



T.C.

ERCIYES ÜNİVERSİTESİ

TIP FAKÜLTESİ

RADYODİAGNOSTİK ANABİLİM DALI

**KORUYUCU KURŞUN ÖNLÜKLERİN KALİTE
DEĞERLENDİRMESİNDE RADYOAKTİF KAYNAKLI
GEİGER-MÜLLER DEDEKTÖRLÜ TEST CİHAZI
GELİŞTİRİLMESİ**

TIPTA UZMANLIK TEZİ

Dr. Emre Can ÜLGEN

Aralık 2020 - KAYSERİ



T.C.

ERCIYES ÜNİVERSİTESİ

TIP FAKÜLTESİ

RADYODİAGNOSTİK ANABİLİM DALI

**KORUYUCU KURŞUN ÖNLÜKLERİN KALİTE
DEĞERLENDİRMESİNDE RADYOAKTİF KAYNAKLI
GEİGER-MÜLLER DEDEKTÖRLÜ TEST CİHAZI
GELİŞTİRİLMESİ**

TIPTA UZMANLIK TEZİ

Dr. Emre Can ÜLGEN

Danışman

Prof. Dr. Abdulhakim COŞKUN

Aralık 2020 - KAYSERİ

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim sürecinde desteğini esirgemeyen başta bۆlüm baŐkanımız Prof. Dr. Güven KAHRİMAN'a olmak üzere tüm hocalarıma sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Tez çalıŐmalarımnda yoğun bilimsel destek ve ilgilerini gۆrdüğüm ve tez danışmanım Prof. Dr. Abdulhakim COŞKUN'a ve Geiger-Müller test cihazının geliştirilmesinde işbirliği yaptığımız Erciyes Teknopark yerleşimli ARGEA Teknoloji A.Ő. firmasına ve Prof. Dr. Ahmet ÜLGEN'e teşekkür ederim.

Birlikte çalıŐmaktan her zaman mutluluk duyduğum tüm asistan arkadaşlarıma ve Radyoloji Anabilim Dalında görev yapan diğer personele teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimi sürecinde her zaman yanımda olan annem, babam ve ablama minnetlerimi sunarım.

Tez çalıŐmalarım sırasında desteğini gۆrdüğüm ve yanımda olan arkadaşım Umut ÖZKIRAN'a teşekkür ederim.

Dr. Emre Can ÜLGEN

Aralık 2020 - KAYSERİ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
TABLOLAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM VE RADYASYONLAR.....	3
2.2. X-IŞINI TARİHÇESİ.....	6
2.3. X-IŞINININ ELDE EDİLMESİ.....	8
2.4. X-IŞINININ MADDE İLE ETKİLEŞİMİ	12
a. Saçılma olayı.....	13
1. Koherent (elastik) saçılma	13
2. İnkohherent (inelastik) saçılma	13
b. Soğrulma olayı	14
c. Çift oluşumu	15
2.5. RADYASYON İLE İLİŞKİLİ ÖLÇÜTLER VE DOZ SINIRLARI.....	16
2.6. X-IŞINININ ETKİLERİ.....	18
2.7. DOĞAL RADYOAKTİF KAYNAKLAR VE URANİL ASETAT	21
2.8. GEİGER-MÜLLER CİHAZI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ	23

2.9. BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ (BT) AYGITI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ	24
2.10. RADYASYONDAN KORUNMA VE KORUYUCU EKİPMANLAR .	26
3. GEREÇ VE YÖNTEM	28
a. Geiger-Müller Dedektörü ile Kurulan Test Cihazı	28
b. Tarama Tekniği	30
c. Görüntüleme Tekniği	30
d. Değerlendirme Kriterleri	31
e. İstatistiki Analiz	31
4. BULGULAR	33
5. TARAMA ÖRNEKLERİ	37
6. TARTIŞMA	41
a. Portatiflik	43
b. Altyapı Gereksinimi	43
c. Radyasyon Maruziyeti	44
d. Tarama Süresi	44
e. Maliyet	44
7. SONUÇLAR	46
KAYNAKLAR	48

