

46314

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * NUKLEER ENERJİ ENSTİTUSU

RADYOGRAFİDE FARKLI ORTAMLARIN
POZ SÜRESİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Müh. Galip BÜYÜKYILDIRIM

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 15 Ocak 1996

Tezin Kabul Edildiği Tarih : 29 Ocak 1996

Tez Danışmanı

: Prof. Dr. Ali Nezihi BİLGE

Diğer Jüri Üyeleri

: Prof. Dr. Hasbi YAVUZ

Prof. Dr. Beril TUĞRUL

OCAK 1996

Ali
29.01.96
Hasbi
29.02.1996
Beril
29.02.1996

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda beni destekleyen, yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen , Sayın Hocam Prof. Dr. Ali Nezihi BİLGE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana pek çok konuda tamamlayıcı bilgi veren ve yardımda bulunan Araş.Gör. Hakan ÖNAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER:

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. ELEKTROMANYETİK RADYASYON VE ÖZELLİKLERİ.....	4
2.1. Elektromanyetik Radyasyon Ve Madde ile Et- kileşimi.....	5
2.1.1. Fotoelektrik Olay	5
2.1.2. Compton Olayı	7
2.1.3. Çift Oluşumu	8
2.2. X-Işınları Ve Prensipleri.....	9
2.2.1. X-Işınlınının Soğurulması.....	11
2.2.2. X-Işını Kaynakları.....	13
2.3. Gama Işınları Ve Prensipleri.....	14
2.3.1. Radyoaktivite	15
2.3.2. Gama Işınlınının Soğurulması.....	16
2.3.3. Gama Işını Kaynakları	16
BÖLÜM 3. RADYOGRAFİ	18
3.1. Çalışma Parametreleri	19
3.1.1. Radyografik Duyarlılık	20
3.1.2. Yarı Gölge	21
3.1.3. Kaynak Film Uzaklığı	22
3.1.4. Görüntü Kalitesi	22
3.2. Işınlama Tabloları	23
3.2.1. X-Işınları için Işınlama Tabloları	23
3.2.2. Gama Işınları için Işınlama Tabloları.....	24
BÖLÜM 4. ARA ORTAM VE IŞINLAMA SÜRESİNE ETKİSİ	27
4.1. Ara Ortamın Özellikleri	29
4.1.1. Soğurma	30
4.1.2. Yeniden Çoğaltma Faktörü	31
4.2. Ara Ortam Etkisinin Saptanması	32
4.2.1. Deney Düzenegi	33
4.2.2. Kullanılan Ortamlar	36
4.2.3. Kullanılan Işın Kaynakları Ve Poz Süreleri.37	

4.2.4. Kullanılan Filmler Ve Ekranlar	39
4.2.5. Basamaklı Parçalar	40
4.2.6. Film Yoğunlukölçer Ve Film Yoğunluğunun Değer- lendirilmesi	42
4.2.6.1. Okuma Şablonu	44
4.2.6.2. Ölçme Yöntemi	45
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR.....	60
EK I : Film Yoğunluk Değerleri.....	62
EK II Radyograflar.....	72
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİL LİSTESİ:

Şekil 2.1. Elektromanyetik Spektrum.....	5
Şekil 2.2. Fotoelektrik Olay.....	6
Şekil 2.3. Compton Olayı.....	7
Şekil 2.4. Çift Oluşumu.....	8
Şekil 2.5. Tipik Bir X Işını Cihazının Görünümü.....	13
Şekil 2.6. Co-60 Gamma Cihazının Görünümü.....	17
Şekil 3.1. Çeşitli Görüntü Kalite Gösterge Tipleri.....	20
Şekil 3.2. Yarı Gölgenin Şematik Görünümü.....	21
Şekil 3.3. X-ışınları için Poz Tablosu.....	24
Şekil 3.4. Ir-192 için Poz Tablosu.....	24
Şekil 3.5. Co-60 için Poz Tablosu.....	25
Şekil 4.1. Kurşun içinde Gamma Işınlarının Sogurma Katsayıları.....	31
Şekil 4.2. Deney Ara Ortam Kabı (Teknik Çizim).....	34
Şekil 4.3. Ara Ortam Kabı (Çekim Esnasında).....	35
Şekil 4.4. Ara Ortam Kabı.....	35
Şekil 4.5. Cam Ve Tahta Ortam Bileşenleri.....	36
Şekil 4.6. Basamaklı Parçalar.....	40
Şekil 4.7. Basamaklı Parçalar (Teknik Çizim).....	41
Şekil 4.8. Film Yoğunluk Ölçer.....	42
Şekil 4.9. Okuma Şablonu (Teknik Çizim).....	43

Şekil 1.1.	100 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri.....	50
Şekil 1.2.	150 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri.....	51
Şekil 1.3.	200 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri.....	52
Şekil 1.4.	250 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri.....	53
Şekil 1.5.	275 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri.....	54
Şekil 1.6.	Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri.....	55
Şekil 1.7.	Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri.....	56
Şekil 1.8.	Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri.....	57
Şekil 1.9.	Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri.....	58
Şekil 1.10.	Ara Ortam Yoğunluklarına Göre Eşit Kalınlıklarda Film Yoğunluk Değerleri.....	59

Şekil II.1. Radyograflar (Ø ve Tam Yoğunluk,Deney Kabı)...	73
Şekil II.2. Radyograflar (Boş Film , Deney Kabı).....	73
Şekil II.3. Radyograflar (X-ışını 100 kV).....	74
Şekil II.4. Radyograflar (X-ışını 150 kV).....	74
Şekil II.5. Radyograflar (X-ışını 200 kV).....	75
Şekil II.6. Radyograflar (X-ışını 200 kV).....	75
Şekil II.7. Radyograflar (X-ışını 250 kV).....	76
Şekil II.8. Radyograflar (X-ışını 250 kV).....	76
Şekil II.9. Radyograflar (Co-60).....	77
Şekil II.10. Radyograflar (Co-60).....	77
Şekil II.11. Radyograflar (Co-60).....	78
Şekil II.12. Radyograflar (Co-60).....	78
Şekil II.13. Radyograflar (Co-60).....	79

TABLO LİSTESİ :

Tablo 2.1. Gama için Doğrusal Soğurma Katsayıları.....	12
Tablo 4.1. Ara Ortamların Yoğunluk Değerleri.....	36
Tablo 4.2. Deney Süresince Yapılan Radyografik Çekimler.....	37-38
Tablo 1.1a.100 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri.....	63
Tablo 1.2a.150 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri.....	64
Tablo 1.3a.200 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri.....	65
Tablo 1.4a.250 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri.....	66
Tablo 1.5a.275 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri.....	67
Tablo 1.6a.Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri.....	68
Tablo 1.7a.Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri.....	69
Tablo 1.8a.Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri.....	70
Tablo 1.9a.Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri.....	71

ÖZET

Bu çalışmada standart radyografi tekniğinde olageldiği gibi ışın kaynağı ve parça arasındaki ortamın hava veya boşluk dışında , daha farklı bir malzemeden olması durumunda, (yoğunluğunun artık ihmal edilememesi hali için) pozlandırma sürelerini değiştirmeksizin film yoğunluğunun bu ara ortam kalınlığının etkisiyle değişimine bakarak bu sürelerin daha doğru olarak saptanabilmesine çalışılmıştır.

Bu tür durumlar günümüzde radyografinin gittikçe genişleyen kullanım alanları içinde artan bir sıklıkla ortaya çıkmaktadır.Böyle bir durumun şartlarını belirleyebilmek için bölmeli bir kap kullanılmış ve içerisine belirli kalınlıklarda su,tahta,cam gibi farklı yoğunlukta malzemeler konarak ortaya çıkan değişimler incelenmiştir.Görüntü elde edebilmek için iki ayrı metalden basamaklı türde penetremetreler yaptırılıp bunların film üzerindeki yoğunluk değerlerindeki değişimler incelenmiştir.

Sonuçta beklenen ve hesaplanan değerlerden farklı olarak bazı malzemelerde çok , bazılarında ise az zayıflama saptanmış.Bunun nedenleri belirlenmeye çalışılıp , uygulamadaki etkileri ve bunların giderilmesi için gereken poz süresi değişimleri saptanmaya çalışılmıştır.

SUMMARY

In this study, the X- and Gamma-ray radiographic techniques have been used by detecting the changes with different media. Normally, a radiograph is taken by using the air as a media between the source and the object which has nearly no weightness. But in some cases, one needs to make a measure through another kind of a media. Then it must be known what kind of differences can occur. On the other hand the effects of these rays on materials have been summarised in this study. Three effects of the rays on materials which are photoelectric event, Compton scattering and pair production and absorption process of both rays also been explained.

For both rays, different sources have been used. There are limitations for some equipments as far as the different media concern rather than air. So for all types of radiation there will be a kind of shielding and will reduce the amount. In other words more exposure time is needed to have the same

results. It must be detectable on the film, if the same exposure time is used as in the air, which lowers the film density, when having a different media between source and film.

When it was a media with a great shielding factor, one can calculate that, the time must be multiplied on the inverse factor value. But it is very important to know the other effects on this phenomena. The most important effect is the "Build-up" factor, which is normally given according to material density, that can not be known. If there is another value then the calculated, it must be the result of this Build-up factor.

In a radiograph with a thin thickness of the media between the source and the film, the effect causes because of this media is not detectable. But for the thicker media, there is a need of a multiplication factor for the exposure time correction. When the thickness is getting bigger and bigger the total factor will be calculated from the inverse of the shielding factor and of the Build-up factor.

By using the equipments on this work one can find a way to have a factor according to the film densities. Finally by using this factor one can multiply the normally exposure time to have the corrected value for a good radiograph.

Normally in the use of X and gamma-rays , the radiograph is taken in a special place , in a shielded room or in a laboratory. So the radiographer needs only to use the tables for exposure time calculations. But sometimes the specimen can not be moved . It can be a big piece or a pipeline or it can be placed in concrete or in the soil. Then there would be a shielding effect and this must be corrected. That means that the exposure time must be increased and the film must have enough radiation dosage on itself.

The exposure time will be much greater than the normal calculated time and to reduce the difference, the radiation source must have high energy levels and high radioactivity . The half life of the radioisotopes or the energies of the X-rays should be carefully considered. As it is well known the half lives are determined by the nature and the energy of the X-ray tubes can not be made more than a technical value.

In the applications , it is very important to know how the changes in time can occur. Since the time is long enough and if it is not the right choice , it must be repeated and recalculated. The repeating process means more time and higher cost. The best thing is to have calculated time for a good radiograph with the accepted film densities.

The radiographic techniques are not difficult and can be found with the help of the normally used exposure tables. The multiplying factor can not to be calculated easily, for this there must be tables for each different media and different thicknesses giving these factors.

In many cases the radiographer should make more exposures than a single to have a good result. Usually the first good result will give the right factor to calculate the other exposure times . This factor is the effect of the shielding in this media. When one takes a radiograph in the dense media, the distance between the source and the film must become as little as possible, considering the geometrical unsharpness.

At the last step ,one can have the good radiograph as a result of correction of all the factors mentioned above. Therefore, using of this method gives the right result easier and faster , but it is only for use in special applications . In the future applications one can use it to correct the bad radiographs or to take X- and gamma tomographies.

The technique needs portable radiation sources and an experienced radiographer who can use them. The radiographer must be in special cases a good diver for underwater applications or anybody at another branch depending on the scenario.

In the next time, one can be sure , that this method will be widely used for many applications. However it is clear that the radiographers , who works on this kind of NDT , are much more specialist than a simple radiographer, a diver, a civil engineer or an architect. In other words , it can be commonly usefull for many sciences and for new dimensions.

The geometric factors , like unsharpness and shadow are the same importance like without the media between radiation source and film ,but all the procedure about placement will stay as the same .

1.GİRİŞ

Çağımıza bazılarımızın dediği gibi "Atom Çağı" adını vermek gerçekten de oldukça doğrudur. Her an artan bir ivme ile atom ve yapısıyla ilgili çeşitli araştırmalar yapılmakta, yeni bilgiler bilimsel literatürde yer almaktadır. Bunların azımsanmayacak bir bölümü de radyasyon ve uygulamaları ile çok yakın olan "Tahribatsız Muayene Metotları" üzerinedir.

Kısaca İngilizce'deki adının başharfleri ile NDT (Non-Destructive Testing) olarak anılan bu metotlar bitmiş veya yarı-mamul yada hammadde aşamasındaki malzemelerin sağ-lamlık ve kalite kontrollerinde günümüzde sürekli kullanılmaktadırlar. Sözü edilen malzemelerde uygulamalar esnasında hiç bir zarar oluşturmamaları da en önemli avantajlarıdır. Bu teknikler içerisinde akustik, basınç, manyetik, optik, sıvı girinim ,elektriksel ve elektrostatik, termal, elektro-manyetik indüksiyon ve radyografi gibi yöntemler vardır.

Özellikle radyografi, çeşitli elektromanyetik ve parçacık radyasyonlarını kullanarak, değerlendirilmesi istenen parça-nın bir film üzerinde iç yapısı ile ilgili bilgilerin kalıcı olarak eldesine izin verdiği için bunlar arasında önemli

bir yer tutmaktadır.Bu yöntemde, X-ışınları,gama ışınları, nötronlar,alfa veya beta parçacıkları gibi çeşitli nükleer radyasyonlar kullanılırlar.

Malzemelerin iç yapısını görüntülemek ve süreksizlikleri tesbit etmek için radyografide en çok kullanılan radyasyon tipleri ise giricilik gücü yüksek olan X ve gama ışınlarıdır.Bunların her ikisi de farklı enerjilere sahip olan fotonların atom ve çekirdeklerden yayınlanması ile oluşurlar.Gama ışınlarının kaynakları radyoaktif çekirdekler,X-ışınlarının ki ise uyarılmış atom çekirdekleri ile X-ışın tüpleridir.

Bu çalışmada Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'nda bulunan X-ışınları cihazı ve Co-60 gama kaynağı kullanılarak farklı özgül ağırlıklara sahip ortamların kaynak film arasına yerleştirilmesiyle oluşan film yoğunluğundaki değişimler incelenmiştir.

Özel olarak üretilmiş alüminyum ve çelik basamaklı penetremetreler de film üzerinde çeşitli film yoğunluklarının dağılımını elde etmek için kullanılmışlardır.

Sonra bu sonuçlar artan ortam kalınlıkları ile bağlantılı olarak düzenlenmiş ve bulunan poz sürelerinin ortama göre değişiminin nasıl olduğu saptanmıştır.Beklenildiği gibi bu etkinin soğurulma sonucu zayıflatma açısından daha baskın olduğu ve her farklı malzeme için belirli bir kalın-

lıktan sonra artık anlamlı bir görüntü elde edilemediği görülmüştür.

Sonuç olarak bu çalışmada Nükleer Uygulamalar Ana Bilim Dalı'nda bulunan X-ışını ve Co-60 radyoizotopu ile deneyler yapılmış ve eldeki olanaklara bir deney kabı ve özel olarak imal edilmiş basamaklı alüminyum ve çelik iki penetremetre eklenerek gerekli düzenleme oluşturulmuştur.

2.ELEKTROMANYETİK RADYASYON VE ÖZELLİKLERİ

Çevremizde gördüğümüz cisimlerden gelen ışıktan evde kullandığımız pek çok elektronik ayağıta kadar günümüzde her yerde elektromanyetik radyasyon vardır.Bu radyasyon veya ışıının ışık hızıyla ve foton adı verilen enerji paket-cikleriyle yayılır [1]. Bu ışıının türleri olarak basit radyo dalgalarından,görünür ışığa ve radyografide kullanılan X ve gamma ışıınlarına kadar pek çok ışıının belirtilebilir.

Burada adı geçen son iki tür insan sağlığı açısından zararlı oldukları gibi değişik özellikleri de taşırlar [2]. Fotonlar halinde yayılırlar [3] ve bu nedenle elektriksel olarak yükleri ile kütleleri yoktur.Enerjileri dalga boyları ile ters orantılıdır,ayrıca enerjilerine bağılı olarak tüm malzemelerde penetrasyon derinlikleri ile etkisi belirli giri-ci bir özellik gösterirler.Malzeme içinde malzeme yoğunluğunun artmasıyla etkileşim olasılıkları arttığı için artan biçimde soğurulur ve saçılırlar.Böylece iyonizasyon oluşur, bu sayede radyografik film üzerinde gümüşü indirgeyerek film yoğunluğu oluşmasıyla görüntü meydana getirirler.

