ilişkindir. Çalışılan aynaklardan birine ilişkin bir örnek Şekil 4.2’te görülmektedir.



Şekil 4.2 Çalışılan Bir Kaynak Dikişi

Bu Yüksek Lisans Tezi çalışması için, İGDAŞ’ın olanakları kullanılarak yapılan çalışmalarda; doğalgaz boru hatlarının ana taşıyıcı hatları ve şehir içi dağıtım hatları olmak üzere iki tür şebekeye ilişkin radyografik kontrollardan yararlanılmıştır. Taşıyıcı Hatlar; doğalgazın çıktığı kaynaktan başlayarak şehrin girişine kadar uzanan yüksek basınçlı boru hatlarını içeren şebekedir. Türkiye sınırları içinde taşıyıcı şebeke hatlarında 70 bar basınç kullanılmaktadır.

Şehir içi dağıtım hatları; istasyonlardan başlayarak bölge regülatörlerine ve tüketici mahalline kadar uzanan hatlardır. İstanbul şehri için uygulaması istasyonlardan bölge regülatörlerine kadar işletme basıncı 20 bar, bölge regülatörlerinden servis kutularına kadar gaz basıncı 4 bar, servis kutularından dairelere kadar ise 21 mbar'dır.

İstanbul doğalgaz dağıtım şebekeleri, İGDAŞ tarafından projelendirmektedir. Çelik ana hatların inşaatı yapılır ve işletilir. Bu aşamalarda çelik boru hatlarının döşenmesi, kaynakla birleştirilmesi ve muayenesi kalite açısından büyük önem taşımaktadır. Malzeme kalitesinin belirlenmesi, boruların döşenmesi, boru bağlantıları ve kaynak işlemlerinin her aşamasında uluslararası standartlar düzeyinde kontrol yöntemleri uygulanmaktadır. İGDAŞ boru hatlarında kullanılan ve bu bağlamda bu Yüksek Lisans tezinde de çalışılan (kaynak dikişli) borulara ilişkin özellikler Tablo 4.1'te bir araya toplanmıştır.

Tablo 4.1

İGDAŞ'ta Kullanılan ve Kaynak Dikişi İle Birleştirilen Boruların Özellikleri

Kaynak Dikişi	Boru Çapı (cm)	Malzeme Standardı	Kimyasal Bileşim				Kullanılan Kaynak Tekniği	Boru Et Kalınlığı (mm)	Mekanik Özellikler		
			Max. % C	Max. % Mn	Max. % P	Max. % S			Min. Akma Ger. (MPA)	Min. Kopma Ger. (MPA)	Uzama (%)
Boyuna	10-30 (4"-12")	API Spec. 5L	0,26	1,15	0,04	0,05	Elektrik Direnç K.	4,37-5,56	241	413	21
Spiral	35-75 (16"-30")	API Spec. 5L	0,26	1,15	0,04	0,05	Özel Kaynak (Tozaltı Kaynağı)	6,35-11,13	241	413	21

4.3. RADYOGRAFİ ÇEKİM PARAMETRELERİ

Radyografik çalışmalarda, çalışılan parçaya göre uygun çekim parametreleri tayin edilmiştir. Ancak, kullanılan radyasyon kaynağı da görüntü kalite faktörlerinin tayininde Bölüm 2 içinde açıklandığı üzere etkin olmuştur. Bir başka deyişle, radyasyon kaynağına göre kalite ve kantite faktörleri belirlenmiştir.

Bazı çekim parametreleri, her çekim için aynı olarak kullanılmıştır. Bunlar, film faktörü ve ekran faktörleridir. Radyografik çekimlerde Agfa-Geveart D7 ve Kodak Industrex AA filmleri kullanılmıştır. Böylelikle, endüstride çoğunlukla kullanılan orta hızlı film ile çalışılmıştır. Ekran olarak ise 0,125 mm'lik kurşun ekran kullanılmıştır. Hem ön ve hem de arka ekran olarak aynı nitelikte ekranlar kullanılmıştır. Bu ekran tipi de endüstriyel radyografide çoğunlukla kullanımı tercih edilen ekran tipidir.

Geometri faktörü her çekim için aynı olmamakla beraber, minimum radyasyon kaynağı-film mesafesi olan parça kalınlığının 8 katı mesafeden fazla olacak şekilde çekim geometrisi ayarlanmıştır. Böylelikle, standartlarda kabul edilebilir geometri şartı sağlanmıştır.

Poz süresi; diğer görüntü kalite faktörleri tayin edildikten sonra, X ve gama ışını poz süresi eğrilerinden yararlanılarak tayin edilmiştir. Çekim sırasında penetremetre kullanılmış ve hassasiyet tayini yapılmıştır.

Çevre saçılmalarına mani olabilmek için boru kaynak çekimleri dışında, düz ve eğimli kaynak çekimleri için parça altına kurşun levha serilerek çalışılmıştır. Böylelikle, olabildiğince istenmeyen, saçılmış radyasyonun filmi etkilemesi önlenmeye çalışılmıştır.

Bu şekilde elde edilen radyograflar için dansitometrik ölçümlerle, radyografların film kararma yoğunlukları tayin edilmiştir. Yapılan kontrollarda film kararma yoğunluğunun 2-3,5 arasında olduğuna emin olunduktan sonra radyografik değerlendirmeye geçilmiştir.

X-ışını ile yapılan çalışmalara ilişkin çekim parametreleri Tablo 4.2'de verilmektedir. Ir-192 radyoizotop kaynağı kullanılarak gama ışını radyografi çalışmalarına ilişkin çalışma parametreleri ise; Tablo 4.3'de görülmektedir.

Tablo 4.2.**X-Işını Radyografisi İçin Çekim Parametreleri**

Malzeme Kalınlığı (mm)	Gerilim (kV)	Akım (mA)	Parça-Film Mesafesi (cm)	Ekran	Film	Poz Süresi (Dakika)
9	150	3	66,5	0,125 mm Pb	Kodak AA	5,00
10	150	3	66,5	0,125 mm Pb	Kodak AA	5,00
12	175	3	66,5	0,125 mm Pb	Kodak AA	4,75
17	175	3	66,5	0,125 mm Pb	Kodak AA	7,50

Tablo 4.3.**Gama Işını Radyografisi İçin Çekim Parametreleri**

Boru Çapı	Cidar Kalınlığı	Radyasyon Kaynağı	Min. Aktivite	Parça-Film Mesafesi	Film	Ekran
5-75 cm (2"-30")	4,37- 11,13 mm	Ir-192	5 Ci (küçük çaplı borularda) 10 Ci (büyük çaplı borularda)	30 –100 cm	Orta Hızlı Film (D7 Film)	0,150 mm Pb

Ir-192 radyoizotop kaynağı kullanılarak gerçekleştirilen gama radyografi uygulamaları, İGDAŞ'ın kabul ettiği standartlara uygun olarak yapılmıştır. Bu kontrollarda sadece, kaynak dikişi kontrolleri değil, boru kalite kontrollerinin de yapılması istenmektedir. Boyutların ve toleransların da standartlara uygun olması gerekmektedir.

Kaynakların kalitesinin ASME Code, Section IX'E göre, bağımsız kalite kontrol biçiminde yorumlanması istenmektedir. Fazla olarak; tüm birleştirmelerin, tüm et kalınlıkları için kaynak ağzı açılmış şekilde olması bir gerekliliktir. Bu husus, Bölüm 3 içinde belirtildiği üzere, zaten olması beklenen bir gerekliliktir. Ancak, İGDAŞ, olabilecek olumsuzluklara karşı, ayrıca bir şart olarak kesin bir şekilde belirtmektedir.

İGDAŞ'ın sorumluluğunda olan doğal gaz boru hatlarının kent içine dağılıyor olması nedeniyle toplum ve halk güvenliği ile yakından ilişkilidir. Bu bakımdan, radyografik muayenenin kaynak işlerinin kaynak güvencesi konusunda özel bir önemi vardır.