KISALTMALAR

Å	: Armstrong
BT	: Bilgisayarlı tomografi
Bq	: Becquerel
C	: Coulomb
cm	: Santimetre
Ci	: Curie
CMOS-IC	: Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken – Entegre Devresi
CT	: Computerized tomography - Bilgisayarlı tomografi
FoV	: Field of view – Görüntü Alanı
eV	: Elektrovolt
gr	: Gram
Gy	: Gray
G-M	: Geiger-Mueller – Geiger-Müller
HU	: Hounsfield Unit – Hounsfield Ünitesi
JCAHO	: Joint Comission on the Accreditation of Healthcare Organizations – Sağlık Kuruluşlarının Akreditasyonuna İlişkin Ortak Komisyon
kBq	: Kilobecquerel
KeV	: Kiloelektrovolt
kV	: Kilovolt
kVp	: Kilovoltage peak – Pik kilovolt

m	: Metre
mA	: Miliamper
mAs	: Miliampere-seconds – Miliamper-saniye
MeV	: Megaelektrovolt
mGy	: Miligray
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
mm²	: Milimetrekare
mrem	: Milirem
mSv	: Milisievert
PVC	: Polyvinyl chloride – Polivinil klorür
R	: Roentgen – Röntgen
Sv	: Sievert
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
USB	: Universal Serial Bus - Evrensel Seri Veriyolu
UV	: Ultraviolet - Ultraviyole
VUV	: Vacuum Ultraviolet – Vakum Ultraviyole
XRE	: X-ray Emission – X-ışını Emisyonu
µCi	: Mikrocurie

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1 : Partiküler ve non-partiküler ışınların özellikleri.....	6
Tablo 2 : 70 kg ağırlığında insan için tek seferlik radyasyon maruziyetinde farklı dozların etkileri.....	20
Tablo 3 : Etek ve yeleklerde BT ile saptanan defekt bulunma durumu	33
Tablo 4 : 0,50 mm kurşun kalınlığına sahip önlüklerin defekt bulunan, defekt bulunmayan ve kurşun bulunmayan (baseline) alanlarında izlenen ortalama frekans sayımı ve karşılaştırılması	34
Tablo 5 : 0,25 mm ve 0,50 mm kurşun kalınlığında korumaya sahip BT’de defekt tespit edilmeyen önlüklerde ortalama frekans ölçümleri ve karşılaştırılması.....	35
Tablo 6 : G-M test cihazı ile yapılan ilk ve ikinci taramaların karşılaştırılması.....	35
Tablo 7 : BT ve G-M test cihazının defekt tespiti açısından karşılaştırılması	36
Tablo 8 : BT ve G-M test cihazı ile defekt tespit edilen önlüklerde şekil ve uzanım bakımından uyumluluk karşılaştırılması	36

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1 : Elektromanyetik spektrum ve radyasyon	4
Şekil 2 : Transvers dalğanın özellikleri	5
Şekil 3 : Wilhelm Conrad Röntgen'in eşinin (Anna Bertha) parmakları ve yüzüğünün görüntüsü	8
Şekil 4 : X-ışını tüpünün yapısı	10
Şekil 5 : Hızlandırılmış elektronların anottaki atomlar ile etkileşim şekilleri.....	10
Şekil 6 : Bremsstrahlung (frenleme) ve karakteristik radyasyonda saptanan dalga boyları ve uygulanan kV ile değişimi	11
Şekil 7 : Farklı atom numaralarına sahip hafif, orta ve ağır elementlerin çekirdeğine en yakın elektronik enerji düzeyleri arasındaki farklar ve elemente özgü karakteristik ışınları gösteren diyagram	11
Şekil 8 : Fotonların madde ile etkileşim tipi ve foton enerjisi arasındaki ilişki	12
Şekil 9 : Compton saçılması	14
Şekil 10 : Auger olayı ve Fotoelektrik olay.....	15
Şekil 11 : Çift oluşum ve “annihilasyon” olayı	16
Şekil 12 : Uranil asetatın kimyasal yapısı.....	22
Şekil 13 : Geiger-Müller cihazı çalışma düzeneği.....	23
Şekil 14 : Bilgisayarlı tomografi aygıtı ve bölümleri	25
Şekil 15 : Çalışmada kullanılan Geiger-Müller test cihazı ve şematik gösterimi.....	30

KORUYUCU KURŞUN ÖNLÜKLERİN KALİTE DEĞERLENDİRMESİNDE RADYOAKTİF KAYNAKLI GEİGER-MÜLLER DEDEKTÖRLÜ TEST CİHAZI GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Amaç: Kurşun önlüklerdeki defektlerin değerlendirilmesinde x-ışını yerine alternatif olarak kullanılabilen yenilikçi bir yöntem olarak radyoaktif kaynaklı Geiger-Müller (G-M test cihazı) geliştirilmesi