Şekil 2.1.de elektromanyetik ışıının ailesinin ve bazı

kaynaklarının dalga boylarına göre ve enerjilerine göre sıralanışını görülmektedir .



Şekil 2.1. Elektromanyetik Spektrum [8]

2.1. ELEKTROMANYETİK RADYASYON VE MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

X ve gama ışınları madde ile etkileştiklerinde bunların bir kısmı maddenin içinden geçerken bir kısmı da saçılır veya yutulur. Yutulma olayı, üç ayrı biçimde olur: Fotoelektrik olay, Compton olayı ve çift oluşumu. Burada etkileşimin cinsini belirleyen olgu fotonun taşıdığı enerjidir [3].

2.1.1. FOTOELEKTRİK OLAY

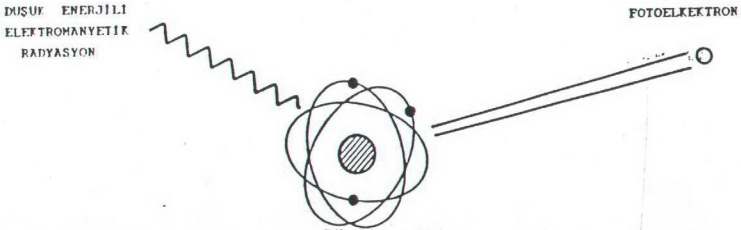
Fotoelektrik olay, bir X veya gama fotonunun taşıdığı düşük enerji ile atomun çoğunlukla en iç yörüngesindeki elektronlarla etkileşime girerek enerjisinin tamamını aktarması-

dır.Etkileşime girilen elektron yörüngesinden kopar ve atom dışına fırlatılır,buna fotoelektron denir.Fotonun enerjisi E_f ,elektronun kinetik enerjisi E_e ve bağlanma enerjisi BE ile gösterilirse,bu çarpışma sonucu fotoelektronun kazandığı kinetik enerji Eşitlik 2.1.deki gibi olur [10].

$$E_e = E_f - BE$$

(2.1.)

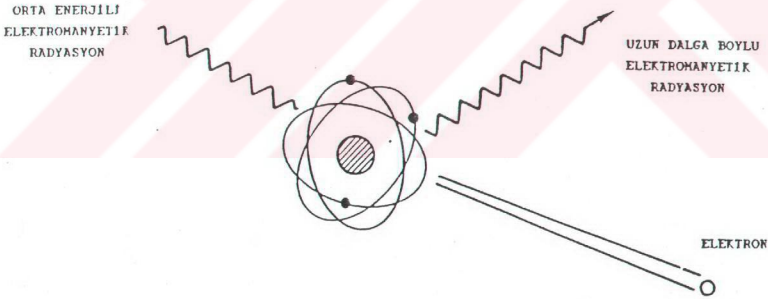
Fotoelektrik olayın gerçekleşmesi için , E_f enerjisinin en az sözkonusu atomu iyonize edebilecek enerjiye eşit olması gerekir.Etkileşme sonucu boşalan yörünge daha üst enerji seviyelerine sahip yörüngelerden gelen bir elektron tarafından doldurulur.Bu esnada enerji seviyeleri arasındaki fark X-ışını olarak ortaya çıkar ve malzemenin atomik yapısı için belirleyici olduğundan kendine özgü X-ışını olarak adlandırılır.Bundan dolayı malzeme analizinde kullanılırlar.Şekil 2.2.de Fotoelektrik olay şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Fotoelektrik Olayın Şematik Görünümü

2.1.2. COMPTON OLAYI

Compton olayında foton, elektronla esnek çarpışmayı andıran bir etkileşime girer ve enerjisinin büyük bir bölümünü elektrona aktarır. Böylece enerji kazanan elektron yerinden ayrılarak Compton elektronu olarak dışarı atılır. Kinetik enerjisinin büyük bir kısmını kaybeden foton başka elektronlarla çarpışarak enerjisini daha da azaltır ve fotoelektrik olay ile söğürülür. İlk enerji kaybı elektron ve fotonun çarpışma açısına bağlıdır. Şekil 2.3. te Compton olayı şematik olarak gösterilmiştir.



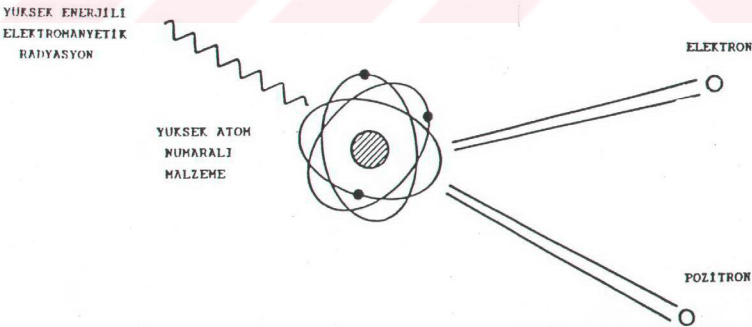
Şekil 2.3. Compton Olayının Şematik Görünümü

Compton saçılması özellikle 100 kV ile bir kaç MeV arasındaki enerjilerde önemlidir [4]. Gelen fotonun enerjisi E_f , saçılan fotonun enerjisi E_f' olarak gösterilirse aralarında Eşitlik 2.2 deki gibi bir bağıntı olur.

$$E_f' = \frac{0.51}{1 - \cos \theta - \frac{0.51}{E_f}} \quad (2.2)$$

2.1.3. ÇİFT OLUŞUMU

Etkileşme yapacak fotonun enerjisinin 1.022 MeV'den büyük olması durumunda, atom çekirdeğine kadar girer ve bir elektron-pozitron çifti oluşturarak yok olur. Bu etkileşim sonucunda Genel Görelilik teorisine göre enerjinin kütleyle dönüşümü, bir fotonun enerjisinin iki tane kütleli parçacık oluşturması söz konusudur. Çift oluşumunun olasılığı artan kuantum enerjisi ve artan atom numarası ile fazlalaşmaktadır [4].



Şekil 2.4.Çift Oluşumunun Şematik Görünümü

Çift oluşumu da fotoelektrik olayda olduğu gibi fotonun soğurulması ile sonuçlanır. Oluşan elektron ve pozitronların bazıları birbirlerini nötralize ederler ve anihilasyon radyasyonu verirler [5]. Şekil 2.4. te çift oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.

2.2. X-IŞINLARI VE PRENSİPLERİ

X-ışınları elektromanyetik ışınımın bir bölümünü oluşturur. Frekans spektrumunda yerleri mor ötesinin en düşük dalga boylarından sonra gelir ve oldukça yüksek enerji düzeylerine dek çıkabilirler. X-ışınlarının bir bölümü gama ışınları ile aynı spektrumu paylaşırlar.

Bu ışınların oluşumu, boşlukta yol alan çok hızlı elektronların bir ortamla karşılaşmaları sonucunda bir atomla çarpışarak atom uzayında ani bir şekilde durdurulmaları ile olur. Diğer bir deyişle elektron pozitif yüklü çekirdeğin etkisiyle frenlenir. Kaybedilen kinetik enerji dolayısıyla sürekli bir X-ışınımı spektrumu ortaya çıkar.

Ayrıca yüksek enerji seviyelerindeki elektronların atom içerisinde düşük enerji seviyelerindeki elektronların yerini doldurması sonucunda çizgisel spektrum özelliğine sahip ve bu nedenle elementler açısından belirleyici olan Kendine Özgü X-ışınları oluşur [6].

Tahribatsız testlerdeki uygulamalarda sert ve çok sert sürekli spektrumlu X-ışınları kullanılmaktadır. Bu ışınların giricilik özelliği oldukça yüksektir. Işınım enerjisiyle test edilebilecek malzemenin kalınlığı da değişmektedir. İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'nda bulunan 300 kV ve 5 mA maksimum gücündeki cihaz 50 mm'den fazla çelik parçaların testinde yeterli olamadığı halde hızlandırıcılardan elde edilen çok yüksek enerjili (1-2 MeV) X-ışınları 150 mm'ye dek olan çelik malzemenin testleri için yeterli olmaktadır [12].

Endüstriyel X-ışınlarının tanımı için iki temel faktör vardır. Bunlar kalite ve kantitedir. Kalite faktörü tüpe uygulanan gerilime bağlı olup, ışınların giricilik özelliğini doğrudan etkiler ve bu faktörün artması giriciliği, yani malzeme içinde etkili olma uzunluğunu arttırır. Kalite faktörü kV olarak verilir ve gerilimin yükselmesi ile artar. Kantite faktörü ise ışınların üretilen miktarının değerini verir. Değişimi mA olarak flamandan geçen akımdır. Kantite faktöründeki artım, flamandan yayınlanan elektronların miktarını ve böylece üretilen X-ışını fotonlarının sayısını arttırmaktadır [5].

Ayrıca her elementin elektron yörüngeleri arasındaki farklar sabit olduğu için, bu atomların alt seviyelerindeki elektronların yerlerinden ayrılmasıyla sonuçlanan olaylardan

sonra bunların yerlerine geçen üst seviye elektronlarının dışarıya verdikleri X-ışınları da her element için sabittir. Malzeme Bilimi ve Metalürjide malzemelerin bileşiminin belirlenmesinde bu tür kendine özgü X-ışınları kullanılmaktadır.

2.2.1. X-IŞINLARININ SOĞURULMASI

Soğurulma, radyografinin esasını teşkil etmektedir. Kaynaktan yayılan X-ışınlarının bir bölümü malzemeden geçerken elektronlarla etkileşip enerjilerini tümüyle veya kısmen kaybederler, bir bölümü ise hiç etkileşmeden filme dek ulaşır. Bu etkileşen ışınlarla gerçekleşen olay soğurulmadır ve malzemenin kalınlığı ile yoğunluğuna bağlıdır. Soğurulma, malzemenin atom numarasına, yoğunluğuna ve radyasyon şiddetine bağlı olarak soğurulma katsayısı ile tanımlanır. Yalnızca radyasyon şiddetinin değişmesi bile μ soğurma katsayısında değişime yol açar. Bir malzeme içinde kalınlığa bağlı olarak soğurulma sonucunda ışıının şiddetindeki değişim Eşitlik 2.3.te verilmiştir. Değişik malzemeler için farklı μ değerleri de örnek olarak gama ışınları için Tablo 2.1.de görülmektedir.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.3.)$$

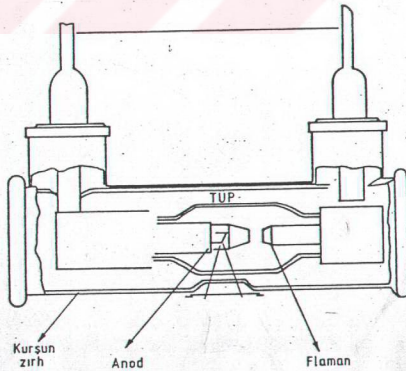
Tablo (2.1.) Gama için Doğrusal Soğurma Katsayıları [9]
[1/cm]

MeV	Mg	Al	Fe	Cu	Sn	Pb	Beton
0.1	.279	.435	2.704	3.814	11.53	59.99	.397
0.15	.235	.362	1.438	1.840	4.109	20.87	.327
0.2	.212	.324	1.085	1.313	2.211	10.16	.291
0.3	.185	.278	.833	.965	1.117	4.037	.251
0.4	.1643	.2489	.7223	.8183	.795	2.359	.2242
0.5	.1497	.2268	.6508	.7325	.6466	1.644	.2045
0.6	.1384	.2098	.5989	.6709	.5663	1.293	.1889
0.8	.1217	.1844	.5219	.5842	.4722	.9480	.1659
1.0	.1092	.1658	.4677	.5226	.4145	.7757	.1492
1.25	.1975	.1480	.4174	.4654	.3656	.6452	.1332
1.5	.0891	.1350	.3812	.4252	.3350	.5806	.1215
2	.0770	.1166	.3333	.3734	.2978	.5182	.1046
3	.0627	.0953	.2837	.3189	.2678	.4774	.0853
4	.0548	.0837	.2594	.2948	.2591	.4763	.0745
5	.0498	.0761	.2460	.2823	.2591	.4831	.0674
6	.0463	.0713	.2389	.2760	.2613	.4944	.0630
8	.0421	.0651	.2319	.2707	.2686	.5205	.0571
10	.0397	.0618	.2311	.2725	.2795	.5545	.0538

2.2.2. X-IŞINI KAYNAKLARI.

Endüstride kullanılan X-ışını cihazları ile frenleme radyasyonu tipinde X-ışınları üretilir. Bu ışınların elde edilmesi için önce hızlandırılmış bir elektron demeti belli bir bölgeye çarptırılır ve bunların yavaşlaması sırasında verdikleri enerji ışınları oluşturur.

Esas olarak X-ışını cihazlarında katotta bir flaman bulunur. Flamanın ısıtılmasıyla oluşan elektronlar, uygulanan gerilimle yönlendirilerek anot kısmını oluşturan ağır metal hedefe çarptırılırlar. Bu şekilde elektronlar hızlarını kaybederken X-ışınları üretilmiş olur. Buna Frenleme Radyasyonu veya Bremsstrahlung adı verilir.



Şekil 2.5. Tipik Bir X-ışını Cihazının Şematik Görünümü

2.3. GAMA IŞINLARI VE PRENSİPLERİ

Gama ışınları da X-ışınları gibi elektromanyetik dalgalardır. Dalga boyları aynı bölgede olup, enerjileri sert X-ışınlarının enerjisi değerlerine dek çıkar. Bazı gama ışınları 10 cm.lik kurşun kalınlığını bile geçebilirler.

Atom, çekirdek ve çevresinde dönen elektronlardan oluşur. Çekirdek ise pozitif yüklü protonlar ve elektrikçe yüksüz nötronlardan meydana gelir. Protonların sayısı atom numarası olarak bilinir ve Z ile gösterilir, proton ve nötronların toplam sayısı yani nükleonların toplam sayısı, A ile gösterilir ve kütle numarası olarak bilinir. Aynı Z 'ye fakat farklı A 'ya sahip çekirdeklere elementin izotopları denir.

Bazı izotoplar dengeli bazıları değildir. Dengesiz olanlara radyoizotop adı verilir ve radyasyon yayımlayarak dengeli duruma gelmeye çalışırlar. Radyasyon yayımlanması olarak bilinen bu olaya radyoaktif bozunma denir. Bu olay sırasında çeşitli parçacıklar yayımlanabilir. Bunlardan bir kısmı da gama fotonlarıdır ve X-ışınlarından farklı olarak çekirdekte oluşurlar.

Gama ışınları elektromanyetik radyasyon olup dalga boyları yayımlandıkları çekirdeğe yani radyoizotopa bağlıdır.

2.3.1. RADYOAKTİVİTE

Radyoaktivite, bazı atom çekirdeklerinin kendiliğinden alfa, beta ve gamma radyasyonları yayması olarak içinde bulunduğumuz yüzyılın başlarından beri bilinmektedir. İkinci Dünya Savaşı yıllarına dek doğada varolan hali dışında bilinmemekte ve çok az bulunması nedeniyle kullanımı çok zor ve pahalı durumdaydı.

Curie ve Juliot ilk olarak yapay bir radyoaktif element üretiminde başarı sağladılar [7]. Bunu izleyen yıllar boyunca giderek artan sayıda yeni radyoaktif elementler elde edildi. Fakat bunların miktarları çok az olduğu için özel uygulamalar ve laboratuvarlar dışında pek kullanılamadılar. 1945 sonrası fisyon ve nükleer reaktörler konusundaki gelişmeler sayesinde radyoaktif elementlerin istendiği miktarlar ve kabul edilebilecek maliyetlerle üretimi mümkün oldu. Bunlar doğada varolan elementlerin yapay olarak radyoizotoplar haline getirilmesiyle yapılmaktadırlar. Her birinin kendine özgü bir aktivitesi ve buna bağlı olarak ta varolan miktarının yarıya inmesine dek geçen zaman ile belirlenen bir yarılanma süresi $t_{1/2}$ vardır. Bu durum Eşitlik 2.3.-te verilmiştir (N_0 =ilk andaki çekirdek sayısı, $N(t)$ ise t 'de).

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, \quad \lambda = 0.693 / t_{1/2} \quad (2.3.), [8]$$

2.3.2. GAMA IŞINLARININ SOĞURULMASI

Gama ışınlarının madde ile etkileşim mekanizması da tıpkı X-ışınlarında olduğu gibidir. Benzer doğaya sahip fotonlar oldukları için bunlarda da fotoelektrik olay , Compton olayı ve çift oluşumu aynı biçimde görülür.