Bu nedenle; boru dikişlerinin radyografik kontrollerinde şu hususlara dikkat edilir:

- Oluşan birleşmenin bizzat kendisinin radyografi alınmış olması gerekir.
- Tespit edilen süreksizliklerin ölçülebilir uzunlukta olanları, doğrudan ilgili standarttaki izin verilebilir hata büyüklükleri ile karşılaştırılır.
- Hata belirlemesinin, standartlara göre yapılmış olması gereklidir.
- Bütün muayene sonuçlarının belgelenebilirliği önemlidir. Birçok yapı elemanının çekilen radyografları, parçanın kullanım ömrü boyunca saklanabilecek şekilde arşivlenmesi gerekir.
- Muayene sonuçlarının değerlendirilmesi muayene işlemlerinden ayrı olarak yapılabilirdiğinden, değerlendirmeyi yapan kişinin muayene yapılırken orada bulunması gerekli görülmemektedir.
- Çekimler TAEK ve uluslararası mevzuata uygun olarak nükleer güvenlik sağlanmış olarak yapılmalıdır.
- Muayenenin kalitesi ve tekniğinin uygun şekilde yapılıp yapılmadığı, genellikle çekilen filmler incelenirken belirlenebilmektedir.

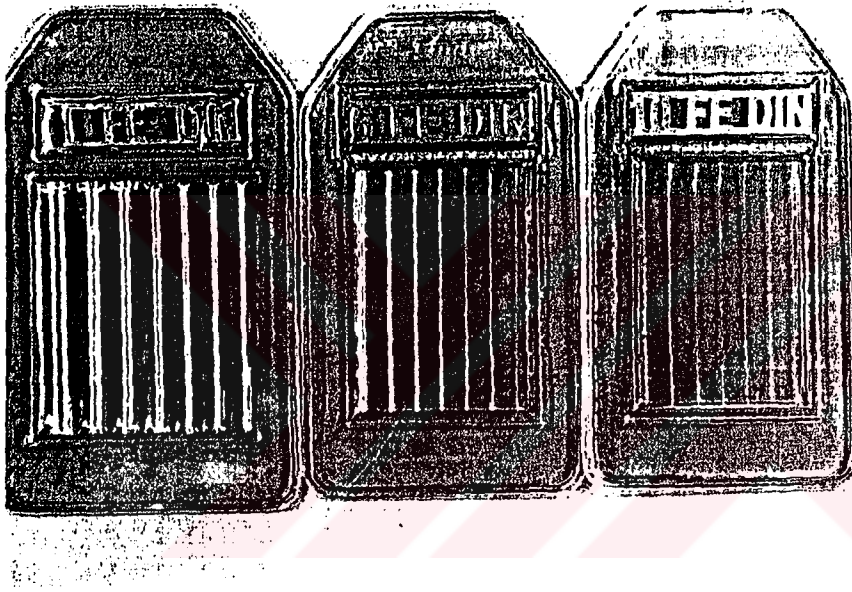
İGDAŞ'ta çekilen boru kaynaklarında, boru çaplarına göre film boyutları ve çekim pozisyonları DIN 54111'e uygun olmasına dikkat edilmektedir. Buna göre; boru kaynaklarının radyografik muayenesinde kullanılan film boyutları ve pozisyonları, Tablo 4.4'te görülmektedir.

Tablo 4.4.

Boru Kaynaklarının Radyografik Muayenesinde Kullanılan Film Boyutları ve Pozisyonları

Boru Çapı	Film Adedi	Film Boyutları	Çekim Sayısı
2"	2 Film	10/12cm	2 Elips
2,5"ve 3"	3 Film	10/12cm	3
4"	4 Film	10/16cm	3
6"	3 Film	10/24cm	3
8"	4 Film	10/24cm	4
12"	5 Film	10/48cm	5
16"	3 Film	10/48cm	3
20"	4 Film	10/48cm	4
24"	3 Film	10/24cm	3(veya panoramik)
	3 Film	10/48cm	3(veya panoramik)
28"	5 Film	10/48cm	3(veya panoramik)
30"	6 Film	10/48cm	3(veya panoramik)

Radyografik çekimlerde, penetremetre kullanımına dikkat edilmiştir. Bu Yüksek Lisans tezinde daha çok telli penetremetre kullanılmıştır. Kullanılan telli penetremetre seti, Şekil 4.3'te görülmektedir.



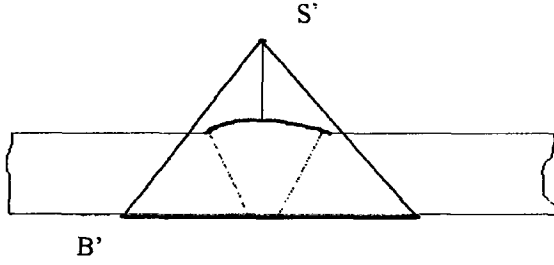
Şekil 4.3 Telli Penetremetre Seti

4.4. RADYOGRAFİ ÇEKİM POZİSYONLARI

Bu Yüksek Lisans tez çalışması ile farklı kaynak dikişleri ve bu bağlamda farklı radyografik çekim pozisyonları ile çalışılmıştır. Çalışılan kaynak dikişleri, durumlarına göre, düz levha kaynak dikişi çekimi ve boru kaynak dikişleri çekimleridir.

4.1. Düz Levha Kaynak Dikişi Muayeneleri

Düz levha kaynak dikişleri esas itibariyle levha kaynaklarında karşılaşılan durumdur. Düz levha kaynak dikişlerinin radyografik muayeneleri, klasik radyografik çekimine uygun olarak, kaynak dikişlinin bir tarafında radyasyon kaynağı, bir tarafında film yer alacak şekilde, film malzemesiyle doğrudan temaslı olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4’de çekim pozisyonu görülmektedir.



Şekil 4.4 Düz Levha Kaynağı Çekim Pozisyonu

4.2. Boru Kaynaklarının Muayenesi

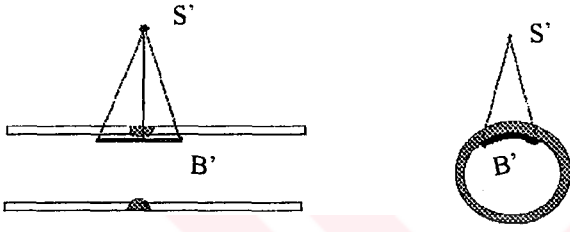
Boru kaynakları, eğimli kaynaklardır. Bu durumda, çekim pozisyonları, genellikle boru çaplarına göre seçilmiştir. Buna göre tek cidar ve çift cidar çekimleri yapılmıştır. Tek cidar çekimleri, büyük çaplı borular için, çift cidar çekimleri, küçük çaplı borular için uygulanmıştır.

4.2.1. Tek Cidar Çekimi

Çine girilebilen boruların çevre kaynak dikişinin çekim tekniğinde tek cidar radyografisi uygulanmıştır. Tek cidar çekimlerinde de (İGDAŞ boru çekimlerinde) iki teknik ile çalışılmıştır. Bunlar; film içerde kaynak dışarıda çekim ile panoromik çekimdir.

Film İçerde, Kaynak Dışarda Çekim

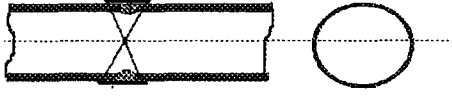
Bu tip çekim, klasik çekime uymakta ancak, parça eğimli olduğundan farklılık arz etmektedir. Burada; Radyasyon kaynağı boru dışında yer alır. Boru kaynağının tamamının radyografik kontrolünün yapılabilmesi için birden fazla çekim yapmak gerekmektedir. Şekil 4.5’de Film içerde, kaynak dışarda yapılan tek cidar çekimi görülmektedir.



