

66554

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ NÜKLEER ENERJİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI MALZEMELERİN RADYOGRAFİK YÖNTEMLE

YARI - DEĞER KALINLIĞININ TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalürji Müh. Kemal ÜÇER

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Ocak 1997
Tezin Kabul Edildiği Tarih : 3 Şubat 1997

Tez Danışmanı
Diğer Jüri Üyeleri

: Prof. Dr. Ali Nezihi BİLGE
: Prof. Dr. Beril TUĞRUL
Prof. Dr. Melih GEÇKİNLİ
Prof. Dr. Şarman GENÇAY
Prof. Dr. Ahmet BAYÜLKEN

Ali Nezihi BİLGE 26.02.97
Beril TUĞRUL 26.02.97
Melih GEÇKİNLİ 26.02.97
Şarman GENÇAY 26.02.97
Ahmet BAYÜLKEN 28.02.97

ÖNSÖZ

Farklı malzemelerin radyografik yöntemle yarı-değer kalınlıklarının tespiti konulu yüksek lisans çalışmam boyunca danışmanlığımı üstlenerek değerli fikirleri ile beni aydınlatan, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, Sayın Hocam Prof.Dr. Ali Nezihi Bilge'ye sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, bu çalışmada bana yardımlarından dolayı, Sayın Hocam Prof.Dr. Beril Tuğrul'a, Araş.Gör .Hakan Önal ve Araş.Gör. Birsen Ayaz'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yaşantım boyunca gerek maddi gerekse manevi yönden beni destekleyen ve yanımda olan aileme ve eşime teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
NOTASYON LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
TABLO LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
SUMMARY	X
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. ELEKTROMANYETİK RADYASYON	3
2.1. X-Işınları ve Temel Prensipleri	4
2.1.1. X-Işınlарının Oluşumu	4
2.1.2. X-Işını Cihazları	4
2.1.2.1. Kumanda Faktörleri	5
2.2. Gama Işınları ve Temel Prensipleri	6
2.2.1. Gama Işınlарının Yayınımı	7
2.2.2. Gama Işını Cihazları	7
2.3. Girici Elektromanyetik Radyasyonun ve Madde İle Etkileşimi	8
2.3.1 Fotoelektrik Olay	9
2.3.2. Compton Saçılması	10
2.3.3. Çift Oluşumu	11
2.4. X ve Gama Işınlарının Soğurulması	12
2.5. X ve Gama Işınlарının Karşılaştırılması	13
BÖLÜM 3. RADYOGRAFİ	14
3.1. Radyografik Görüntü Alma Tekniğı	15
3.2. Radyografik Duyarlılık	16
3.3. Radyograf Kalite Faktörleri	17
3.3.1. Geometri Faktörleri	17
3.3.1.1. Yerleştirme Geometrisi	17
3.3.1.2. Geometrik Yarı Gölge	18
3.3.1.3. Kaçınılmaz Yarı Gölge	19
3.3.2. Film Faktörü	21
3.3.3. Radyasyon Kaynak Faktörü	23
3.3.4. Poz Süresi	23

3.3.5. Film Ekranı	25
3.3.6. Banyo	26
BÖLÜM 4. YARI-DEĞER KALINLIĞI VE ZIRHLAMA	27
4.1. Yarı-Değer Kalınlığı	27
4.2. Radyasyondan Korunma ve Radyasyon Zırhlama	28
BÖLÜM 5. DENEY	31
5.1. Radyografik Çekimlerde Kullanılan Cihazlar	31
5.1.1. X-Işını Radyografisinde Kullanılan Cihazlar	31
5.1.2. Gama Radyografisinde Kullanılan Cihazlar	32
5.1.3. Radyografik Çekimler Süresince Kullanılan Film , Ekran ve Kasetler	33
5.2. Radyografik İncelemeler Esnasında Kullanılan Malzeme ve Cihazlar	35
5.3. Radyografik Çekimlerde Kullanılan Deneysel Malzemeler	35
BÖLÜM 6. DENEYSEL VERİLER	36
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	64

NOTASYON LİSTESİ

λ	: Dalga Boyu
μ	: Doğrusal Soğurma Katsayısı
μ_m	: Kütlesel Soğurma Katsayısı
ρ	: Yoğunluk
θ	: Fotonun Saçılma Açısı
BE	: Elektronun Bağ Enerjisi
D	: Fotoğrafik Film Yoğunluğu
Do	: Kaynak - Malzeme Uzaklığı
E	: Enerji
Ee	: Elektronun Kinetik Enerjisi
E γ	: Elektromanyetik Fotonun Enerjisi
E γ'	: Saçılan Fotonun Enerjisi
F	: Radyasyon Kaynak Boyutu
I	: Işının Şiddeti
I _o	: Işının İlk Şiddeti
KFM	: Kaynak - Film Mesafesi
kV	: Kilovoltaj
L	: Filmden Geçen Işık Şiddeti
Lo	: Filmin Üzerine Düşen Işık Şiddeti
MFM	: Malzeme - Film Mesafesi
P	: Poz Faktörü
S	: Kaynağın Aktivitesi
t	: Zaman
T	: Poz Süresi
T $\frac{1}{2}$	: Yarılanma Ömrü
U _g	: Geometrik Yarı - Gölge
X	: Malzeme Kalınlığı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.	Elektromanyetik Spektrum	3
Şekil 2.2.	X - Işını Tüpü	5
Şekil 2.3.	Kumanda Faktörleri	6
Şekil 2.4.	Elektromanyetik Spektrum	8
Şekil 2.5.	Fotoelektrik Olay	9
Şekil 2.6.	Compton Saçılması	10
Şekil 2.7.	Çift Oluşumu	11
Şekil 3.1.	Radyografik Görüntü Alma Tekniği	15
Şekil 3.2.	Yerleştirme Geometrisi	18
Şekil 3.3.	Geometrik Yarı - Gölge	19
Şekil 3.4.	Radyografik Film Yapısı	21
Şekil 3.5.	Farklı Film Hızlarına Göre Karakteristik Eğriler	22
Şekil 3.6.	Film Tane Boyutları	22
Şekil 3.7.	Kaynak Boyutunun Detay Duyarlık Kaybına Etkisi	23
Şekil 3.8.	Co-60 Kaynağı ve Çelik Malzeme İçin Film - Poz Faktörleri	24
Şekil 3.9.	X - Işını Poz Süresi Grafiği	25
Şekil 5.1.	X - Işını Cihazı	31
Şekil 5.2.	X - Işını Cihazına Ait Kumanda Paneli	32
Şekil 5.3.	Gama Işını Cihazı	32
Şekil 5.4.	Gama Işını Cihazına Ait Uzaktan Kumanda Sistemi	33
Şekil 5.5.	Film Kasetleri ve Ekranlar	33
Şekil 5.6.	Gama Işını ile Gerçekleştirilen Deneylerde Kullanılan Malzemeler	34
Şekil 5.7.	X - Işını ile Gerçekleştirilen Deneylerde Kullanılan Malzemeler	34
Şekil 6.1.	Cam, Alüminyum, Demir, Kurşun Örnekler Ait Radyograflar	42
Şekil 6.2.	Forex, MDF, Cam, Alüminyum, Demir Örnekler Ait Radyograflar	43
Şekil 6.3.	Cam Örnek İçin Co - 60 Gama Kaynağı, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	44
Şekil 6.4.	Alüminyum Örnek İçin Co - 60 Gama Kaynağı, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	45
Şekil 6.5.	Demir Örnek İçin Co - 60 Gama Kaynağı, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	45
Şekil 6.6.	Pirinç Örnek İçin Co - 60 Gama Kaynağı, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	46
Şekil 6.7.	Kurşun Örnek İçin Co - 60 Gama Kaynağı, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	46
Şekil 6.8.	FOREX Örnek İçin X - Işını 50 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	47
Şekil 6.9.	FOREX Örnek İçin X - Işını 75 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	47
Şekil 6.10.	FOREX Örnek İçin X - Işını 100 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	48

Şekil 6.11.	MDF Örnek İçin X - Işını 75 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	48
Şekil 6.12.	MDF Örnek İçin X - Işını 100 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	49
Şekil 6.13.	MDF Örnek İçin X - Işını 125 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	49
Şekil 6.14.	Cam Örnek İçin X - Işını 100 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	50
Şekil 6.15.	Cam Örnek İçin X - Işını 150 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	50
Şekil 6.16.	Cam Örnek İçin X - Işını 175 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	51
Şekil 6.17.	Cam Örnek İçin X - Işını 200 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	51
Şekil 6.18.	Alüminyum Örnek İçin X - Işını 125 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	52
Şekil 6.19.	Alüminyum Örnek İçin X - Işını 150 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	52
Şekil 6.20.	Alüminyum Örnek İçin X - Işını 175 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	53
Şekil 6.21.	Alüminyum Örnek İçin X - Işını 200 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	53
Şekil 6.22.	Demir Örnek İçin X - Işını 125 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	54
Şekil 6.23.	Demir Örnek İçin X - Işını 150 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	54
Şekil 6.24.	Demir Örnek İçin X - Işını 175 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	55
Şekil 6.25.	Demir Örnek İçin X - Işını 200 kV, Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi	55
Şekil 6.26.	Gama Işınına Ait Yarı - Değer Kalınlığı ve Yoğunluk Değişimi	57
Şekil 6.27.	X - Işınına Ait Yarı - Değer Kalınlığı ve Voltaj Değişimi	57

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1.	X ve Gama Işınlarnn Karşılaştırması	13
Tablo 2.2.	Gama Kaynakları	14
Tablo 3.1.	Kaçınılmaz Yarı Gölge'nin Radyasyon Enerjisi İle Değişimi	20
Tablo 5.1.	Radyografik Çekimlerde Kullanılan Malzemeler	35
Tablo 6.1.	Cam Örnek	36
Tablo 6.2.	Alüminyum Örnek	37
Tablo 6.3.	Demir Örnek	38
Tablo 6.4.	Pirinç Örnek	39
Tablo 6.5.	Kurşun Örnek	39
Tablo 6.6.	Forex Örnek	40
Tablo 6.7.	MDF Örnek	41
Tablo 6.8.	Radyografik Çekim Şartları	56
Tablo 6.9.	Gama Işınına Ait Farklı Malzemelerin Yarı-Değer Kalınlıkları	58
Tablo 6.10.	X - Işınına Ait Farklı Malzemelerin Yarı-Değer Kalınlıkları	58
Tablo 6.11.	Deneyisel Verilerin Karşılaştırılması	58

ÖZET

Bu çalışmada, tahribatsız muayene metodlarından radyografik yöntem kullanılarak farklı yoğunluktaki malzemelerin yarı-değer kalınlıklarının deneysel olarak tespitine çalışılmıştır.

Deneysel çalışmalar sırasında yapılan tüm radyografik incelemeler, Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'nda bulunan 4 mm odak boyutlu Balteau GR 300 X-ışını ve 4 mm odak boyutlu Kobalt-60 (Co-60) kaynaklı gama ışını cihazları ile gerçekleştirilmiştir.

Yoğunlukları bilinen veya denel olarak bulunan malzemeler, deneylerin gerçekleştirileceği gama ışını ve değişik kilovoltajlardaki X-ışınları ile radyografik çekim şartlarına uygun halde tasarlanmıştır. Tasarlanan bu örnekler, basamaklı penetremetreler haline getirilmiş, daha sonra X ve gama ışınları kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Tüm bu deneyler sonucu elde edilen radyograflardaki basamakların densitometre ile ölçülen yoğunluk farklılıkları incelenmiştir. Bu film yoğunluk farkları ile malzeme kalınlıkları arasındaki ilişkiden hareketle, değişik kilovoltajlardaki X ve gama ışınları için denel olarak yarı-değer kalınlıkları tespit edilmiştir.

SUMMARY

In this study , radiographic techniques have been used by measuring the Half- Value Layer Ticknesses of different materials. All radiographical applications implemented during this experimental study have been realized by using Balteau GR-300 X-ray machine and a gamma ray instrument with Cobalt-60 (Co- 60) source in Nuclear Appliction Division .

The concept of the quality control has been developed in parallel with modern technology. An industrial product must be qualified in a good place in the market. For this reason , the quality control tests must be applied and the limits of acceptance and rejection criteria must also be determined. Nondestructive testing methods , especially radiographic test are widely used in the production and process control , besides the research- development studies. Radiography today is one of the most important , most versatile , off all nondestructive test methods used in modern industry.

Industrial radiography continues to play an important role many industries by helping to assure the product qualitiy and to conduct research for better materials and process. Nevertheless , there are some of the advantages and limitations of radiographic testing as a quality assurance procedure are as follows :

1 - ADVANTAGES

- A - Can be used most materials**
- B - Provides a parmanent visial image record of the test specimen**
- C - Reveals the internal nature of the film**
- D - Discloses fabrication errors and often indicates necessary corrective action (separating acceptable and unacceptable material in accordance with predetermined standarts)**
- E - Reveals structural discotiniuties , assembly errors and mechanically failures**

2 - LIMITATIONS

There are some both physical and economical limitations in the use of radiographic testing.

Geometric exposure requirements make it impracticable to use radiographic testing on specimens of complex geometry. There are some geometrical principles about radiographic testing. All of these have been explained in detail in Section 3.3.1.

Radiographic testing is a relatively expensive nondestructive test but it is most economical when it is used to inspect easily handled material of simple geometry. It becomes expensive when it is used to examine the thick and mixed specimens that require equipment with high energy potential.

The field of radiography continues to undergo constant change in radiation-generating equipment, recording media, and techniques for detecting smaller discontinuities.

Radiography provides a permanent visible film record of internal conditions, containing basic information about examined parts of materials by which the truth can be determined. Because of the penetration and absorption capabilities of X, gamma, and other radiation forms, radiography is used to test the inside picture of a variety of nonmetallic products and metallic products. Radiographical Tests of objects can vary from micro - miniature electronic parts to huge missile components; in product composition through virtually every known material; and in manufacture from over an enormously wide variety of casting, weldments, forgings, fabrications and assemblies.

The reason why, radiographic testing is one of the primary nondestructive testing methods used today, is the capability of revealing discontinuities (variations in material composition, or density) in a variety of dissimilar materials.

In the applications of radiography, the differences between X - ray and gamma ray are as follows :

- The gamma ray sources are cheaper and smaller than X - ray tubes
- The energies of the gamma ray sources are constant
- The gamma ray sources are portable (sometimes X - ray tubes are portable too) and the expenses of maintenance are less than X - ray tubes
- As the gamma ray sources are limited , because of their half - life , the radiation emitted by gamma ray sources is unchangeable. Therefore this is an advantage which has been created for the gamma ray sources in comparison with X - ray tubes.

A radiographic test report is one of the most steps in radiographic inspection. It should contain all relevant information given by the radiograph, together with sufficient of the nature and history of the specimens to permit unequivocal identification at any later date. The use of standardized report form enables all the relevant data to be recorded efficiently. Finally , the crux of the radiographic report is a precise description of all the significant defects found in the specimen , in respect of nature extent , location . And if the reporter is competent and certified , with an opinion of the significance such defects on the proper functioning of the specimen , the complete inspection can be done fluently.

In the radiographic test , the description of the concerned parameters is an important step. Choosing quality and quantity values , determining the exposure time , choosing and placing film and screen are between these parameters. For the valuation, the radiograph should provide a specific quality. In other words , The radiographic density is desired as an average of 2 - 3.5 .

The shielding effectiveness of a material for photons is commonly expressed in terms of the thickness required to reduce the intensity of the photons by a factor of two. This thickness is called the half-value layer.

To specify the correct thickness of shielding, it is necessary to know the half-value layer for the photons. Although half-value layer may be calculated theoretically, the calculation is complicated because of the complex nature of the radiation spectrum. Also, the half-value layer depends of the width of the beam and other factors contributing to scatter of radiation in the attenuating medium. Accordingly, it

is desirable to select values for the half-value layers and other attenuation coefficients that were determined for conditions similar to those encountered in a specific design problem.

It might be reasonable to reduce the dose rates even further for two reasons: (1) the recommendation of the radiological commissions is that no necessary radiation exposures be taken arbitrarily; and (2) it is possible that as more data concerning the longrange effects of radiation become available, the recommended maximum permissible exposures may be reduced. For the gamma and x - ray shielding high Z number, high density material with a low molecular weight materials are needed as it is proved by both theoretical and practical applications.

Shield systems may be classified into two basic types: (1) unit shield, in which all shielding material is placed around the radiation source, and (2) divided shields, in which part of the shield material is placed around the source and part around the receiver (personnel or equipment being protected).

The principal shield material available to the designer can be divided into two categories according to their function: (1) materials that are used primarily to attenuate one type of radiation, (2) materials that serve a dual purpose and are used as the main attenuator for types of radition.

For shielding design problems, to select the shielding materials with the parameters explained below,

- Necessary thickness
- The conformity of the shield material for the shielding and constructed purposes
- Homogeneous shielding
- The continuity of shielding
- Optical transparency when it is desired
- The necessity of quality control
- All costs including assembly and maintenance

- External appearance,

are important.

During this work , it has been tried to fix a half - value thickness by using a variety of different kilovoltages and Cobalt - 60 (Co - 60) . The results showing the variations between the film densities and material thicknesses have been obtained by using the radiographs belonging to each material.

The evaluation of the radiographic test , result is an important step of this work. In this experimental study , the half - value layer thicknesses belonging to different materials have been measured according to the radiographic film densities which are related to the material step thicknesses.

As a second level , the conformity of the experimental data and values found in literature including the half - value layer thicknesses has been evaluated. There is a 5 % difference between the experimental data and theoretical found in literature . The difference has been occurred from the density variations of the materials to be used and also the processing parameters which are the exposure conditions . The laboratory conditions , and the average differentiations in the determination of the film densities can be outlined according to the experimental conditions , this consequences may be considered as a good result.

Consequently , it will be possible to find experimentally half - value layer thicknesses necessary for the radiation shielding and the radiation protection. In this study , the above mentioned situation is based on the film density related to the material step thicknesses . On the other hand , the future direction of radiography will be guided by basic physics of radiation and other main principles detailed in this study.

1. GİRİŞ

Endüstrideki gelişmeye paralel olarak kalite kavramı da büyük önem kazanmıştır. Üretilen bir ürünün piyasada belli bir yere gelebilmesi için, bu ürünün kaliteli olması gerekmektedir. Bunun için de, ürünün baştan sona kadar her kademedeki kalite kontrolden geçmesi, kabul veya red sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Tahribatsız muayene metodları; kalite kontrolü haricinde, üretim metodlarının kontrolünde, kullanım süresinde veya araştırma-geliştirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [1] .

Radyografi; bilimsel yönü ve mühendisliği büyük ölçüde tamamlanmış, bütün ayrıntıları ile sınırlandırılmış, tahribatsız muayene metodları arasında en etkili yöntemlerden biridir [2] .

Radyografik yöntemle, malzeme içi ve bünye yapısına ilişkin görüntülü bilgi almak mümkündür. Elde edilen bu görüntülerin gösterdiği farklılıklardan hareketle malzemede bulunan her türlü süreksizliği veya hatayı tayin ve tespit etmek, radyografik muayenenin temel amaçları arasındadır. Malzemedeki kaynaklanan yüzey şekilleri, bünye içi hatalar, üretimden gelen hatalar ve malzemenin şeklinden dolayı oluşan kalınlık değişimleri radyografya yoğunluk farklılıklarına neden olur; böylece film üzerinde oluşan kontrast, görüntü oluşumunun temelidir. Radyograf yoğunluklarının değerlendirilmesi sonucu, bünye içi süreksizliklerin boyutları ve yerleri belirlenerek tanımlama kesin olarak gerçekleştirilmektedir.

Radyografi çekim işleminde, ilgili parametrelerin tayini “ önemli “ bir aşamadır. Bu parametreler arasında radyografi kalite ve kantite değerlerinin seçimi ve tayini ile poz süresi tayini sayılabilir. Kullanılacak film ve ekran seçimi ile yerleştirilmesi, diğer önemli hususları oluşturur.

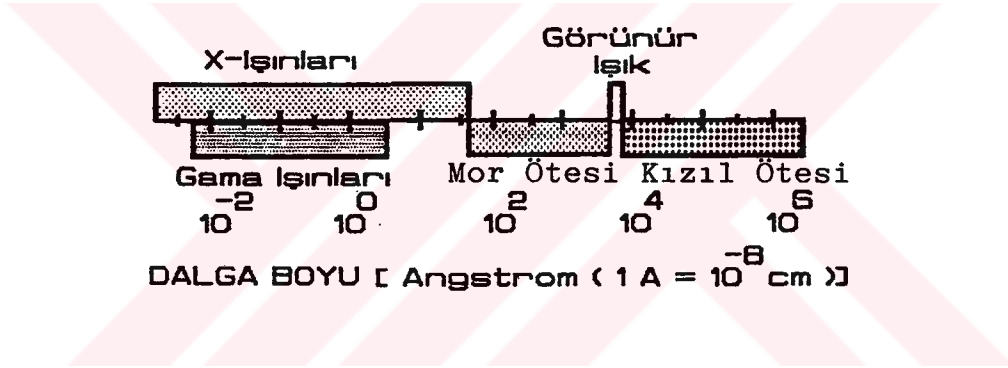
Değerlendirme açısından, radyografi çekiminin “ belli “ bir kalitede gerçekleşmiş olması gerekmektedir. Başka bir deyişle değerlendirmenin gerçekleşebilmesi için, radyografik yoğunluk olarak 2.0 - 3.5’lik bir kararın elde edilmelidir. Parçanın şeklinden dolayı bu yoğunluk her yerde elde edilemiyorsa, bu durumda radyograf üzerinde ortalama yoğunluğun 2.0 olması istenir [3].