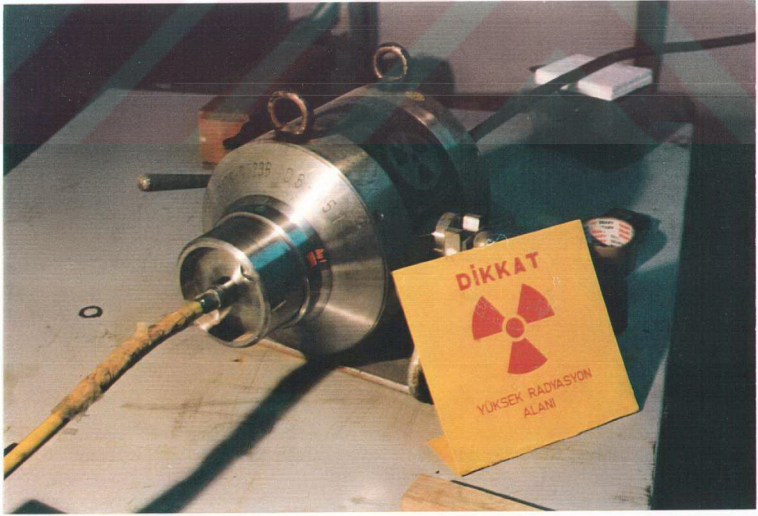
2.3.3. GAMA IŞINI KAYNAKLARI

Radyografide kullanılan gama ışını cihazları zırhlanmış bir miktar radyoizotoptan oluşurlar. Bu radyoizotop sürekli olarak radyoaktif olacağı için zırh kabının tasarımının da oldukça iyi yapılmış olması gereklidir. Genel olarak kapalı tip ve projeksiyon tipi olmak üzere belirlenen bu cihazlar ayrıca uluslararası yönetmeliklere göre sırasıyla portatif , hareketli ve sabit olarak P , M ve F harfleri ile sınıflandırılırlar.

Diğer taraftan radyasyonu yayımlayan radyoizotoplar ise doğal ve yapay olarak ikiye ayrılırlar . Doğal olanlar Radium-226 ve Radon-222 olup yarıömrüleri sırasıyla 1590 yıl ve 3.825 gündür. Radium 5-15 cm., Radon ise 5-25 cm. çelik parçaların radyografisinde kullanılır [8]. Yapay radyoizotoplar ise daha çok çeşitlidir , ama bunlardan dört tanesi oldukça önem taşır ve endüstriyel radyografik uygulamalar için uygundur .

Bunlar yarı ömürleri parantez içinde verilmiş olarak Kobalt-60 (5.3 yıl),Sezyum-137 (33 yıl) , Iridyum-192 (74 gün) ve Tulyul-170 (127 gün) olup Kobalt-60 ve Sezyum-137 dışında-
kiler ince çelik ve alüminyum parçalar için kullanılmakta-
dırlar.

Kobalt-60 ise 1.17 MeV ve 1.33 MeV enerjilerinde gama fotonları yayar ve 5-20 cm.kalınlıklar arası çelik parçaların radyografisine kullanılır . Genellikle gama kaynakları, por-
tatif olmalarından dolayı arazi çalışmalarına daha uygundur.



Şekil 2.6. Co-60 Cihazının Görünümü

3. RADYOGRAFİ

Günümüzde tıp alanından fosilbilime kadar pek çok alanda kullanılan radyografi aslında aynı metodun farklı malzemeler ve cisimler üzerinde uygulanması ile bu kadar geniş bir alanda yararlı hale gelmiştir. En önemli özelliği iç yapının iki boyutlu bir görüntüsünün film üzerinde elde edilmesini sağlamasıdır. Bu görüntü pek çok uzman açısından ilgilendikleri yapı hakkında çıplak gözle veya yüzey incelemesi ile asla ulaşamayacakları bir hassaslık ve doğrulukla , bilgi edinme demektir. Nükleer Uygulamalar'da bütün bu nedenlerle radyografi önemine uygun ve yoğun kullanılan bir teknik haline gelmiştir.

Radyografide sözkonusu olan çeşitli parçacıkların veya fotonların yayılımı ve bunların bir parça içinden geçirilmesi ile bir film üzerine gelen miktar ile orantılı olarak açığa çıkan metalik gümüş yoğunluğuna bağlı olarak oluşan görüntü yardımıyla parça iç yapısı hakkında bilgi sağlamaktır.

Böylece sözkonusu parçanın iç yapısı hakkında bilgi edinilir. Radyografide geçerli olan kurallar genellikle optik ve geometrik kurallar olup bunlardan önemli olanlar radyografik duyarlılık , yarı gölge , kaynak film uzaklığı ve görüntü kalitesidir . Bunların tek tek incelenmesi radyografinin teknik temellerini ortaya koyar.

3.1. ÇALIŞMA PARAMETRELERİ

Bölüm 3.te sözü edilen çalışma parametrelerine ek olarak söz konusu olan başka konuların da işlenmesi gerekir.Bunlardan biri saçılan radyasyonun radyografik görüntü üzerindeki etkisi olup filmde sislenmeye neden olur . Bunun için gerekli önlemlerin alınması ve kurşun filtre kullanımı gereklidir. Ayrıca belirli özelliklere sahip ekran ve kasetlerin seçimi vardır.Ekranlar kurşundan olup radyasyonu filtre etme ve gümüşü açığa çıkışını arttırma gibi etkileri bulunmaktadır. Ön ekranlar ısımayı arttırıcı,arka ekranlar ise geri saçılma ya yardım ederek film üzerindeki film yoğunluğunu arttırırlar yani film içindeki gümüşün değerlik değıştirmesi artar.Bunlardaki herhangi bir hata film üzerinde olumsuz sonuçlar yaratabilir.

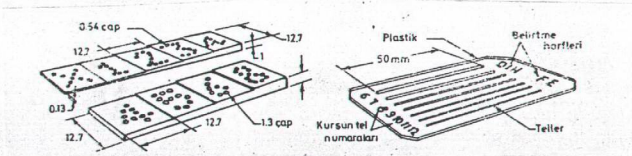
Kasetler ise konumuna göre sert veya bükülebilir olarak çeşitli boyutlardadır . Bunlar çekim geometrisine ve bölgenin büyüklüğüne göre seçilmektedir. Filmin boyutları da buna göre belirlenir ve kasetin filme tam olarak uygun olması istenir ki, çekimden önce veya yerleştirme esnasında film içinde hareket etmesin. Seçilen kaset yerleştirileceği konumda oldukça iyi bir biçimde sabitleştirilmeli ve arkası ile yanlarından istenen geometriye en yakın biçime gelmesi için desteklenmelidir. Tüm bunlar iyi bir radyograf elde etmek açısından önemlidir.

3.1.1. RADYOGRAFİK DUYARLILIK

Radyografinin etkinliği uygun bir radyografi tekniği uygulanmasına bağlıdır. Teknik metal kalınlığındaki %2 farka karşılık gelen radyasyon şiddetindeki değişimi tesbit etmelidir. Bu %2 hata tayin duyarlılığı olarak bilinir. Böylece bu değer en küçük tayin edilebilen hata boyutunun malzeme kalınlığına oranının 100 ile çarpımı olarak ifade edilir. Bu duyarlılık hatanın boyutuna , şekline , yerine ,soğurma sayısına , filmin hızına ve elde edilen görüntünün yoğunluğuna bağlıdır. Bundan dolayı, hata tayin duyarlılığını gerçek değeriyle hesap etmek mümkün değildir.

$$\text{Radyografik Duyarlılık} = \frac{\text{En küçük hata boyutu}}{\text{Malzeme Kalınlığı}} \times 100 \quad (3.1.)$$

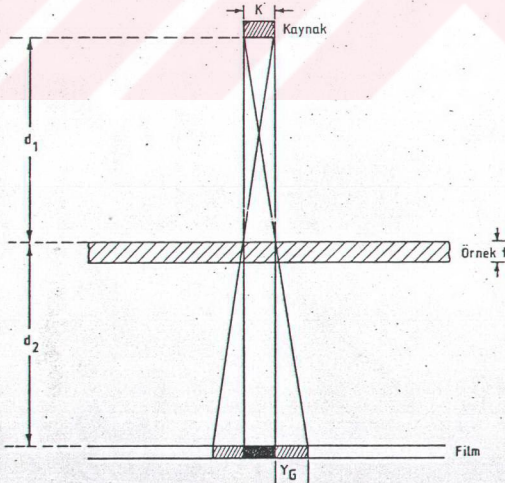
Fakat bunu , tayin etmenin yolları vardır . Görüntü kalite göstergesi (GKG) adı verilen penetremetrelerin kullanılmasıyla gerçekleştirilir . GKG radyografisi alınacak malzemenin kaynak yüzeyine konur . Radyografıta görülen en ince kalınlık veya telin boyutları duyarlılığın hesaplanmasında kullanılır [5].



Şekil 3.1. Çeşitli Görüntü Kalite Gösterge Tipleri

3.1.2. YARI GÖLGE

Radyografların kesin olması , yarı gölgeden arınmış olması hata tespitinde en önde gelen problemdir. Hızlı filmler keskinlik açısından pek iyi değildirler, zira filmi oluşturan emülsiyon tabakasının parçacıkları büyüktür ve bunlar filmde kaçınılması imkansız yarıgölge oluştururlar. Aynı şey güçlendirici ekranlar açısından da geçerlidir .Bütün bu kesinsizliklerden ortaya çıkan yarı gölgeye doğal yarı gölge adı verilir. Bunun değeri düşük enerjili X-ışınları için 0.01 mm.den Co-60 ve Cs-137 gibi radyoizotoplar için 0.3 mm.den küçük olmalıdır [10,20].



Şekil 3.2.Geometrik Yarı Gölgenin Şematik Görünümü

3.1.3. KAYNAK FİLM UZAKLIĞI

Radyografik görüntüye etki eden faktörlerden biri olan kaynak film uzaklığının tespit edilmesi için önemli olan prensipler şunlardır:

Film ile malzeme arasındaki uzaklık mümkün olduğu kadar az olmalı , hatta ikisi üst üste gelmelidir.

Minimum kaynak film uzaklığı ışınlama penceresinin boyutlarına ve malzemenin kalınlığına bağlıdır.

3.1.4. GÖRÜNTÜ KALİTESİ

Radyografide elde edilen radyografin değerlendirilmesi için , yani görüntünün kalitesinin belirlenmesi için penetre-
metreler kullanılır . Bunlar genellikle demir , bakır veya diğer metallerden yapılan tel veya basamak şeklindeki bazı yapılardır . Görüntü kalitesi kontrast , yarı gölge ve film granül boyutları olmak üzere üç faktör tarafından belirlenir. Bunlardan ilk ikisi çekim koşullarına bağlı olup sonuncusu ise filmin bir özelliğidir.

Filmin seçimi granül boyutlarının belirlenmesi anlamına gelir , sürenin değiştirilmesi,hızlı veya yavaş film kullanılması sonucu bu tür etkilerden kurtulunabilir.

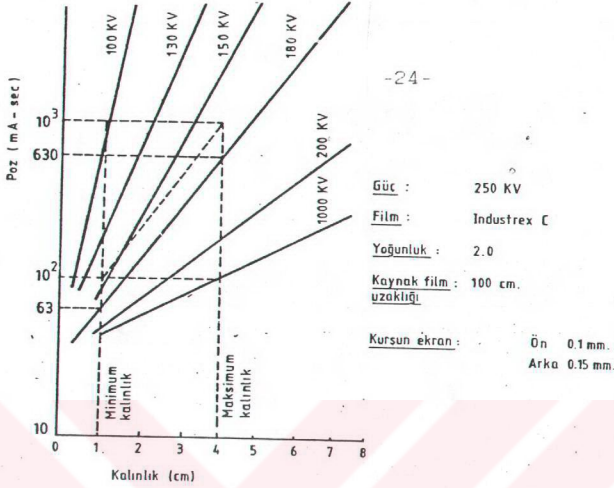
Diğer iki özellik ise kaynak ve çekim şartlarına bağlı olup kontrast radyasyon enerjisine göre değişmektedir .

3.2.İŞİNLAMA TABLOLARI

Poz tabloları malzemenin kalınlığına göre farklı radyasyon türleri ve enerjilerine bağlı olarak çizilmiş grafiklerdir . Doğru poz tabloları basit malzemeler için yapılmıştır . Normal olarak belli bir X-ışını seti veya gama ışın kaynağı için hazırlanmışlardır .

3.2.1. X-İŞİNLARI İÇİN İŞİNLAMA TABLOLARI

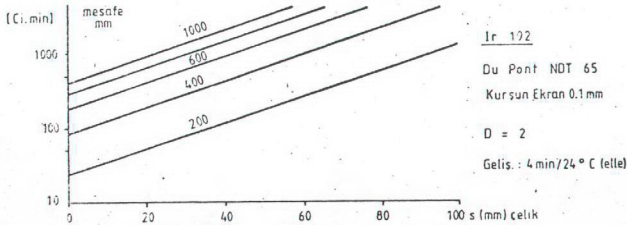
X-ışınları için poz tablosunun hazırlanmasında belli parametrelerin sabit tutulması gerekir.Bunalar ışın tüpü , film tipi ve yoğunluğu , developman , malzeme , güçlendirici ekran ve kaynak film mesafesidir.



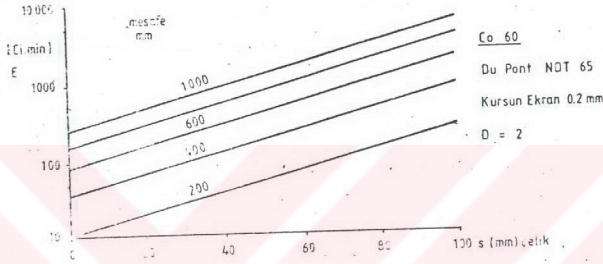
Şekil 3.3. X-ışını için Poz Eğrisi [5]

3.2.2. GAMA IŞINLARI İÇİN IŞINLAMA TABLOLARI

Ir-192 ve Co-60 gama kaynakları ile yapılan çalışmalar için hazırlanan poz eğrileri aşağıda verilmiştir [23].



Şekil 3.4. Ir-192 için Poz Eğrisi [5]



Şekil 3.5. Co-60 için Poz Eğrisi [5]

Bu poz tablolarında da

- malzeme değişikliği ,
- şiddetlendirici ekran değişikliği,
- daha farklı film yoğunluğu istenmesi,
- mesafe değişikliği,
- aktivite değişikliği, nedeniyle düzelt-

meler yapılması gerekir.

Bu düzeltmelerin daha önce poz süresi bilinen bir parçaya göre yapılarak yeni parça için gereken poz süresinin bulunması da mümkündür. Bunun için uygulanacak formülde kaynak aktivitesi , kaynak-film uzaklığı ve malzeme değişikliği nedenleri ile yapılabilecek düzeltmeler kolayca bulunur. Fakat

diğer faktörler tablolardan elde edilir. Aşağıdaki notasyonu kullanarak Eşitlik (3.1.) yazılması sonucu yeni poz süresinin değeri elde edilir [9]:

$$t' = \frac{t d'^2 I}{d^2 I'} \quad (3.1.)$$

Burada :

I = Tablodan okunan veya bilinen kaynak aktivite değeri

I' = Kullanılan kaynağın aktivite değeri

d = Tablodan okunan veya bilinen kaynak-film uzaklığı

d' = Yeni durum için kullanılan kaynak-film uzaklığı

t = Tablodan okunan veya bilinen poz süresi

t' = Yeni radyografi çekimi için gereken poz süresi

Böylece tablodan okunan değerler yardımıyla veya önceden bilinen poz süreleri ile farklı bir aktiviteye sahip diğer gama kaynağı için poz süresi bulunabilir. Düzeltme, sadece radyografisi alınan parçanın malzemesinde ve kalınlığında bir değişiklik olması halinde söz konusudur. Bu durumda malzemeler arasındaki özgül ağırlık oranı ile poz süresi çarpılır ve yeni malzeme daha hafif ise daha küçük , daha ağır ise daha büyük süreler elde edilir .Malzeme kalınlığındaki bir artış halinde kaynak-film uzaklığının yeterliliği yarı gölge açısından kontrol edilir.