Şekil 4.5 Film İçerde, Kaynak Dışarda Yapılan Tek Cidar Çekimi

Panoramik çekim tekniği

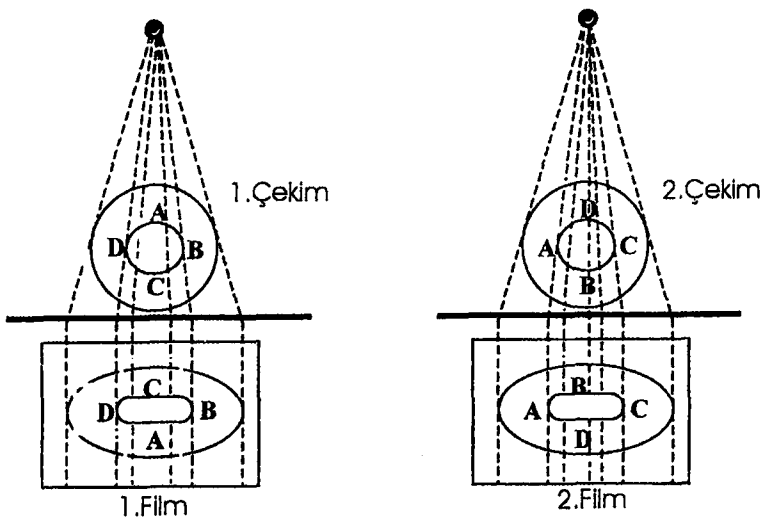
Radyasyon kaynağı boru içinde ve merkezde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Borunun tüm çevresi film ile sarılarak radyografik çekim yapılmıştır. Böylelikle, tek bir çekimle boru kaynak dikişinin tamamının görüntüsü elde edilmiştir. Bu tip çekim kaynak içerde film dışarıda tek cidar çekimi olmaktadır. Şekil 4.6’da panoramik çekim görülmektedir.



Şekil 4.6 Panaromik Çekim

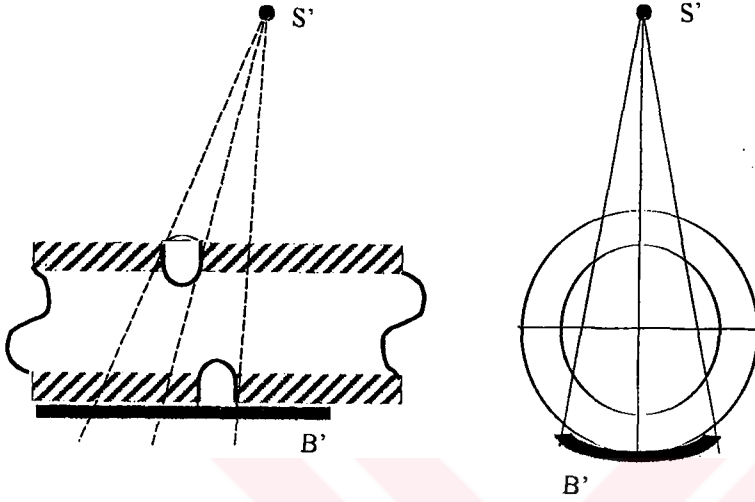
4.4.2.2. Çift Cidar Çekimi

İçine girilemeyen küçük çaplı borularda, çift cidar tekniği uygulanmıştır. Boru dış çapı 89 mm'den küçük borular için bu teknik tercih edilmiştir. Radyasyon kaynağı boru çapının en az 3 katına eşit bir mesafede boru dışına yerleştirilmiştir. Radyasyon kaynağına göre 90° ve kaynağa dikey yüzeye göre yaklaşık 5° dönük iki pozisyonla çekimler yapılmıştır. Şekil 4.7'de çift cidar çekim pozisyonu görülmektedir.



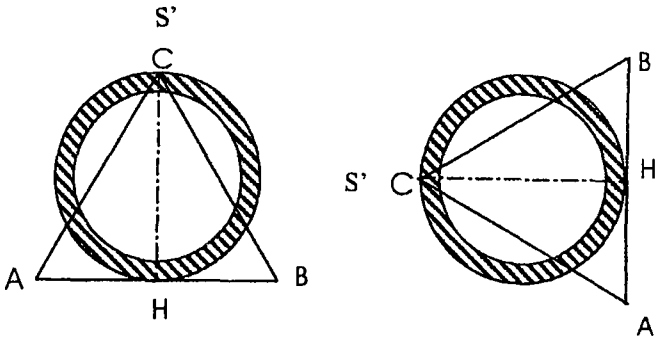
Şekil 4.7 89 mm'den Küçük Çaplı Borular İçin Çift Cidar Çekim Pozisyonu

Boru dış çapı 89 mm'den büyük borular için çift cidar çekimi, çap teğetinin karşısına yerleştirilmiş radyasyon kaynağı ile uygulama yapılmıştır. Bunun için, radyasyon kaynağı boruya (kaynağa) dik, yüzeye göre yaklaşık 5° döndürülmüş olacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 4.8'de 89 mm'den büyük çaplı borular için çift cidar çekimi gösterilmiştir.



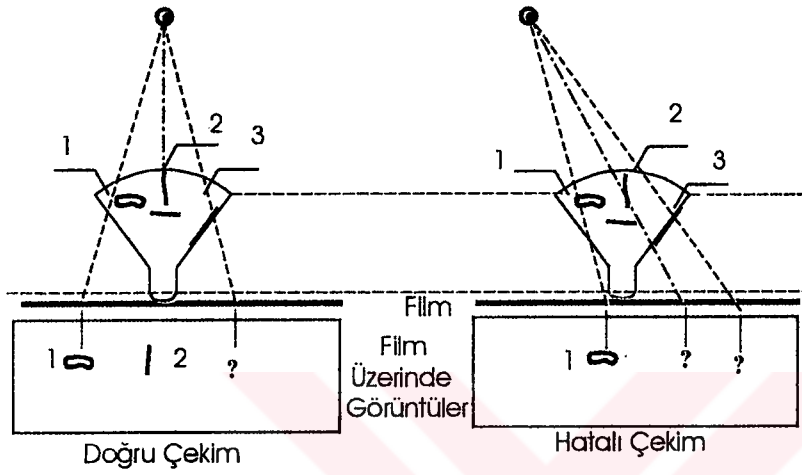
Şekil 4.8 89 mm'den Büyük Çaplı Borular İçin Çift Cidar Çekim Pozisyonu

İçine girilemeyen 8" (200 mm) çaplı borularda çift cidar tekniği ile çekim 4 pozisyonda yapılabilir. Kaynak boru dışına, ancak, boru dış cidarına yerleştirilebilir. Şekil 4.9'da böyle iki çekim pozisyonu görülmektedir.



Şekil 4.9 200 mm Çaplı Borularda Çift Cidar Tekniği Çekimi

Burada, radyasyon kaynağı film ortasına dik gelecek şekilde yerleştirilmiş olması istenmektedir. Şekil 4.10'de doğru ve hatalı çekimler gösterilmiştir.