Radyografik çalışmanın sonucunun alındığı değerlendirme ise, yöntemin önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Böylece, radyografik metod kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, elde edilen radyograflarda kalınlığa göre değişen film yoğunlukları kullanılarak, farklı malzemelerin, farklı enerjiler için yarı-değer kalınlıklarının deneysel olarak tespit edilebileceği ve bu değerlerin daha önce bulunan yarı-tabaka değer kalınlıklarına göre nasıl bir uyum içinde olabileceği araştırılmıştır.



2. ELEKTROMANYETİK RADYASYON

X ve gama ışınları, görünür ışık, ultraviyole, mor ötesi ile radyo dalgaları “Elektromanyetik Radyasyon “ ismiyle anılan geniş bir ailenin bireyleridir. Tüm bu bireyler, foton adı verilen, kütlesi olmayan ve dalgasal hareketle yayılan küçük enerji paketlerinden oluşur [2]. Dalga boylarına göre Elektromanyetik spektrum Şekil 2.1. , de gösterilmektedir [4].



Şekil 2.1. Elektromanyetik Spektrum

2.1. X-IŞINLARI VE TEMEL PRENSİPLERİ

X-Işınları genellikle iyonizasyon ve uyarılma gibi atomsal değişimler sonucu üretilirler [5].

Görünür ışık gibi elektromanyetik radyasyon ailesinin bir üyesi olan X-ışını, görünür ışık ile benzer özellikleri göstermesine rağmen, çok düşük dalga boyuna sahip olması ayırt edici özelliğidir. Bu özelliği nedeniyle giricilik yeteneğine sahiptir [6].

2.1.1. X-IŞINLARININ OLUŞUMU

X-Işınları, oluşumları itibarıyla ikiye ayrılırlar. Kendine özgü X-ışını; elektronların herhangi bir uyarıyla bir üst seviyeye çıkması sonucu atomun dengeli hale gelebilmesi için, bir üst yörüngeden elektronların boşluk olan yörüngeye geçmesi sırasında enerji transferi ile meydana gelir [7,8].

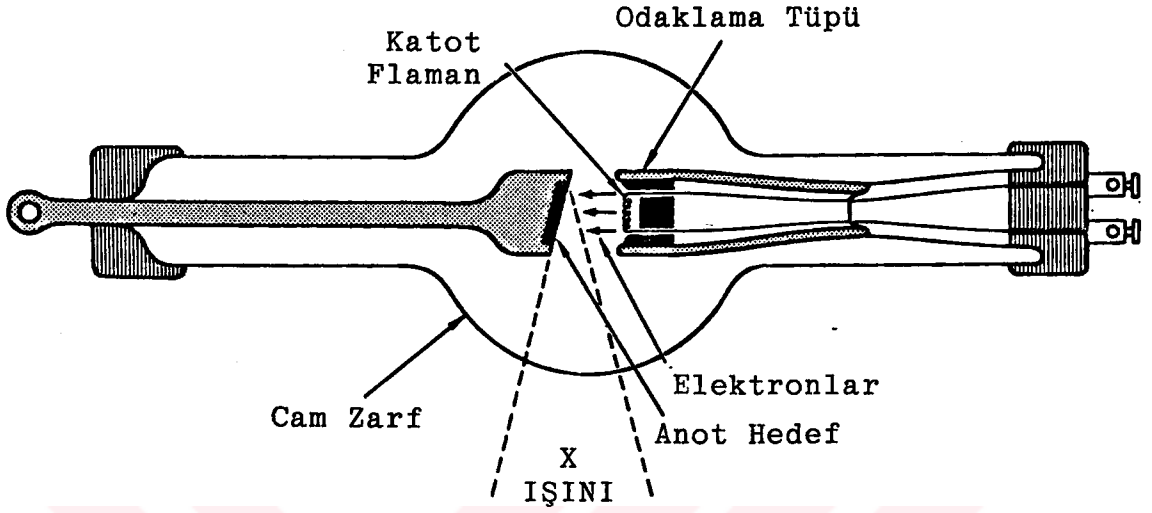
Diğer bir tip olan frenleme radyasyonu, hızlandırılmış elektronların bir hedef malzemeye çarptırıldığında, hedef malzemenin elektronları ile etkileşmesi sonucu kaybedilen enerjinin X-ışını olarak açığa çıkması sonucu oluşmaktadır [7].

2.1.2. X-IŞINI CİHAZLARI

Klasik X-ışını cihazı; X-ışını tüpü, yüksek gerilim jeneratörü, besleme devresi, soğutma ünitesi ve kumanda dolabından oluşmaktadır [9].

X-ışını, yüksek hıza sahip elektronların tungsten gibi ağır metal hedef üzerine çarptırılması ile üretilmektedir. Bundan dolayı X-ışını tüpü; bir elektron kaynağı, hızlandırıcı voltaj ve bir metal hedef mutlaka içermelidir [10].

Şekil 2.2., de X-ışını tüpü sistematik olarak gösterilmektedir [4].



Şekil 2.2. X-ışını Tüpü

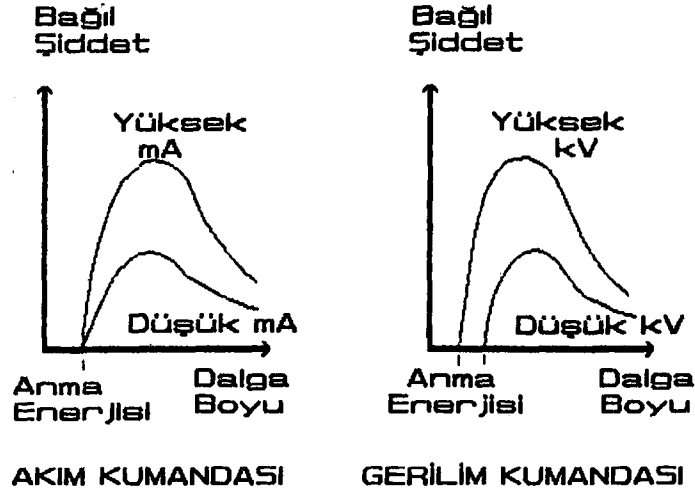
X-ışını tüplerinde tungsten filaman; bir akım vasıtası ile ısıtarak, yüksek elektron yoğunluğuna sahip bir bölge oluşturulur. Bu elektron bulutu, anot ile filaman arasındaki potansiyel farkı ile hızlandırılarak anota odaklanır. Yüksek erime sıcaklığına sahip tungsten elementinden yapılmış hedef malzemeye çarptırılan bu hızlandırılmış elektronların durdurulması sonucu meydana gelen enerjinin % 1 gibi küçük bir kısmı, X-ışınlarının meydana gelmesine neden olur [8].

2.1.2.1. KUMANDA FAKTÖRLERİ

Radyografik uygulamalarda X-ışını cihazları, akım ve gerilim kumandası olarak adlandırılan iki farklı kumanda faktörü ile kontrol edilmektedir.

Gerilim kumandası voltajdaki artışı sağlayarak üretilen elektronların hızlandırılmasını sağlamaktadır. Böylece, daha küçük dalga boyu ve daha enerjetik X-ışınları üretilebilmektedir. Akım kumandası ise, X-ışınlarının yapısını enerji açısından değiştirmeden üretilen miktar bakımından arttırmaktadır [4,7].

Şekil 2.3., de akım ve gerilim kumandası ile X-ışını spektrumunda meydana gelen değişim gösterilmektedir [7].



Şekil 2.3. Kumanda Faktörleri

Uygulanan voltaj ile eşdeğer dalga boyu arasındaki bağıntı, Eşitlik 2.1., de belirtilmektedir [11].

$$E \text{ (keV)} = 12,345 / \lambda \text{ (Å)} \quad (2.1.)$$

Bağıntı 2.1., de λ üretilen X-ışınının dalga boyu gösterilmektedir.

2.2. GAMA IŞINLARI VE TEMEL PRENSİPLERİ

Elektromanyetik dalgalardan oluşan gama ışınları, nükleer değişimler sonucu uyarılmış çekirdeğin, temel enerji seviyesine dönerken yayımlanmış olduğu ışınlardır [12].

Elektronları radyasyon ailesinin diğer bireyleri ile benzer özelliklere sahip olan gama ışınları, x-ışınlarına göre daha küçük dalga boylarına sahip ve daha enerjitiktirler. Dolayısı ile malzemeye giricilik özellikleri, X-ışınlarına oranla daha

yüksektir. Işının dalga boyu ve giricilik özelliği radyoaktif çekirdeğin cinsine göre değişmektedir [7,9].

2.2.1. GAMA IŞINLARININ YAYINIMI

Kararsız olan radyoizotopun bozunuma uğraması sonucu gama ışınları yayımlanmaktadır. Bu bozunum sonucu meydana gelen ışıının şiddeti sabit değildir ve zamanın bir fonksiyonu olarak üstel bir biçimde azalmaktadır. Işıının şiddetinde meydana gelen bu azalma Eşitlik 2.2. , de gösterilmektedir [13].

$$I = I_0 \cdot \exp [- \lambda t] \quad (2.2.)$$

Eşitlik 2.2. , de ışıının şiddeti I , zaman t ve bozunma sabiti λ ile ifade edilmiştir [14]. Genellikle bozunma sabiti λ , Eşitlik 2.3. , de gösterildiği gibi yarılanma ömrüne dönüştürülerek kullanılmaktadır.

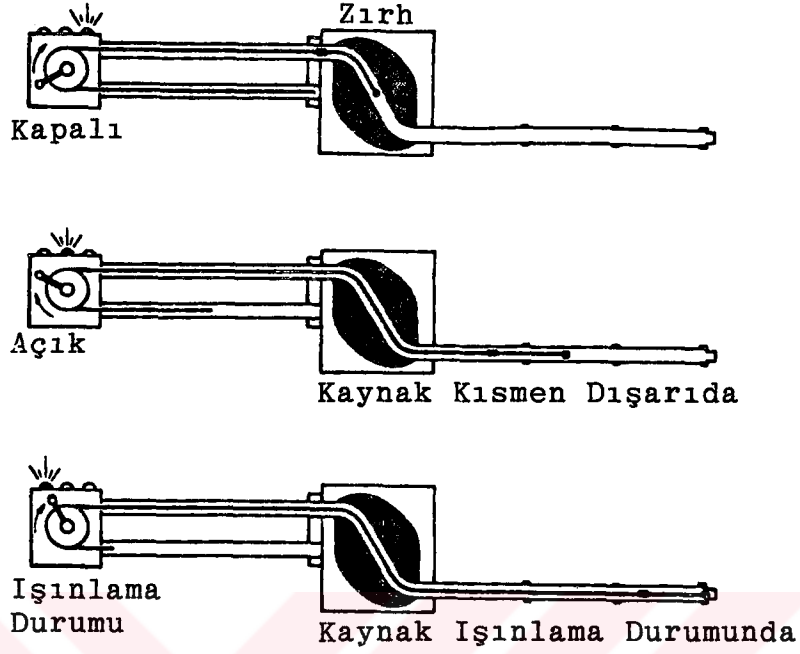
$$T_{1/2} = 0,693 / \lambda \quad (2.3.)$$

Böylelikle üstel olarak azalan ışıının şiddeti, Eşitlik 2.4. , deki son halini almaktadır.

$$I = I_0 \cdot \exp [(- 0,693 / T_{1/2}) t] \quad (2.4.)$$

2.2.2. GAMA IŞINI CİHAZLARI

İzotop kaynağı sürekli radyasyon yayımladığı için itina ile kullanılmalı, depolanmalı ve kullanılmadığı zamanlarda ise korumalı bir zırh içinde kilitlenmelidir. Gama kaynağının güvenli kullanımı ve herhangi bir tehlike yaratmayacak şekilde zırhlanabilmesi için radyoizotop kameraları tasarlanmıştır. Şekil 2.3. , de portatif bir izotop kamerası gösterilmektedir.



Şekil 2.4. İzotop Kamerası

Şekil 2.4. , de görüldüğü gibi, esnek kabloya monte edilmiş, içinde sarmal sargı bulunan uzatma kablosu boyunca hareket edebilen kaynağın çevirme mekanizması yardımı ile, kapalı durumda zırh içinde, ışınlama durumunda ise kaynağın zırh içinden çıkartılıp en uç noktaya ulaştırılması sağlanmaktadır. Böylece kaynağın 20 - 25 metre uzaktan kontrolü mümkün olmaktadır [14] .

2.3. GİRİCİ ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

Girici elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi üç şekilde olmaktadır. Bunlar; fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumdur.

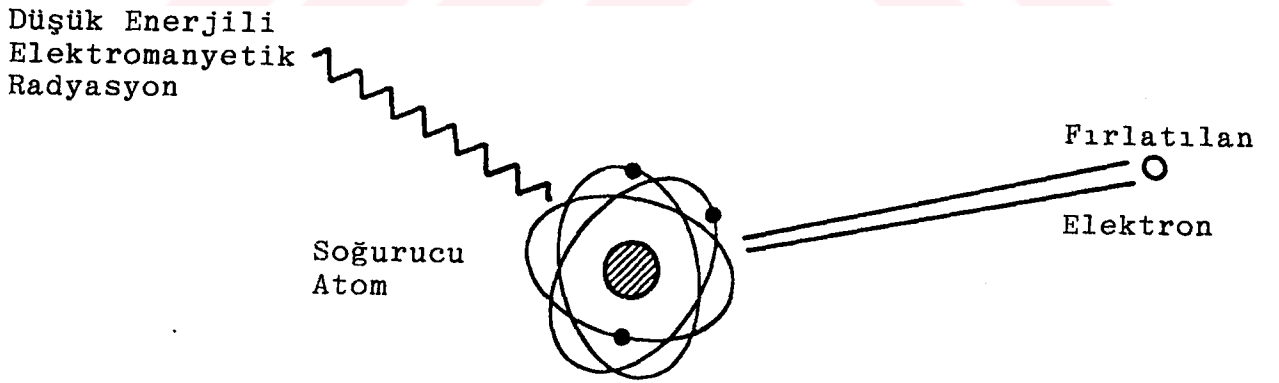
2.3.1. FOTOELEKTRİK OLAY

Fotoelektrik olay; düşük enerjili X veya gama fotonunun, soğurucu ortamdaki bağlı atomik elektron ile etkileşerek fotonun tüm enerjisini kaybetmesi ve fotoelektron adı verilen bir elektronun serbest olarak fırlatılması olayıdır [4,5,16]. Bu etkileşim sonucu elektronun kazanacağı kinetik enerji, Eşitlik 2.5. , ile ifade edilebilir.

$$E_e = E_\gamma - BE \quad (2.5.)$$

Eşitlik 2.5. , de elektronun kinetik enerjisi E_e , elektromanyetik fotonun enerjisi E_γ ve BE ile de elektronun bağ enerjisi gösterilmektedir [5].

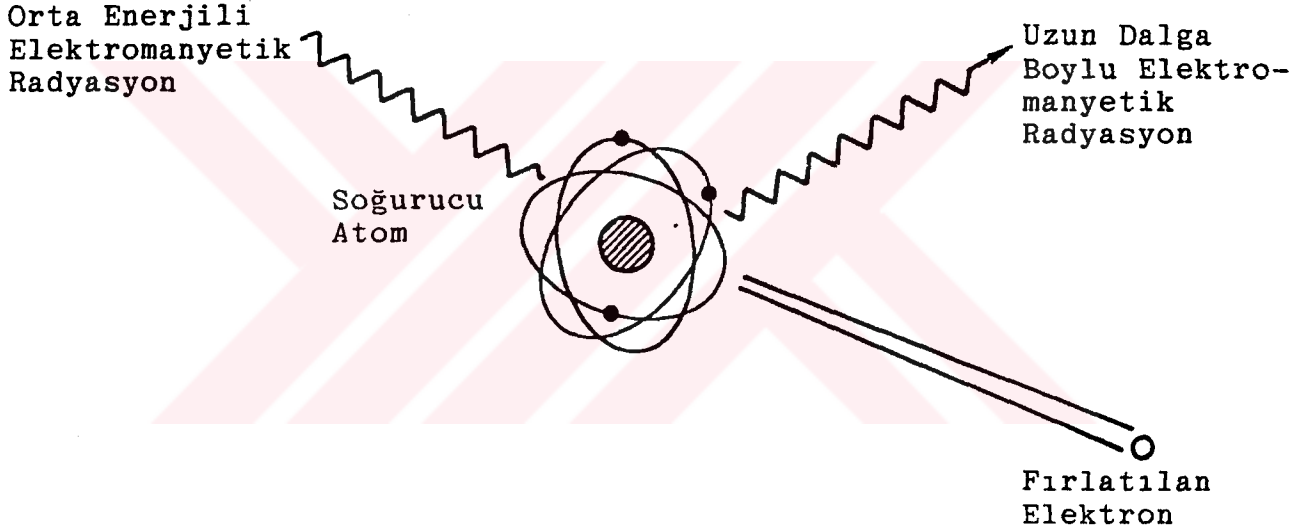
Şekil 2.5. , de fotoelektrik olay şematik olarak gösterilmektedir [4].



Şekil 2.5. Fotoelektrik Olay

2.3.2. COMPTON SAÇILMASI

Fotonun, soğurucu ortamdaki atomun dış yörünge elektronu ile çarpışması sonucu Compton saçılması meydana gelir. Foton enerjisinin bir kısmı elektronu yörüngeden fırlatmak için kullanılır. Enerjisinin bir kısmını kaybetmiş olan foton, orijinal fotonun doğrultusuna belli bir açı yaparak tamamen soğuruluncaya kadar devam eder. Şekil 2.6. , ile Compton saçılması şematik olarak gösterilmektedir [4,16].



Şekil 2.6. Compton Saçılması

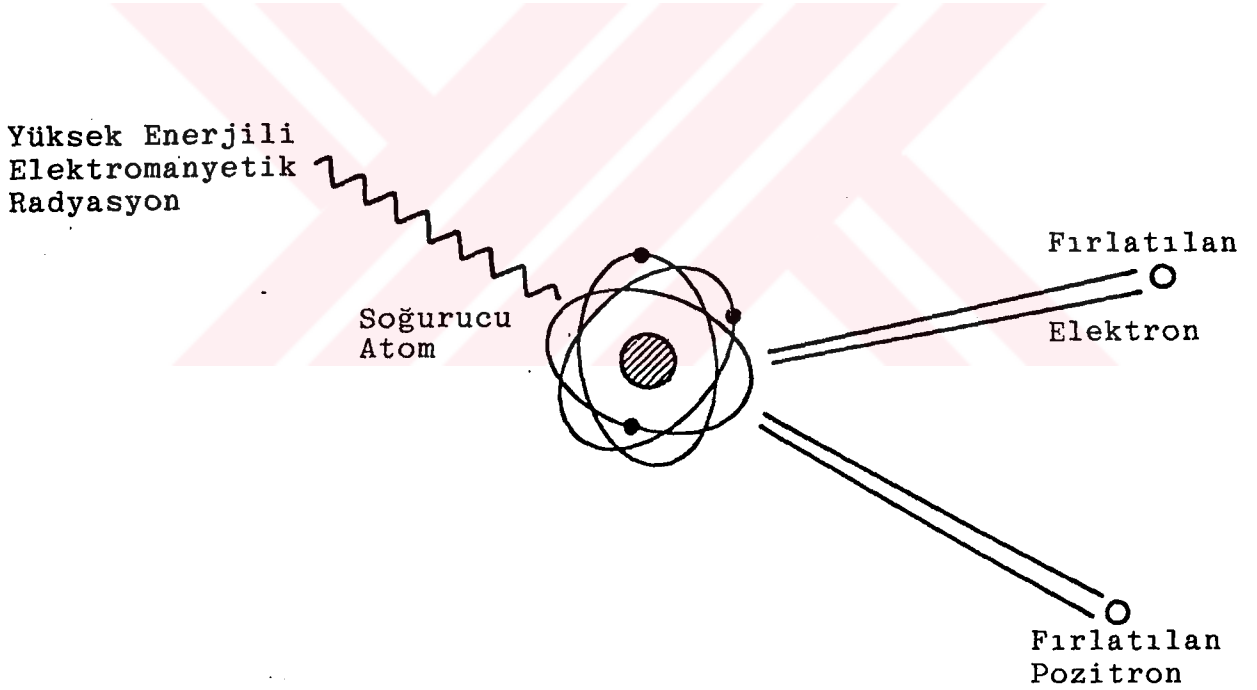
Saçılan fotonun enerjisi, saçılma açısına bağlı olarak hesaplanabilir [5]. Aralarındaki bağıntı, Eşitlik 2.6. , da gösterilmektedir.

$$E_{\gamma'} = 0,51 / 1 - \cos \theta + (0,51 / E_{\gamma}) \quad (2.6.)$$

Eşitlik 2.6. , da $E_{\gamma'}$ saçılan foton enerjisini, E_{γ} gelen elektromanyetik radyasyon fotonunun enerjisini ve θ saçılma açısını göstermektedir [16].

2.3.3. ÇİFT OLUŞUMU

Çift oluşumu, çekirdek ile foton arasındaki etkileşimdir. Bu etkileşimin sonucu olarak; foton çekirdeğe yaklaştığı an, enerjisini elektron-pozitron çifti haline dönüştürür. Elektron-pozitron çiftinin toplam enerjisi kütle eşdeğeri olarak 1.02 MeV olduğundan, çift oluşumu için gerekli minimum enerji 1.02 MeV'dir. Çift oluşumunun sonunda foton, fotoelektrik olayda olduğu gibi tamamen soğurulur. Oluşan bazı elektron-pozitron çiftlerinin kendilerini nötralize etmeleri sonucu Anhilasyon radyasyonu meydana gelmektedir. Şekil 2.7. , de çift oluşumu şematik olarak gösterilmektedir [4,5,16] .