4.ARA ORTAM VE İŞİNLAMA SÜRESİNE ETKİSİ

Ara ortam denilince elde edilecek olan radyografa doğru-
dan etkisi olacak biçimde kaynak ve film arasında bulunan
hava veya boşluk dışında bir ortamdan veya maddeden söz
edilmektedir. Bunun yoğunluğunun 0 g/cm^3 'ten farklı
olduğunu belirtmek önemlidir , çünkü o zaman kalınlığı ile
bağılantılı olarak bir zayıflama getireceği kolayca anlaşıl-
dığı gibi , hava ara ortamında yapıldığı gibi artık arada
varolan yoğunluğu oldukça düşük bir ortamın etkisinin yok
sayılması hali geçerli olmamaktadır [16,18].

Ara ortam radyasyonun geçişi esnasında hem bir zırhlama
yapılmışçasına miktarında azalmaya neden olacaktır , hem de
yuttuğu radyasyonun özelliklerine ve kendi kalınlığına bağlı
olarak bir ikincil ışıma ile belirli ama çok daha düşük
oranda bir artış sağlayacaktır. Bütün bu etkileri elde etmek
ve gözlemek için de ara ortamı deneysel bir biçimde radyasyon
kaynağı ile film arasına koyarak ve gerekli olan standart
film yoğunluğu için pozlandırma süresini saptayarak çekimler
yapmak gereklidir. Bu çekimlerde film yoğunluğunu daha iyi
bir şekilde ve farklı kalınlıklarda görebilmek ve elde
edilecek sonuçların kontrolünü sürekli olarak yapabilmek için
de özel olarak bu deneyler için üretilmiş penetremetreler
kullanılmaktadır [22].

Ara ortam çekim yapılan yer ve cisme bağlı olarak çeşitli malzemelerden oluşabilir . Özellikle pratikte karşılaşılan durumlar düşünülürse ; su, beton , cam , tahta , yağ veya benzeri bir ortam olabilir . Sözü edilen bütün malzemelerin özgül ağırlığı, diğer bir ifade ile yoğunluğu havaya oranla oldukça yüksek olup, bu nedenle radyasyon demetinin içlerinden geçerken etkileneceği yutulma düzeyi, fotonlar bu sırada ortam içindeki atomlarla radyografisi çekilecek parçanın içinde yapacakları türden çok fazla etkileşimle karşılaşacaklarından dolayı çok daha artmış olacaktır . Böylece asıl iç yapısı hakkında bilgi istenilen parçaya gerekenden daha az oranda radyasyon dozu ulaştığı gibi, ayrıca radyografik filmin üzerinde istenmeyen bir ortamın yapısı da bozucu etki olarak belirecektir . Burada, ara ortam varlığının ortadan yok edilmesi ilk olarak düşünülse de bu her zaman mümkün değildir ve incelenmesi gereken asıl durum da ara ortamın olmasındaki zorlukların optimum bir şekilde nasıl etkisizleştirilebileceğidir. İlk yapılması gereken poz süresinde artışa gitmektir . Bunun koşullarının ortaya konması ise ancak film yoğunluğu değişimlerinin ara ortam değişimleri ile etkileşiminin bulunmasıyla ve seçilen poz sürelerinde yalnızca ara ortam kalınlığının arttırılması ile elde edilebilir . Bu çalışmadaki amaçta bu yöntemin uygulanması ile yoğunlukla bağlantılı eğriler oluşturarak ısınlama tablolarındaki pozlandırma sürele-

rinde bunlar yardımıyla gerekli değişikliklerin yapılma biçimini belirlemeye çalışmaktır.

4.1.ARA ORTAMIN ÖZELLİKLERİ

Ara ortam koşulu aslında film ve radyasyon kaynağı arasında radyografisi elde edilecek parça dışında hava veya boşluk ortamı olması durumunda da geçerlidir. Fakat her iki halde de radyograf üzerinde etkisi belirlenebilecek bir sonuç ortaya çıkmaz.Ancak ara ortamdaki malzemenin yoğunluğu ve kalınlığı belli değerlerin üzerinde ise bir etki kendini gösterir.Söz konusu etki ampirik bağıntılar yardımıyla hesaplanabilirse de sonuçların poz sürelerine uygulanması hata paylarındaki yüksek oranlardan dolayı mümkün olmamaktadır.Bütün bu nedenlerle poz sürelerinin belirlenmesinde geçerli olacak yöntemlerin saptanmasına temel alınacak yaklaşımların ortaya konmasında deneysel sonuçlardan yararlanmak gerekmektedir.

Radyasyon ara ortam içinden geçerken başlıca iki olay gerçekleşir; soğurma ve yeniden çoğaltma . Bunlardan ilkinde radyasyonun bir kısmı yutulurken , bir kısmının da ilerleme doğrultusu değişir ve istenen yöndeki radyasyon miktarında bir azalma oluşur.Yeniden çoğaltma olayı olarak bilinen ikinci olayda ise yutulan ve bir etkileşim sonucu yönü değişen radyasyonun yitirdiğı enerjiden dolayı ortaya çıkan ikincil radyasyonun yine bu istenen yöndeki miktara katkısının olmasıdır.

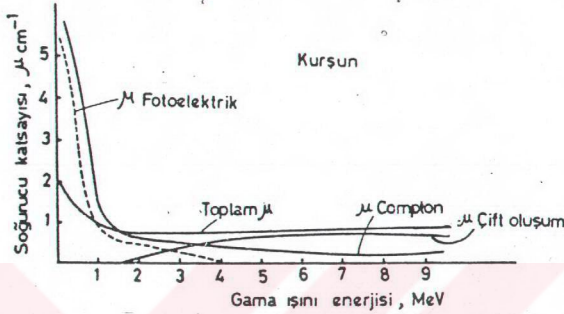
4.1.1. SOĞURMA

Soğurma bütün radyasyon türleri için geçerli olmakla birlikte , X ve gama ışınlarının radyografisinde önemli olan yalnızca fotonların soğurulmasıdır.Önceki bölümlerde her iki tür ışının madde ile etkileşme mekanizmaları incelenerek bunun fotoelektrik olay , Compton Olayı ve çift oluşumu'ndan meydana geldiği belirtilmişti.Tüm bu olayların tek tek neden oldukları radyasyon miktarlarında azalmalar yani,soğurulma etkileri vardır, ve hepsinin toplamı o ortamdaki soğurmayı verir.Soğurmanın malzeme kalınlığı ve radyasyon enerjisi ile değişimi daha önce Tablo (2.1.) ve Eşitlik (2.3.) ile verilmişti.Ortaman karışım veya bileşiklerden oluşması hali için geçerli olan durumda Eşitlik (4.1.)'de görülmektedir. Ayrıca her üç soğurma etkisini ve toplam soğurmayı veren eğrilerde Şekil (4.1.)'de gösterilmiştir [8].

$$\mu = w_1 \mu_1 + w_2 \mu_2 + w_3 \mu_3 + \dots$$

Eşitlik (4.1.)

$w_1, w_2, w_3, \dots$ her bir bileşenin ağırlık faktörünü göstermektedir , μ değerleri ise her bir bileşenin soğurma katsayılarını vermektedir [8].



Şekil 4.1. Kurşun içinde Gama Işınlarının Doğrusal Soğurma Katsayıları [8]

4.1.2. YENİDEN ÇOĞALTMA FAKTÖRÜ

İnce ortam tabakalarında etkisi ortaya çıkmayan bu özellik ,yeniden çoğaltma kısaca B (Build-Up) faktörü olarak bilinir. Nükleer reaktörlerin ve radyoizotopların zırhlama hesaplarında önemlidir , belirlenmesi de oldukça zordur [11]. Bu nedenle genellikle yaklaşık bağıntılar kullanılarak bulunur. Etkisinin ortaya çıktığı kalınlıkların ve miktarının saptanması buradaki deney düzeneği ile mümkün olmakla birlikte , asıl amaç poz süresi ile ilgili sonuçlar elde etmek olduğu için etkisinin yalnızca bu sürelerle olan azaltıcı yöndeki katkısı gözönüne alınmıştır. Özellikle 50 cm.'den daha kalın ve yoğunluğu su kadar veya daha fazla ortamlarda yeniden çoğaltmanın bir miktar etkili olması gerekmektedir. Fakat soğurmada gelen zayıflamanın yanında bunun gözlenmesi beklenmemektedir.

4.2. ARA ORTAM ETKİSİNİN SAPTANMASI

Ara ortam olarak doğadaki tüm maddeler karşımıza çıkabilir , fakat bunlardan en çok karşılaşılanlarının kullanılmasının daha doğru olduğu düşünülerek su , cam , tahta , yağ ve tuzlu su üzerinde durulmuştur. Bunların hepsinin de denenmesi aralarındaki özgül ağırlık farklarının yakın olduğu durumlarda yeniden çoğaltma faktörü etkisiyle değişik sonuçlar verebileceği düşünülmüşse de bu konuda ki bir çalışmaya bırakılmıştır. Çekimlerde çıkan sonuçlara dayanarak yeni poz sürelerinin elde edilmesinde kullanılacak eğrilerin ortaya çıkarılması istendiğinden mümkün olduğunca çok sayıda değişik ara ortam konumunda sonuç elde edilmesine çalışılmıştır.

Ara ortam durumundan kaçınmak belkide en iyisidir. Fakat bunun olamayacağı ve varolmasının daha uygun olduğu zamanlarda yapılması gerekenleri de belirlemek gereklidir. Bu nedenle ara ortamın poz süresinde yaptığı etkinin bilinmesi önemlidir. Bunun yapılabilinmesi için bir deney düzenegi düşünülp tasarlanmış ve imal edilmiştir.

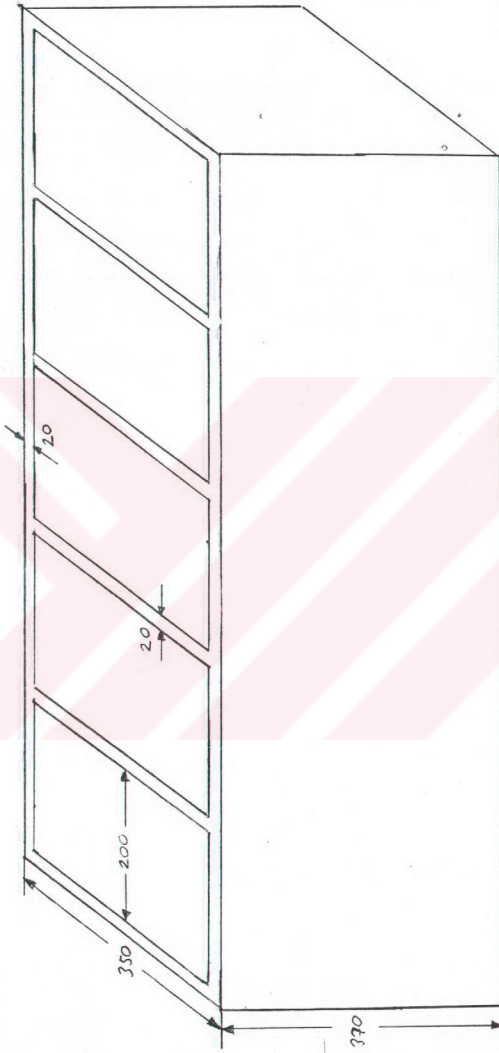
Bu etkinin belirlenmesi için yapılan sadece yapay olarak bu ortamın yaratılması ve bunun sonuçlarının film üzerinde gözlenmesi olmuştur. Bu çalışmada belli bir uzaklık ve radyasyon kaynağı için belirlenen poz süresi uygulanarak

araya konan ortamın bu film üzerinde yaptığı film yoğunluk değişiklikleri değerlendirilmiştir.

4.2.1. DENEY DÜZENİ

Deneyde kullanılan kaynaklar , filmler ve diğer ekipmanın yanında ara ortamların yerleştirilebileceği özel bir ortam kabı Şekil (4.2.)'de görüldüğü gibi döküm plastikten imal ettirilerek sıvı kullanımına uygunluğu açısından silikon kökenli bir jelle sızdırmazlığı sağlanmıştır. Ölçüleri Şekil (4.2.)'de verildiği gibi olup ara ortam için düşünülen yerleşim bölümleri 20 cm.lik kalınlıklar halinde 5 adettir. Kabın et kalınlıkları 2 cm. ve derinliği iç kısımda 33.5 cm.dir. Kullanım esnasında ve üzerine yerleştirildiği sehpa ile görünümü sırasıyla Şekil (4.3.) ve Şekil (4.4.)'te görülmektedir.

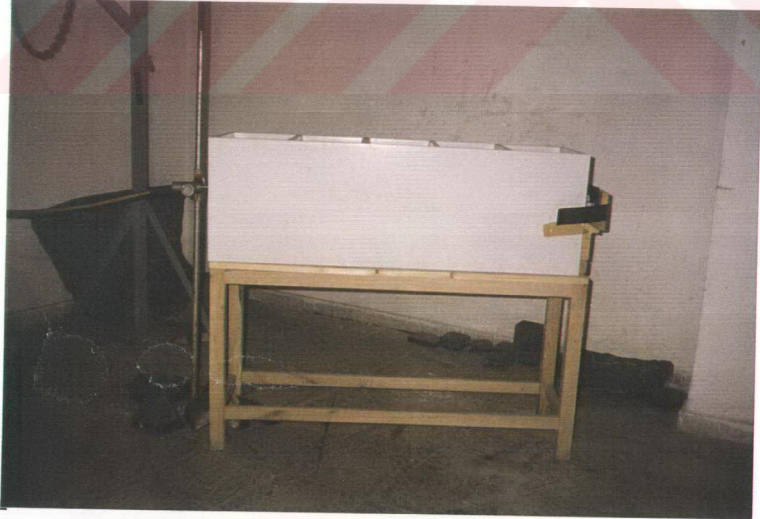
Deneyin tüm ekipmanı buna ek olarak X ve gama ışın kaynakları , farklı ara ortamlar , basamaklı parçalar ve filmlerin değerlendirmesinin gerçekleştirildiği film yoğunluk ölçerden oluşmaktadır.



Şekil 4.2. Deney Ara Ortam Kabı (Teknik Çizim)



Şekil 4.3. Ara Ortam Kabı (Çekim Esnasında)



Şekil 4.4. Ara Ortam Kabı

4.2.2. KULLANILAN ORTAMLAR

Çekimlerin tümünde su , cam ve tahta ortamları kullanılmıştır. Bunların özgül ağırlık , yani yoğunluk değerleri aşağıda Tablo (4.1.)'de verilmiş olup Şekil (4.5.)'te cam ve tahtanın kullanılan biçimleri görülmektedir.

Tahta (Çam)	0.5 g /cm^3
Su	1 g /cm^3
Cam	2.7 g /cm^3

Tablo (4.1.) Ara Ortamların Yoğunluk Değerleri [14]



Şekil (4.5.) Cam ve Tahta Ara Ortamlar

4.2.3. KULLANILAN IŞIN KAYNAKLARI VE POZ SÜRELERİ

Işın kaynağı olarak 300 kV ve 5 mA anma değerlerine sahip bir X-ışını kaynağı ile 15 Ci'lik bir Co-60 gama kaynağı kullanılmıştır. Bu kaynaklarla radyografik çekim işlemi yapılan tüm filmler liste halinde, ara ortam değerleri ve X-ışını kaynağı için uygulanan gerilim değerleri ile birlikte Tablo (4.2.)'da verilmiştir [19]. Süre belirlenmesi film yoğunluk değerleri normalin üzerinde olacak biçimde yapılmıştır.