Şekil 4.10 200 mm Çaplı Borularda Çift Cidar Tekniği Çekimi İçin Doğru ve Hatalı Çekimler

BÖLÜM 5

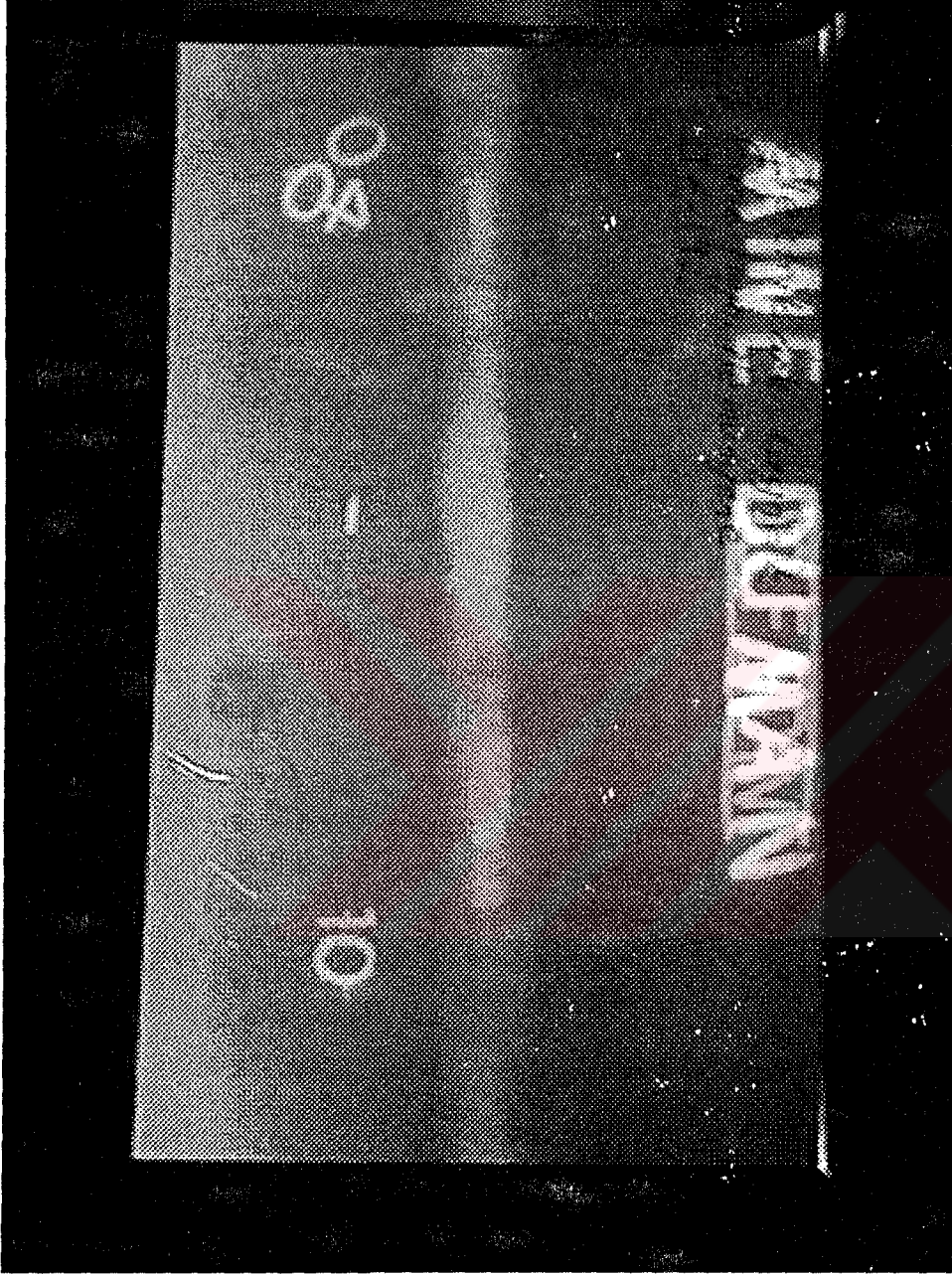
DENEY SONUÇLARI

Farklı kaynak dikişleri için yapılan deneylerin sonucunda ulaşılan sonuçlar, bu bölüm içinde verilecektir. Sonuçlar, kaynak tekniği ve farklı radyografik çekim tekniği açısından incelenmeye çalışılacaktır. Ayrıca, farklı süreksizliklere örnek oluşturan radyograflara da yer verilecektir.

5.1. FARKLI KAYNAK TEKNİĞİ UYGULAMALARI İÇİN RADYOGRAFİK MUAYENELER

Bu Yüksek Lisans tezi çalışmasında, esas itibariyle endüstriyel uygulama da en çok kullanılan kaynak tekniği olan, elektrik ark kaynağı ile gerçekleştirilen birleştirmeler üzerinde çalışılmıştır. Bununla beraber, bir farklı kaynak tekniği ile de deney elde edilmesi bakımından argon kaynağı ile de çalışılmıştır.

Böylelikle, bu Yüksek Lisans tezi çalışmasında iki farklı kaynak tekniği ile sonuç alınmıştır. Elektrik ark kaynağına ilişkin radyograf Şekil 5.1’de ve argon kaynağına ilişkin bir radyograf ta Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.1 Elektrik Ark Kaynağı İle Birleştirmeye İlişkin Bir Radyograf



Şekil 5.2 Argon Kaynağı İle Birleştirmeye İlişkin Bir Radyograf

5.2. FARKLI RADYASYON KAYNAKLARI İLE KAYNAK DİKİŞİ MUAYENELERİ

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında, endüstriyel radyografide kullanılan X ve gama ışınlarının her ikisi ile de çalışılmıştır. X-ışını tüpü kullanılarak elde edilen bir kaynak dikişi radyografi Şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.3 X- Işını Radyografisi İle Kaynak Dikişi İçin Çekilen Bir Radyograf

Gama radyografisi için Ir-192 radyoizotop kaynak kullanılmış olup, bu radyasyon kaynağı kullanılarak, bir kaynak dikişine ilişkin çekilmiş radyograf Şekil 5.4'te görülmektedir.



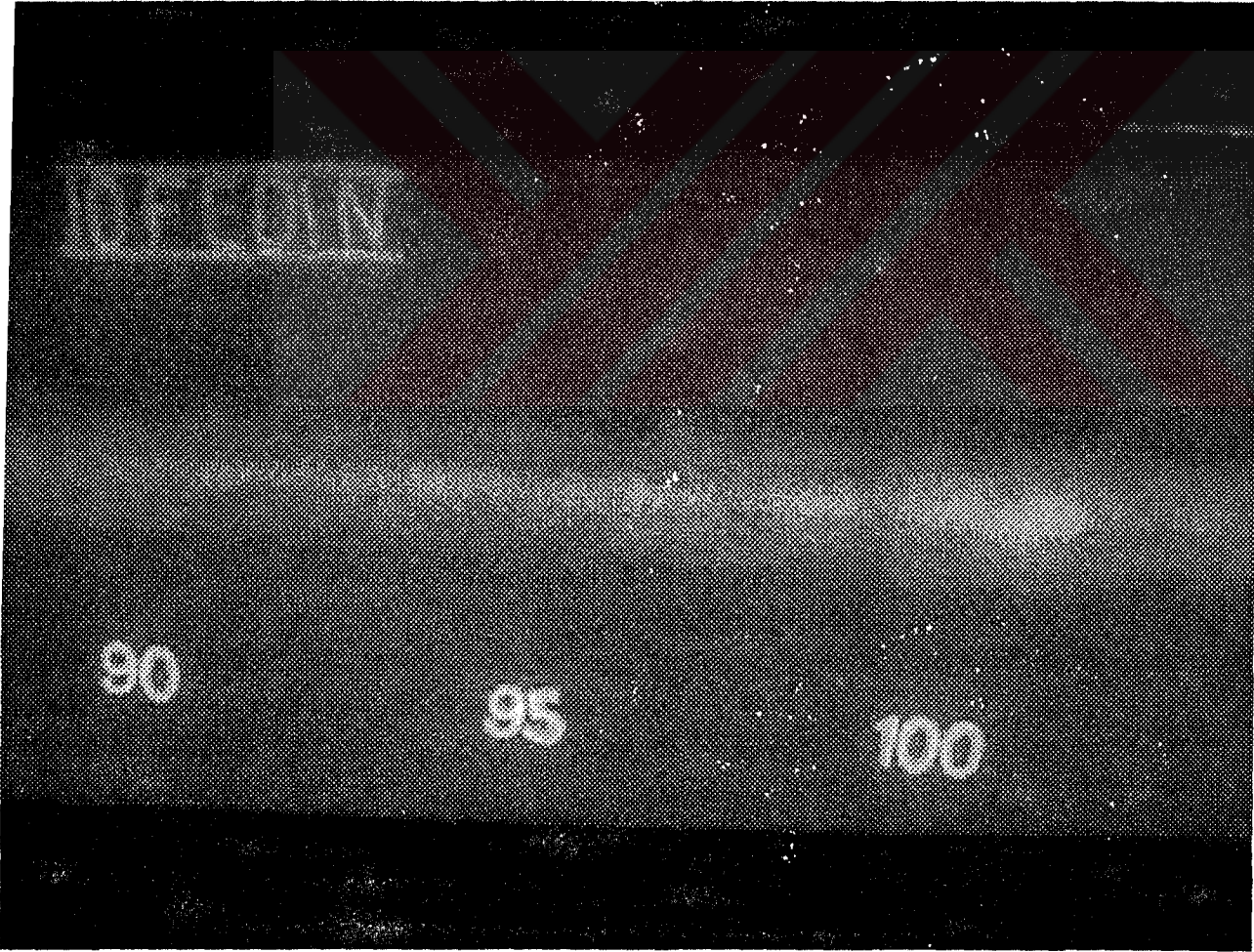
Şekil 5.4 Ir-192 Radyoizotop Kaynağı Kullanılarak Gama Radyografisi İle, Kaynak Dikişi İçin Çekilen Bir Radyograf