Şekil 2.7. Çift Oluşumu

2.4. X VE GAMA IŞINLARININ SOĞURULMASI

Radyasyon malzeme tarafından soğurulduğu için şiddetinde bir azalma olacaktır [17] . Radyasyonun malzeme ile etkileşiminde, gama ışınları ve X-ışınları elektromanyetik radyasyon olduklarından tüm belirtilen bağıntılar iki radyasyon türü için de geçerlidir.

Herhangi bir I şiddetindeki radyasyon, ΔX kalınlığındaki bir malzemeden geçtiğinde şiddetindeki azalma ΔI ile, Eşitlik 2.7. ,de göstermiştir.

$$\Delta I = -\mu I \Delta X \quad (2.7.)$$

Buradaki negatif işaret şiddetteki azalmayı göstermektedir. Bu Eşitlik 2.8.,de gösterildiği gibi herhangi bir X yada gama ışınının soğurulmasındaki temel kanunu içermektedir [10] .

$$I = I_0 \exp (-\mu x) \quad (2.8.)$$

Eşitlik 2.8. , de ilk radyasyon şiddeti I_0 , malzemeden geçen radyasyonun şiddeti I, malzeme kalınlığı x (cm) ve doğrusal soğurma katsayısı μ (cm^{-1}) ile ifade edilmektedir. Radyografik uygulamalarda daha uygun olan kütle soğurma katsayısı μ_m (Eşitlik 2.9.) kullanılır [10] .

$$\mu_m = \mu / \rho \quad (2.9.)$$

Eşitlik 2.9. , da ρ malzeme yoğunluğu (g/cm^3) olarak gösterilmektedir.

2.5. X VE GAMA IŞINLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

X ve gama ışınlarının karşılaştırılması, Tablo 2.1. , de verilmiştir [9] .

Tablo 2.1. X ve Gama Işınlarının Karşılaştırılması

KARŞILAŞTIRMA KRİTERLERİ	X - IŞINLARI	GAMA IŞINLARI
Besleme	Işınının başlayabilmesi için elektrik akımına ihtiyaç vardır.	Işınım kendiliğinden meydana gelir.
Boyutlar	Cihazın boyutları büyüktür. Cihazın yerleştirilmesi bazı durumlarda problem teşkil edebilir.	Kaynak boyutu küçüktür.
Nakliye	Ulaşımında bir problem söz konusu değildir.	Zırh ağırlığına rağmen önemli problem oluşturmaz.
Radyasyondan Korunma	Cihazın çalıştığı anlarda söz konusudur.	Işınım devamlı olduğundan sürekli korunma gereklidir.
Dalga Boyu	Cihaz, gerilimin (kV) bir fonksiyonudur.	Kullanılan radyoaktif elementin özelliğidir.
Kaynak Boyutu	Normal cihazlarda 2x2 ila 4x4 mm'dir. Büyük verili cihazlarda 6x6 mm'dir.	Normal kaynaklarda 2x2 ila 4x4 mm'dir. Yüksek şiddetli kaynaklarda 10x10 mm'ye kadar çıkabilir.
Işınım	Normal tüplerde zayıf açılı bir koni. Oyuk anotlu tüplerde daha geniş açılı olabilir.	İzotropik yayınım.
Radyograf Kalitesi	Gerilimin uygun seçilmesi halinde iyi bir kontrast.	Daha zayıf bir kontrast.

3.RADYOGRAFI

Radyografide, girici veya nüfus edebilen ışıın veya yüklü parçacıklar yardımı ile madde iç yapısı hakkında bilgi sahibi olabilmek mümkündür. Burada , girici veya nüfus edebilen elemanter parçacık olarak ; X, gama, beta ışıınları ile nötronlar kullanılabilir.

Endüstriyel radyografide ise sürekli spektruma sahip X-ışıını ile belli dalga boylarında yayımlanan gama ışıınları kullanılarak film üzerine malzemenin iç yapısı görüntülenmektedir. Tahribatsız muayene metodları içerisinde kalıcı ve oldukça hassas sonuçlar vermesinden dolayı çok yaygın kullanılmaktadır. Endüstriyel radyografide X-ışıını dışında Radyum, Radon ve Uranyum gibi doğal izotoplar kullanılmasına rağmen gama kaynağı olarak bazı özellikleri Tablo 2.2. , de gösterilen Co-60, Ir-192, Cs-137 ve Tm-170 gibi radyoizotoplar yaygın olarak tercih edilmektedir [13].

Tablo 2.2. Gama Kaynakları

RADYOAKTİF ELEMENT	YARI - ÖMÜR	GAMA IŞIN ENERJİSİ (MeV)
Tm - 170	127 gün	0.084 ve 0.54
Ir - 192	70 gün	0.137'den 0.651'e kadar
Cs - 137	33 yıl	0.66
Co - 60	5.3 yıl	1.17 ve 1.33

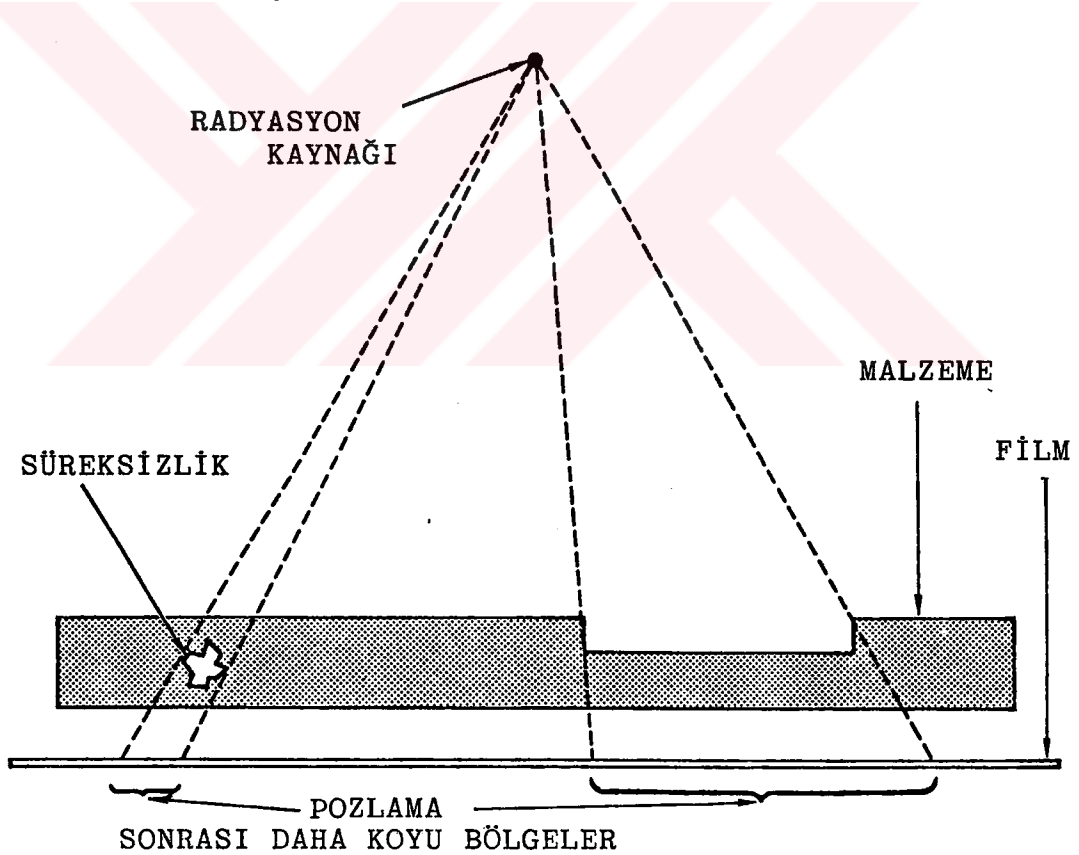
Radyasyon, kaynaktan malzemeye doğru düz hatlar halinde yayımlanarak, malzemedен doğru bir hat boyunca geçmektedir. Işıınlar malzemeyi kat edip geçerken malzemenin şeklinden kaynaklanan kalınlık farklılıkları, çeşitli yoğunluk farklılıkları ve çeşitli yoğunluk değişimleri ile malzemenin iç yapısında meydana gelmiş

süreksizliklerin oluşturacağı soğurulma farklılıkları dolayısıyla , film üzerinde yoğunluk değişimleri oluşmaktadır. Böylece film yoğunluklarındaki farklılıklar sayesinde malzeme iç yapısı görüntülenmiş olur [2, 3, 7, 9, 13] .

3.1. RADYOGRAFİK GÖRÜNTÜ ALMA TEKNİĞİ

Bir radyograf oluşturmak için temelde üç ana öğeye gereksinim vardır. Bunlar; radyasyon kaynağı, incelenecek malzeme ve görüntünün kaydedileceği filmdir.

Sistem olarak radyografik görüntü alabilmek için malzeme, radyasyon kaynağı ile film arasına yerleştirilir [2, 13] . Şekil 3.1. , de radyografik görüntü alma tekniği şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Radyografik Görüntü Alma Tekniği

3.2. RADYOGRAFİK DUYARLILIK

Radyografik duyarlılık , bir radyografıta bulunabilecek en küçük süreksizliğin incelenebilmesinin sağlanmasıdır. Farklı bir yaklaşımla radyografik duyarlılık, radyografıdaki bilgi miktarının ölçüsüdür.

Duyarlılık; banyo edilmiş film üzerinde mevcut çeşitli yoğunluk farklılıkları olarak tanımlanan radyografik kontrast ve görüntünün ana hatlarındaki keskinlik olarak bilinen netlik ile belirlenir. Netlik kullanılan radyasyonun enerjisine, radyografik düzeneğin geometrisine ve film-ekran çiftinin cinsine bağlıdır. Radyografik kontrast ise malzemenin cinsine, kullanılan radyasyonun enerjisine, saçılan radyasyonun dağılımına ve şiddetine bağlı olan malzeme kontrastı ile filmin karakteristik eğrisindeki eğimi ifade eden film kontrastı ile belirlenmektedir [4 ,6] .

Radyografik film üzerinde meydana gelen kararma, fotoğrafik yoğunluk olarak adlandırılır ve radyografıtan geçen ışık şiddetine bağlıdır. Eşitlik 3.1. , de fotoğrafik film yoğunluğunun matematiksel ifadesi gösterilmektedir [9] .

$$D = \log_{10} \frac{I_0}{I} \quad (3.1.)$$

Eşitlik 3.1. , de D fotoğrafik film yoğunluğu , I_0 filmin üzerine düşen ışık şiddeti ve I de filmde geçen ışık şiddetini göstermektedir.

3.3. RADYOGRAF KALİTE FAKTÖRLERİ

3.3.1. GEOMETRİ FAKTÖRLERİ

3.3.1.1. YERLEŞTİRME GEOMETRİSİ

Radyografik muayene ile, keskin ve malzemenin iç yapısını tam olarak temsil eden gerçek bir görüntünün oluşması istenmektedir. Görüntü kalitesine doğrudan etki edecek olan radyografik çekim sisteminin etkileri minimum düzeyde olmalıdır. Bundan dolayı görüntü kalitesinin standartlarla belirlenen sınırlar içinde olması için aşağıdaki şartların uygulanması gerekmektedir [6].

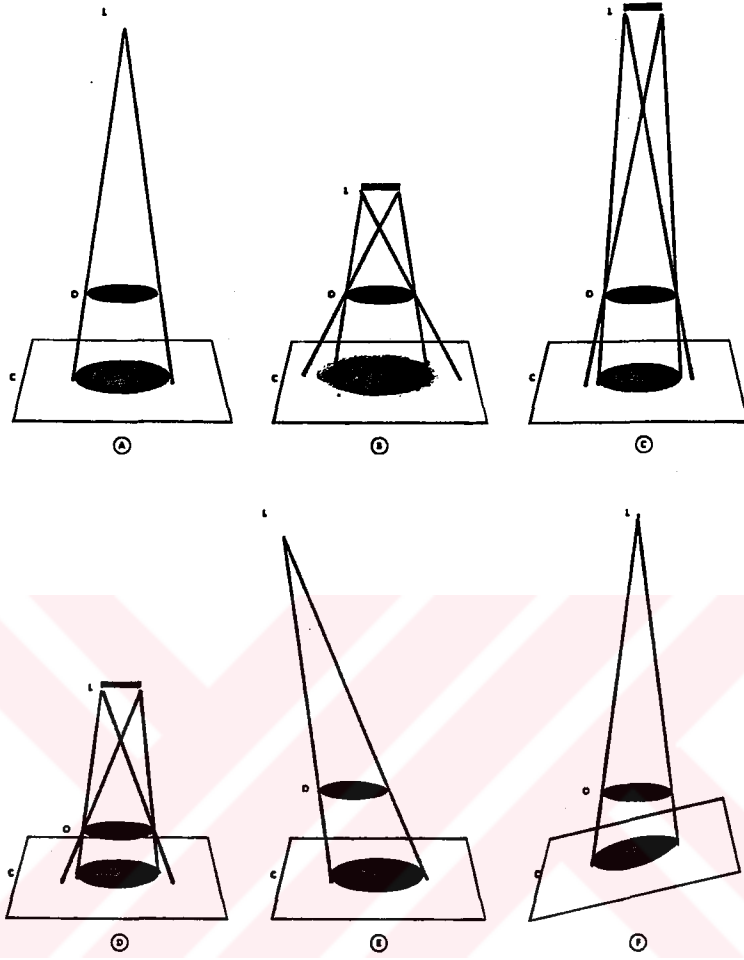
1- Radyasyon kaynağı, mümkün olan en ufak boyutta (nokta kaynak) olmalıdır. Şekil 3.2. , de A ve C ile bu fark gösterilmektedir.

2- Kaynak, malzemeden mümkün olan en uzak noktada olmalıdır. Şekil 3.2., de B ve C ile bu fark gösterilmektedir.

3- Film yüzeyi, malzemeye mümkün olan en yakın mesafede olmalıdır. Şekil 3.2. , de B ve D ile bu fark gösterilmektedir.

4- Işınlr, film yüzeyine düşey olarak yönlendirilmelidir. Şekil 3.2. , de A ve E ile bu fark gösterilmektedir.

5- Malzeme ve film yüzeyi paralel olmalıdır. Şekil 3.2. , de A ve F ile bu fark gösterilmektedir.

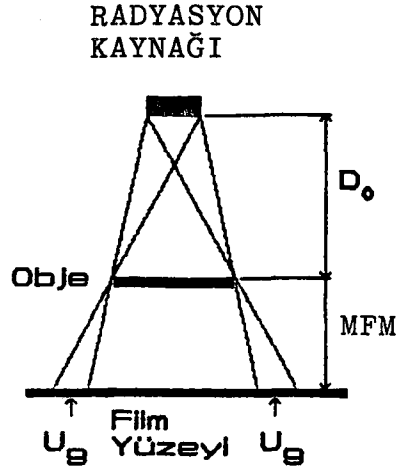


L Radyasyon Kaynağı, O Malzeme ve C Film Yüzeyi

Şekil 3.2. Yerleştirme Geometrisi

3.3.1.2. GEOMETRİK YARI-GÖLGE

Geometrik yarı-gölge (U_g) radyografik görüntü kalitesini doğrudan etkilediğinden büyük önem taşımaktadır. Şekil 3.3. , ile geometrik yarı-gölgenin oluşumu gösterilmektedir [6].



Şekil 3.3. Geometrik Yarı-Gölge

Eşitlik 3.2. , ile geometrik yarı-gölgenin matematiksel tanımı ifade edilmektedir [6].

$$U_g = F (MFM / D_o) \quad (3.2.)$$

Eşitlik 3.2. , de U_g geometrik yarı-gölge, F radyasyon kaynak boyutu, MFM malzeme-film mesafesi ve D_o kaynak-malzeme mesafesi olarak gösterilmektedir.

Geometrik yarı-gölgenin malzeme üzerinde iki büyük etkisi bulunmaktadır [18]. Bular sırasıyla; filmde malzemenin net detayları üzerinde bulanıklık meydana getirmesi ve malzemenin küçük detayları üzerinde kontrastı düşürmesidir.

3.3.1.3 KAÇINILMAZ YARI-GÖLGE

Radyografıta , radyografi çekim şartlarından kaynaklanan yarı-gölgenin dışında film taneselliği, ekran cinsi ile taneselliği, film- ekran çiftinin teması ve radyasyon enerjisi gibi faktörlerden kaynaklanan kaçınılmaz yarı-gölge söz konusu olacaktır.

Film üzerinde görüntü, gerçekte duyarlı tabakayı oluşturan gümüş-bromür taneleri üzerine nokta nokta kaydedilir. Dolayısıyla radyografik görüntü, her bir kristalin üzerine işlenmiş çok sayıda noktanın oluşturduğu bir sistemdir. Kristaller küçükse görüntüyü oluşturan noktalar da birbirinden ayırt edilemeyecek kadar küçük ve sık olacaktır. Böylelikle görüntüde tanelenme meydana gelmeyecektir. Bu nedenle görüntü kalitesi yönünden mümkün oldukça küçük taneli yavaş filmler seçilmelidir. Ancak bu taktirde poz süresi uzamaktadır.

Kurşun ekranla kaçınılmaz yarı-gölge daha küçük olacaktır. Pb ekrandan kopan ve X-ışınlarının film üzerindeki etkisini takviye eden elektronlar, fotonlara nazaran az girici olduklarından fotoğrafik emülsiyon içinde kısa yol almaktadırlar. Böylelikle, film üzerinde yaygın bir etki değil fakat toplu bir etki meydana gelmektedir. Bu da görüntünün daha az yayılmasına neden olacağından kaçınılmaz yarı-gölge küçük kalacaktır.

Film ile ekran arasında hava boşluğunun bulunması, ekranda oluşan elektron ve fotonların havada emülsiyon içinde olduğundan daha uzun yol kat edip görüntünün yayılmasına yani kaçınılmaz yarı-gölgenin artmasına neden olmaktadır.

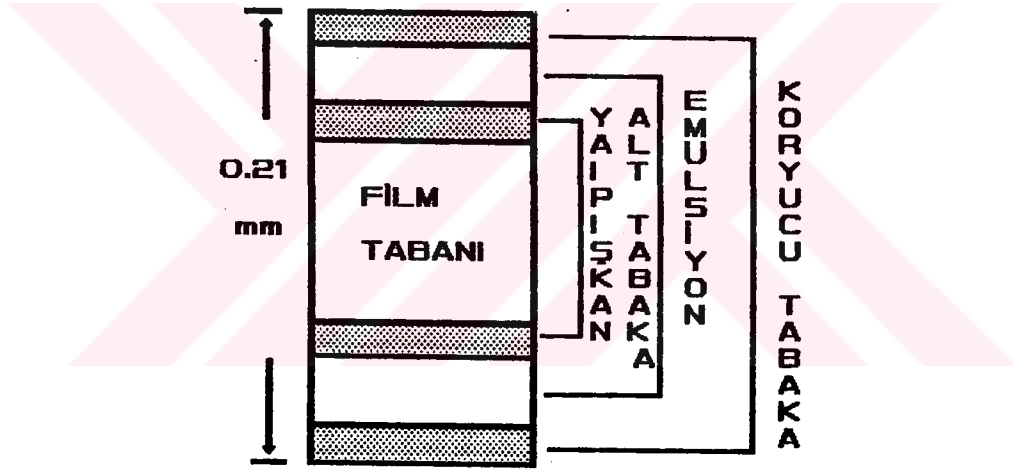
Radyasyon enerjisinin artmasıyla enerjisi yükselen ikincil radyasyon, duyarlı tabaka içinde daha uzun yol kat edebileceğinden daha yaygın bir etki oluşturabilmektedir. Bu da kaçınılmaz yarı-gölgenin artmasına neden olacaktır. Tablo 3.1. , ile kaçınılmaz yarı-gölgenin radyasyon enerjisi ile değişimi gösterilmektedir [2].