Tablo (4.2.) Deney Süresince Yapılan Radyografik

Çekimler:

Co-60 ile :	Fe	Al
Poz Süresi:	30 dak	20 dak
Ara Ortam :	Yok	Yok
	Su 20 cm	Su 20 cm
	Su 40 cm	Su 40 cm
	Su 60 cm	Su 60 cm
	Su 80 cm	Su 80 cm
	Su 100 cm	Su 100 cm
	Cam 7.2 cm	Cam 7.2 cm
	Cam 14.4 cm	Cam 14.4 cm
	Cam 21.6 cm	Cam 21.6 cm
	Tahta 20 cm	Tahta 20 cm
	Tahta 40 cm	Tahta 40 cm
	Tahta 60 cm	Tahta 60 cm

Tablo 4.2. (Devam)

X-ışını kaynağı ile:	Fe	Al
Işınlama Değeri:	Ortam/Süre	Ortam/Süre
100 kV 3.5 mA	-	Yok / 5 dak.
	-	Su 20 cm/ 5 dak.
150 kV 3 mA	-	Yok / 3.5 dak.
	-	Su 20 cm/ 3.5 dak.
	-	Su 40 cm/ 3.5 dak.
	-	Cam 6 cm / 3.5 dak.
	-	Cam 12 cm/ 3.5 dak.
200 kV 1 mA	-	Yok / 3.5 dak.
	-	Su 20 cm/ 3.5 dak.
	-	Su 40 cm/ 3.5 dak.
	-	Cam 6 cm / 3.5 dak.
	-	Cam 12 cm/ 3.5 dak.
	-	Cam 18 cm/ 3.5 dak.
250 kV 1 mA	-	Yok / 1.5 dak.
	-	Su 20 cm/ 1.5 dak.
	-	Cam 3 cm/ 1.5 dak.
	-	Cam 6 cm/ 1.5 dak.
	-	Cam 9 cm/ 1.5 dak.
275 kV 3 mA	Yok / 2.5 dak.	-
	Su 20 cm/ 2.5 dak.	-

4.2.4. KULLANILAN FİLMLER VE EKRANLAR

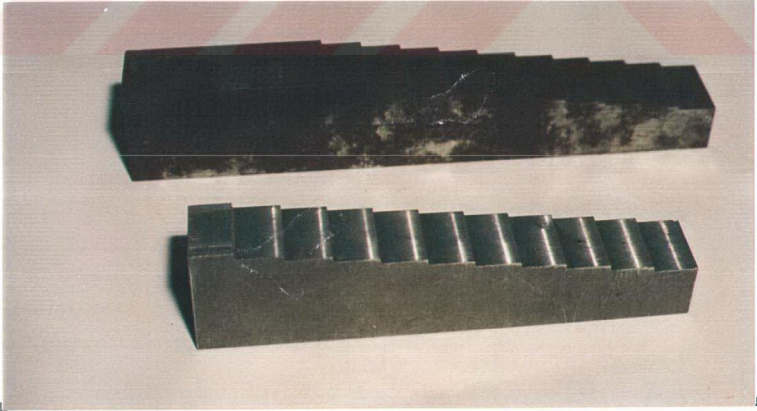
Deney süresince orta hızlı filmlerden olan Agfa firmasının ürettiği D7 tipindeki Structurix filmi kullanılmıştır. Yerleştirmede kolaylık sağlaması açısından esnek kasetler seçilerek filmin ön ve arka kısımları için 0.125 μ m'lik kurşun ekran kullanılmıştır. Filmlerin banyo işlemi standart biçimde yapılmıştır.

Filmlerin seçimi de oldukça dikkatle yapılması gereken bir konudur, çünkü poz süresini arttırmanın ve radyasyon kaynağının aktivitesini veya X-ışını tübünün anma gerilimini yükseltmenin dışında azalan foton miktarına karşın yeterli sonuç alabilmek için hızlı film de bir seçenek olarak düşünülebilir [15]. Gerçekte filmin hızlandırılmasının karşılığı radyograf kalitesinin azalarak yarı gölgenin artması ve bazı bölgelerin bulanıklaşmasıdır. Bu nedenlerden filmin hızının belli bir değerden fazla olmaması veya diğer bir ifade ile film gren boyutunun istenen bir değerden büyük olmaması tercih edilmektedir [17,21].

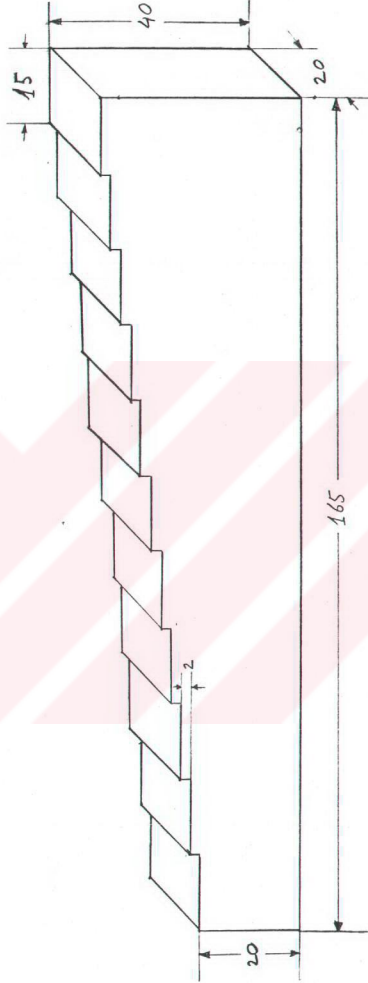
Kullanılan Structurix D7 filmi istenen film gren hassaslığını sağlamakta ve film yoğunluk değerleri gereken doğrulukla okunabilmektedir [23].

4.2.5. BASAMAKLI PARÇALAR

Yapılacak değerlendirmelerin hepsinde bir referans değer elde edilebilmesinin mümkün olması ancak çeşitli parça kalınlıklarında film yoğunluğunun bilinmesi sayesinde mümkündür. Bu da ancak basamaklı parçalarla sağlanan bir sonuçtur. Benzerleri basamaklı penetremetre adıyla çeşitli çekimlerde kalite göstergesi olarak kullanılan parçalardan bu nedenle alüminyum ve yumuşak çelikten olmak üzere iki adet rettirilerek , bunların örnek referans parçaları olarak çekimleri yapılmıştır. Basamak adımları parça kalınlığının en düşük değerinin 10'da biri olan 2 mm. olup her iki parçanın da görünümleri ve teknik çizimleri sırasıyla şekil (4.6.) ve şekil (4.7.)'de yer almaktadır.



şekil (4.6.) Basamaklı Parçalar



Şekil 4.7. Basamaklı Parçalar (Teknik Çizim)

4.2.5. FİLM YOĞUNLUK ÖLÇER VE FİLM YOĞUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada gerçekleştirilen çekimlerde elde edilen filmlerin değerlendirilmesi Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'nda bulunan film yoğunluk ölçme cihazı ile yapılmıştır. Bu cihaz Şekil (4.8.)'da görülmektedir ve Victoreen Firması üretimi optik yoğunluk ölçen dijital göstergeli olup 5 farklı değere sahip bir ayar filmi yardımıyla gerektiğinde kullanım öncesi ayarlanması mümkün olmaktadır. Ölçümler esnasında bir ayar referansı gerekmektedir, normal olarak bunun için her 5 adımda da referans değerlere en yakın durumu sağlayan ayar seçilmelidir. Fakat en ortadaki 3. adıma denk düşen 1.93 yoğunluğunun sabit olarak alınması genel bir dağılım açısından yeterli görülmüştür. Filmlerin değerlendirilmesindeki en önemli zorluk okunacak değer sayısının fazlalığı ve okunacak noktaların konumlarının dağılımının doğru seçilmesidir. Bütün bunlar da bir şablon kullanımı ve her istenen bölgeden belirli sayıda okuma yapılması ile gerçekleştirilmiştir [15].

Film yoğunluğu D, tanım olarak filmin üzerine düşen ışık şiddetinin filmden geçen ışık şiddetine oranının logaritmasıdır ve Eşitlik (4.2.)'de ifadesi verilmiştir [9]. Aslında film yoğunluğu film içinden geçen fotonların filmde etkiledikleri taneciklerin gelen ve filmden geçen foton miktarının

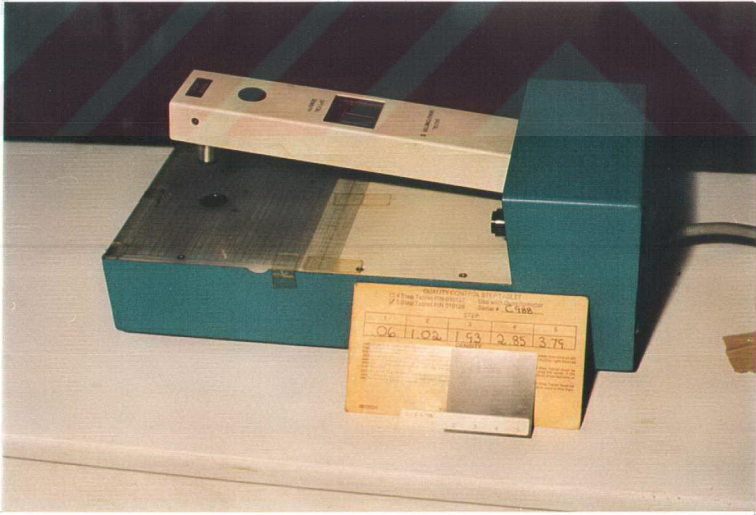
logaritmasına bağılı olarak sayıdır ve zamana bağılıdır. Poz süresi olarak tarif edilen zamanla, film yoğunluğu arasında Eşitlik (4.2.) deki ilişki vardır.

$$D = \log \frac{J_0}{J} \quad \text{Eşitlik (4.2.)}$$

Burada D = Film Yoğunluğu

J_0 = Filme Gelen Işık Şiddeti

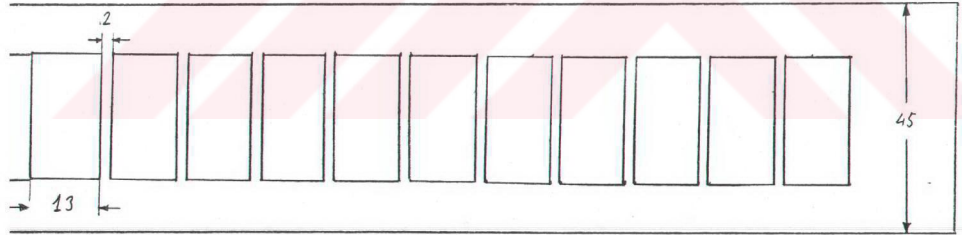
J = Filmden Geçen Işık Şiddeti'dir.



Şekil 4.8. Film Yoğunluk Ölçer

4.2.6.1. OKUMA ŞABLONU

Filmler Üzerindeki basamakların yerlerinin okuma esnasında en kesin bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bunun sağlanmasın da ise filmin negatoskop altında kontrolü, basamakların yerlerinin film yoğunluk ölçerle görülebilmesinde bir şablonun kullanılması yardımcı olmuştur. Bu okuma şablonu Şekil (4.9.)'da görülmektedir.



Şekil 4.9. Okuma Şablonu

4.2.6.2. ÖLÇME YÖNTEMİ

Normal olarak bir radyografin film yoğunluğu ölçüldüğünde değişik bölgelerden 6 değer alınarak bunların ortalaması bulunmaktadır. Bir yoğunluk dağılımı elde edilmek istendiğinde ise doğal olarak çok daha fazla değer okunması gerekmektedir. Yeterli olan sayı her bir basamakta tüm bir film için alınan 6 noktanın yarısı olarak düşünüldüğünde bile tek bir yanlış değer eldekilerin $1/3$ 'ünü oluşturmaktadır. Bu nedenle her basamakta 5 okuma yapılarak en yüksek ve en düşük değerlerin elenmesi ile kalan 3 film yoğunluğu değerinin ortalamasının alınması en uygun seçenek olarak görülmektedir. Böylece her bir radyografin güvenilir bir biçimde değerlendirilmesi ve film yoğunluklarının okunmasının hatasız olarak yapılması sağlanmaktadır.

Değerlendirme sonucunda pozlandırılmamış örnek filmlerde yoğunluk ortalaması 0.01 ve tümüyle ışık almış filmlerde aynı ortalama 6.86 olarak bulunmuştur. Okuma sırasında saptanan değerlerin alt ve üst sınırları eğrilerde verilmiş olup, her film yoğunluğunun toleransı ± 0.02 kadardır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma da radyasyon kaynağı ile birarada bulunan parça ve filmin arasında bir ara ortamın varlığı halinde değişmeyen poz süreleri için film yoğunluğundaki değişimler incelenmiş ve buradan pratik uygulamalar açısından bir sonuç elde edilmesine çalışılmıştır. Yapılan çeşitli radyografi çekimleri sonucunda ara ortamın havadan yoğunlukça daha ağır olması durumunda aynı poz sürelerinde film üzerinde etkilenen tanecik sayısının filme ulaşan radyasyon miktarında ara ortamdaki soğurulma nedeniyle oluşan azalmaya bağlı olarak azaldığı ve bu etkinin beklendiği gibi ara ortamın kalınlık ve yoğunluk değerlerinin artması ile arttığı görülmüştür. Böylece ara ortamın olduğu koşullarda yapılan radyografik çekimlerde filmlerin üzerindeki film yoğunluğu değerleri ara ortamın olmaması haline göre daha düşük çıkmıştır, bulunan film yoğunluğu değerleri ile poz sürelerinde yapılması gerekli artışların hesaplanması mümkün olmaktadır. Fakat gözlemlenen diğer bir sonuç, basamaklı parçalar üzerindeki en ince ve en kalın kısımların arasındaki film yoğunluk farkının ara ortamda radyasyonun soğurulmasına bağlı olarak oluşan zayıflama arttıkça azaldığı olmuştur. Film yoğunluk farkında ortaya çıkan bu azalmanın nedeni basamaklı parçadaki radyasyon zayıflamasının, ara ortamdan kaynaklanan zayıflamaya göre daha az olması, kalınlık farkının azlığı ve ara ortam kökenli zayıflama bile-

şenlerinin etkisinin daha baskın olmasıdır. Poz süresinin arttırılması halinde bile burada görülen en ince ve en kalın basamaklar arasındaki film yoğunluk farkı çok fazla değişmeyeceğinden, ortalama parça kalınlığına bağlı olan ve ara ortam kalınlığının buna göre izin verilebileceği en üst değeri veren bir sınırlama böylece ortaya çıkmaktadır. Doğal olarak bunun yalnızca ara ortam kalınlığına değil, ara ortamın özgül ağırlığı ile kalınlığının çarpımı olan yoğunluk kalınlığına bağlı olması beklenmektedir. Deneyde elde edilen sonuçlarda X-ışınlarının 250 kV ve daha düşük enerjiler için 20 cm. kalınlığındaki su ortamının bile anlamlı bir radyografin çekilmesini engellediği görülmüştür. Benzer sonuçlar yaklaşık aynı kalınlık yoğunluğunu veren 9 cm. ve daha fazla kalınlıktaki cam ara ortamlar için de gözlenmiştir. X-ışınları ile düşünülen bazı deneysel uygulamaların yapılması aşırı uzun poz sürelerinin bulunmasından dolayı gerçekleştirilememiştir. Ara ortam kalınlığının belirli bir değerden fazla olması halinde değerlendirilmesi anlamlı olmayacak kadar film yoğunluğu düşük radyograflar elde edildiğinden dolayı az sayıdaki deney sonucu da gözönüne alınmamıştır.

Gama ışınları ise, enerjilerinin yüksek olmaları nedeniyle daha kalın parçalara uygulanabildikleri gibi daha kalın ara ortamlarda da iyi sonuçlar vermişlerdir. Gama ışınları ile yapılan radyografik çekimlerde 80 cm.'ye dek su , 21.6 cm.'ye

dek cam ve 100 cm.'ye dek tahta için değerlendirilebilir filmler elde edilmiştir. Gama kaynakları portatiflikleri ve poz sürelerinin enerjileri nedeniyle daha az olmasından , özellikle ara ortam durumlarının labratuvar dışında bulunma koşulları düşünüldüğünde çok daha avantajlıdırler. Ayrıca gama ışınlarının daha fazla kalınlıklara sahip parçalarda kullanılabilmesi de çok önemlidir. Çünkü , ara ortam etkisi parçanın öz kalınlığını arttıran farklı malzemeden diğer bir parça gibi alınarak , ara ortamın yoğunluğu parça yoğunluğu cinsinden bulunup eşdeğer bir parça kalınlığı tanımı ile poz süresi bulunduğunda , bu süre ile çekilen radyograf yeterince iyi bir görüntü verecektir. Radyasyon kaynağının kullanıldığı en yüksek parça kalınlığı burada ara ortama bağımlı olmakta ve giricilik özelliğinin bir bölümünün ara ortamda kaybolması nedeniyle azalmaktadır.

Radyografisi çekilecek parçaların yoğunluklarına bağlı olarak anlamlı sonuçlar alınabilecek ara ortam yoğunluk kalınlığı da sınırlıdır ve film yoğunluğu değerlerinin okunması sonucunda bunun Co-60 gama ışınları için parçanın ortalama kalınlık yoğunluğunun 3 katından biraz daha fazla bir değer olduğu görülmüştür. Ayrıca ara ortamın yoğunluğunun da radyografisi çekilecek parçanın yoğunluğundan daha az olması gerekmektedir.