Materyal ve Metod: Çalışmaya Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı nörogirişimsel anjiyo ünitesi, girişimsel radyoloji ünitesi ve röntgen ünitesinde kullanılan tamamı etek ve yelekten oluşan 24 adet kurşun önlük dâhil edilmiştir. Laboratuvar ortamında doğal radyasyon kaynağı kullanılarak (Uranil asetat) Geiger-Müller dedektörü ile test cihazı geliştirilmiş olup çalışmaya dâhil edilen kurşun önlükler dikey bir şekilde karışık sıra ile iki kere taranmıştır. Tarama sonucunda elde edilen verilerden frekans/zaman grafikleri çizdirilerek önlükler üzerindeki defektler değerlendirilmiştir. Aynı gün içerisinde önlüklerin bilgisayarlı tomografi (BT) topogram görüntüleri alınarak defektler açısından değerlendirme yapılmıştır. Geliştirilen test cihazından elde edilen veriler ile bilgisayarlı tomografi

(BT) topogram görüntüleri defektlerin tespit edilebilmesi, tespit edilen defektlerin şekli ve uzanımı bakımından karşılaştırılmış ve istatistikî analizi yapılmıştır.

Bulgular: Kurşun önlüklerdeki defektlerin tespit edilebilmesi bakımından G-M test cihazının (%95 güven aralığı içerisinde) spesifitesi %93,75 (%67-%99), sensitivitesi %100 (%59-%100), negatif prediktif değeri %100 (%74-%100), pozitif prediktif değeri %88 (%50-%99), doğruluk (accuracy) değeri %95,83 (%78-%99) ve kappa katsayısı (κ) 0,909 olarak bulunmuştur. Neticede her iki yöntem üzerinden elde edilen veriler karşılaştırıldığında iki yöntem arasında anlamlı farklılık saptanmamıştır (Tablo 1, $p=1$).

Tablo 1. BT ve G-M test cihazının defekt tespiti açısından karşılaştırılması

	BT defekt (+)	BT defekt (-)	Toplam	p değeri
G-M defekt (+)	8	1	9	1
G-M defekt (-)	0	15	15	
Toplam	8	16	24	

0,50 mm kalınlığında kurşun eşdeğeri korumaya sahip önlüklerde test cihazı ile çizdirilen frekans-zaman eğrileri değerlendirildiğinde ortalama frekans sayımları büyükten küçüğe doğru uranil asetatın oluşturduğu kurşun bulunmayan (baseline) alanlar, defekt bulunan alanlar ve defekt bulunmayan alanlar olarak sıralanmış olup her bir grubun kendi aralarında izlenen farkları istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p \approx 0,00$).

Sonuç: BT ve G-M test cihazı ile yapılan taramalar karşılaştırıldığında her iki yöntemin defektlerin tespiti, uzanımı ve şekli açısından benzer bilgiler verdiği ve G-M test cihazının güvenli bir tanı aracı olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: BT, beta ışını, Geiger-Müller dedektörü, kurşun önlük.

**DEVELOPMENT OF TEST DEVICE FOR PROTECTIVE
LEAD APRONS IN ASSESSMENT OF QUALITY
PARAMETERS WITH RADIOACTIVE SOURCE AND
GEIGER-MUELLER DETECTOR**

ABSTRACT

Aim: To develop a new method as an alternative way to the classic methods which use x-beams for detecting defects on lead aprons by using radioactive source and Geiger-Mueller detector equipment.

Material and Methods: 24 pieces of lead apron (skirt/vest) which were routinely using in neurointerventional unit, interventional unit, and x-ray unit were included to study on Erciyes University Faculty of Medicine, Department of Radiology. A new innovative test device with Geiger-Mueller detector equipment that uses natural radiation source (Uranyl acetate) was developed for detecting defects on lead aprons. Lead aprons which are included study were scanned horizontally twice and frequency/time curves were depict using received data. Radioactive source Geiger-Mueller (G-M test device) was compared upon detecting defects when defect identified, shape, and extending areas with computerized tomography (CT). Statistical study was performed.

Results: Specificity, sensitivity, negative predictive value, positive predictive value, accuracy and kappa coefficient (κ) of G-M test device were found %93,75 (%67-%99), %100 (%59-%100), %100 (%74-%100), %88 (%50-%99), %95,83 (%78-%99) and 0,909, respectively (with in %95 confidential interval). There weren't any statistical significant difference between G-M test device and CT (Table 1, $p=1$).

Table 1. Comparing about detecting defects between CT and G-M test device

	BT defect (+)	BT defect (-)	Total	p value
G-M defect (+)	8	1	9	1
G-M defect (-)	0	15	15	
Total	8	16	24	

Sorting in descending order of average frequency counts for 0,50 mm lead/lead equivalent aprons were found baseline areas (no lead/lead equivalent material), defective areas, and non-defective areas on aprons, respectively. The differences observed among each group were found to be statistically significant ($p \approx 0,00$).