Tablo 3.1. Kaçınılmaz Yarı-Gölgenin Radyasyon Enerjisi İle Değişimi

RADYASYON VE ENERJİSİ		KAÇINILMAZ YARI - GÖLGE (mm)
X - Işınları	100 kV	0.05
	200 kV	0.09
	300 kV	0.12
	400 kV	0.15
Gama Işınları	Ir - 192	0.17
	Co - 60	0.35

3.3.2. FİLM FAKTÖRÜ

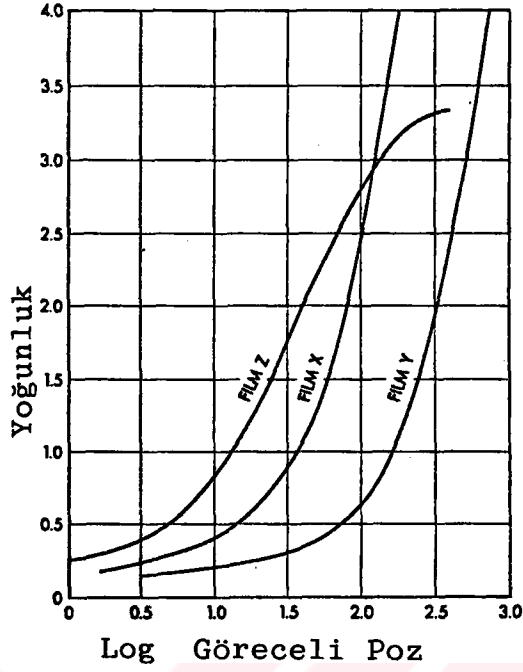
Endüstriyel radyografide kullanılan film; temelde ince, saydam, esnek fakat sert, mikroskopik gümüş-bromür kristalleri içeren jelatin tabaka ile kaplanmış, 0.175 mm kalınlığında polyester taşıyıcıdan oluşur. Emülsiyon adı verilen ve film üzerinde duyarlı bölgeyi oluşturan 0.025 mm kalınlığındaki bu tabaka ile polyester taşıyıcı arasında, koruma amaçlı çok ince yapışkan bir tabaka mevcuttur. Sonuç olarak, filmin her iki yüzeyi de, hassas emülsiyon tabakasını aşındırıcı etkilere karşı korumak amacıyla ince bir jelatin tabaka ile kaplanmıştır [13]. Şekil 3.4. , de radyografik film yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Radyografik Film Yapısı

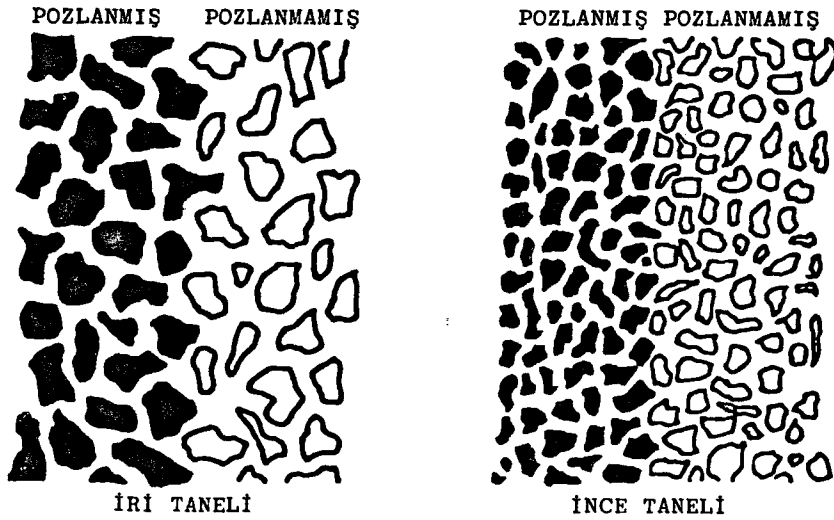
Radyografik filmler, farklı film kontrastları veren farklı hızlarda ve farklı tane boyutlarında üretilmektedirler. Radyografik incelemede film seçimi, istenilen kontrast ve belirlenen kaliteye göre yapılmaktadır.

Film kararlılığı, hızı veya Ag - Br tane boyutları, film seçimini belirleyen faktörlerdir. Şekil 3.5. , de farklı film hızlarına göre filmlerin karakteristik eğrilerine ait örnek gösterilmektedir. Hızlı filmler kısa poz sürelerine ihtiyaç duyarlarken, yavaş filmlerin aynı film yoğunluğunu elde etmek için daha uzun poz süresine gereksinimleri vardır.



Şekil 3.5. Farklı Film Hızlarına Göre Karakteristik Eğriler

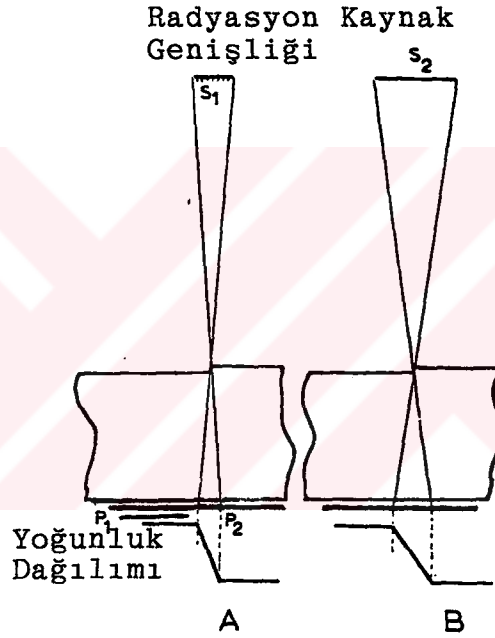
Radyografıta oluşan görüntüyü gümüş - bromür (Ag - Br) tanelerinin boyutları belirler. Bu nedenle, ince taneli filmler, detayları daha iyi vermesinin yanında, uzun poz süresine ihtiyaç duyulan yavaş filmlerdir. Buna karşın, iri taneli hızlı filmler değerlendirme aşamasında görüntü aısından dezavantajlara sahiptirler. Şekil 3.6. , da farklı tane boyutlarına göre görüntü farklılıkları gösterilmektedir [7].



Şekil 3.6. Film Tane Boyutları

3.3.3. RADYASYON KAYNAK FAKTÖRÜ

X yada gama ışın kaynakları, tipik bir nokta kaynak olamayacağından, radyografik görüntüde daima bir yarı-gölge mevcuttur. Radyasyon kaynak boyutunun geometrik yarı-gölgeye etkisi, Eşitlik 3.2. , de gösterilmiştir. Şekil 3.7. , de kaynak boyutundan kaynaklanan yarı-gölgenin neden olduğu detay duyarlılık kaybı gösterilmektedir [14].



Şekil 3.7. Kaynak Boyutunun Detay Duyarlılık Kaybına Etkisi

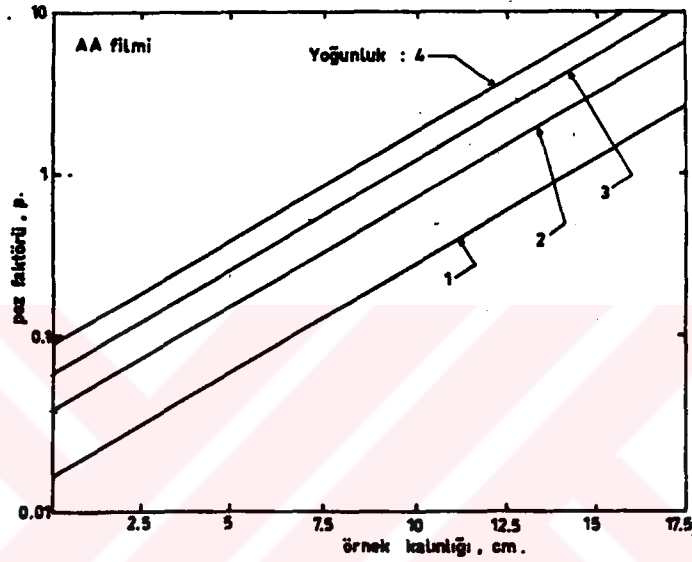
Şekil 3.7. , de kaynak boyutu büyüdükçe, malzeme yüzeyinde mevcut bir basamağın görüntü üzerindeki genişliğinin arttığı, dolayısıyla bir görüntü kaybının oluştuğu gösterilmektedir.

3.3.4. POZ SÜRESİ

Poz süresi, deneme ve hatalarla tayin edilebilir olmasına rağmen bu yöntem maliyetli ve uzun süreli olmaktadır. Radyografik film üreticileri, her film

türü için malzeme cinsine-kalınlığına, kaynağın cinsine-gücüne ve kaynak-film uzaklığına göre değişim gösteren poz süresi grafikleri yayınlanmışlardır [19]. Bu grafikler kullanılarak radyografik inceleme için gerekli poz süreleri tayin edilebilmektedir.

Şekil 3.8. , de Co- 60 kaynağı için farklı film yoğunluklarına göre verilmiş poz süresi faktörleri gösterilmektedir [6].



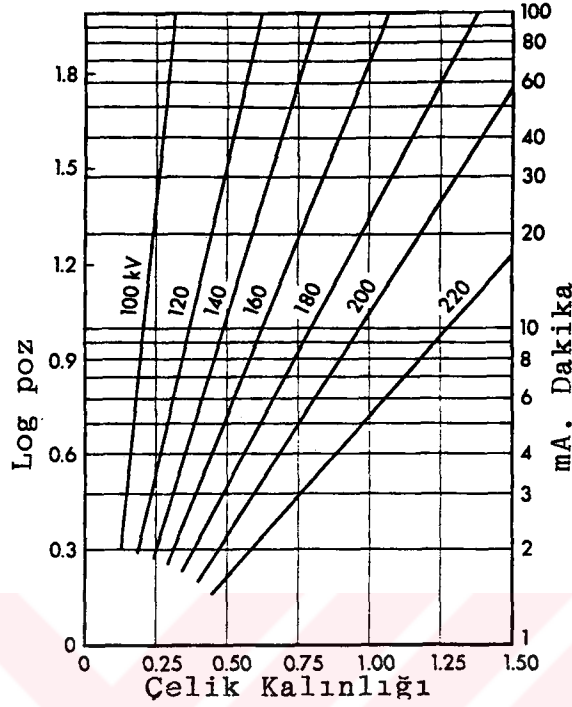
Şekil 3.8. Co-60 Kaynağı ve Çelik Malzeme İçin Film Poz Faktörleri

Eşitlik 3.3. , yardımıyla Şekil 3.8. , den elde edilen poz süresi faktörü kullanılarak belli kaynak-film uzaklığına göre poz süresi tayin edilebilmektedir [16].

$$T = P \times (KFM)^2 / S \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3. , de T poz süresi, P poz faktörü, KFM kaynak-film mesafesi ve S kaynağın aktivitesi olarak gösterilmiştir.

Bu çalışmada, Balteau GR - 300 X-Işını cihazı ile gerçekleştirilen deneylerde poz süresi, cihazın kendine ait poz süresi grafiği kullanılarak gerekli süreler tayin edilmiştir. Şekil 3.9. , da X-ışını poz süresi grafiği gösterilmektedir.



Şekil 3.9. X-Işını Poz Süresi Grafiği

3.3.5. FİLM EKRANI

Radyografik ekranlar radyasyon tarafından film üzerinde meydana gelen radyografik hareketi arttırmak ve saçılan radyasyon tarafından oluşturulacak görüntüyü düzeltmek için kullanılır [19] .

Endüstriyel radyografide ender olarak tuz ve metal ekranlar olarak bilinen iki farklı ekranda bulunmaktadır. Tuz ekranlar, floresan özelliğe sahip (genellikle kalsiyum tungstate) malzemelerden oluşmaktadır. Metal ekranlar ise genellikle kurşundan yapılmış 0.01-0.015 mm kalınlığında çok ince bir plakadan oluşmaktadır. Ekranla film yüzeyi arasında iyi bir temas bulunması halinde görüntü kaybı olmayacağından, bu çalışmada olduğu gibi kurşun ekran kullanımında birinci radyasyon güçlenecek, saçılma sonrası oluşan yüksek dalga boylu radyasyon absorbe edilmekte ve ekran sayesinde oluşan ikincil radyasyon ile film üzerinde etki artmaktadır [18] .

3.3.6. BANYO

Banyo işlemi; geliştirme, ara yıkama, tespit ve yıkama olmak üzere 4 temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada geliştirme banyosunda kullanılan geliştirici, film yapısında bulunan jelatini eriterek ışınlanmış gümüş-bromür tanelerini siyah metalik gümüşe indirgemektedir. Kullanılan geliştirici sıcaklığı ise 20 °C olarak gerçekleştirilmektedir.

Bir sonraki aşama olan tespit banyosunda, geliştiricinin tüm etkisi nötralize edilmekte, ışınlanmış veya ışınlanmamış tüm gümüş-bromür taneleri temizlenip film üzerinde bulunan jelatin bağlayıcı sertleştirilmektedir.

Son aşamayı oluşturan yıkama banyosunda film, tespit banyosunda kullanılan kimyasallardan temizlenerek incelemeye hazır hale getirilmektedir [19] .

4. YARI - DEĞER KALINLIĞI VE ZIRHLAMA

4.1. YARI - DEĞER KALINLIĞI

Radyasyonun soğurucu ortam ile etkileşmesi sonucu şiddetinde üstel bir azalma olmaktadır (Bölüm 2.4.) . Soğurucu ortam kalınlığında oluşan farklılık , radyasyon şiddetinde de bir farklılığa neden olmaktadır. Bundan dolayı soğurucu ortamlar genellikle yarı-değer kalınlıkları ile ifade edilmektedirler [17] .

Yarı-değer kalınlığının tanımı ise radyasyon şiddetini yarıya indirmek için gerekli malzeme (soğurucu ortam) kalınlığı olarak ifade edilmektedir [20] .

Eşitlik 4.1. , de radyasyon şiddetinde meydana gelen üstel azalma gösterilmektedir.

$$I = I_0 \exp (-\mu x) \quad (4.1.)$$

Eşitlik 4.1. , de I soğurulan radyasyon şiddetini, I_0 radyasyonun ilk şiddetini, μ doğrusal soğurma katsayısını ve x malzeme kalınlığını belirtmektedir.

Böylece matematiksel olarak radyasyon şiddetini yarıya indirmek için gerekli yarı-değer kalınlığı, Eşitlik 4.1. - 4.4. arasında gösterilmektedir [17] .

$$I / I_0 = 1 / 2 = \exp (-\mu x) \quad (4.2.)$$

$$\log_e 2 = \mu x \quad (4.3.)$$

$$x = YDK = 0.693 / \mu \quad (4.4.)$$

Eşitlik 4.4. , de yarı-değer kalınlığı YDK ve doğrusal soğurma katsayısı μ olarak gösterilmektedir.

Radyasyondan korunma ve zırhlamada doğru kalınlığı belirlemek için, kullanılacak malzemenin radyasyon türüne göre yarı-değer kalınlığının bilinmesi gerekmektedir. Yarı-değer kalınlığı teorik olarak hesaplanabilir olmasına rağmen, hesaplamada radyasyonun spektrumundan kaynaklanan bazı problemler bulunmaktadır. Yarı-değer kalınlığı, kullanılan radyasyonun dalga boyuna bağlı olduğu gibi, soğurucu malzeme içinde radyasyonun saçılmasına katkıda bulunan diğer tüm faktörlere de bağlıdır. Bundan dolayı, belirli tasarım problemlerinde, karşılaşılan şartlara göre belirlenmiş yarı-değer kalınlıkları ve soğurulma katsayılarına ait değerlerin seçilmesi istenir [21] .

4.2. RADYASYONDAN KORUNMA VE RADYASYON ZIRHLAMA

Radyasyonun etkilerini kontrol etmek için önemli bir yöntem olan zırhlama; radyasyona maruz kalan personel ile radyasyon kaynağı arasına, radyasyon şiddetini uluslararası standartlara göre kabul edilebilir seviyelere indirmek üzere, radyasyon soğurucu uygun bir madde yerleştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir [22] .

Radyasyon kaynağından yayımlanan ışınlar, zırh malzemesi atomlarıyla etkileşirler ve bu etkileşme sonucunda kısmen yada tamamen soğurulurlar. Zırhlama tasarımlarında gerekli hesaplamalar, zırlanacak radyasyonun cinsi, enerjisi ve şiddeti dikkate alınarak yapılmaktadır. Radyasyon kaynakları arasında, radyoizotoplar, nükleer sistemler ve parçacık hızlandırıcıları sayılabilmektedir [23] . Gereken zırh malzeme kalınlıkları, çoğunlukla doğruya yakın hesaplanabilmelerine rağmen pekçok durumda da ancak yaklaşık olarak hesaplanabilmektedirler. Bu nedenle kuramsal olarak hesaplanan zırh kalınlıklarının deneysel yöntemlerle karşılaştırılarak değerlendirilmeleri önemlidir [22] .

Tasarım problemlerinde yaklaşımlar, radyasyon kaynağı hakkında sahip olunan bilgiler ve uygun tasarım koşulları ile belirlenmiştir. Genelde temel bir zırhlama sistemi iki ayrı şekilde düşünülebilir :

- Birim Zırhlama: Tüm zırh malzemeleri radyasyon kaynağının tüm çevresine yerleştirilir.
- Kısmi Zırhlama: Zırh malzemeleri radyasyondan korunması gereken personel veya ekipmanın çevresine yerleştirilir [24] .

Radyasyondan korunma ve zırhlama tasarımlarında, X ve gama ışınlarının zırhlaması temelde aynı kriterlere dayanmaktadır [25] . Malzeme içerisinde büyük erişme uzaklıklarına sahip olan X ve gama ışınlarının zırhlama hesaplarına uygulanması, bu ışınların madde içindeki soğurulmalarına dayanmaktadır. Radyoaktivite miktarı, radyasyon şiddeti, yarı-değer kalınlıkları, X ve gama ışınları foton akısı veya gama sabitleri bilindiğine göre zırh kalınlıklarını hesaplamak mümkündür [26] .

Zırhlama tasarımlarında, zırh malzemesi olarak yüksek atom numaralı ve yoğunlukta fakat düşük moleküler ağırlığa sahip elementler tercih edilmektedir [25] . Zırh malzemesi seçiminde üzerinde durulması gereken önemli parametreler arasında;

- Gerekli kalınlık ve kullanılacak malzemenin kalınlığı ,
- Kullanım alanının genişliği (kullanılan malzemenin zırhlama ve yapısal amaçlara uygunluğu) ,
- Homojen bir zırhlama sağlaması ,
- Zırhlamanın sürekliliği ,
- İhtiyaç duyulduğunda optik saydamlık ,

- Kalite kontrol gereksinimi ,
- Montaj ve bakımı içeren tüm maliyet ,
- Dış görünüş gibi özellikler dikkate alınmalıdır [25] .



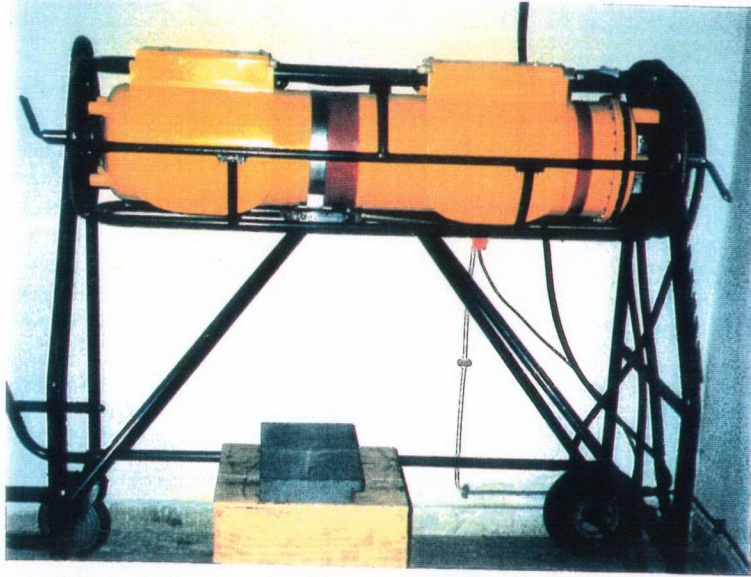
5. DENEY

5.1. RADYOGRAFİK ÇEKİMLERDE KULLANILAN CİHAZLAR

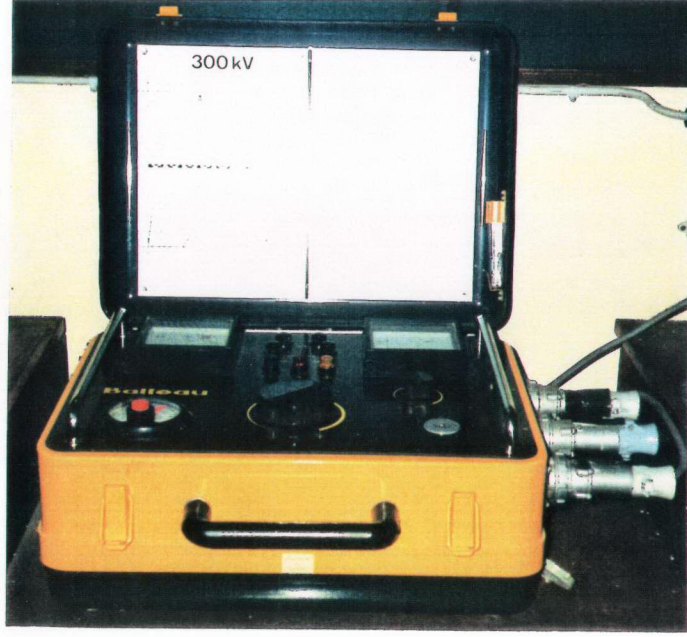
Deneyler süresince tüm radyografik çekimler ve bunlara bağlı banyo işlemleri; İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'nda bulunan cihazlar ile radyografi çekim ve radyografi film laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

5.1.1. X-IŞINI RADYOGRAFİSİNDE KULLANILAN CİHAZLAR

X-ışını radyografisi, maksimum 300 kV ve 5 mA şiddetine sahip , 4 mm odak boyutlu ve uzaktan kumandalı Balteau GR- 300 x-ışını cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1. , de X-ışını cihazı ve Şekil 5.2. , de X-ışını cihazına ait kumanda paneli gösterilmektedir.