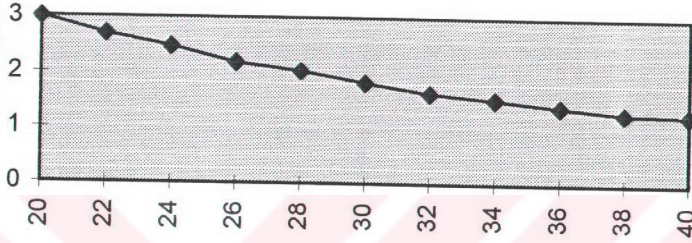
Poz sürelerinde yapılması gereken değişiklikler için ,

bu sürenin parça kalınlığına ara ortam yoğunluk kalınlığının da eklenmesiyle hesaplanması , sınırlamaların gözönüne alınarak kaynak seçiminin buna göre yapılması ve gerekirse çok uzun sürelerde filmin hızının poz süresini azaltmak için yüksek seçilmesi önerilebilir.

Filmin değerlendirilmesinde ara ortamdan doğan homojen dağılımlı bir film kararmasının varlığının tüm yüzey için geçerli olduğunun unutulmaması gerekmektedir.

Sonuç olarak yapılan çalışma ile pratik uygulamalarda sıklıkla karşılaşılan ara ortam durumlarının labratuvar koşullarında değerlendirilmesine ve bu konuda elde edilen sonuçların yorumlanarak bilimsel anlamda değerlendirilmesine çalışılmıştır. Gelecekte benzer yöntemlerle radyasyon miktarının yarıya indiği yarı-kalınlık ve yeniden çoğaltma faktörünün hesaplanmasına yarayacak ölçümlerin de bu yöntemlerle yapılabileceği düşünülmektedir.

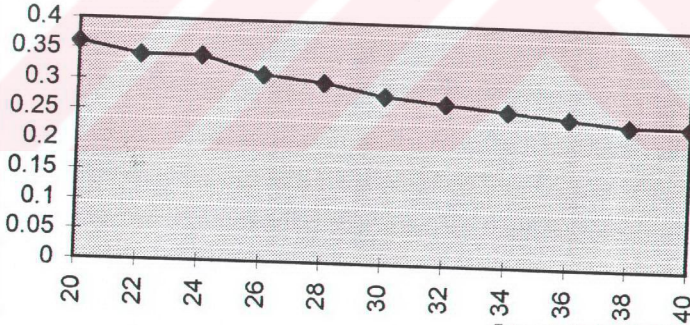
Film Yoğunluğu (D)



Ara Ortam Yok

Parça Kalınlığı [mm]

Film Yoğunluğu (D)



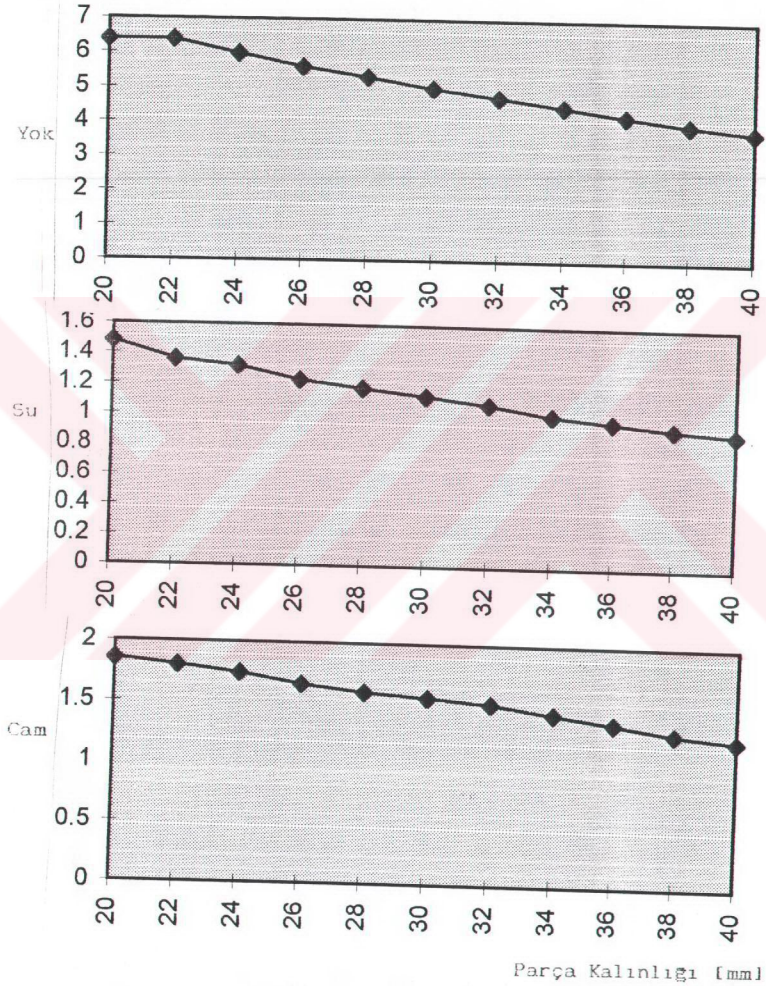
Ara Ortam Su

Parça Kalınlığı [mm]

Şekil I.1. 100 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri (Al için)

Kaynak-Film Mesafesi = 55 cm. Poz : 17.5 mA-dak

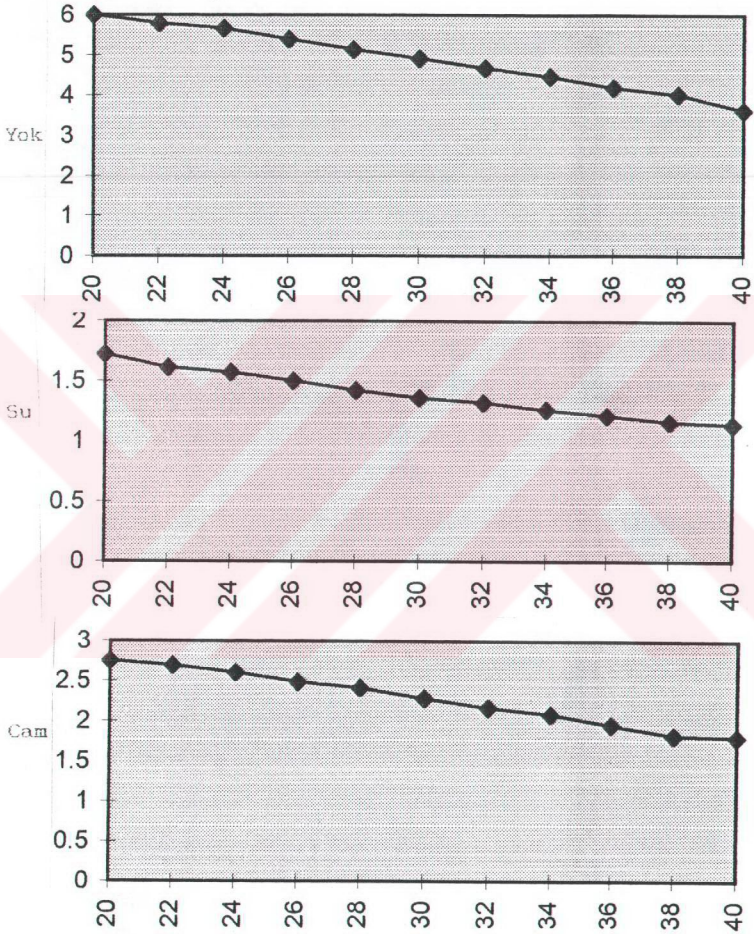
Film Yoğunluğu (D)



Şekil 1.2 . 150 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri (Al için)

Kaynak-Film Mesafesi = 55 cm. Poz : 10.5 mA-dak

Film Yoğunluğu (D)

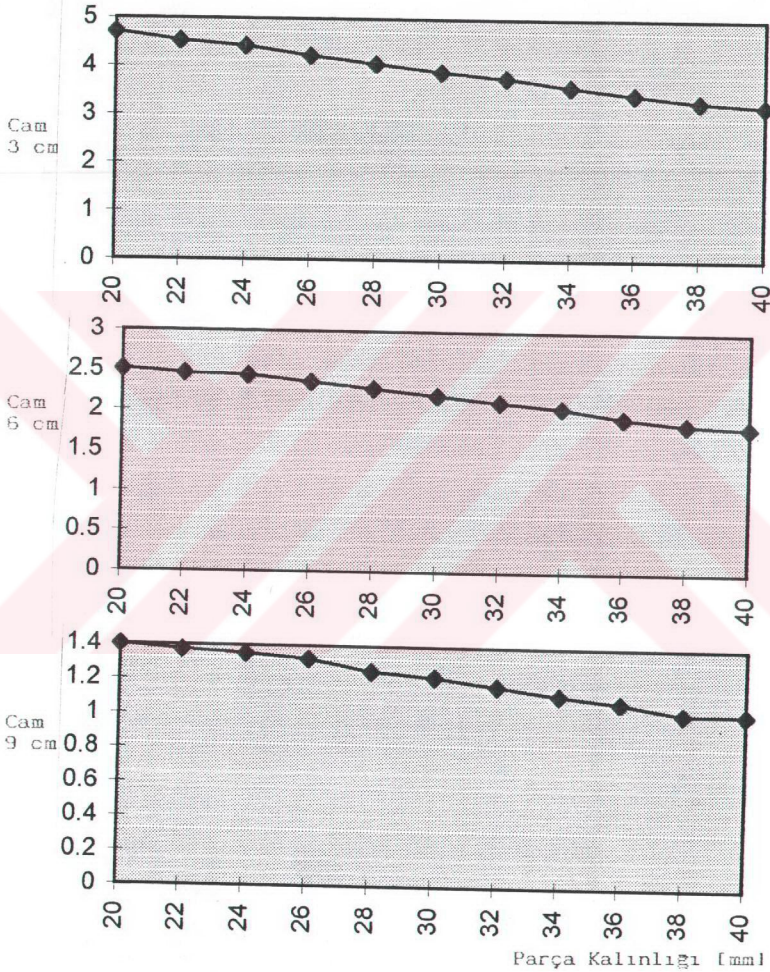


Parça Kalınlığı [mm]

Şekil 1.3. 200 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri (Al için)

Kaynak-Film Mesafesi = 55 cm. Poz : 4.5 mA-dak

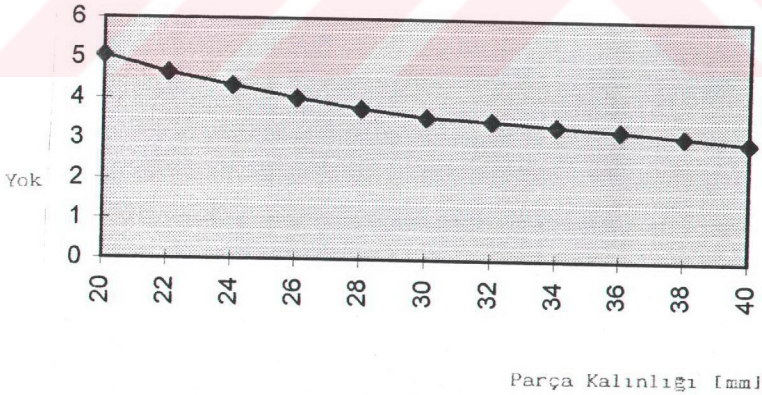
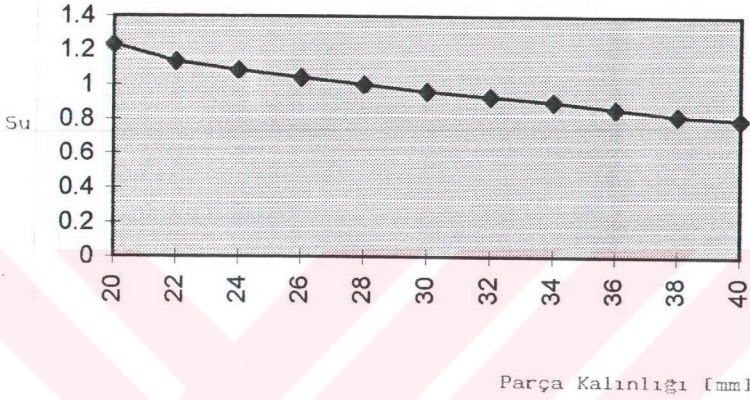
Film Yoğunluğu (D)



Şekil I.4. 250 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri (Al için)

Kaynak-Film Mesafesi = 55 cm. Poz : 2.5 mA-dak

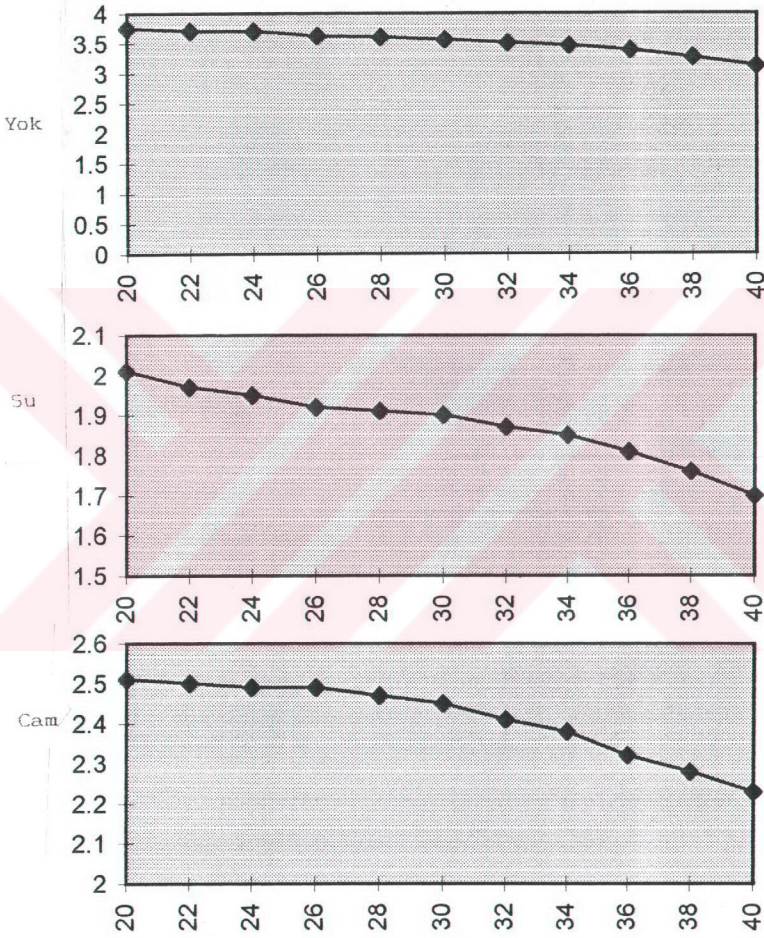
Film Yoğunluğu (D)



Şekil 1.5. 275 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri (Fe için)

Kaynak-Film Mesafesi = 55 cm. Poz : 7 mA-dak

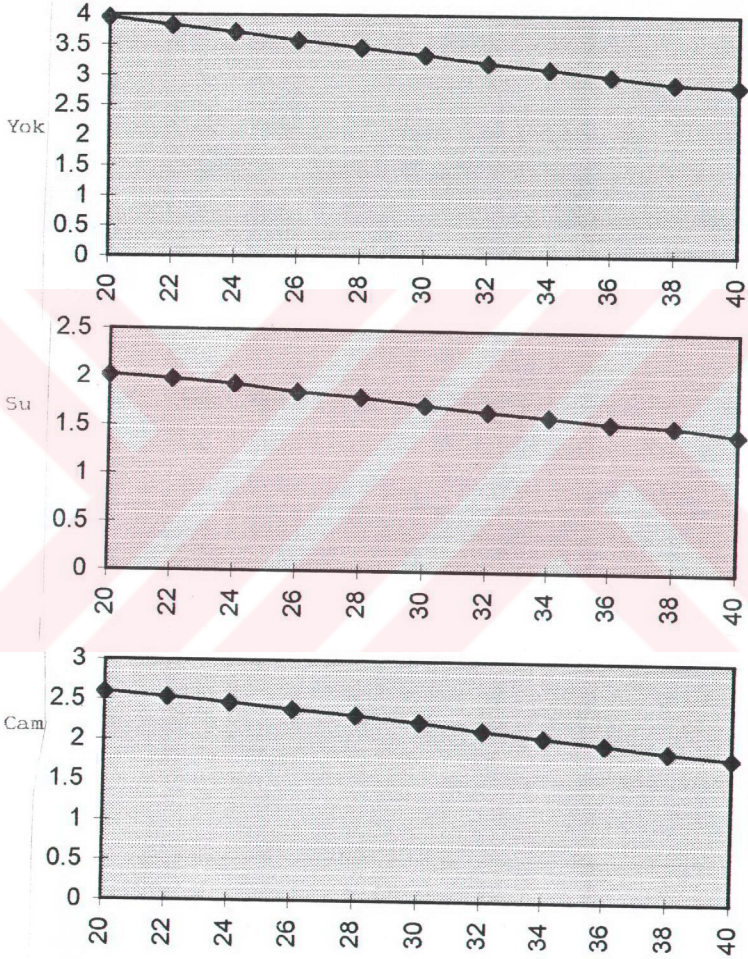
Film Yoğunluğu (D)