5.3. FARKLI KAYNAKLARIN RADYOGRAFİK MUAYENELERİ

Farklı kaynak dikiş tipleri için radyografik çekimler yapılmıştır. Çalışılan kaynak tipleri; düz (levha tipi) kaynak ve boru kaynaklarıdır.

5.3.1. Düz (Levha) Kaynağa İlişkin Radyografik Muayene

Düz (levha) kaynak, sanayide sıkça radyografik talebi olan kaynak tipi olup, bu Yüksek Lisans tezinde de çalışılmış bir kaynak tipidir. Ir-192 ile çekilmiş bir düz (levha) kaynak dikiş kontrolü Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5.5 Düz (Levha) Kaynak Dikişine İlişkin Çekilen Bir Radyograf

5.3.2. Boru Kaynak Dikişinlerine İlişkin Radyografik Muayeneler

Boru kaynak ile çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yapılan tek cidar ve çift cidar çekimleri aşağıdaki bölümler içinde verilmektedir.

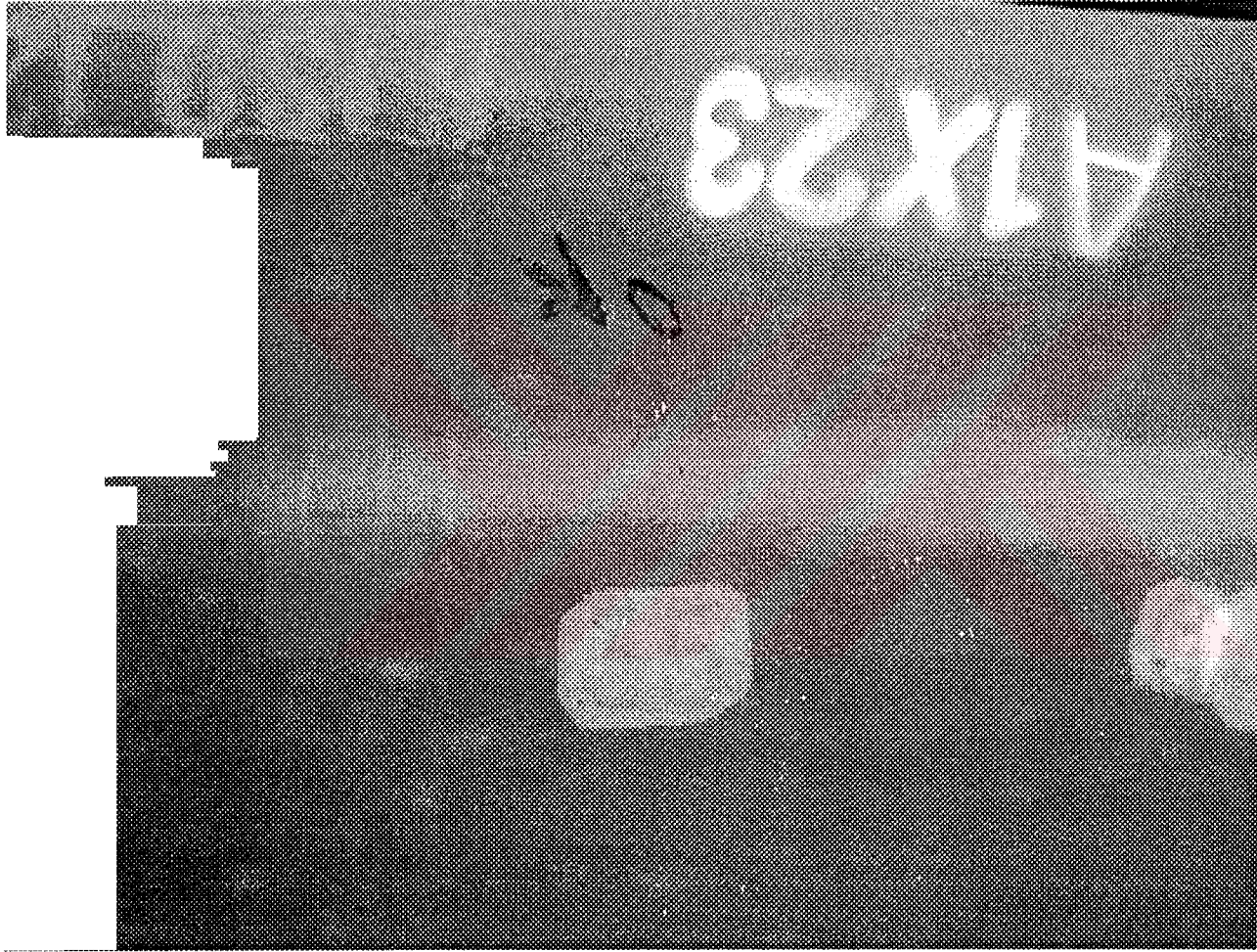
5.3.2.1 Tek Cidar Çekimi

Tek cidar çekimleri Bölüm 4 içinde açıklandığı üzere, iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Radyasyon kaynağı dışarıda, film içerde tek cidar çekimi için bir örnek Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 Radyasyon Kaynağı Dışarıda, Film İçerde Tek Cidar Çekimine İlişkin Radyograf

Radyasyon kaynağı içerde ve merkezde, film dışarıda yapılan panoramik çekimle elde edilen tek cidar çekimine ilişkin bir radyograf şekil 5.7’de görülmektedir.



şekil 5.7 Radyasyon Kaynağı İçerde ve Merkezde, Film Dışarıda Tek Cidar ekimine İlişkin Radyograf

5.3.2.2 Çift Cidar Çekimi

Bölüm 4 içinde açıklandığı üzere, nispeten küçük borular için yapılan çift cidar çekimlerine ilişkin radyograflar, Şekil 5.8’de görülmektedir.