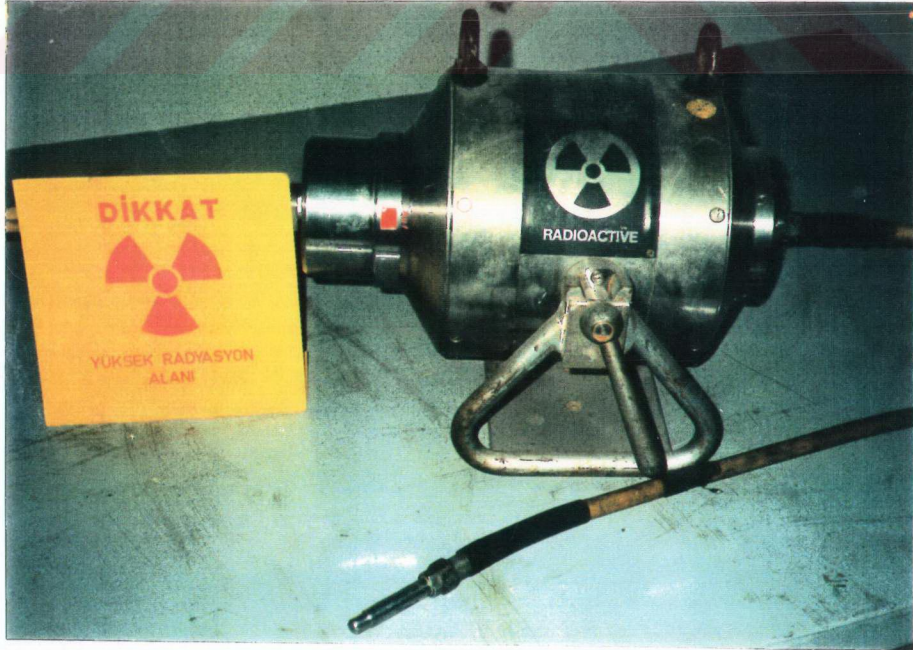
Şekil 5.1. X-ışını Cihazı



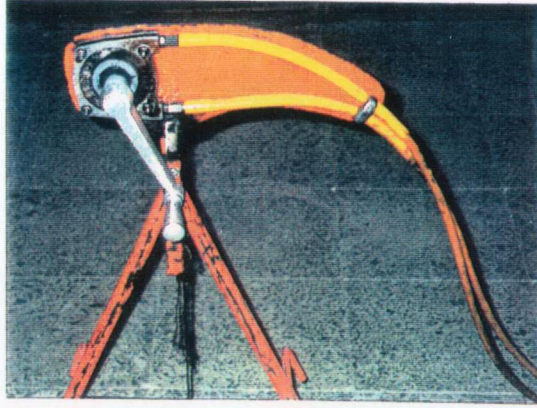
Şekil 5.2. X-Işını Cihazına Ait Kumanda Paneli

5.1.2. GAMA IŞINI RADYOGRAFİSİNDE KULLANILAN CİHAZLAR

Gama ışını radyografisinde, uzaktan kumandalı, 4mm odak boyutuna sahip , Co-60 kaynaklı gama ışını cihazı kullanılmıştır. Şekil 5.3. , de gama ışını cihazı ve Şekil 5.4. , de gama ışını cihazına ait uzaktan kumanda sistemi gösterilmektedir.



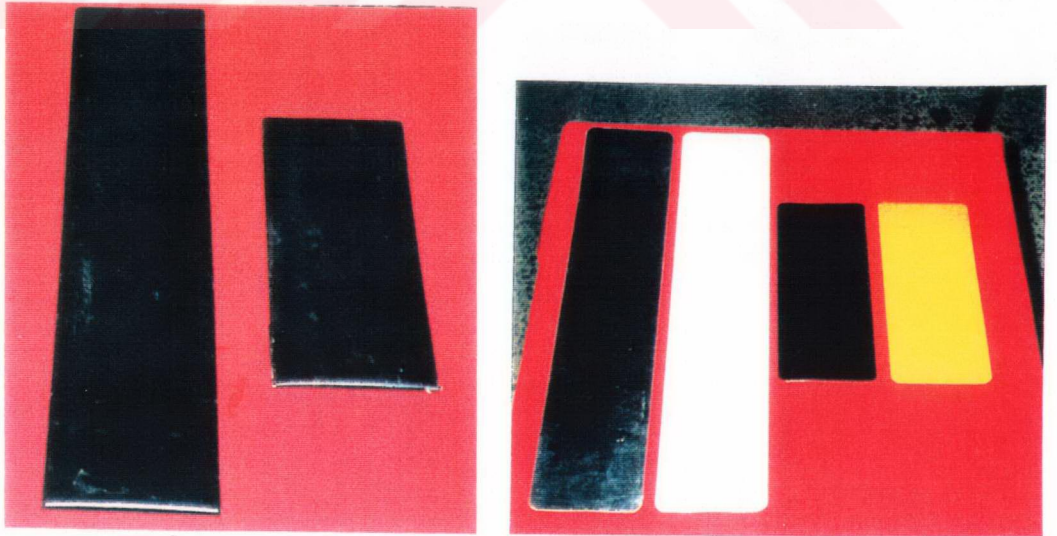
Şekil 5.3. Gama Işını Cihazı



Şekil 5.4. Gama Işını Cihazına Ait Uzaktan Kumanda Sistemi

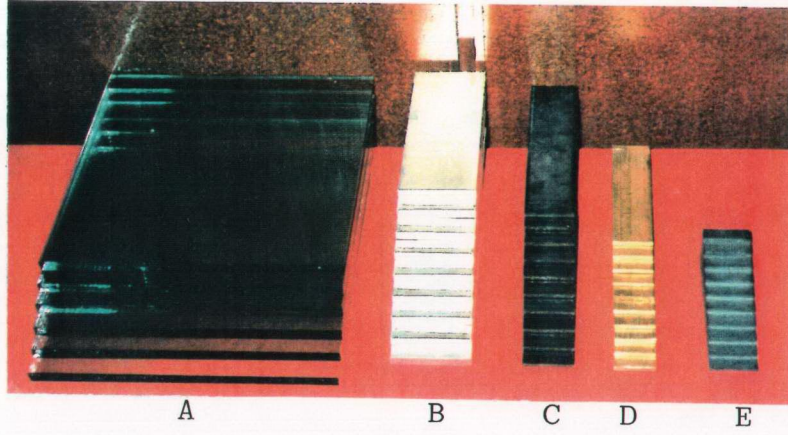
5.1.3. RADYOGRAFİK ÇEKİMLER SÜRESİNCE KULLANILAN FİLM, EKRAN VE KASETLER

Tüm radyografik çekimler süresince iki farklı hızda; Agfa Structrix D7 ve bu filme oranla daha yavaş olan Kodak Industrex AX filmleri kullanılmıştır. Film kasetlerinde ön ve arka ekran olarak 0.125 mm kalınlığında kurşun ekranlar kullanılmıştır. Şekil 5.5. , ile çekimler esnasında kullanılan kaset boyutları ve ekranlar gösterilmektedir.



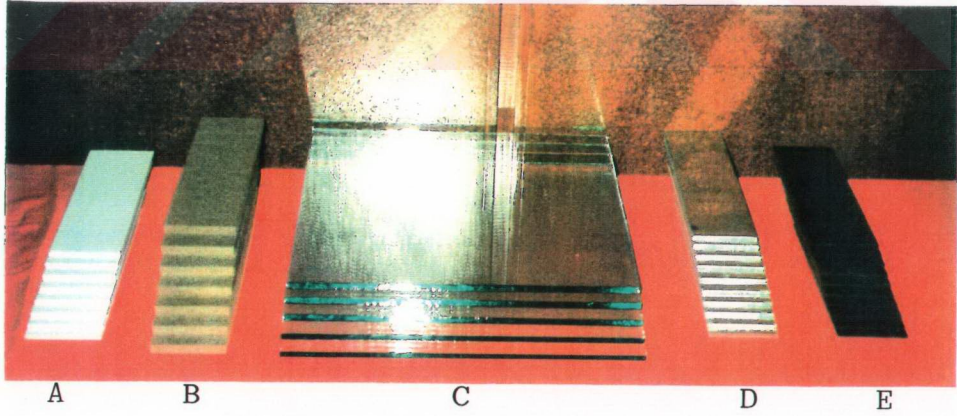
Şekil 5.5. Film Kasetleri ve Ekranlar

Şekil 5.6. , da Co-60 kaynaklı gama ışını ile gerçekleştirilen deneylerde kullanılan basamaklı malzemeler gösterilmektedir. Şekil 5.7. , de ise değişik kilovolajlarda X-ışınları ile gerçekleştirilen deneylerde kullanılan malzemeler yer almaktadır.



- A - Cam, Basamak Kalınlığı 12 mm
B - Alüminyum, Basamak Kalınlığı 10 mm
C - Demir, Basamak Kalınlığı 6 mm
D - Pirinç, Basamak Kalınlığı 4 mm
E - Kurşun, Basamak Kalınlığı 5 mm

Şekil 5.6. Gama Işını İle Gerçekleştirilen Deneylerde Kullanılan Malzemeler



- A - Forex, Basamak Kalınlığı 3 mm
B - MDF , Basamak Kalınlığı 8 mm
C - Cam , Basamak Kalınlığı 6 mm
D - Alüminyum , Basamak Kalınlığı 3mm
E - Demir , Basamak Kalınlığı 2 mm

Şekil 5.7. X-Işını İle Gerçekleştirilen Deneylerde Kullanılan Malzemeler

5.2. RADYOGRAFİK İNCELEMELER ESNASINDA KULLANILAN MALZEME VE CİHAZLAR

Radyografik çekimler sonucu elde edilen radyografların banyo işlemlerinde, Agfa G 150 geliştirici (developer) ve Agfa G 350 tespit (fixer) banyosu kullanılmıştır. Banyo sonucu elde edilen radyograflarda densitometre yardımı ile kalınlık farklılıklarına göre değişim gösteren radyograf yoğunlukları tespit edilmiştir.

5.3. RADYOGRAFİK ÇEKİMLERDE KULLANILAN DENEYSEL MALZEMELER

Bu çalışmada , yarı-değer kalınlıkları belirlenmesi hedeflenen malzemeler, X ve gama ışını deney şartlarına uygun biçimde yoğunluklarına göre sınıflandırılarak basamaklı numuneler haline getirilmiştir. Tablo 5.1. , de gama ışını ve X-ışını altında incelenen malzemeler ve o malzemelere ait yoğunluklar verilmektedir.

Tablo 5.1. Radyografik Çekimlerde Kullanılan Malzemeler

GAMA IŞINI		X - IŞINI	
MALZEME	Yoğunluk g / cm ³	MALZEME	Yoğunluk g / cm ³
CAM	2.445	FOREX (*)	0.69
ALÜMİNYUM	2.7	MDF (**)	0.8
DEMİR	7.9	CAM	2.445
PIRİNÇ	8.5	ALÜMİNYUM	2.7
KURŞUN	11.344	DEMİR	7.9

★ Forex , daha çok tabelacılık sektöründe kullanılan , PVC esaslı , düşük yoğunluğa sahip bir malzeme

★★ MDF, sıkıştırılmış findık kabuğu hamuru

6. DENEYSEL VERİLER

Deneysel sonuçlar kapsamında yer alan, yoğunluğu 2.455 g/cm^3 olan ve penetremetre basamak yüksekliği Co-60 için 1.2 cm ve X-ışını için basamak yüksekliği 6 mm olan Cam örnek ile ilgili elde edilen film yoğunlukları değerleri, Tablo 6.1. , de verilmiştir.

Tablo 6.1. Cam Örnek

Co - 60		X - IŞINI				
Basamak Yüksekliği mm	Film Yoğunluğu D	Basamak Yüksekliği mm	Film Yoğunluğu, D			
			100 kV	150 kV	175 kV	200 kV
0	5.22	12	4.09	4.51	4.84	4.09
12	4.8	18	3.24	3.79	4.12	3.55
24	4.28	24	2.54	3.18	3.53	3.04
36	3.72	30	1.97	2.66	2.96	2.6
48	3.28	36	1.54	2.19	2.52	2.2
60	2.92	42	1.19	1.8	2.09	1.84
72	2.56	48	-	1.49	2.09	1.54
84	2.25					

Deneysel sonuçlardan, yoğunluğu 2.7 g/cm^3 olan ve penetremetre basamak yüksekliği Co-60 için 10mm ve X-ışını için 3mm olan Alüminyum örnek ile ilgili film yoğunluk değerleri Tablo 6.2. , de verilmiştir.

Tablo 6.2. Alüminyum Örnek

Co - 60		X - IŞINI					
Basamak Yüksekliği mm	Film Yoğunluğu D	Basamak Yüksekliği mm	Film Yoğunluğu D		Basamak Yüksekliği mm	Film Yoğunluğu D	
			125 kV	150 kV		175 kV	200 kV
40	2.46	6	-	5.68	19	4.85	4.28
50	2.19	9	3.8	5.02	22	4.17	3.77
60	1.95	12	3.3	4.29	25	3.53	3.3
70	1.79	18	2.48	3.13	31	2.68	2.43
80	1.64	21	2.14	2.68	34	2.35	2.10
90	1.5	24	1.83	2.26	37	2.06	1.8
100	1.37	27	1.61	1.99	40	1.83	1.5
110	1.26	30		1.73			

Deneysel sonuçlardan, yoğunluğu 7.9 g/cm^3 olan ve penetremetre basamak yüksekliği Co-60 için 6 mm ve X-ışını için 2mm olan Demir örnek ile ilgili film yoğunluk değerleri, Tablo 6.3. , de verilmiştir.

Tablo 6.3. Demir Örnek

Co - 60		X - IŞINI					
Basamak Yüksekliği mm	Film Yoğunluğu D	Basamak Yüksekliği mm	Film Yoğunluğu, D				
			100 kV	150 kV	175 kV	200 kV	
0	6.11	0	-	-	-	6.79	
6	5.3	2	4.81	6.11	-	4.38	
12	4.54	4	2.3	3.57	2.61	2.79	
18	3.86	6	1.15	2.13	1.7	1.91	
24	3.32	8	0.58	1.3	1.13	1.35	
30	2.81	10	0.3	0.8	0.76	0.97	
42	2.03	14	-	0.3	0.34	0.48	
48	1.73	16	-	-	0.22	0.34	
54	1.45	18	-	-	0.15	-	
60	1.25						
66	1.06						
72	0.91						

Deneysel sonuçlardan, yoğunluğu 8.5 g/cm^3 olan ve penetremetre basamak yüksekliği Co-60 için 4mm olan Piriç örnek ile ilgili film yoğunluk değerleri, Tablo 6.4. , de verilmiştir.

Tablo 6.4. Piriç Örnek

Co - 60	
Basamak Yüksekliği, mm	Film Yoğunluğu, D
12	3.09
16	2.78
20	2.4
24	2.13
28	1.86
32	1.59
36	1.35
40	1.15

Deneysel sonuçlardan, yoğunluğu 11.344 g/cm^3 olan ve penetremetre basamak yüksekliği Co-60 için 5 mm olan Kurşun örnek ile ilgili film yoğunluk değerleri Tablo 6.5. , de verilektedir.

Tablo 6.5. Kurşun Örnek

Co - 60	
Basamak Yüksekliği, mm	Film Yoğunluğu, D
0	3.13
5	2.66
10	2.23
15	1.81
20	1.46
25	1.15
30	0.84
35	0.67
40	0.51

Deneysel sonuçlardan, yoğunluğu 0.69 g/cm^3 olan ve penetremetre basamak yüksekliği X-ışını için 3mm olan Forex örnek ile ilgili film yoğunluk değerleri, Tablo 6.6. , da verilmektedir.

Tablo 6.6. Forex Örnek

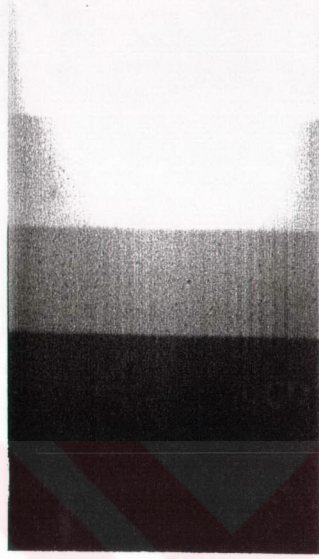
X - Işını			
Basamak Yüksekliği, mm	Film Yoğunluğu, D		
	50 kV	75 kV	100 kV
3	2.2	-	-
6	1.97	2.98	-
9	1.78	2.80	3.46
12	1.60	2.61	3.35
15	1.42	2.44	3.19
18	1.27	2.25	3.01
21	1.1	2.03	2.83
24	0.97	1.88	2.67
27	0.85	1.70	2.46
30	0.74	1.53	2.29
33	0.64	1.38	2.09
36	0.55	1.23	1.97
39	0.48	1.09	1.79
42	-	0.96	1.62

Deneysel sonuçlardan, yoğunluğu 0.8 g/cm³ olan ve penetremetre basamak yüksekliği X-ışını için 8mm olan MDF örnek ile ilgili film yoğunluk değerleri, Tablo 6.7. ,de verilmektedir.

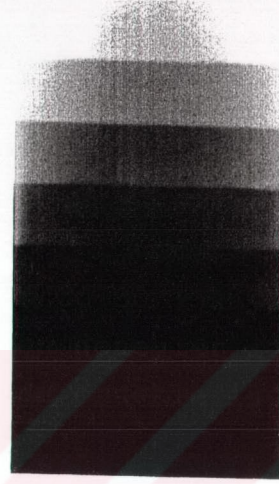
Tablo 6.7. MDF Örnek

X - Işını			
Basamak Yüksekliği, mm	Film Yoğunluğu, D		
	75 kV	100 kV	125 kV
0	-	-	5.51
8	-	-	5.38
16	3.37	-	5.18
24	3.09	4.40.	4.91
32	2.73	4.1	4.7
40	2.40	3.83	4.42
48	2.16	3.48	4.09
56	1.85	3.13	3.72
64	1.62	2.8	3.38
72	1.39	2.46	3.04
80	-	2.12	-
88	-	1.86	-
96	-	1.58	-

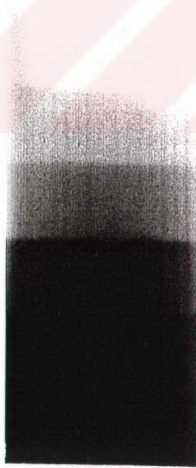
Şekil 6.1. , Kobalt-60 (Co-60) kaynaklı gama ışını cihazı ile gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen Cam,Alüminyum,Demir,Kurşun örneklerine ait radyograflar görülmektedir.



Cam



Alüminyum



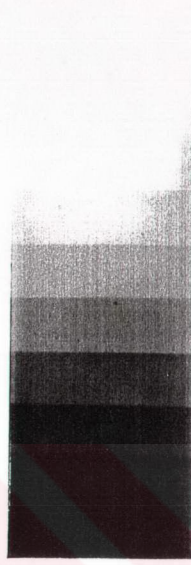
Demir



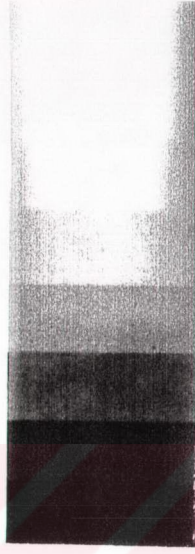
Kurşun

Şekil 6.1. Cam,Alüminyum,Demir,Kurşun Örneklerine Ait Radyograflar

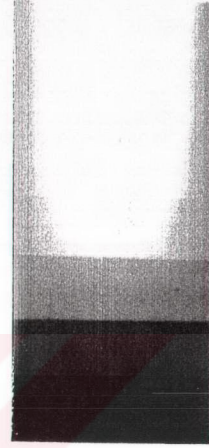
Şekil 6.2. , X-Işını cihazı ile gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen Forex,MDF,Cam,Alüminyum,Demir örneklerine ait radyograflar görülmektedir.