Şekil 1.6. Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri (Al için)

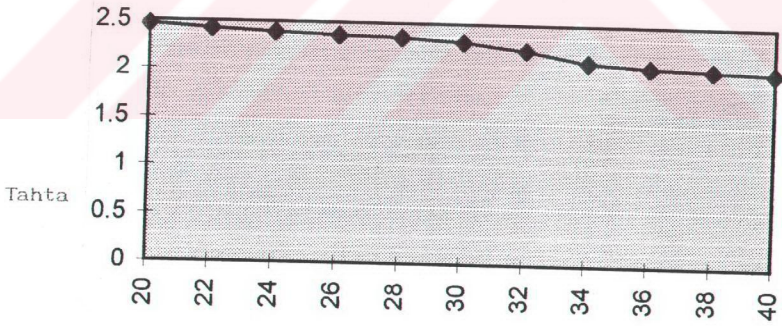
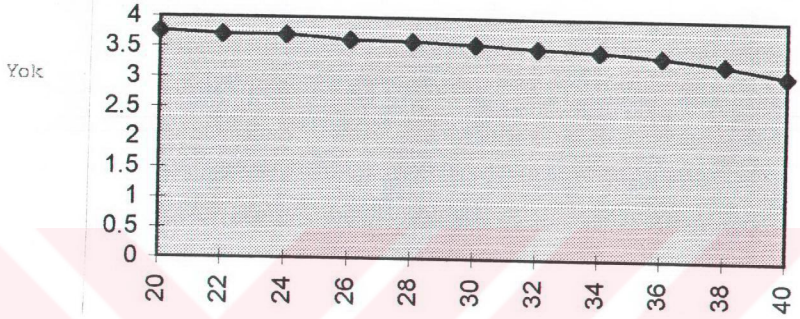
Kaynak-Film Mesafesi = 116 cm. Poz : 21.5 dak

Film Yoğunluğu (D)



Şekil 1.7. Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri (Fe için)

Kaynak-Film Mesafesi = 116 cm. Poz : 32.5 dak

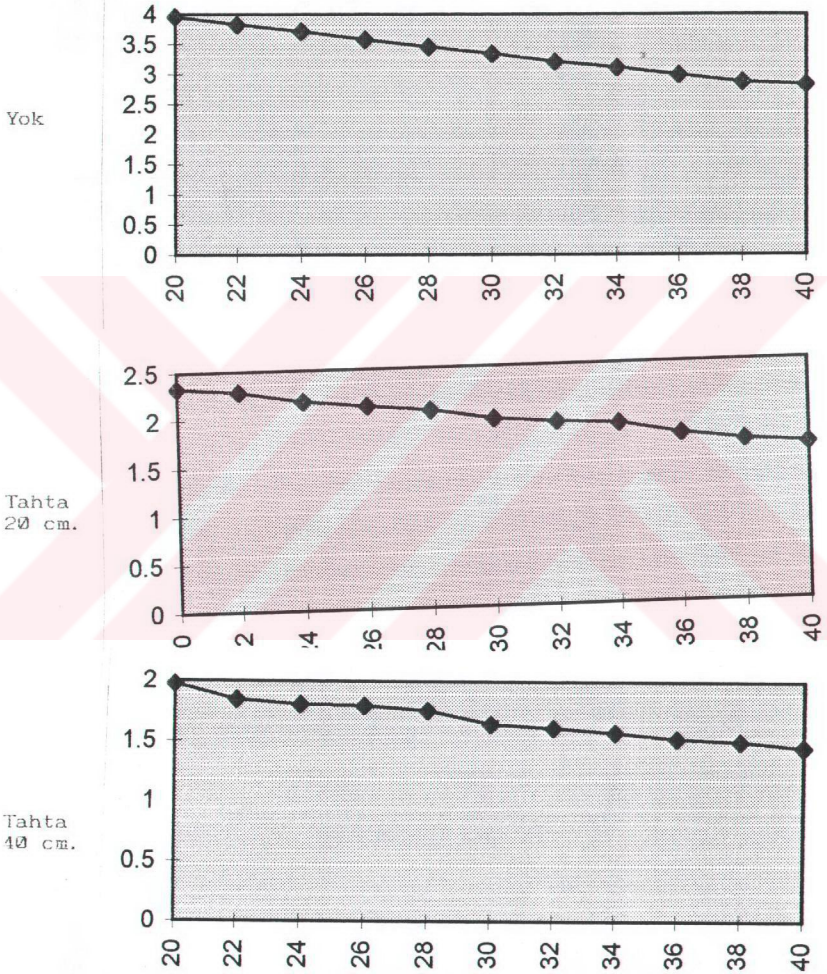


Parça Kalınlığı [mm]

Şekil I.8. Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri (Al için)

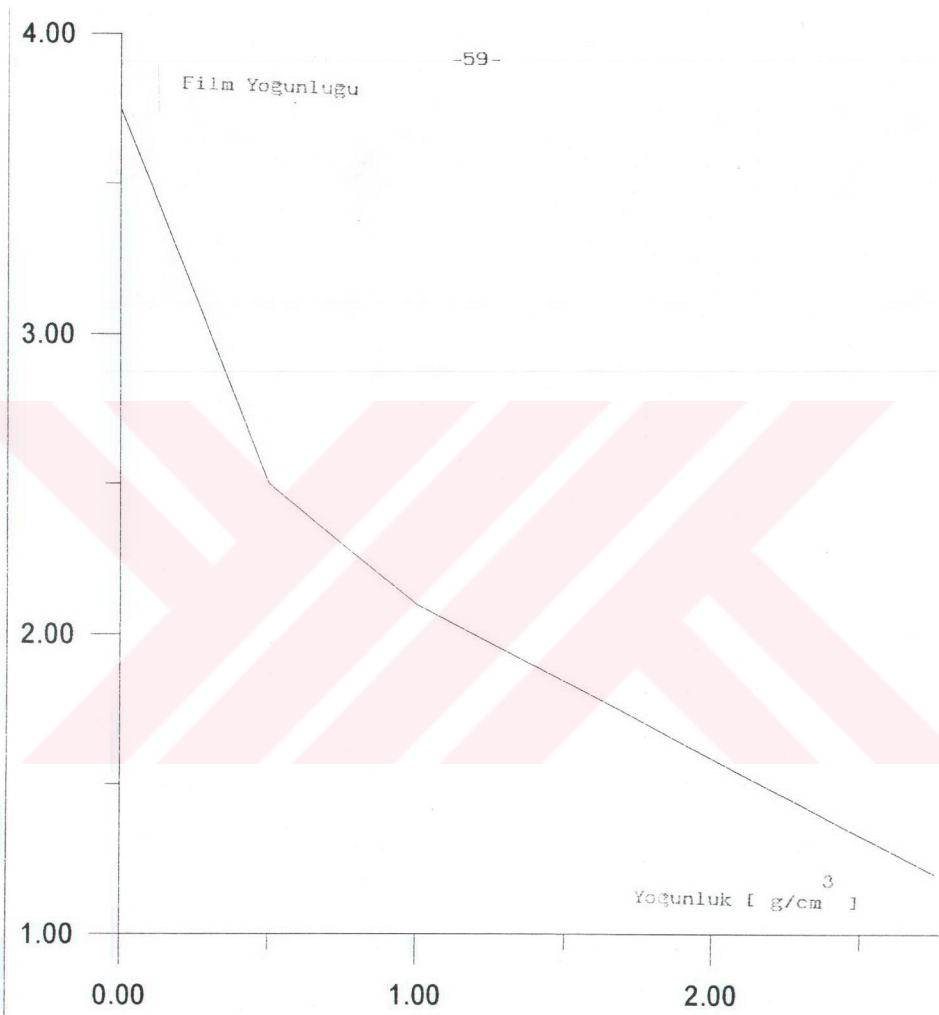
Kaynak-Film Mesafesi = 116 cm. Poz : 21.5 dak

Film Yoğunluğu (D)



Şekil I.9. Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri (Fe için)

Kaynak-Film Mesafesi = 116 cm. Poz : 32.5 dak



Şekil 1.10. Ara Ortam Yoğunluklarına Göre Eşit Kalınlıklarda Film Yoğunluk Değerleri
(Co-60 Kaynağı ile 20 cm. Ara Ortam için)
Parça Kalınlığı = 2 cm. Poz Süresi = 21.5 dak.
Kaynak-Film Mesafesi = 116 cm. (Al için)

KAYNAKLAR:

- [1] HARBECK, G., GREHN, J., HOLZ, Dr. H., Physik Oberstufe, Vieweg, 1972.
- [2] FINK, D.G., CHRISTIANSEN, D., Electronics Engineers' Handbook, McGraw Hill, 1982.
- [3] AYGUN, E., ZENGİN, M., Kuantum Fizigi, A.Ü.Fen Fak. Fiz.Böl., 1992.
- [4] TAPTIK, Y., Hasarsız İç Yapı Analizlerinin Teorik İlkeleri, Yüksek Lisans Ders Notu, İ.T.Ü. Metalürji Fak., 1990.
- [5] BİLGE, A.N., TUĞRUL, B., Endüstriyel Radyografinin Esasları, İ.T.Ü., 1990.
- [6] RADIOGRAPHY IN MODERN INDUSTRY, Eastman Kodak Co. Rochester New York, 1980.
- [7] CHRISTEN, H.R., Einführung In Die Chemie, Moritz Diesterweg-Otto Salle, 1984.
- [8] BİLGE, A.N., Endüstride Nükleer Teknikler, İ.T.Ü., 1991.
- [9] BÜYÜKYÜKSEL, S., Evaluation of Gammagraphy for Different Materials, Boğaziçi Uni.Yüksek Lisans Tezi, 1984.
- [10] METALL HANDBOOK VOL.11, Nondestructive Inspection and Quality Control, pp. 105-135, 1976.
- [11] AYBERS, N., BAYÜLKEN, A., Nükleer Reaktör Güvenliği İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü Nükleer Teknoloji A.B.D., 1992.
- [12] ÖNAL, H., Mikroradyografi ve Mikro Odaklı Radyografi, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 1993.
- [13] ANIK, S., Endüstriyel Radyografi El Kitabı, İ.T.Ü., 1970.

- [14] SIEBER, H., Mathematische Tafeln, Ernst Klett, 1979.
- [15] BUECHLER, D.W., Real Time Radiography for Electronic Reliability Assessment., Materials Evaluation, Vol. 45, pp. 1326-1329, 1987.
- [16] MUNRO, J.J., CATHLEEN, M.R., An Assessment of Attainable Sensitivity in the Radiographic Examination of Liquid Filled Tubular Objects Using Radionuclide Sources, 11th World Conference on NDT, Vol.2, pp. 512-519, 1985.
- [17] DOMANUS, J.C., Sensitometric Properties and Image Quality of Radiographic Film and Paper, 11th World Conference on NDT, Vol.2, pp. 520-527, 1985.
- [18] NIEHUES, F., COEN, G., KRETSCHMER, R., Radiographic Inspection of Prestressed Concrete up to 1600 mm. Wall Thickness Using a 9 MeV Linear Accelerator, 11th World Conference on NDT, Vol.2, pp. 528-534, 1985.
- [19] DOMANUS, J.C., Radiographic Constant Exposure Technique, Materialprüfung, 27, No.1/2, Jan./Febr., pp. 15-18, 1985.
- [20] NON-DESTRUCTIVE TESTING HANDBOOK, American Society for Non-Destructive Testing, 1985.
- [21] ISO RECOMMENDATION R 1027, Radiographic Image Quality Indicators, Principles and Identification.
- [22] DOMANUS, J.C., EL FOULY, H.M., ASTM Penetrameters in Paper Radiography, Paper B-6, 2.European Conference on Non-Destructive Testing, 1981.
- [23] KODAK, STRUCTURIX Exposure Tables, 1992.

EK I. FİLM YOĞUNLUK DEĞERLERİ

Tablo I.1a. 100 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk
Değerleri (Al)

Parça Kalınlığı [mm]											
Ara Ortam	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
YOK	2.99	2.69	2.46	2.18	2.03	1.82	1.63	1.52	1.40	1.28	1.26
SU											
20 cm.	0.36	0.34	0.34	0.31	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24

Tablo 1.2a. 150 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk Değerleri (Al)

Ara Ortam	Parça Kalınlığı [mm]										
	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
YOK	6.38	6.38	5.98	5.61	5.32	5.00	4.74	4.48	4.22	3.98	3.80
SU											
20cm.	1.48	1.36	1.32	1.23	1.18	1.13	1.08	1.01	0.97	0.93	0.90
CAM											
6cm.	1.85	1.80	1.74	1.65	1.59	1.55	1.51	1.43	1.36	1.28	1.23

Tablo I.3a. 200 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk
Değerleri (Al)

Parça Kalınlığı [mm]											
Ara Ortam	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
YOK	5.99	5.79	5.66	5.39	5.13	4.91	4.68	4.46	4.18	4.01	3.62
SU 20cm.	1.72	1.61	1.57	1.50	1.42	1.36	1.32	1.26	1.21	1.16	1.14
CAM 6cm.	2.75	2.69	2.60	2.48	2.41	2.28	2.16	2.08	1.95	1.82	1.80

Tablo I.4a. 250 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk
Değerleri (Al)

Parça Kalınlığı [mm]											
Ara Ortam	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
SU											
20cm.	3.21	3.07	2.92	2.76	2.61	2.44	2.32	2.21	2.05	1.86	1.68
CAM											
3cm.	4.71	4.53	4.42	4.23	4.07	3.90	3.77	3.59	3.43	3.29	3.21
CAM											
6cm.	2.51	2.46	2.44	2.36	2.28	2.20	2.12	2.05	1.93	1.85	1.82
CAM											
9cm.	1.40	1.37	1.35	1.32	1.25	1.22	1.17	1.12	1.08	1.02	1.02

Tablo I.5a. 275 kV Enerjili X-ışını ile Film Yoğunluk
Değerleri (Fe)

		Parça Kalınlığı [mm]										
Ara	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
Ortam												
YOK	5.05	4.63	4.32	4.01	3.76	3.55	3.48	3.35	3.26	3.12	2.98	
SU												
20cm.	1.23	1.13	1.08	1.04	1.00	0.96	0.93	0.90	0.86	0.82	0.80	

Tablo 1.6a. Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri (Al)

Parça Kalınlığı [mm]											
Ara Ortam	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
YOK	3.75	3.71	3.70	3.62	3.60	3.56	3.50	3.46	3.38	3.26	3.12
SU											
20cm.	2.01	1.97	1.95	1.92	1.91	1.90	1.87	1.85	1.81	1.76	1.70
CAM											
7.2cm.	2.51	2.50	2.49	2.49	2.47	2.45	2.41	2.38	2.32	2.28	2.23

Tablo 1.7a. Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri (Fe)

Parça Kalınlığı [mm]											
Ara Ortam	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
YOK	3.95	3.82	3.71	3.57	3.45	3.34	3.20	3.10	2.98	2.86	2.82
SU											
20cm.	2.02	1.98	1.93	1.85	1.80	1.72	1.66	1.61	1.55	1.52	1.44
CAM 7.2 cm.											
	2.59	2.53	2.46	2.38	2.31	2.23	2.13	2.05	1.97	1.88	1.81
CAM 14.4 cm.											
	1.61	1.60	1.57	1.52	1.47	1.42	1.38	1.35	1.31	1.26	1.23

Tablo 1.8a. Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri (Al)

	Parça Kalınlığı [mm]										
	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Ara Ortam											
YOK	3.75	3.71	3.70	3.62	3.60	3.56	3.50	3.46	3.38	3.26	3.08
TAHTA											
20cm.	2.46	2.42	2.39	2.36	2.35	2.31	2.23	2.11	2.07	2.05	2.03