Şekil 5.8 Çift Cidar Çekimine İlişkin Radyograf

5.4. RADYOGRAFİ İLE TESPİT EDİLEN SÜREKSİZLİKLER

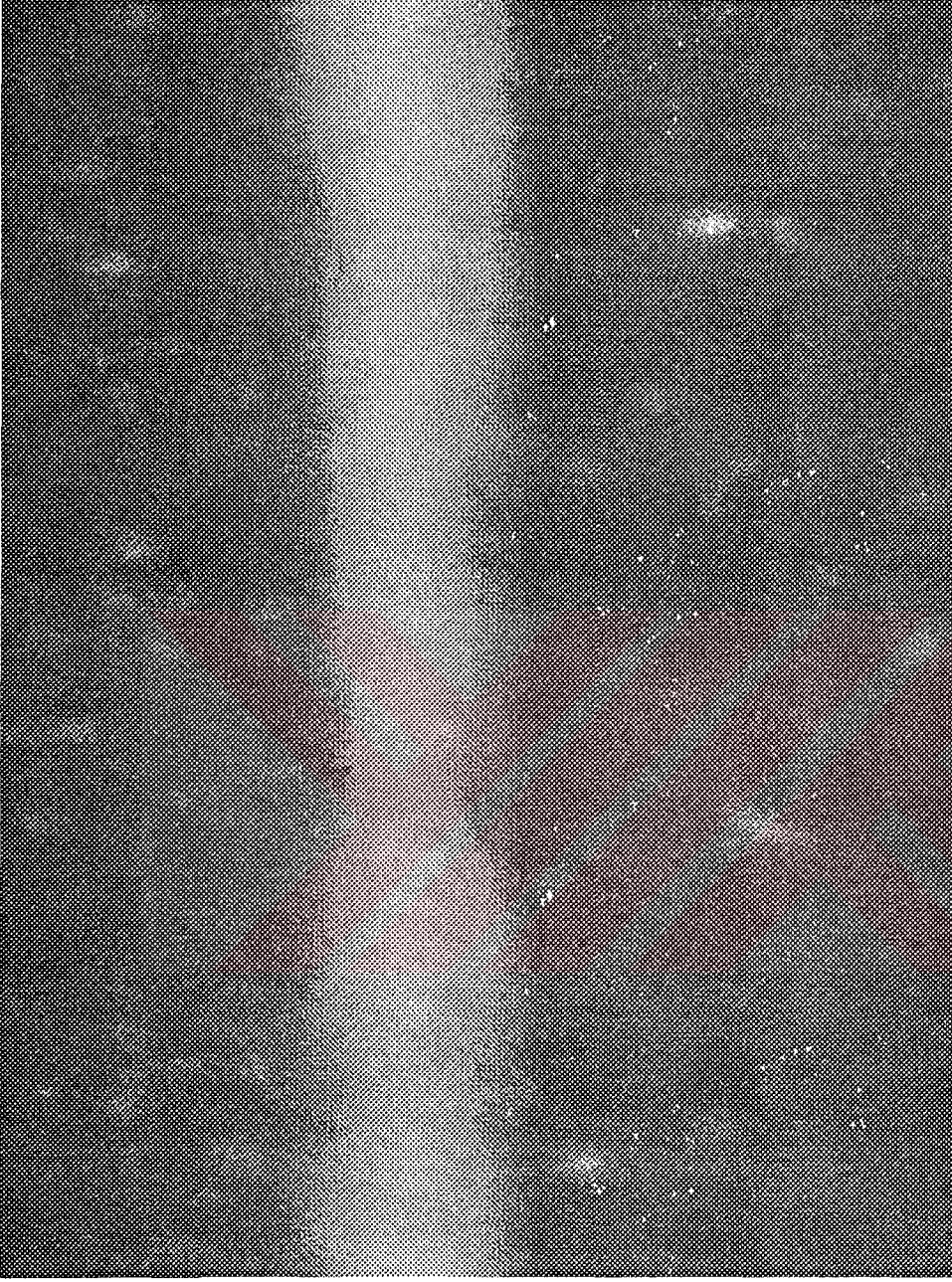
Çekilen radyograflarda farklı süreksizliklerin tespiti mümkün olmuştur. Süreksizlik tespit edilen radyograflara ilişkin örnekler Şekil 5.9 – Şekil 5.15’de görülmektedir.



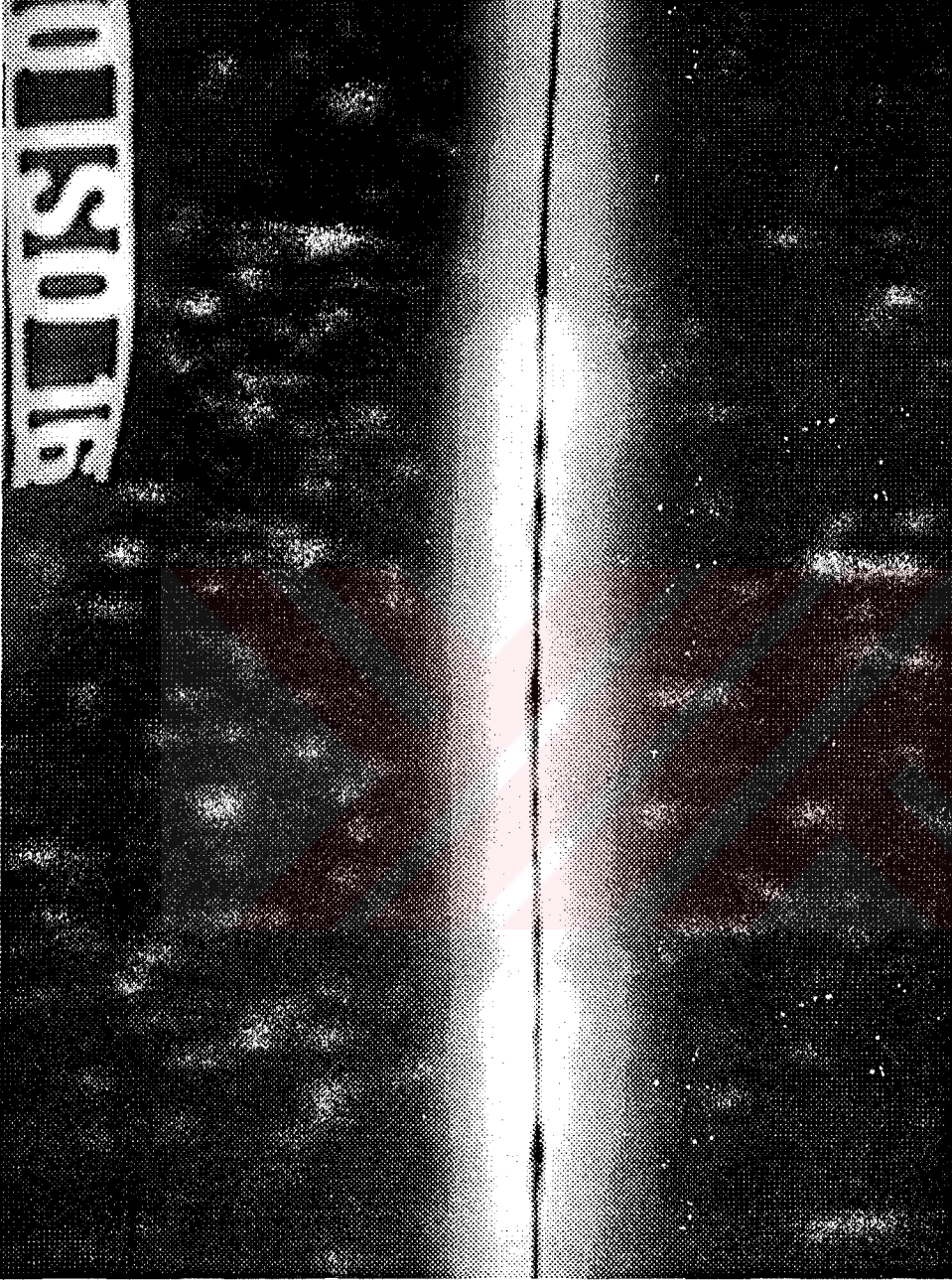
Şekil 5.9 Kaynak Dikişinde Porozite Tespit Edilen Bir Radyograf