Conclusion: Comparing between CT and G-M test device, each of methods giving same information about detecting defects when defect identified, shape and extending areas. Hence, G-M test device was found to be safe method for detecting defects.

Keywords: Beta rays, computerized tomography, Geiger-Mueller Counters, protective clothing

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Tıpta hastalıkların tanısı ve tedavisi konusunda yararlanılan x-ışınlarının varlığı, 1895 yılında Alman Fizik Profesörü Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedilmiş olup tıbbî kullanımı ile birlikte sağladığı kolaylıkların yanında olumsuz birtakım sorunları da beraberinde getirmiştir. Günümüzde insan sağlığı açısından radyasyona maruziyet şeklinde problemlere neden olsa da sağladığı avantajları göz ardı etmemiz de mümkün olmamaktadır. İnsanoğlu geçmişten günümüze değin radyasyonla iç içe yaşamıştır. Bu yaşamışlık önceleri doğal radyasyon kaynakları ile olmakla beraber günümüzde yapay radyasyon kaynaklarının yaygınlaşması sonucunda sağlık kuruluşlarında ve hastanelerin x-ışınlarından yararlanan birimlerinde daha fazla görülmektedir. Dolayısıyla, söz konusu birimlerde çalışan sağlık personellerinin radyasyona maruziyeti de fazla olmaktadır. Hayatın her alanında olduğu gibi, sorun teşkil eden bir durum söz konusu olduğunda ardından çözüm arayışları da gelmektedir. Çalışmamızın özünü de oluşturan radyasyondan korunmak için kullanılan kişisel koruyucu ekipmanların (kurşun önlük, gözlük, eldiven vs...) kullanılması, söz konusu sorunların aza indirgenmesi hususunda çözüm sağlayıcı unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Nitekim, sürekli radyasyon maruziyeti olan birimlerde çalışanların radyasyondan korunması adına radyasyondan koruyucu ekipmanların kullanılması yasalarla zorunlu hale getirilmiştir (1).

Radyasyondan korunmak için kullanılan söz konusu ekipmanlar çeşitli nedenlerden hasarlanabilmektedir. Bu nedenle çalışanların sağlığını ve hastaların güvenliğini

riske atmamak adına koruyucu ekipmanların periyodik muayeneleri düzenli olarak yapılması ve takibi gereklidir.

Kişisel koruyucu ekipmanların en önemlilerinden biri olan kurşun önlüklerin hasarlanması sonucu oluşan yırtık, çatlak ve defektlerin tespiti genellikle x-ışını kullanılan (radyografi, floroskopi, tomografi) yöntemlerle yapılmaktadır.

Bu çalışmada kurşun önlüklerdeki defektleri değerlendirirken x-ışını yerine alternatif olarak kullanılacak yenilikçi bir yöntem olarak doğal radyasyon kaynaklı Geiger-Müller (G-M) test cihazı geliştirmesi amaçlanmıştır. Bu yenilikçi cihazın geliştirilmesinde Erciyes Teknopark yerleşimli ARGEA Teknoloji A.Ş. firması ile işbirliği yapılmış olup daha sonra ticarileştirilmesi öngörülmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

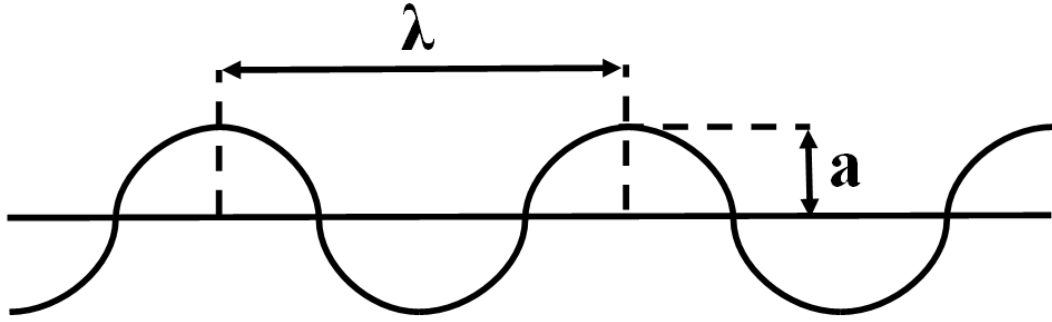
2.1. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM VE RADYASYONLAR

Radyasyon, atomlardan enerji salınması olarak tanımlanabilir. Salınma şekli elektromanyetik titreşimler veya partiküller şeklinde olmaktadır. Elektromanyetik titreşimler dalga boylarına göre radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızıl ötesi (infrared) ışınlar, görülür bölge ışınları, mor ötesi (ultraviyole) ışınlar, x-ışını, radyoaktif ışınları (γ ışınları) ve kozmik ışınlar olarak isimlendirilmektedir (Şekil 1). Partiküler ışınlar ise alfa (α) ve beta (β) ışınları olarak tanımlanmıştır.