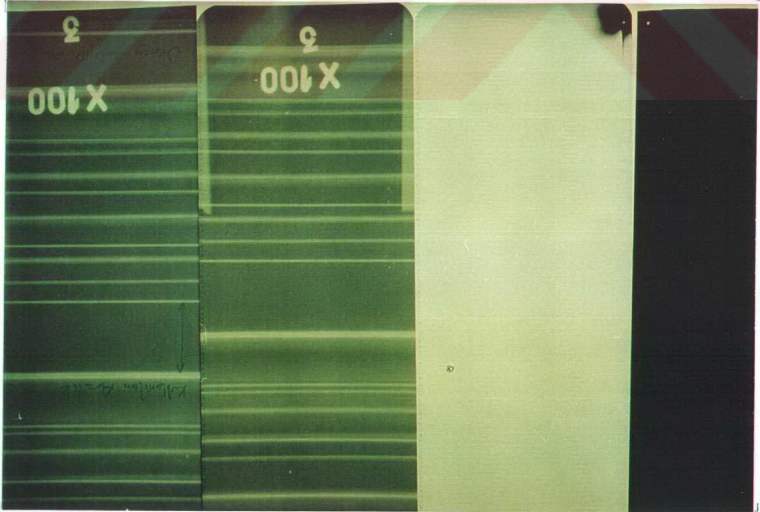
Tablo 1.9a. Co-60 Gama Işını Kaynağı ile Film Yoğunluk Değerleri (Fe)

Parça Kalınlığı [mm]											
Ara Ortam	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
YOK	3.95	3.82	3.71	3.57	3.45	3.34	3.20	3.10	2.98	2.86	2.82
TAHTA 20cm.	2.33	2.28	2.17	2.11	2.05	1.95	1.90	1.87	1.75	1.67	1.62
TAHTA 40cm.	1.97	1.84	1.80	1.79	1.75	1.64	1.61	1.57	1.52	1.50	1.45

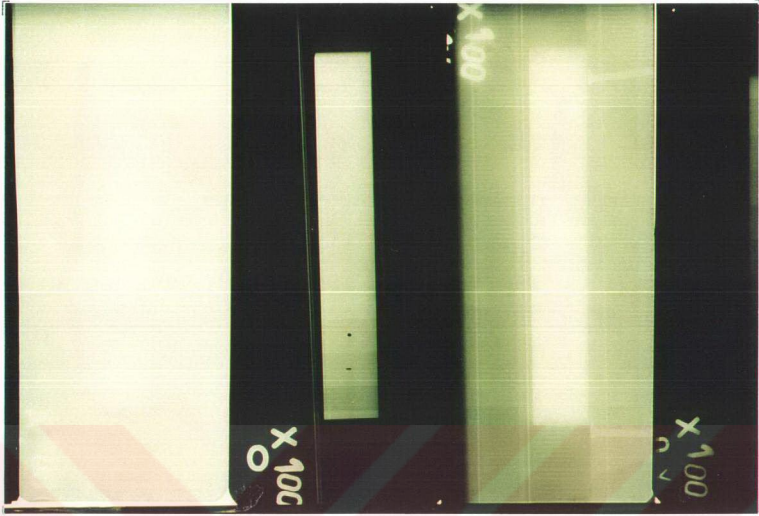
EK II. RADYOGRAFLAR



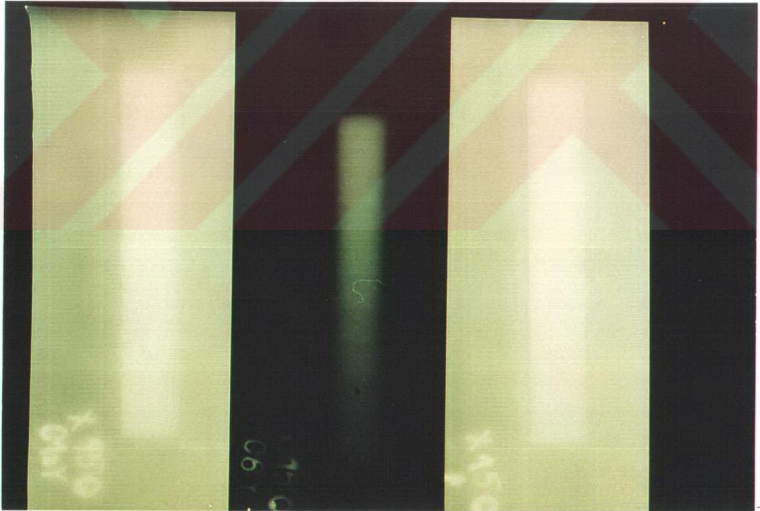
Sekil II.1. Radyograflar (Ø ve Tam Yoğunluk, Deney Kabı)



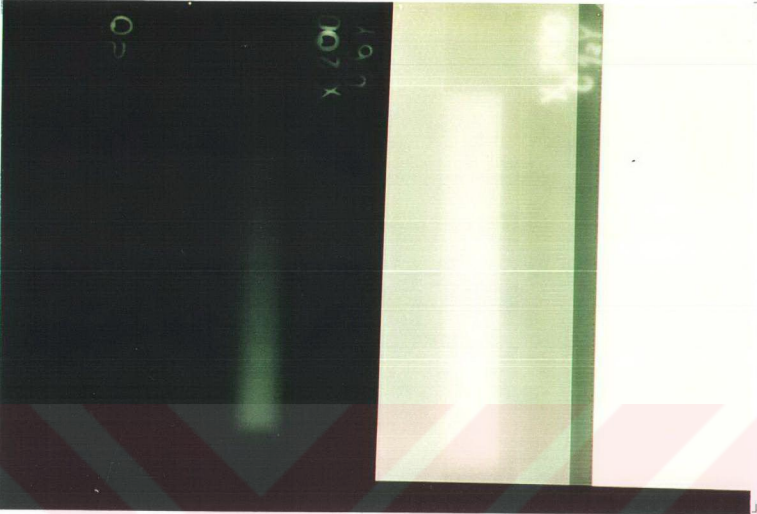
Sekil II.2. Radyograflar (Boş Film , Deney Kabı)



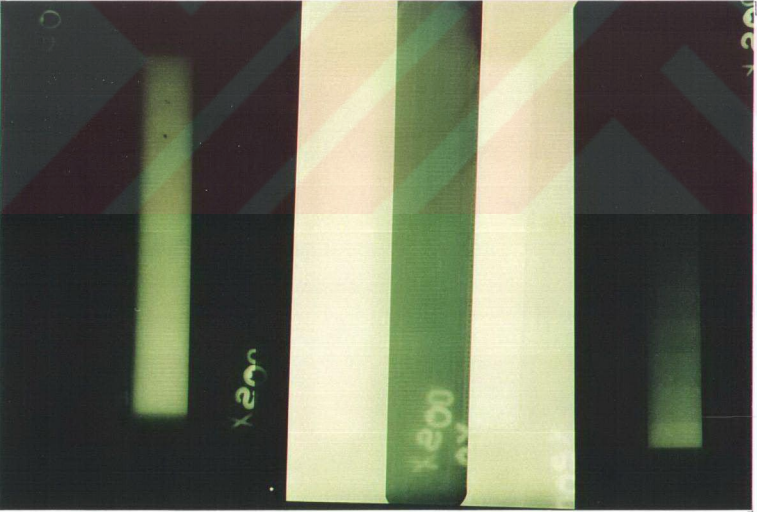
Şekil II.3. Radyograflar (X-ışını 100 kV hava ve su için)



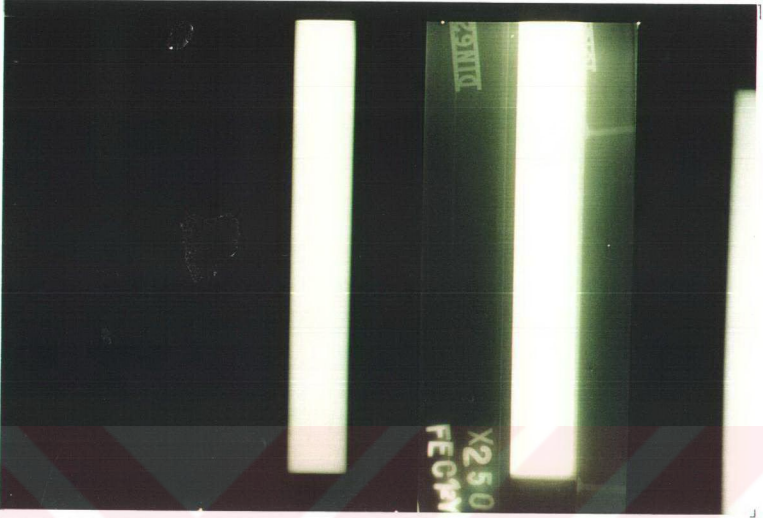
Şekil II.4. Radyograflar (X-ışını 150 kV, su ve cam için)



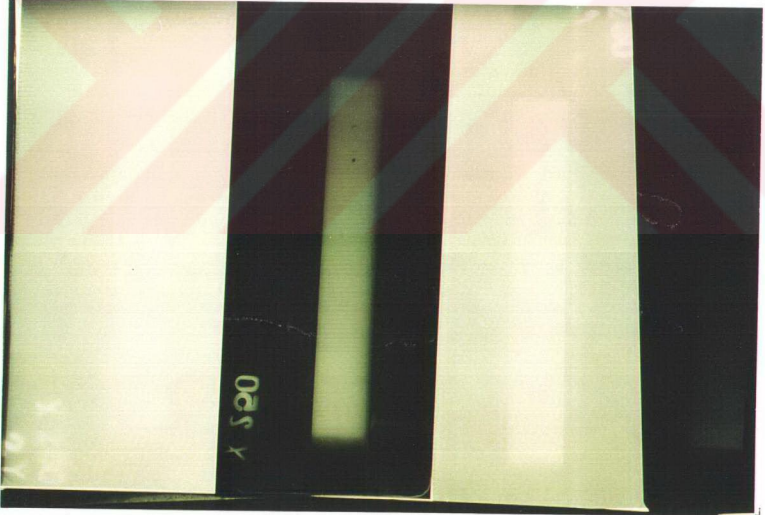
Şekil II.5. Radyograflar (X-ışını 200 kV, hava ve cam için)



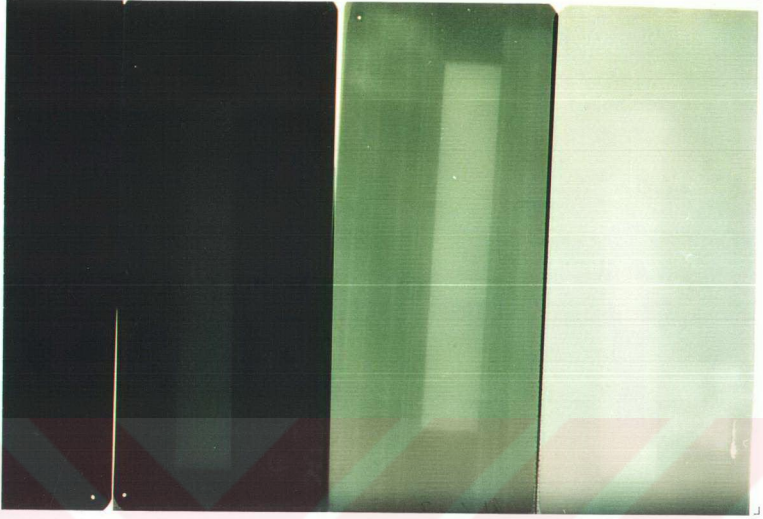
Şekil II.6. Radyograflar (X-ışını 200 kV,hava ve su için)



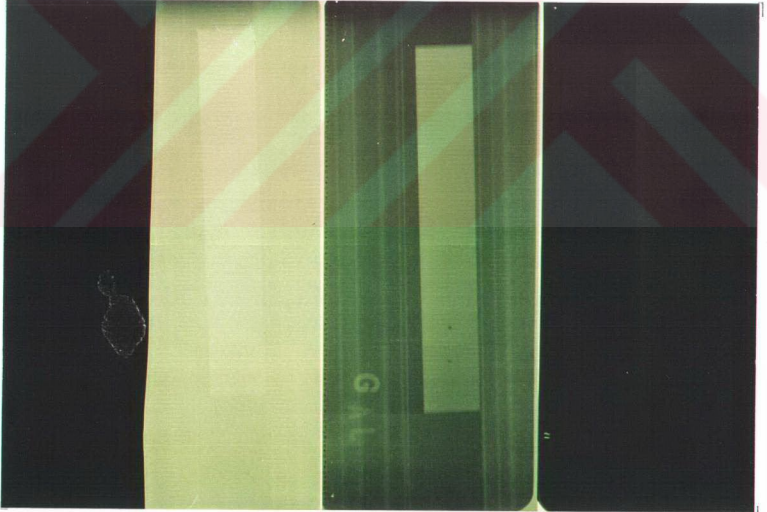
Şekil II.7. Radyograflar (X-ışını 250 kV, Fe , cam için)



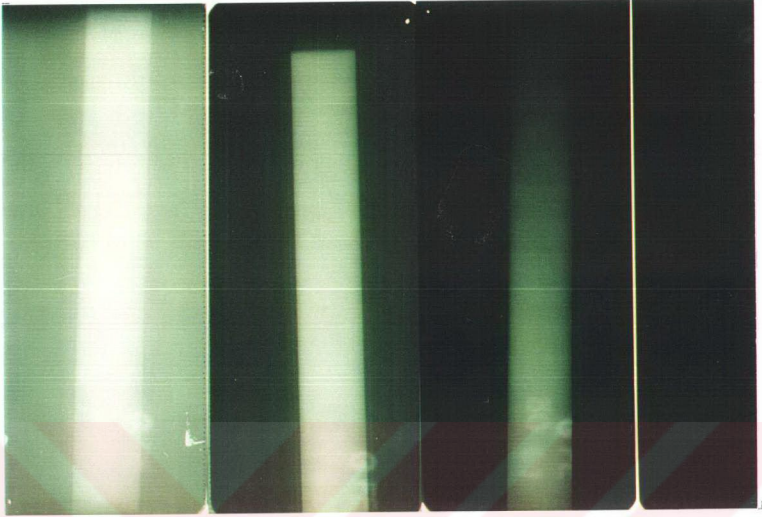
Şekil II.8. Radyograflar (X-ışını 250 kV,hava ve su için)



Şekil II.9. Radyograflar (Co-60 , Al , su için)



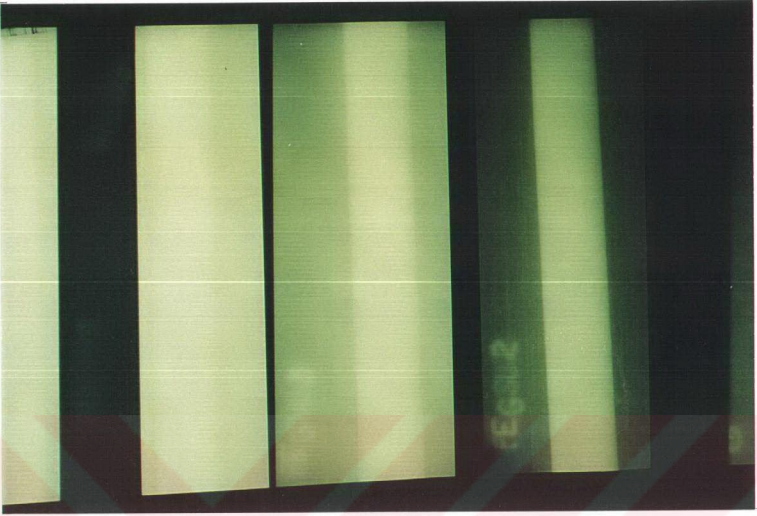
Şekil II.10. Radyograflar (Co-60 , Al , farklı poz süreleri)



Şekil II.11. Radyograflar (Co-60 , Al , cam için)



Şekil II.12. Radyograflar (Co-60 , Al , su için)



Şekil II.13. Radyograflar (Co-60 , Fe , su için)

ÖZGEÇMİŞ:

Galip BÜYÜKYILDIRIM, 1961 yılında İstanbul'da doğdu.1979 yılında İstanbul Erkek Lisesi'nden mezun oldu.İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme bölümündeki lisans eğitimini 1989 yılında tamamladı.1991 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans çalışmasına başladı. Halen bir özel şirkette çalışmaktadır.