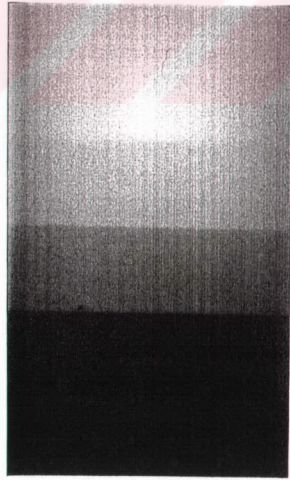
Forex 50 kV



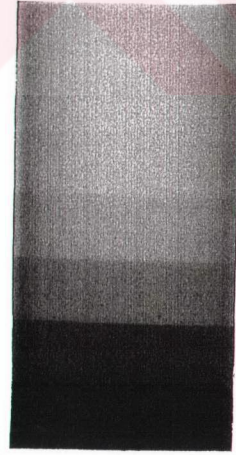
MDF 75 kV



Alüminyum 125 kV



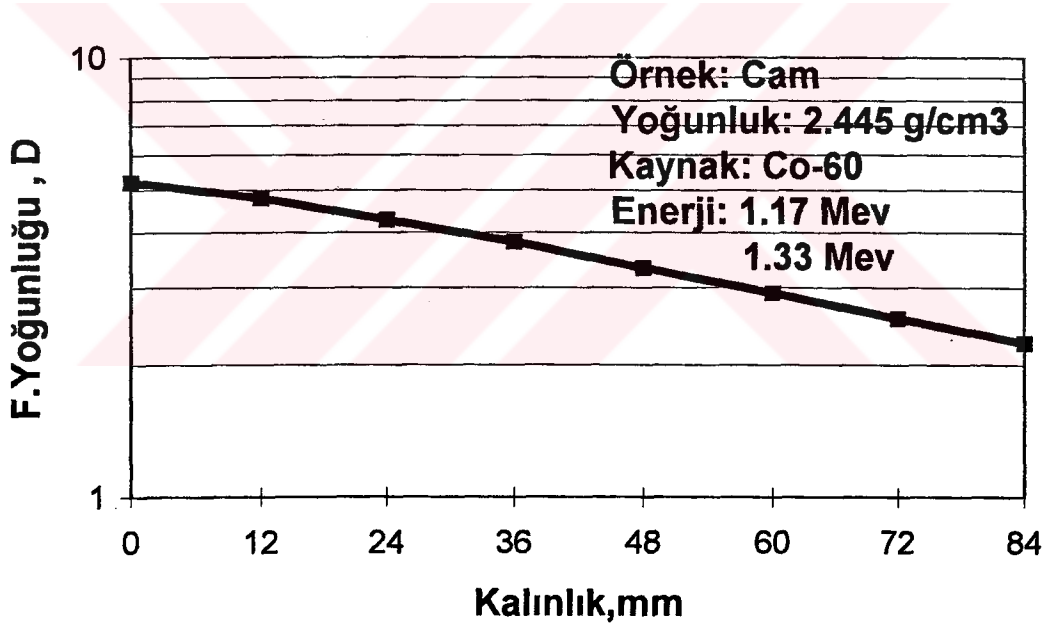
Cam 100 kV



Demir 200 kV

Şekil 6.2. Forex,MDF,Cam,Alüminyum,Demir Örneklerine Ait Radyograflar

Yapılan bu çalışmanın deneysel aşamasında herbir malzemenin radyografından malzemenin, birim basamak kalınlığına göre üstel değişim gösteren film yoğunlukları arasındaki bağıntı grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler kullanılarak, radyograflardaki film yoğunluklarının yarıya inmesi için gerekli malzeme kalınlığı hesaplanarak, o malzemeye ait yarı-değer kalınlığı belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan malzemelere ait, basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu- Basamak Kalınlığı, Cam örnek ve Co-60 için Şekil 6.3. ,de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Cam Örnek İçin Co-60 Kaynağı İle

Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

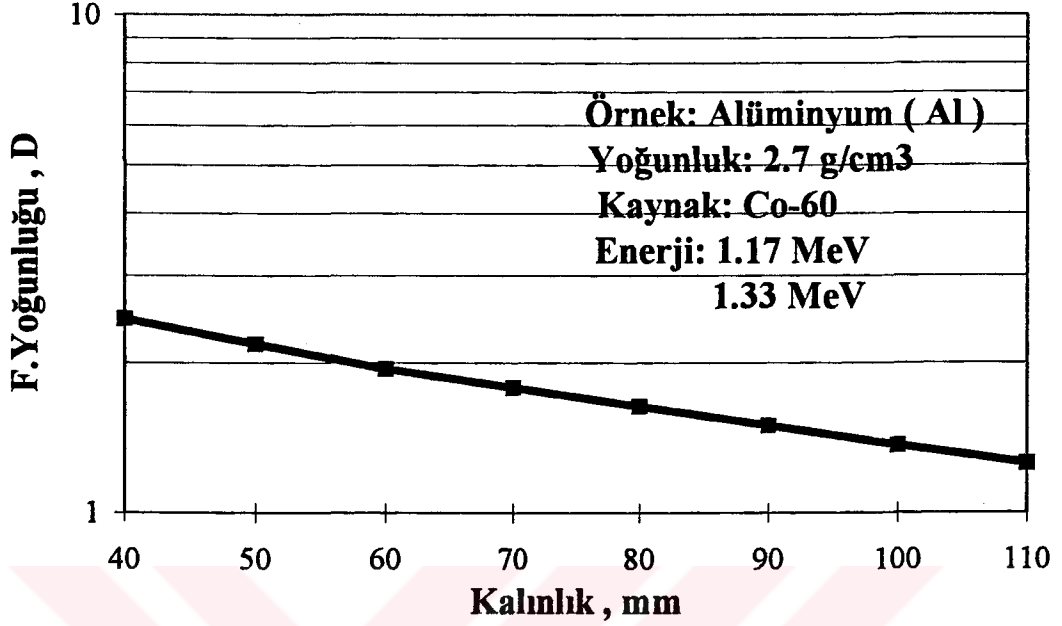
Kaynak Film Mesafesi : 100 cm

Film : Agfa D-7

Poz Süresi

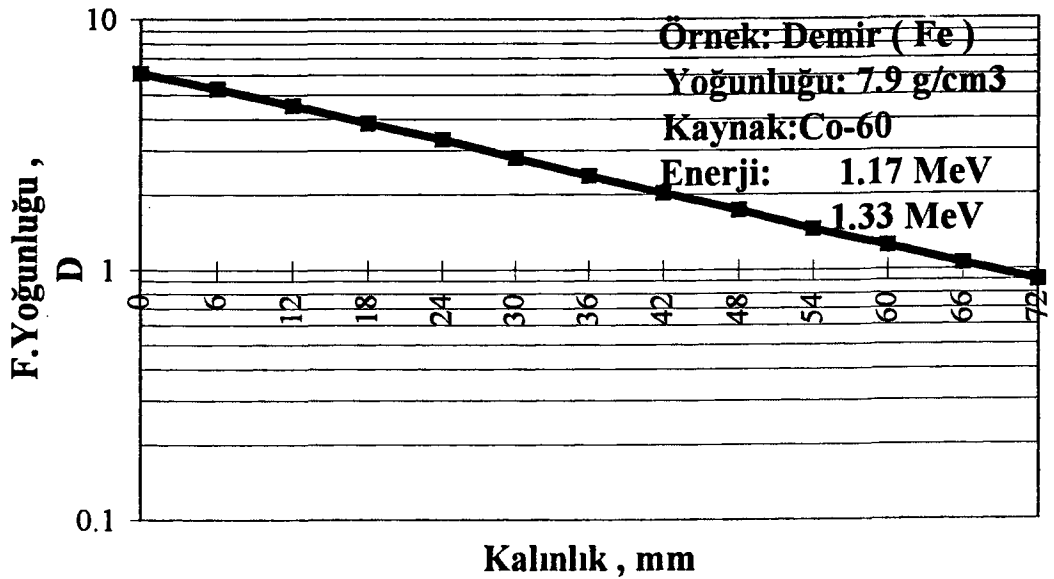
: 20 dk

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı,Alüminyum örnek ve Co-60 için Şekil 6.4. ,de gösterilmektedir.



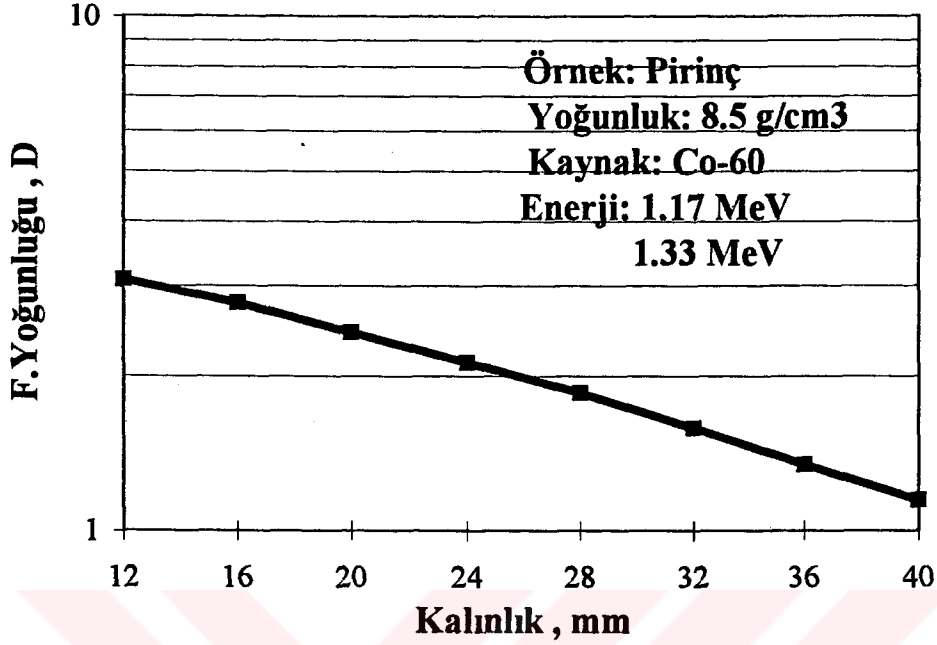
Şekil 6.4. Alüminyum Örnek İçin Co-60 Kaynağı İle Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı,Demir örnek ve Co-60 için Şekil 6.5. ,de gösterilmektedir.



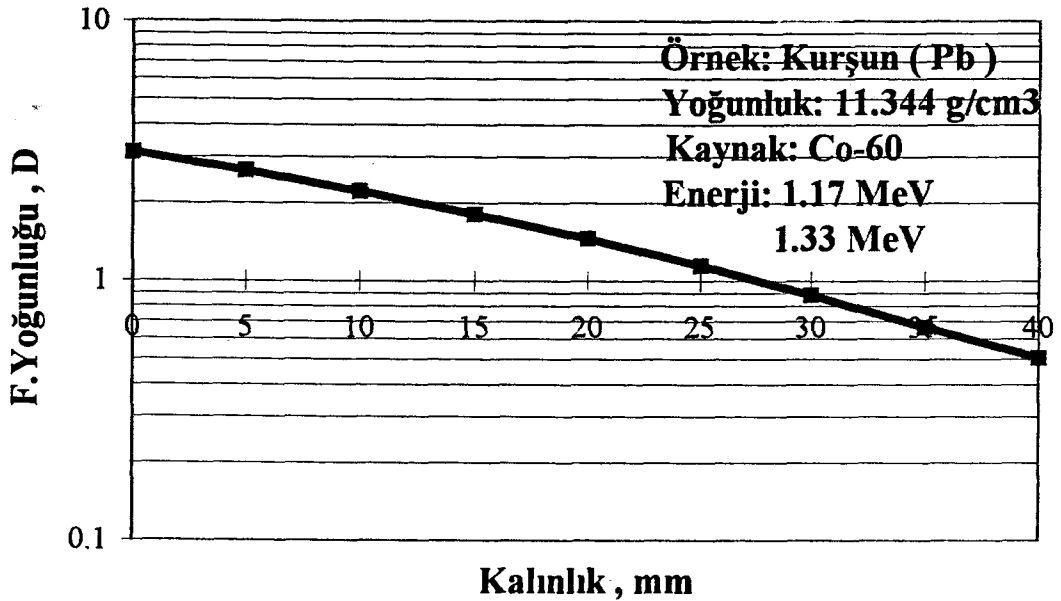
Şekil 6.5. Demir Örnek İçin Co-60 Kaynağı İle Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Pirinç örnek ve Co-60 için Şekil 6.6. da gösterilmektedir.



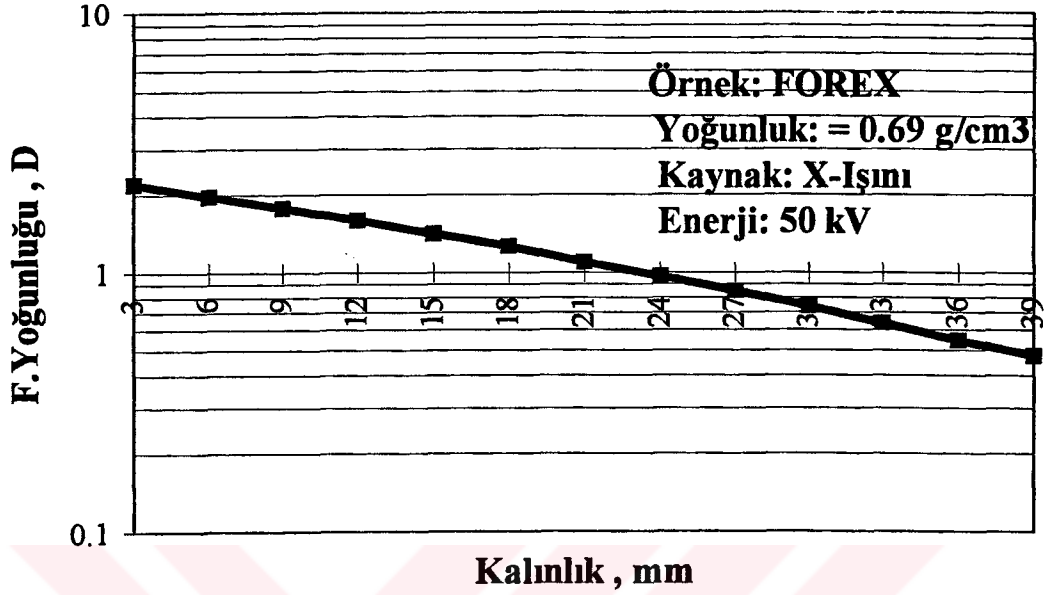
Şekil 6.6. Pirinç Örnek İçin Co-60 Kaynağı İle Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Kurşun örnek ve Co-60 için Şekil 6.7. ,de gösterilmektedir.



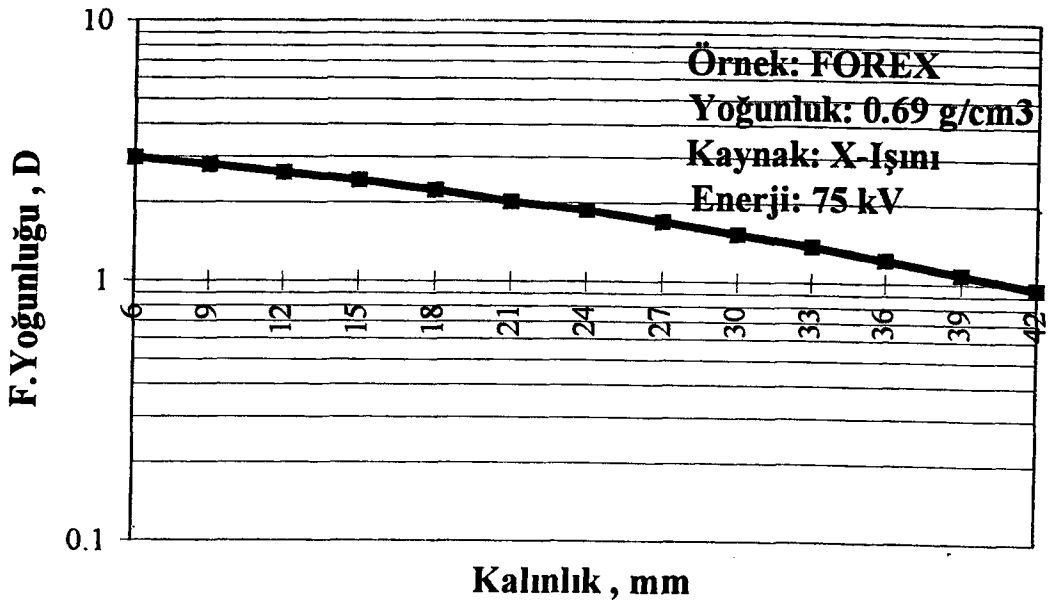
Şekil 6.7. Kurşun Örnek İçin Co-60 Kaynağı İle Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Forex örnek ve X-ışını 50 kV için Şekil 6.8. ,de gösterilmektedir.



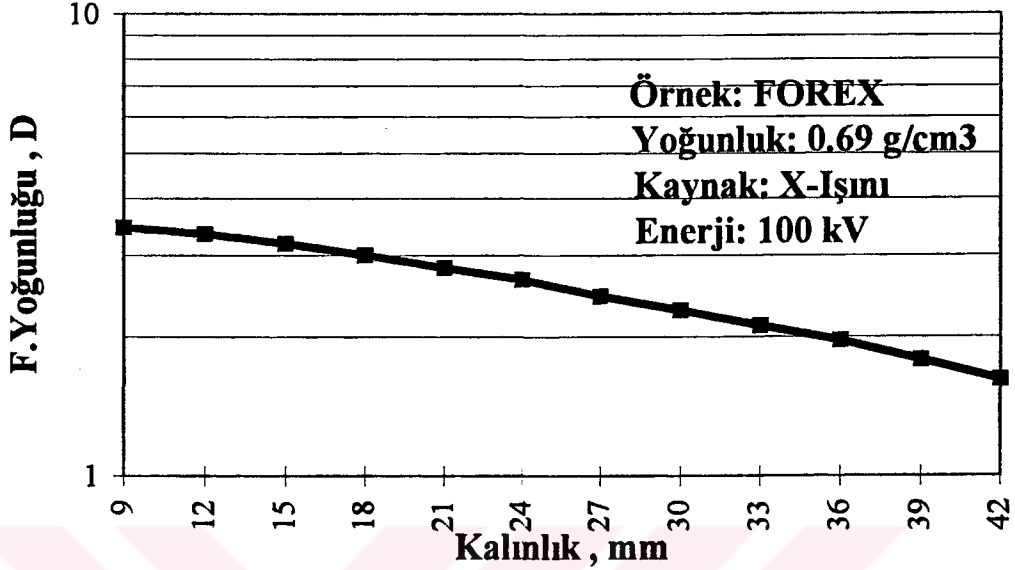
Şekil 6.8. Forex Örnek İçin X-ışını 50 kV İle Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Forex örnek ve X-ışını 75 kV için Şekil 6.9. ,da gösterilmektedir.



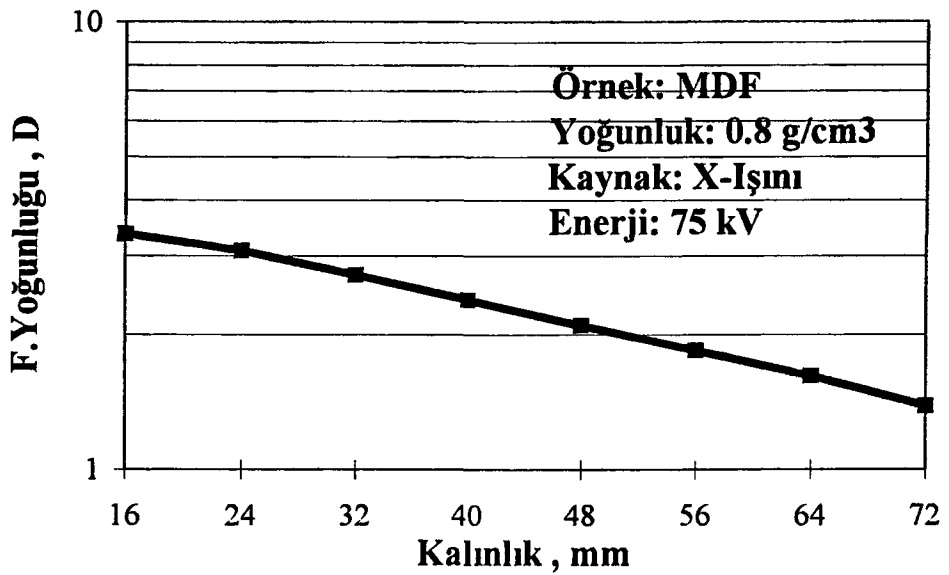
Şekil 6.9. Forex Örnek İçin X-ışını 75 kV İle Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı,Forex örnek ve X-ışını 100 kV için Şekil 6.10. ,da gösterilmektedir.



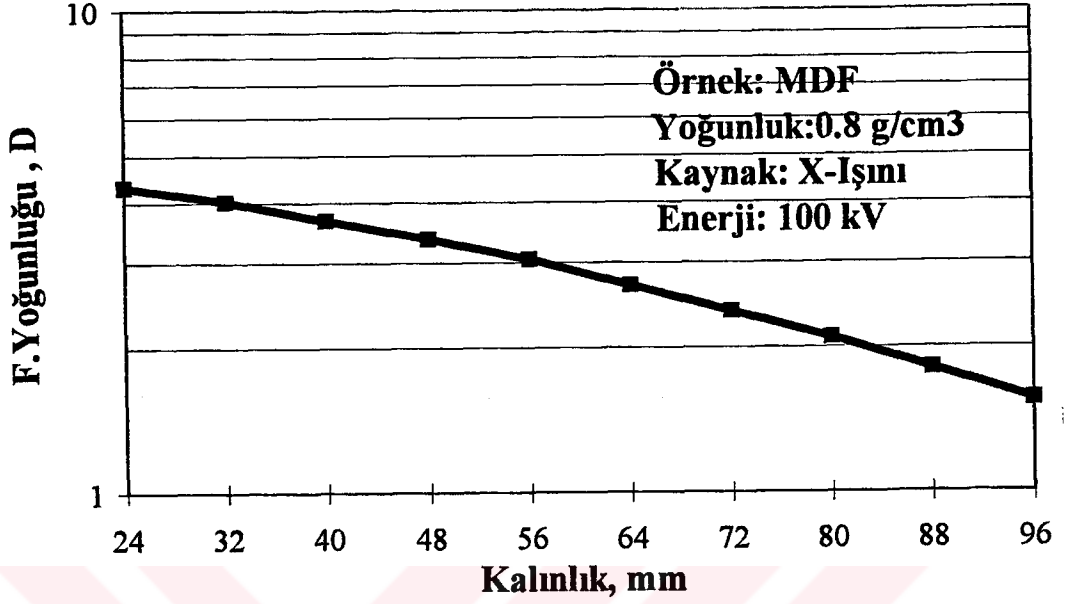
Şekil 6.10. Forex Örnek için X-ışını 100 kV ile Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı,MDF örnek ve X-ışını 75 kV için Şekil 6.11. ,de gösterilmektedir.



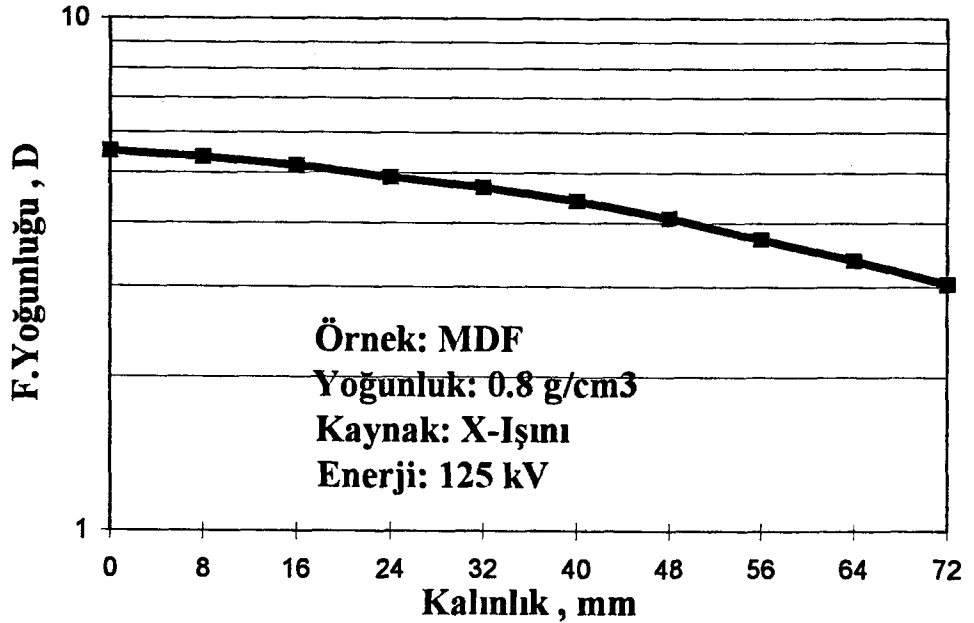
Şekil 6.11. MDF Örnek için X-ışını 75 kV ile Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı,MDF örnek ve X-ışını 100 kV için Şekil 6.12. ,de gösterilmektedir.