Elektromanyetik titreşimler hem enerji taşıyan hem de dalga modeline uyan “fotonlar” ile taşınır.

Elektromanyetik radyasyonda dalgaların genliği yayılım yönüne diktir. Bu tür dalgalar transvers dalgalar olarak adlandırılmaktadır. Transvers dalgalarda arka arkaya gelen iki benzer nokta arasındaki uzaklığa dalga boyu (λ), saniyedeki dalga sayısına frekans (ν), saniyede aldığı yola hız (c), dalganın yüksekliğine amplitüd (a) ya da genlik adı verilir (Şekil 2).

Elektromanyetik radyasyonların hızları ışık hızına ($c = 2.9979 \times 10^8$ m/sn) eşit olup, boşlukta düz bir çizgi boyunca yayılırlar. Maddeyi geçerken soğrulma veya saçılma nedeniyle enerjileri azalır. Geçtikleri madde veya ortama enerji transfer ederler.



λ = dalga boyu
 a = amplitüd (genlik)
 c = hız
 ν = frekans (dalga sayısı/sn)

Şekil 2. Transvers dalganın özellikleri

Fotonların enerjileri;

$$E_{\text{foton}} = h\nu$$

denliğinde, ν (frekans) ve h (Planck sabiti) ile doğru orantılıdır. Dalga boyu ise;

$$\lambda \cdot \nu = c$$

frekans ile ters orantılıdır.

X-ışınları dalga boyları 0.1-100 Å arasında değişen elektromanyetik dalgalarıdır. Dalga boylarının kısa olması sebebiyle frekansları ve enerjileri yüksektir. Gama ışınları (γ) 0.03 Å ve daha küçük dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalarıdır. X-ışınları gibi gama ışınları (γ) da yüksüzdür ve yüksek enerjilidir. X-ışınları ve gama (γ) ışınlarının penetrasyon yetenekleri partiküler ışınlar göre yüksektir. X-ışınları elektronların etkileşiminden meydana gelirken, gama ışınları (γ) çekirdek kaynaklıdır.

Partiküler ışınlar ise alfa (α) ve beta [negatron(β^-), pozitron (β^+)] olarak sınıflandırılabilir. Partiküler ışınların iyonlaştırıcı etkisi partiküler olmayan elektromanyetik ışınlardan daha fazladır. Partikül küçüldükçe penetrasyon yetenekleri artar. Partiküler olmayan elektromanyetik dalgalardan farklı olarak manyetik alanda saptırılabilir (Tablo 1).

Tablo 1. Partiküler ve non-partiküler ışınların özellikleri (5)

Radyasyon Tipi	Enerji Aralığı (MeV)	Suda penetrasyon mesafesi*	Havada penetrasyon mesafesi*
α partikülleri	4 - 9	< 0.05 mm	< 10 cm
β partikülleri	0.2 - 2	< 4 mm	1 m
γ ışınları	10^{-2} - 10^1	< 20 cm	> 3 m
X-ışınları	< 10^{-2}	< 1 cm	< 3 m

* Radyasyonun yarısının soğrulduğu mesafe

Alfa partikülü iki nötron ve iki protondan oluşan pozitif yüklü helyum atomudur. İyonlaştırma gücü en yüksek partiküldür ancak penetrasyonu çok azdır. Havada 5-7 cm ilerleyebilirler. Çıkış hızları $1.5-2 \times 10^7$ m/sn olup yaklaşık ışık hızının 1/10 u kadardır. Enerjileri 4-9 MeV'dur.

Beta partikülü negatron (β^-) ve pozitron (β^+) olmak üzere ikiye ayrılır. Alfa partikülüne göre daha küçük olması nedeniyle penetrasyonları fazla ancak iyonlaştırıcı özellikleri daha azdır. Havada 3 metre kadar ilerleyebilirler. Hızları ışık hızına yakındır. Enerjileri 0.2-2 MeV'dur. Negatron (β^-) negatif yüklü bir elektrondan oluşur. Nötron fazlalığında nötronlar protona dönüşür ve bir elektron (negatron) ortaya çıkar. Pozitron (β^+) elektronla aynı kütleye sahip ancak +1 yüklü parçacık (antilepton) olarak tanımlanır. Proton fazlalığında protonlar nötrona dönüşür ve bir pozitron ortaya çıkar.