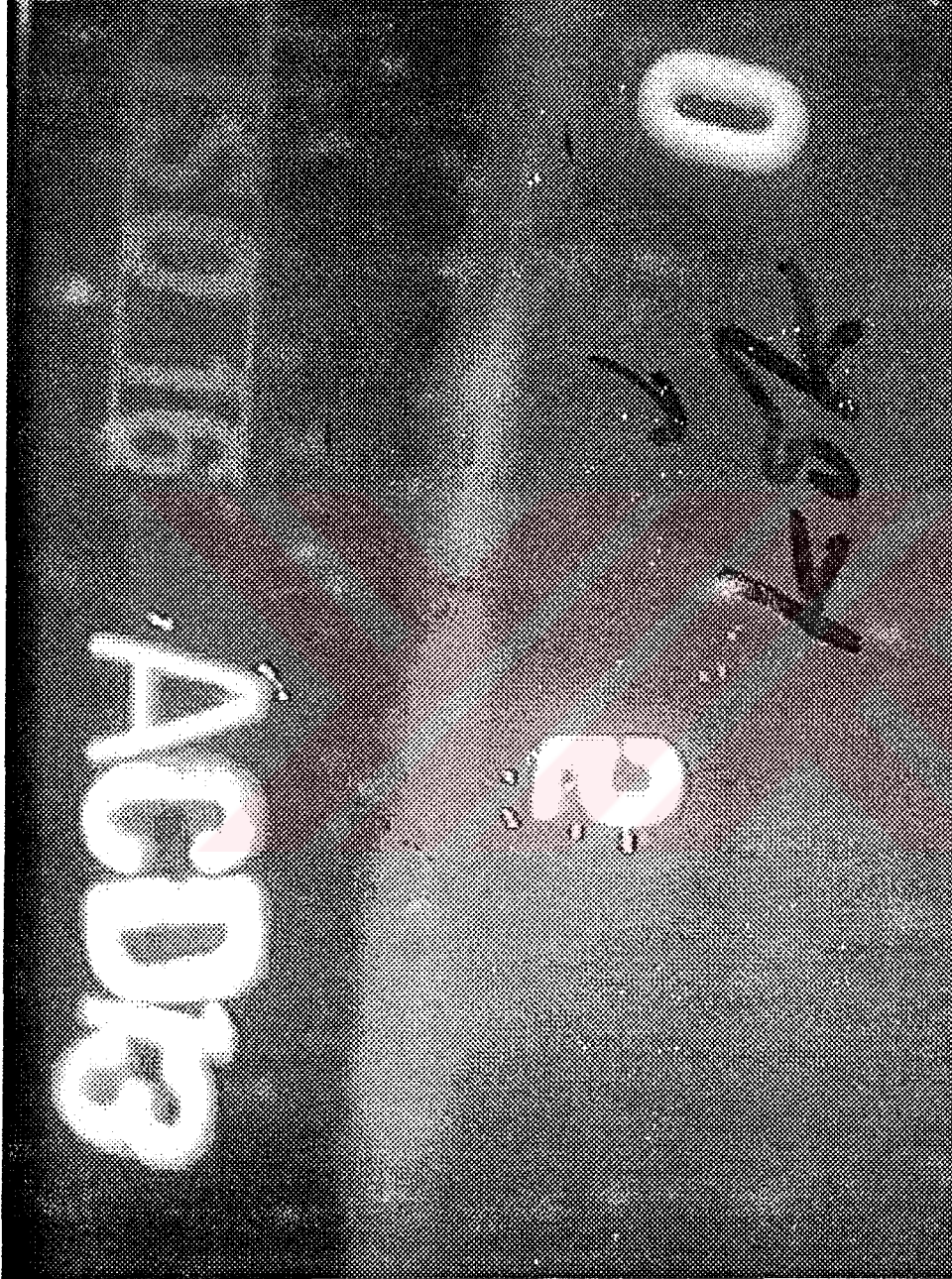
Şekil 5.10 Kaynak Dikişinde Cüruf Tespit Edilen Bir Radyograf



Şekil 5.11 Kaynak Dikişinde Çatlak Tespit Edilen Bir Radyograf



Şekil 5.12 Kaynak Dikişinde Nüfuziyetsizlik Tespit Edilen Bir Radyograf



Şekil 5.13 Kaynak Dikişinde Kök Hatası Tespit Edilen Bir Radyograf



Şekil 5.15 Kaynak Dikişinde Yanık Tespit Edilen Bir Radyograf

5.5. ÇEKİLEN RADYOGRAFLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Çekilen radyograflar kadar, onların değerlendirilmesi ve raporlanması da önemlidir. Bu bakımdan rapor hazırlanması ayrı bir özen ve dikkat ister. Çekilen radyografin film yoğunluğu standartlarda belirtilene uygun olduğu, banyo hatası bulunmadığı ve bu bağlamda çekim parametrelerinin uygunluğu tespit edildikten sonra test raporu hazırlanması gerekir.

Hazırlanacak Raporda aşağıdaki hususların bulunması gereklidir.

- Uluslararası isim yapmış standart ve kodlardan hangisine göre çekim ve değerlendirme yapıldığı belirtilmelidir.
- Çekimi yapılan malzemenin cinsi, standart numarası, cidar kalınlığı belirtilmeli
- X-ışını veya γ -ışını radyografisinden hangisinin kullanıldığı belirtilmelidir.
- Işın kaynağı ile film mesafesi yazılmalıdır.
- Gama ışınında kaynak cinsi, enerjisi ve aktivitesi yazılmalıdır.
- Kullanılan filmlerin ölçüleri ve tipleri yazılmalıdır.
- Işın filtresi kullanılıyor ise kalınlığı, cinsi ve filmin ne tarafına konulduğu belirtilmelidir.
- X-ışını ile çekim yapılıyorsa uygulanan kV ve mA belirtilmelidir.
- Film üzerinde çekilen yeri ve çeken kuruluşu gösteren markalar olmalıdır.
- Penetremetrenin standart numaraları ve tipi yazılmalıdır.
- Hataların ismen belirtilmesi gerekir.
- Çekimi yapanın ismi ve imzası bulunmalıdır.
- Değerlendirmeyi yapanın ismi ve imzası raporda bulunmalıdır.

Burada, bir düz kaynağın radyografik muayenesine ilişkin hazırlanmış bir rapor Şekil 5.16'da verilmiştir.

RADYOGRAFI RAPORU

[illegible]

Şekil 5.16 Kaynak Dikişine İlişkin Örnek Bir Radvografi Raporu Formu

BÖLÜM 6

SONUÇ VE TARTIŞMA

Günümüz sanayiinde önemli bir birleştirme tekniği olan kaynak tekniğinin, gelişen kalite güvence kavramı çerçevesinde tahribatsız muayane metodları ile kontrolü önem arz etmektedir. Kaynak dikişlerinin iç yapı incelemesi için öne çıkan bir teknik ise radyografi olmaktadır. Bu bağlamda, bu Yüksek Lisans tezi çalışması ile, kaynak dikişlerinin radyografik muayenesi incelenmiştir.

Öncelikle, farklı kaynak teknikleri ile çalışma üzerinde durulmuştur. Ancak, görülmüştür ki; endüstride farklı şartlarda farklı kaynak teknikleri kullanılabilmeyle beraber, elektrik ark kaynağı önde gelen bir kaynak tekniği durumundadır ve uygulamalarda imal tekniği olarak tercih edilen bir teknik olmaktadır. Radyografik değerlendirme açısından ise; kaynak tekniği ve kaynak birleştirme tipleri farklılığı çok da önemsenecek bir farklılık getirmemektedir. Radyografi tekniği uygulaması değişmemekte, değerlendirme kriterleri ve hata değerlendirmesi felsefesi de ayrılık göstermemektedir.

Radyografi uygulamaları açısından ise, radyasyon kaynağı önemlidir. Bununla beraber, endüstriyel radyografide kullanılan ve girici elektromanyetik radyasyon olan X ve gama ışınlarının her ikisiyle de alınan sonuçlar, standartlarda istenen şartları sağlayabilmektedir. Bu bakımdan radyasyon kaynağının X veya gama olması kaynak dikişi muayenesi açısından da önemli bir aykırılık oluşturmamaktadır.

Buna karşın, her iki radyasyon kaynağı ile çalışma ile elde edilen radyografların detay karşılaştırması yapıldığında, X-ışını radyografisiyle elde edilen radyograflarda kontrastın daha iyi olduğu söylenebilir. Bu durumun, X-ışını ile çalışılırken, X-ışını tüpü ile çalışılıyor olmasından dolayı, parça kalınlığı ve yoğunluğuna bağlı olarak ayarlamaların her defasında duruma uygun olarak yapılabilmesinden kaynaklandığı ifade edilebilir. Oysa, gama ışını radyografisinde (standartlarla uygun çelik kalınlığı için uygulanabileceği belirtilen) belli bir radyoizotop kaynağın enerjisini değiştirmek mümkün olamamaktadır.