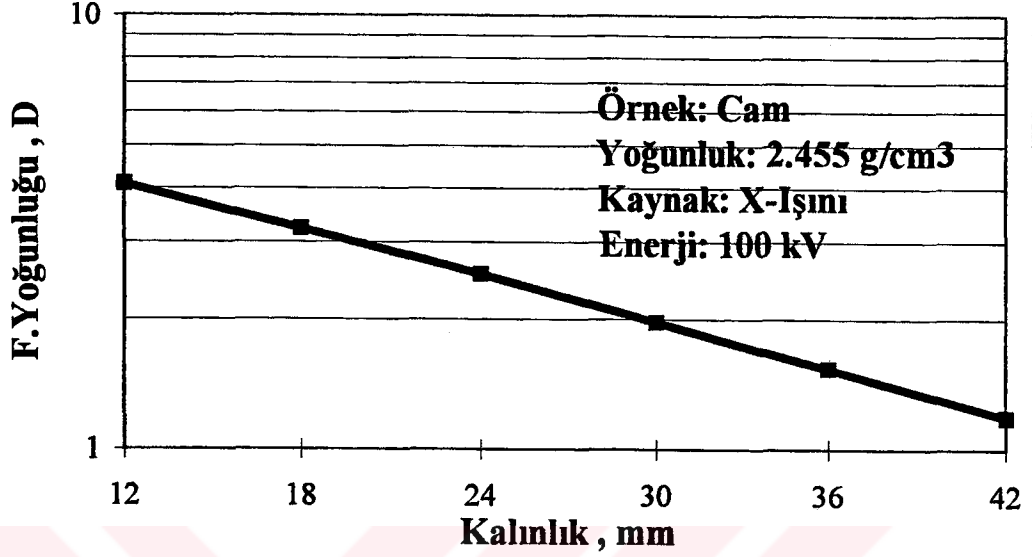
Şekil 6.12. MDF Örnek İçin X-Işını 100 kV İle Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı,MDF örnek ve X-ışını 125 kV için Şekil 6.13. ,de gösterilmektedir.



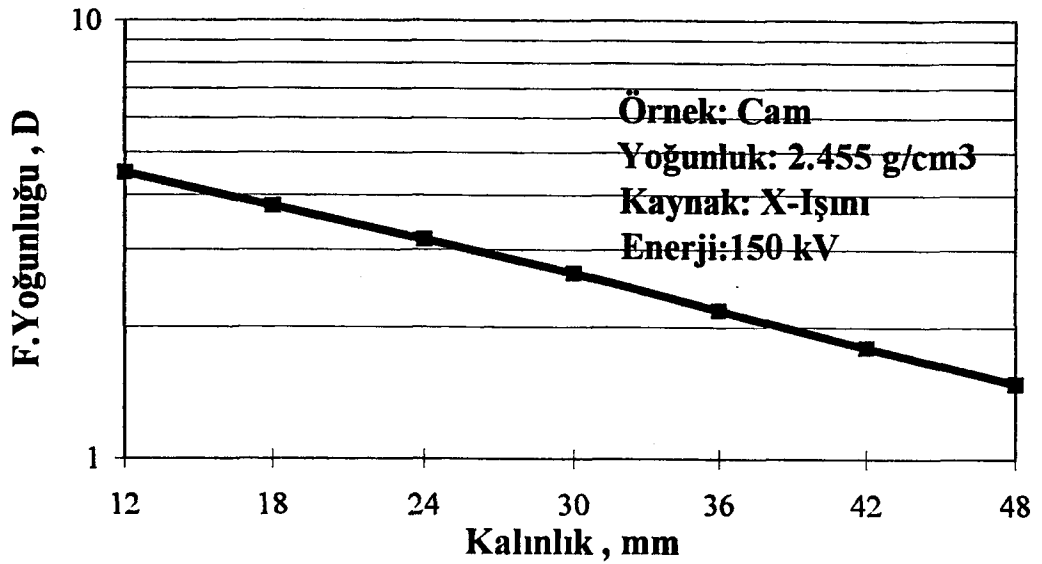
Şekil 6.13. MDF Örnek İçin X-Işını 125 kV İle Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı,Cam örnek ve X-ışını 100 kV için Şekil 6.14. ,de gösterilmektedir.



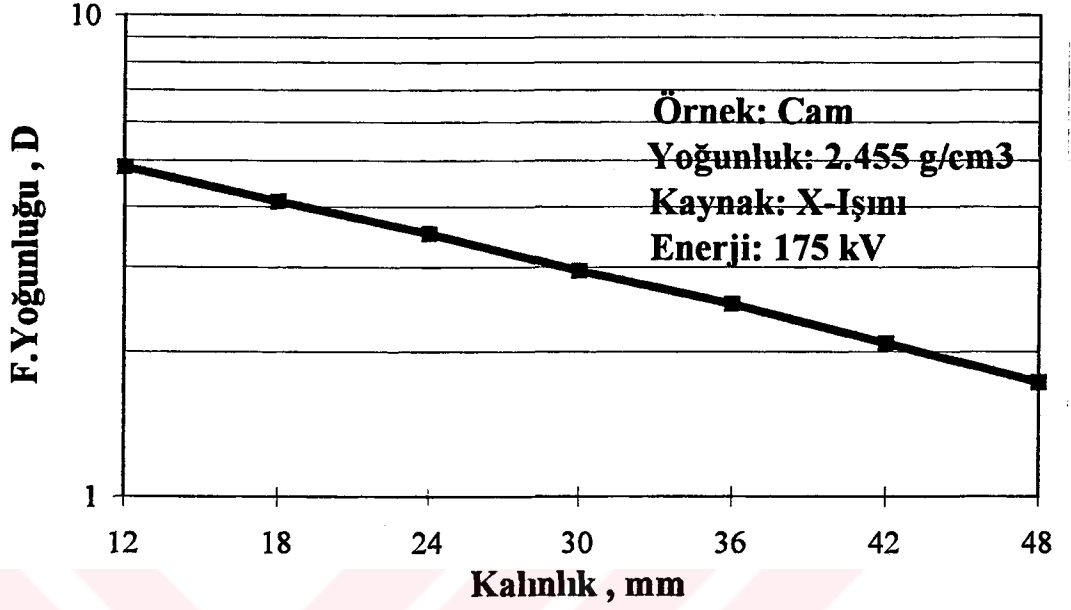
Şekil 6.14. Cam Örnek İçin X-Işını 100 kV ile Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı,Cam örnek ve X-ışını 150 kV için Şekil 6.15. ,de gösterilmektedir.



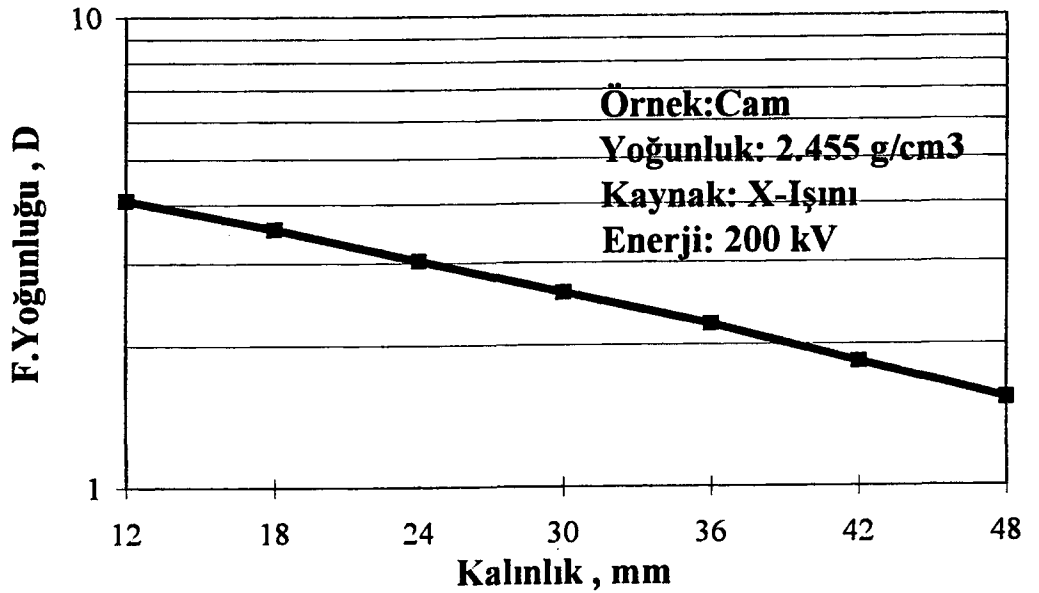
Şekil 6.15. Cam Örnek İçin X-Işını 150 kV ile Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Cam örnek ve X-ışını 175 kV için Şekil 6.16. ,da gösterilmektedir.



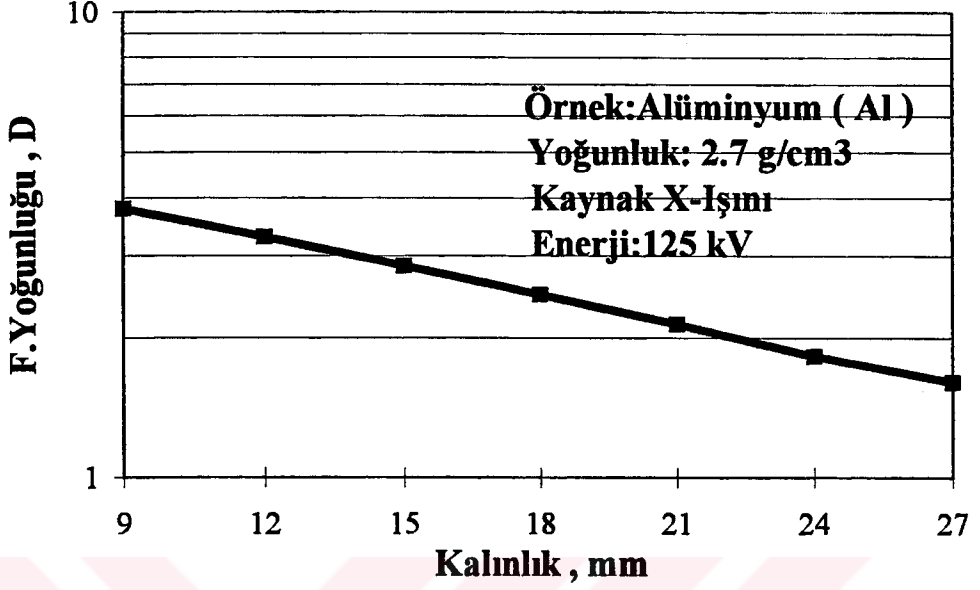
Şekil 6.16. Cam Örnek için X-ışını 175 kV ile Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Cam örnek ve X-ışını 200 kV için Şekil 6.17. ,de gösterilmektedir.



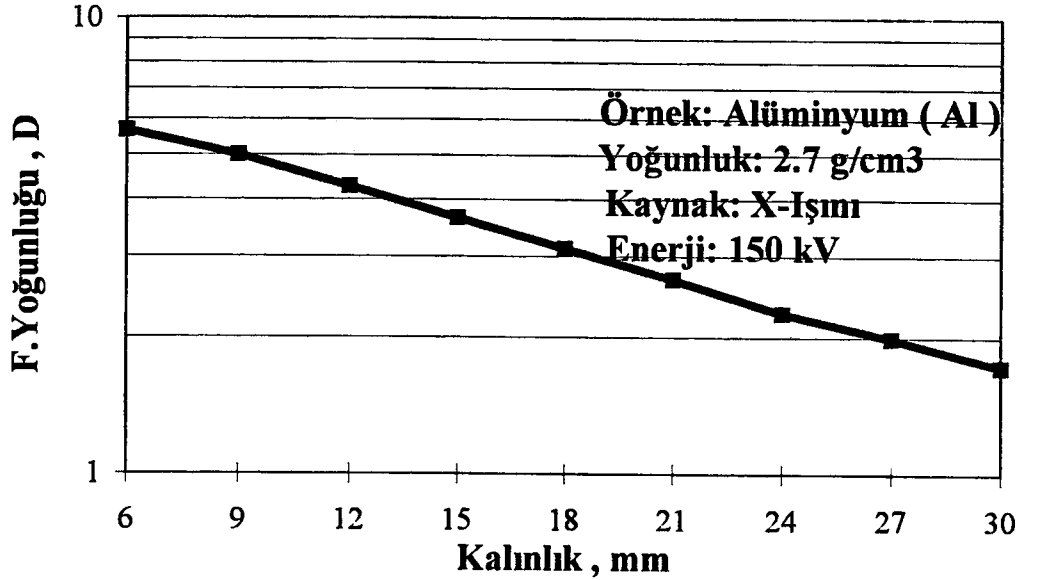
Şekil 6.17. Cam Örnek için X-ışını 200 kV ile Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Alüminyum örnek ve X-ışını 125 kV için Şekil 6.18. ,de gösterilmektedir.



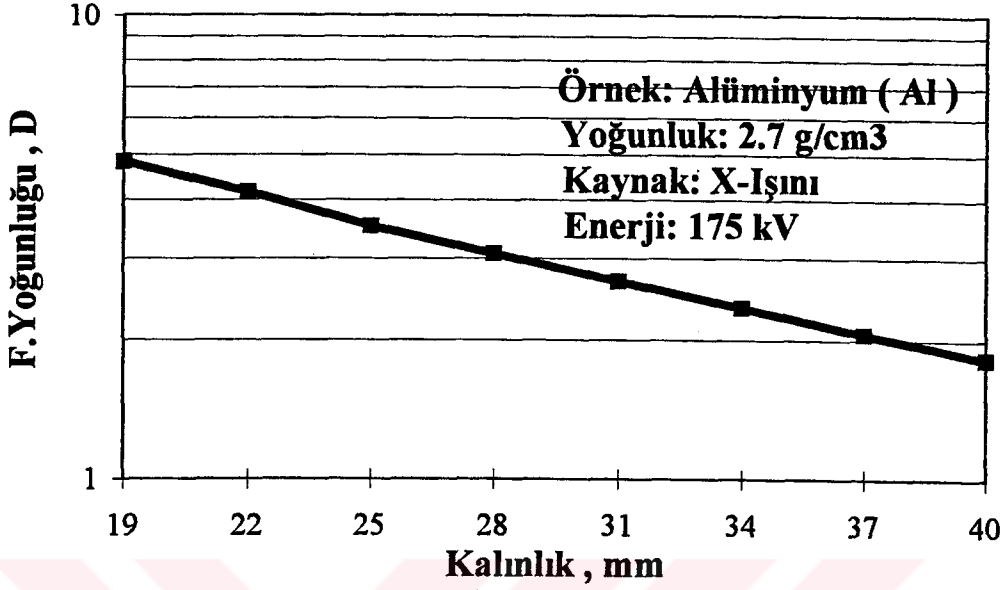
Şekil 6.18. Alüminyum Örnek İçin X-ışını 125 kV ile Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Alüminyum örnek ve X-ışını 150 kV için Şekil 6.19. ,da gösterilmektedir.



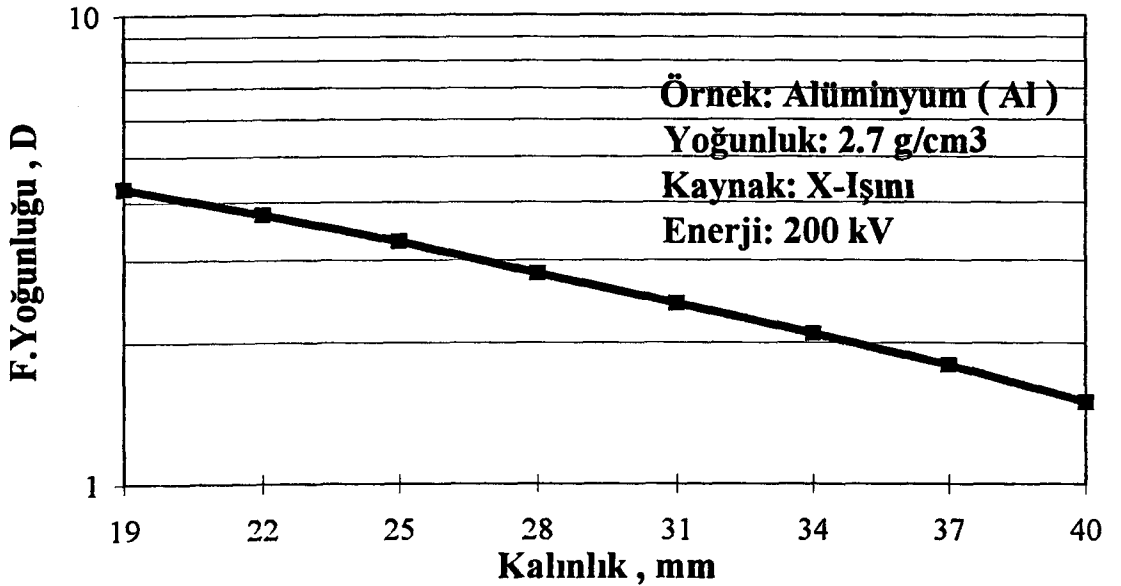
Şekil 6.19. Alüminyum Örnek İçin X-ışını 150 Kv ile Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Alüminyum örnek ve X-ışını 175 kV için Şekil 6.20. ,de gösterilmektedir.



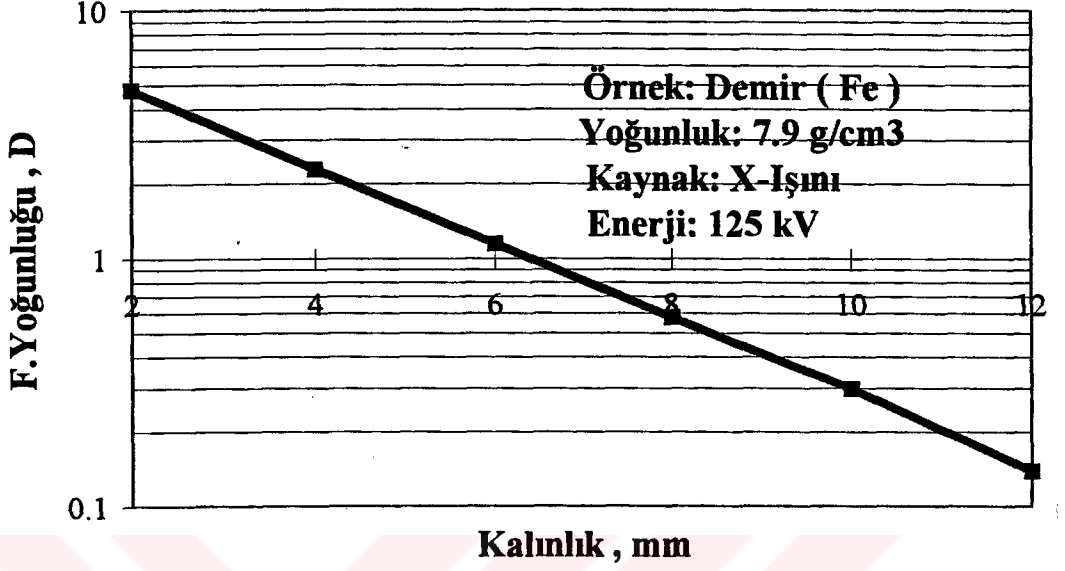
Şekil 6.20. Alüminyum Örnek için X-ışını 175 kV ile Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Alüminyum örnek ve X-ışını 200 kV için Şekil 6.21. ,de gösterilmektedir.



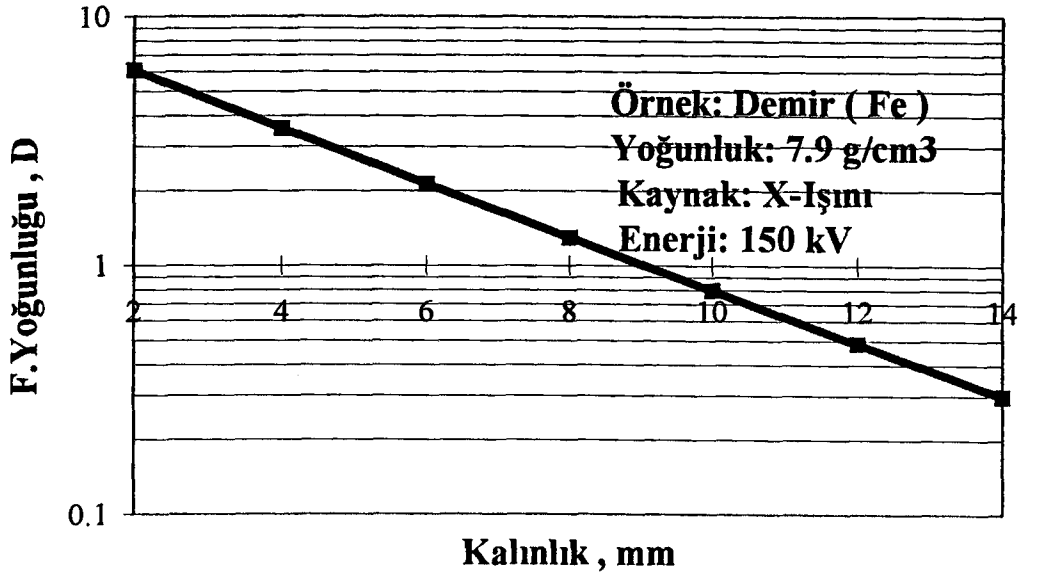
Şekil 6.21. Alüminyum Örnek için X-ışını 200 kV ile Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Demir örnek ve X-ışını 125 kV için Şekil 6.22. ,de gösterilmektedir.