2.2. X-IŞINI TARİHÇESİ

X-ışınları 1895 yılında Alman Fizik Profesörü olan Wilhelm Conrad Röntgen tarafından Würzburg Üniversitesi'nde çalışırken keşfedilmiştir. Yaptığı bir deney sırasında Crooks tüpünü indüksiyon bobinine bağlayıp tüpün içerisinden yüksek gerilimli elektrik akımı geçirdiğinde tüpten uzak bir mesafede bulunan bir cam kavanozun içine ettiği baryumlu platinsiyen kristallerinde parlamalar gözlemlenmiş

ve bu parlamalara sebep teşkil eden ışınların daha önceden bilinmemesi nedeniyle “X-ışını” adını vermiştir.

Gözlemleri sırasında bu ışınların farklı cisimleri farklı derecelerde geçebildiğini; ancak kurşun plakalar tarafından tutulduğunu saptamıştır. Yine gözlemleri sırasında parmak kemiklerinin de görüntüsünü fark eden Röntgen, fotoğraf plağı bulunan bir kasetin üzerine karısının elini yerleştirerek parmak kemiklerinin ve yüzüğünün görüntüsünü elde etmiştir (Şekil 3). Röntgen, gözlemleri sonucunda elde etmiş olduğu bilgileri ve görüntüleri 28 Aralık 1895’de Würzburg Fiziksel Tıp Derneği’nde sunmuş olup akabinde aynı sene içinde ilk röntgen cihazları imal edilmeye başlanmıştır. Bu buluşu sayesinde 1901 yılında Röntgen Nobel Fizik Ödülüne layık görülmüştür (6).

Röntgen’in bu buluşu, bilim dünyasında oldukça ses getirmiş olup x-ışınlarının yapısı konusunda birçok bilim adamı çalışmalar yapmıştır. Örneğin, 1899 yılında Wind ve Hago bir x-ışını demetini dar bir yarıktan geçirmeleri sonucunda kırınım tasarımı elde ettiyseler de bu tasarım hayli küçük olması sebebiyle onaylanmamıştır. Ancak 1912 senesinde Laue’nin kristallerdeki kırınım deneyleri ile x-ışınlarının dalga yapısı gözlemlenebilmiştir. Barkla, x-ışınlarının görünür bölge ışınları ile benzer şekilde transvers dalga özelliğinde olduğunu, polarize edilebileceğini saptamıştır. Ayrıca saçılan x-ışınlarının bir kısmının gelen x-ışınlarıyla aynı bir kısmının ise farklı dalga boyunda olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca Röntgen’in x-ışınlarını keşfinin akabinde H. Antonie Becquerel uranyumun radyoaktifliğini, Curie’ler ise radyum elementini keşfetmiştir. Bu çalışmalarla Radyoloji biliminin doğmasını sağlamışlardır.



Şekil 3. Wilhelm Conrad Röntgen'in eşinin (Anna Bertha) parmakları ve yüzüğünün görüntüsü (6)

2.3. X-IŞINININ ELDE EDİLMESİ

X-ışınları doğal ve yapay olmak üzere iki farklı şekilde oluşur. Doğal x-ışınları elektron yakalanması, iç dönüşüm, alfa ve beta bozunumu olayları sonucunda ortaya çıkar (7). Yapay x-ışınları hızlandırılmış elektron gibi parçacıklarla veya radyoaktif kaynaktan çıkan fotonlarla maddenin etkileşimi sonucunda ortaya çıkar. Maddenin fotonlarla etkileşiminden karakteristik x-ışınları, parçacıklarla etkileşiminden ise hem karakteristik hem de sürekli ışınlar meydana gelir (7).

Tıbbi alanda kullandığımız x-ışınları akselere veya deselere elektronların (katot ışınlarının) atomla etkileşiminden veya atomdaki enerji seviyelerinin elektronlar tarafından değiştirilmesiyle oluşmaktadır (8).