Bu husus, X-ışını radyografisi için bir avantaj olmaktadır. Buna karşın ise, gama radyografisinin elektrikten bağımsız ve X-ışını tüpüne göre radyoizotop kaynağın taşınma kolaylığı gama radyografisi için avantaj olmaktadır. Nitekim, bu Yüksek Lisans tezi çerçevesinde, olanaklarından yararlanan İGDAŞ'ın çoğunlukla talep ettiği boru hatlarının kaynak dikişi kontrolleri için de, bu bakımdan gama radyografisinin tercih edilir olduğu gözlenmiştir.

Kaynak dikişi kontrollerinde hata tespitine ilişkin olarak yapılan çalışmalarda ise, standartlarda belirtilen hata tiplerinin radyografik muayene ile tespit edilebildiği tarafımızdan da görülmüştür. Burada, önemli husus, çekilen radyografların çekim parametrelerine uygun olarak tayin edilmiş olmasıdır. Bir başka deyişle, malzeme iç yapısına ilişkin ileri detayın yakalanabilmesi, önemli ölçüde “kabul edilebilir” bir radyografik çekimin yapılmış olmasına bağlı olmaktadır.

Burada, kaynak dikişinin durumunun radyografik çekim düzeni açısından önemli olduğu deneysel çalışmalarımızla gözlenmiştir. Düz kaynak, klasik radyografi uygulaması çerçevesinde nispeten kolay şekilde gerçekleşirken, kaynak dikişi kontrolleri için sıkça rastlanan boru kaynaklarında çekim düzeninin, boru çapına bağlı olarak farklı şekillerde düzenlenmesi gereği, çekimde karşılaşılan önemli bir sorun olmaktadır. Çalışmamızda, farklı çekim düzeni ile alınan radyografların görüntü kalitesinin standartlara uygun olmasının sağlanması durumunda ise radyografik değerlendirme açısından ayrıca bir sorunla karşılaşılmamaktadır.

Bununla beraber, kaynak dikişinde rastlanan her tür hata, radyografik değerlendirmeyi yapan tarafından yine de aynı kolaylıkla tespit edilemeyebilmektedir. Örneğin; porozite, nüfuziyetsizlik gibi kaynak hataları, radyograf değerlendirmesi sırasında nispeten kolay belirlenirken, çatlak ve bazı yanık gibi kimi kaynak hataları hemen fark edilemeyebilmektedir.

Bu bakımdan, kaynak çekimi kadar radyograf değerlendirmesi de kaynak dikişlerinin radyografik muayenesi için önem arz etmektedir. Nitekim, bu husus önemli olduğundan, raporlamada da, çekimi yapan ve değerlendiren(ler)in ayrı ayrı belirtilmesi bir gereklilik olarak gösterilmektedir.

Bu durum, kalite güvence ve tahribatsız muayene metodlarında, konu hakkında bilgili ve eğitilmiş kişilerin çalışmasını bir gereklilik olarak ortaya çıkarmaktadır. Nitekim, ulusal ve uluslararası standartlar da radyografik muayene için konu ilgililerinin, vasıflandırılmasını şart koşturmaktadır (TS 7477, 1989, TS 7478, 1990). Bu husus, yapılan çalışmalar sırasında da gözlenmiştir.

Böylelikle, bu Yüksek Lisans tez çalışması ile endüstrinin önemli bir çalışma ve uygulama alanını oluşturan kaynak dikişlerinin radyografik muayenesi, farklı yönlerden incelenmeye çalışılmıştır. Fazla olarak, rasyonel şekilde ve bir sistematik çerçevesinde, deneysel çalışmalarla konu açıklanmaya çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

- Becker, G.L.**, (1990), *Radiographic NDT*, Du Pont NDT Systems, Wilmington.
- Bray,D.E., McBride,D.**, (1992), *Nondestructive Testing*, John Wiley & Sons, New York.
- Bulubay, Ü.**, (1995), *Co-60 İle Çelik Parçaların Radyografisi İçin Oluşturulan Tek ve Çift Ön Ekranların Ağırlıklı Ortalama Yöntemiyle Değerlendirilmesi*, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü – Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı Doktora Tezi, İstanbul.
- Bulubay, Ü., Tuğrul, A.B.**, (1998), Quantitative Evaluation of Intensifying Screen Materials in Co-60 Radiography For Steel Parts, *NDT & E International*, Vol. 31, No. 3, pp.193-199
- Cartz, L.**, (1995), *Nondestructive Testing*, The Materials Information Society, Milwaukee.
- CGSB**, (1981), *Industrial Radiography*, Canadian General Standards Board, 48-GP-5M, Ottawa.
- Çetin Şişman,F.**, (1992), *Radyografik Performans ve Görüntü Rezolüsyonu Tayini*, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü – Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Gardner , Ely** (1967), *Radioisotope Measurement Applications in Engineering*, Reinhold Pub.Corp., New York.
- Halmshaw,R.**, (1995), *Industrial Radiology*, 2nd Edition, Chapman & Hall, London.
- Halmshaw.R.**, (1991), *Nondestructive Testing*, Edward Arnold, London.
- Halmshaw,R.**, (1971), *Industrial Radiology Techniques*, The Wykeham Technological Series, Wykeham, London.
- IAEA**, (1996), *Quality Assurance For Safety in Nuclear Power Plants and Other Nuclear Installations*, International Atomic Energy Agency - Code and Safety Guides QI-Q14, Vienna.
- Kodak**, (1980), *Radiography in Modern Industry*, 4th Edition, Eastman Kodak Company, Richester.
- McIntire**, (1985), *Nondestructive Testing Handbook*, Vol.3, American Society For Nondestructive Testing, USA
- Milner,D.R., Apps,R.L.**, (1968), *Introduction to Weldingand Brazing*, Pergamon Press, Oxford, London.

- Mix, P.E.**, (1987), *Introduction to Nondestructive Testing*, John Wiley & Sons, New York.
- NCRP**, (1985), *A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures*, National Council on Radiation Protection and Measurements - Report No. 58, Bethesda.
- Patton W.J.**, (1967), *The Science and Practice of Welding*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliff, New Jersey.
- Reis, H.L.M.**, (1990), *Nondestructive Testing and Evaluation For Manufacturing and Construction*, Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- Schneeman, J.G.**, (1968), *Industrial X-Ray Interpretation*, Intex Publishing Company, Evanston.
- TS 5127**, (1987), *Tahribatsız Muayene Metodları Çelik Kaynaklarda Kaynak Yerlerinin X ve Gama Işınları İle Radyografik Muayenesi*, TSE, Ankara.
- TS 7477**, (1989), *Tahribatsız Muayene Metodları – Tahribatsız Muayene Metodlarını Uygulayan Personelin Vasıflandırılması ve Belgelendirilmesi İçin Genel Kurallar*, TSE, Ankara.
- TS 7478**, (1990), *Tahribatsız Muayene – Radyografi Temel Eğitim Kuralları*, TSE, Ankara.
- TS 11245**, (1994), *Kaynak Terimleri ve Tarifleri – Genel*, TSE, Ankara.
- Tuncel, N.**, (1994), *Tahribatsız Muayene Metodlarıyla Malzeme hatalarının Tesbiti*, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü – Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yılmaz, G.**, (1999), *Radyografik Hata Tesbiti*, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü – Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yılmaz, G., Tuğrul, A.B.** (1999), *Radyografik Paralaks (Rijit Paralaks) Yöntemi İle Hata Derinliği Tesbiti*, *1. Uluslar arası Tahribatsız Muayene Sempozyumu*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1974 Yılında Orhangazi'de doğdu. Lise öğrenimini İstanbul'da tamamladıktan sonra İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'ne girdi ve 1996 yılında Fizikçi olarak mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı..

1998'den beri İGDAŞ'ta çalışmaktadır. Bekar olup, iyi ingilizce, orta almancailmektedir.