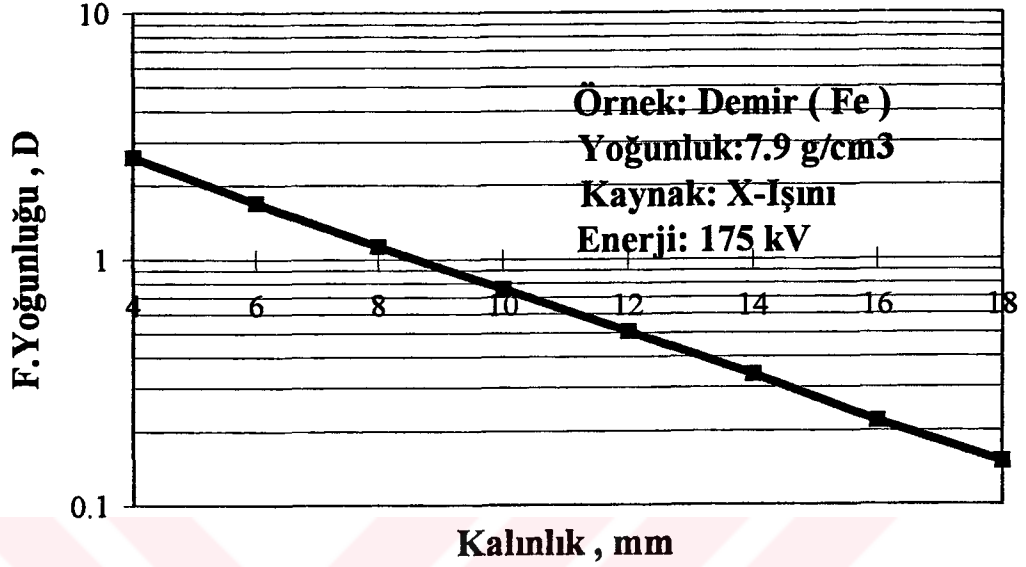
Şekil 6.22. Demir Örnek İçin X-ışını 125 kV İle Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Demir örnek ve X-ışını 150 kV için Şekil 6.23. de gösterilmektedir.



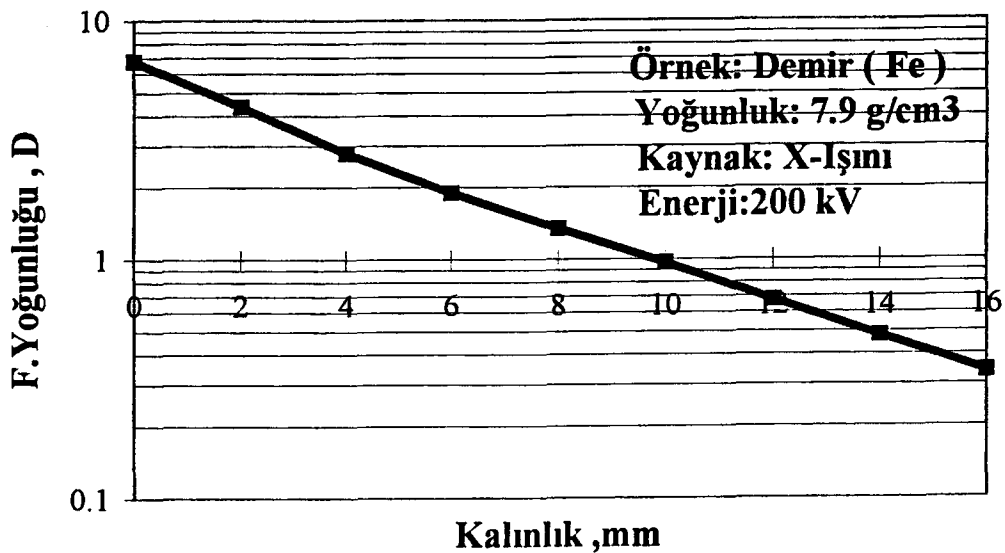
Şekil 6.23. Demir Örnek İçin X-ışını 150 kV İle Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Demir örnek ve X-ışını 175 kV için Şekil 6.24. ,de gösterilmektedir.



Şekil 6.24. Demir Örnek İçin X-ışını 175 kV İle Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Basamak kalınlığına göre değişim gösteren Film Yoğunluğu-Basamak Kalınlığı, Demir örnek ve X-ışını 200 kV için Şekil 6.25. ,de gösterilmektedir.



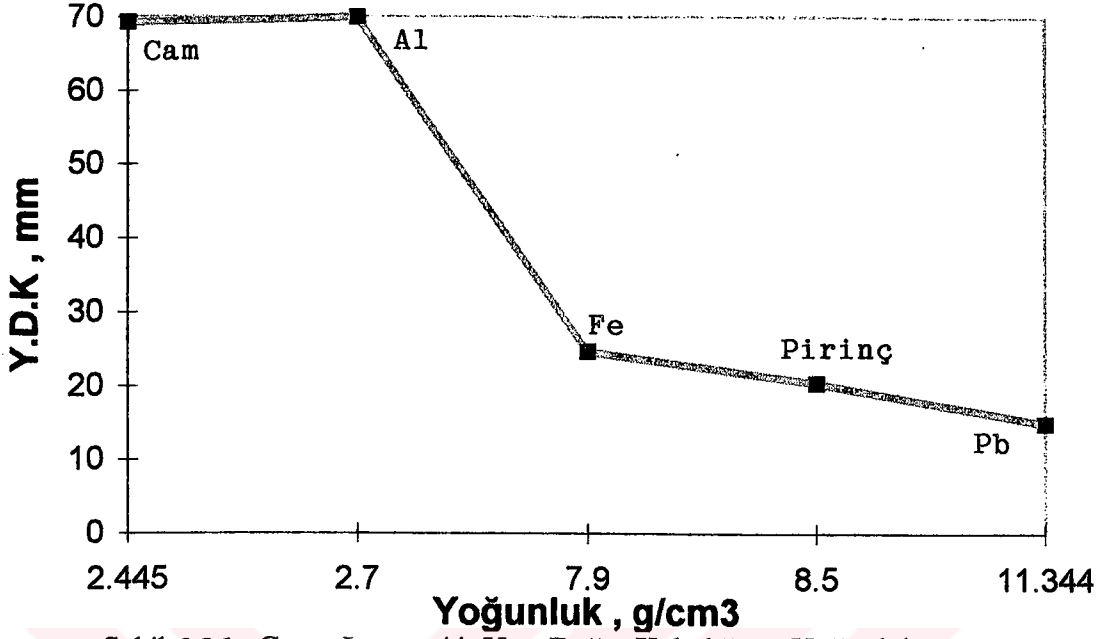
Şekil 6.25. Demir Örnek İçin X-ışını 200 kV İle Film Yoğunluğu ve Kalınlık Değişimi

Tablo 6.8. , de deneysel incelemeler süresince gerçekleştirilen tüm radyografik çekimlere ait deney şartları gösterilmektedir.

Tablo 6.8. Radyografik Çekim Şartları

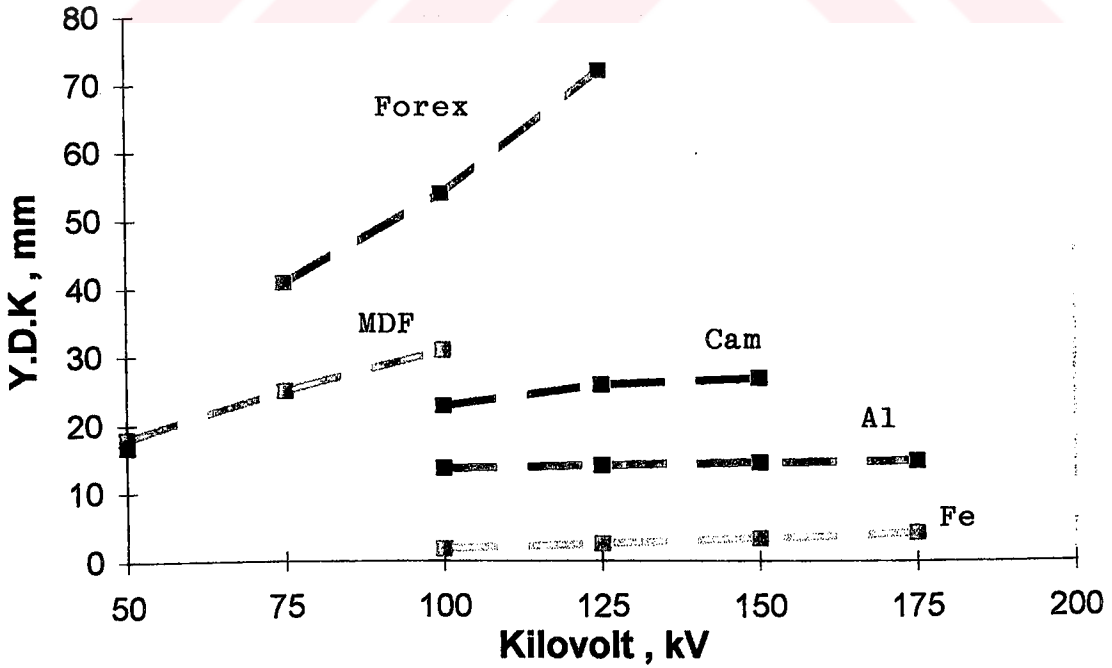
	FİLM	KAYNAK-FİLM UZAKLIĞI	POZ SÜRESİ
CO-60			
CAM	Agfa D7	100	20 dk
ALÜMİNYUM	Kodak AX	88	17.5 dk
DEMİR	Agfa D7	103.6	25 dk
PİRİNÇ	Kodak AX	50	5 dk
KURŞUN	Kodak AX	50	6 dk 15 sn
X - IŞINI			
FOREX 50 kV	Kodak AX	54.5	8 dk 30 sn
75 kV	Kodak AX	54.5	3 dk 30 sn
100 kV	Kodak AX	54.5	1 dk 10 sn
MDF 75 kV	Kodak AX	54.5	3 dk 45 sn
100 kV	Kodak AX	54.5	1 dk 15 sn
125 kV	Kodak AX	54.5	30 sn
CAM 100 kV	Agfa D7	67	3 dk 30 sn
150 kV	Agfa D7	67	40 sn
175 kV	Agfa D7	67	30 sn
200 kV	Agfa D7	67	15sn
ALÜMİNYUM			
125 kV	Agfa D7	54.5	55 sn
150 kV	Agfa D7	54.5	30 sn
175 kV	Agfa D7	54.5	25 sn
200 kV	Agfa D7	54.5	15 sn
DEMİR 125 kV	Agfa D7	47.5	1 dk
150 kV	Agfa D7	47.5	40 sn
175 kV	Agfa D7	47.5	20 sn
200 kV	Agfa D7	47.5	10 sn

Şekil 6.26. , da gama ışınına ait, kullanılan malzeme yoğunluklarına göre değişim gösteren yarı-değer kalınlıkları arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 6.26. Gama Işınına Ait Yarı-Değer Kalınlığı ve Yoğunluk Değişimi

Şekil 6.27. , de X-ışınına ait, kullanılan değişik kilovoltajlara göre değişim gösteren yarı-değer kalınlıklarının ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 6.27. X-Işınına Ait Yarı-Değer Kalınlığı ve Voltaj Değişimi

Tablo 6.9. Gama Işınına Ait Farklı Malzemelere Yarı-Değer Kalınlıkları

	Kaynak: Co - 60 Enerji: 1.17 - 1.33 Mev	
	Yoğunluk (g/cm ³)	Yarı-Değer Kalınlığı (mm)
CAM	2.445	69.4
ALÜMİNYUM	2.7	70
DEMİR	7.9	24.7
PİRİNÇ	8.5	20.5
KURŞUN	11.344	15

Tablo 6.10. X-Işınına Ait Farklı Malzemelerin Yarı-Değer Kalınlıkları

	Yoğunluk (g/cm ³)	Yarı-Değer Kalınlığı (mm)						
		50 kV	75 kV	100 kV	125 kV	150 kV	175 kV	200 kV
FOREX	0.69	18	21	24				
MDF	0.8		41	54	72			
CAM	2.445			16.75		22.9	25.9	26.85
ALÜMİNYUM	2.7				13.7	14.1	14.45	14.7
DEMİR	7.9				1.84	2.63	3.42	4.25

Tablo 6.11. Deneysel Verilerin Karşılaştırılması

MALZEME	YARI-DEĞER KALINLIĞI (cm) [30]	DENEYSEL BULUNAN YARI-DEĞER KALINLIĞI (cm) [Co-60]
ALÜMİNYUM	6.66	7
DEMİR	2.21	2.45
KURŞUN	1.11	1.5
CAM (2.445 g/cm ³) BETON (2.4 g/cm ³)	6.66	6.98

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneysel incelemeler sonucu elde edilen grafiklerden hareketle, kullanılan örnek malzemelere ait yarı-değer kalınlıkları belirlenmiştir. Tablo 6.9. , da Kobalt-60 (Co-60) kaynaklı gama ışını altında ve Tablo 6.10. , da ise X-ışını altında kullanılan malzemelere ait yarı-tabaka değer kalınlıkları gösterilmektedir.

Kullanılan örnek malzemelere ait belirlenen yarı-değer kalınlıklarıyla, daha önce başka tekniklerle bulunan belirli enerjilerdeki yarı-değer kalınlıkları arasında az da olsa belirli farklılıklar gözlenmektedir. Kullanılan malzemeler ile kuramsal olarak yarı- değer kalınlıkları bilinen malzemeler arasında az da olsa yoğunluk farklılıklarının bulunması; laboratuvar şartları olarak özetlenebilecek olan çekim ve banyo şartlarında meydana gelebilecek değişimler ile radyograf film yoğunluklarının belirlenmesi aşamasında her bir basamaktan alınan üç adet film yoğunluğunun ortalamasından kaynaklanan sapmalar olarak nitelendirilebilir. Tablo 6.11. , de Co-60 kaynaklı gama ışınına ait yarı-değer kalınlıklarının karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablo 6.11. , de de görüldüğü gibi Co-60 radyasyon kaynağı kullanılarak elde edilen radyografların yardımıyla bulunan yarı-değer kalınlıkları, diğer metodlarla bulunan değerlerden % 5 seviyesinde Farklılık göstermektedir. Böyle bir sonucunda, oldukça iyi bir yaklaşımla, radyografik teknik kullanılarak yarı-değer kalınlıklarının duyarlı bir şekilde bulunabileceğini göstermektedir.

Bilimsel kaynaklarda, deneysel verilerin değerlendirilmesi aşamasında kullanılan örnek malzemelerden Forex, MDF, Pirinç gibi malzemelere ait yarı-değer kalınlıkları ile ilgili çalışmalara rastlanmadığından, bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlarla ilgili karşılaştırma imkanı bulunamamıştır. Ancak genel yaklaşımla bu tür malzemelere ait yarı-değer kalınlıklarının oldukça sağlıklı olduğu diğer verilerin karşılaştırılmasıyla anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, bu deneysel çalışma ile radyografik yöntem kullanılarak kalınlığa bağlı değişim gösteren radyografik film yoğunluğu esas alındığında, kuramsal olarak bilinen ve radyasyondan korunma ile radyasyon zırhlaması için bilinmesi gerekli olan yarı-değer kalınlıklarının deneysel olarak bulunabileceği sonucuna varılmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] ANIK , S. , Endüstride Tahribatsız Muayenenin Yeri, Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, Tahribatsız Muayene Özel Sayısı, syf. 18 , Şubat 1988
- [2] ÖZDEN , N. , Endüstriyel Radyografi , SEGEM Yayın No:45, syf. 9-11, 1-4, 74-75, 1980
- [3] BİLGE , A.N. , TUĞRUL , B. , Radyografik Değerlendirme Esasları, Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, Tahribatsız Muayene Özel Sayısı, syf. 24-25 , Şubat 1988
- [4] NONDESTRUCTIVE TESTING , “ Radiographic Testing “ , Classroom Training Handbook , General Dynamics, San Diego, California Chp. 2 pp.13-15, Chp. 4 pp. 3,1967
- [5] TSOULFANIDIS , N. , Measurement and Dedection of Radiation, University of Missouri-Rolla, Hemisphere Publishing Corporation, pp. 141-145, 1983
- [6] RADIOGRAPHY IN MODERN INDUSTRY , Eastman Kodak Company Rochester , Newyork 14690 , Chp. 1 pp.5 , Chp. 3 pp. 15-19 , Chp. 7 pp. 53 , Chp. 8 pp. 65 , 1980
- [7] BİLGE , A.N. , TUĞRUL , B. , Endüstriyel Radyografinin Esasları, İ.T.Ü. Genel Yayın No : 20 syf. 7-8-19 , 1990
- [8] JENKINS , R. , DE VRIES , J.L. , Practical X-Ray Spectrometry, Philips Technical Library, Cleaver-Hume Press LTD, pp.3, 1967
- [9] ANIK , S. , TÜLBENTÇİ , K. , Endüstriyel Radyografi El Kitabı, Beynelminel Kaynak Enstitüsü V Numaralı “ Kaynağın Muayene ve Kontrolü” Adlı Komüsyonu , İ.T.Ü. Türk Teknik Haberleşme Yayını , syf. 8-9-12-22 , 1969

- [10] CULLITY , B.D. , Elements of X-Ray Diffraction , Department of Metalurgical Engineering and Materials , Science University of Notre Dome , pp. 17 , 1967
- [11] J. McGONNAGLE , W. , Nondestructive Testing , Second Edition, Gordon and Breach Science Publishers , pp. 109 , 1969
- [12] AYBERS , N. , BAYÜLKEN A. ; Nükleer Reaktör Mühendisliği I, İ.T.Ü. Sayı: 1414 , syf. 9 , 1990
- [13] BECKER , G.L. , Radiographic NDT , Du Pont NDT Sysyems , E.I. Du Pont de Nemours & C.o. , Inc. , pp. 81-133-365-382-383, 1990
- [14] HALMSHAW , R. , Industrial Radiology Techniques , Wykeham Publications (London) LTD , Chp.1 pp. 9-11 ,Chp.2 pp.42-46 1946
- [15] HALMSHAW , R. , Nondestructive Testing , Second Edition , 1991 British Library Cataloging in Publication Data Halmshaw , R. (Ronald) 1919 , Nondestructive Testing - 2nd. Ed. 1- Nondesructive Testing I. Title , pp. 38
- [16] BİLGE , A.N. , Endüstride Nükleer Teknikler , İ.T.Ü. , Genel Yayın No: 1445 , syf. 50-53-209 , 1991
- [17] BRAYNT , L.E. , McINTIRE , P. , Nondestructive Testing Handbook Vol. 3 Radiography and Radiation Testing , American Society for Nondestructive Testing , pp. 122, 1985
- [18] SHARPE , R.S. , Research Techniques in Nondestructive Testing , Academic Press London and Newyork Vol. II Chp. 2 pp.33-34-35 , 1973
- [19] COURSE 26 , NONDETRUCTIVE EXAMINATION (NDE) TECHNIQUES I , CENTER FOR OCCUPATIONAL RESEARCH AND DEVELOPMENT , 601 Lake Air Drive Waco , Texas 76710 Module 26-6 Radiograph Inspection , pp. 21 , Mod. 26-5 Fundamentals of Radiography pp. 50 1954
- [20] HANDBOOK OF INDUSTRIAL RADIOLOGY ,Members of The Institute of Physics , Edited by J.A. Crowther , London , pp. 54 , 1946

- [21] SHAPIRO , J. , Radiation Protection , A Guide for Scientists and Physicians , Third Edition , Harvard University Press pp.97 1990
- [22] RADYASYONDAN KORUNMA YÖNTEMLERİ , Çev. Ayşen Işın, T.C. Başbakanlık Atom Enerjisi Komisyonu Bilimsel Yayınlar No: 2 pp. 61 , 1980
- [23] ÖZÇINAR , Ö. , Zırh Malzemelerinde Transmisyon Faktörlerinin Tayini , Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü , syf. 24-25 , 1989
- [24] REACTOR HANDBOOK , Vol.III Part b Shielding , Oak Ridge National Laboratory , Interscience Publishers , United States Atomic Energy Commission pp. 6-7 , Lib. of Congress Card Number 60-11027 , 1962
- [25] WEINSTEIN , R. , Interaction of Radiation With Matter , Mc Graw-Hill Book Company, pp. 14-15 , Lib. of Congress Card Number 63-11856 , 1964
- [26] SOYBERK , Ö. , İyonlaştırıcı Işınlara Karşı Zırhlamanın Pratik Pratik Uygulamaları , Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi , syf. 5-7 , 1969
- [27] STRUCTURAL SHIELDING DESIGN AND EVALUATION FOR MEDICAL USE OF X-RAYS AND GAMMA RAYS OF ENERGIES UP TO 10 MeV , National Council On Radiation Protection and Measurements , NCRP Report No: 49 pp. 8 1976
- [28] KODAK , Exposure Tables , 1992
- [29] DU PONT NDT SYSTEMS , Exposure Charts , 1989
- [30] HANDBOOK OF RADIOACTIVE NUCLIDES , Editors For The Chemical Rubber Co. , Editors and Chairman Yen Wang, M.D. D. Sc. (Med .) , pp. 69 , 1969

ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında İstanbul’da doğdum. İlkokulu ve Ortaokulu Yeşilköy’de, Liseyi Yeşilköy 50. Yıl Lisesi’nde bitirdim.

1985 yılında yüksek öğrenimime başladığım İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü’nden 1992 yılında mezun oldum. 1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü’nde yüksek lisans programına başladım.