Yüksek derecede vakumlanmış içerisinde çok az miktarda soy gaz bulunan ve açılı bir şekilde konumlandırılmış anot ile ısıtılan filaman katottan oluşan bir tüpte düşük gerilimde ısıtılan filamanlı katot malzemesi, tüpe uygulanan yüksek gerilim nedeniyle oluşan elektrik alan etkisiyle “elektron” kaynağı olarak davranır. Buna “Termo-emisyon” olay adı verilir. Katot yüzeyinden çıkan elektronlar anoda doğru

yönlenir ve uygulanan gerilimle doğru orantılı olarak kinetik enerjileri artar. Bir elektronun bir elektrik alan altında kazandığı kinetik enerji

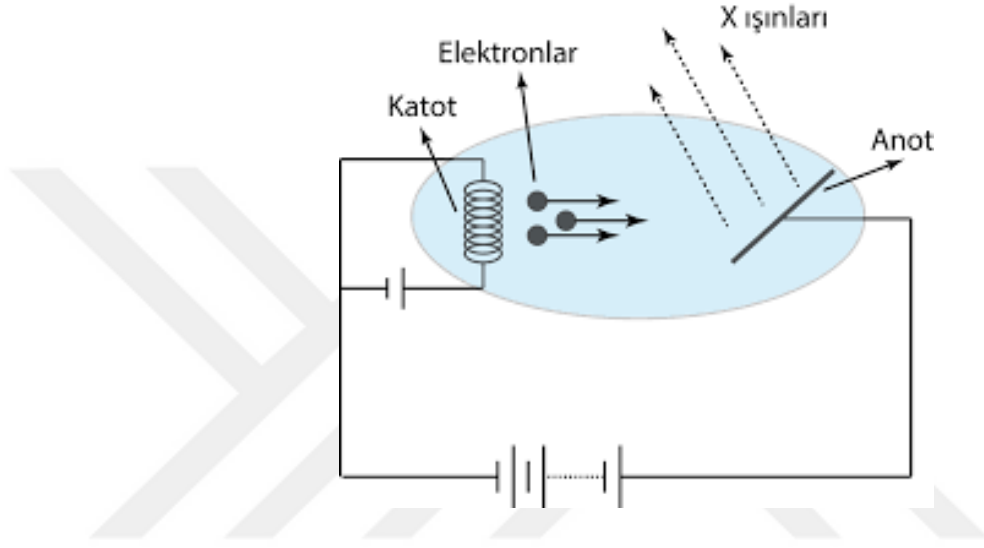
$$K = q \cdot V$$

ile hesaplanır. Buna göre bir voltluk bir gerilim altında oluşan bir elektrik alanda hareket eden bir elektron katottan anota ulaştığında $1 e^- \cdot V$ lik enerji kazanır (Şekil 3). Hızlandırılmış elektronlar anotta atom numarası yüksek maddeye çarptıklarında (tungsten gibi) kinetik enerjilerinin %1'inden daha azı x-ışını enerjisine, geri kalanı ise ısı enerjisine dönüşür.

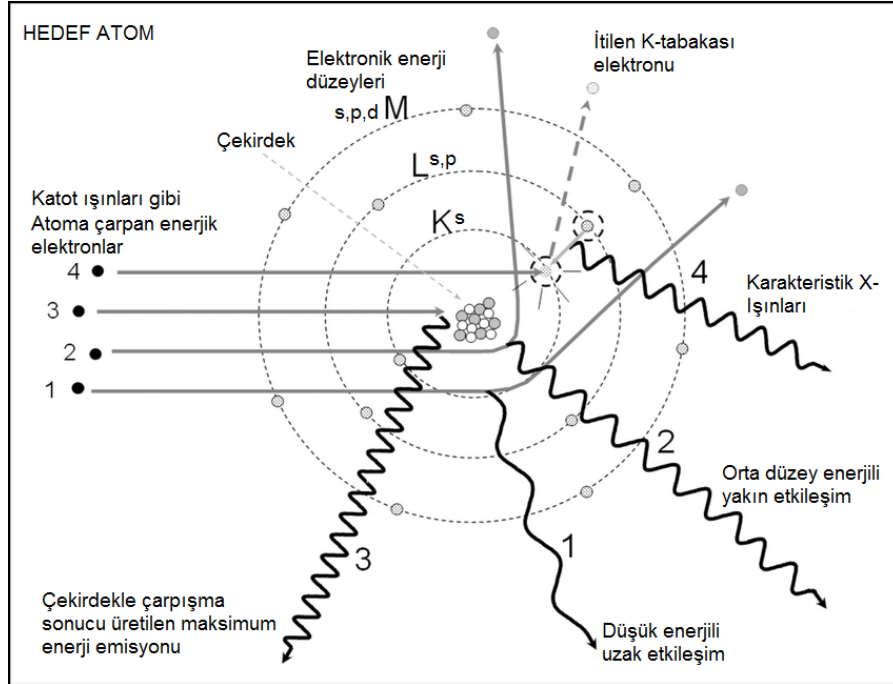
Anota çarpan elektronlar anottaki atomlar ile şu şekillerde etkileşime girebilir (Şekil 4):

1. Elektronlar anottaki atomların etrafında bulunan elektron bulutu tarafından itilir ve elektronların hızları azalır. Elektronların kazandığı kinetik enerji ısı enerjisine dönüşür.
2. Elektronlar anottaki atomların etrafında bulunan elektron bulutunu geçerek çekirdeğin yakınına gelir. Çekirdeğin çekim gücü ile elektronlar ivmeli bir şekilde yavaşlar ve sahip olduğu kinetik enerji x-ışınına dönüşür. Oluşan x-ışınları geniş bir bantta enerji spektrumuna sahip olup, karakteristik radyasyondaki gibi belirli değil sürekli dalga boyuna sahiptir (Şekil 5). Bu şekilde oluşan x-ışınına “Bremsstrahlung” ya da “Frenleme Radyasyon” adı verilir. X-ışınlarının büyük bölümünü bu tip radyasyon oluşturur. “Frenleme Radyasyon” ile oluşan maksimum enerjiye sahip x-ışını elektronun çekirdek ile çarpışması sonucunda ortaya çıkar (Şekil 4).
3. Elektronlar anottaki atomların etrafında bulunan elektronları sökebilir. Anoda hızla çarpan elektronlar zayıf enerjili ise anot materyalinin dış kabuklarından, yüksek enerjili ise iç kabuklarından (K kabuğu) elektron kopartır. Bunu takiben atomun denge haline geri dönebilmesi için bir üst kabuktaki elektron koparılan elektronun oluşturduğu boşluğu doldurur. İki kabuk düzeyi arasındaki elektron bağlanma enerjileri farkı x-ışını olarak yayımlanır. Bu enerji farkı sabit olup oluşan x-ışınlarının dalga boyları belirlidir. Bu şekilde oluşan x-ışınlarına karakteristik radyasyon (X-ışını Emisyonu, XRE) adı verilir (Şekil 4). Karakteristik x-ışınları anot materyaline özgüdür. Anot

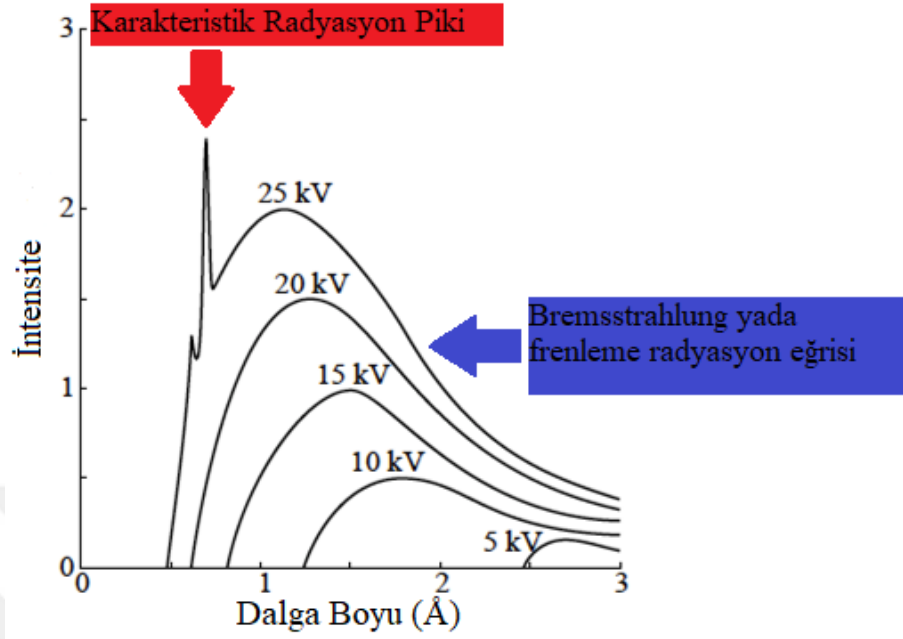
materyali değiştikçe x-ışınlarının enerjisi ve buna bağlı olarak dalga boyu değişir (şekil 6). Ağır elementlerde (molibden, tungsten) karakteristik ışın olarak x-ışını oluşurken daha hafif elementlerde ultraviyole (UV) ya da vakum ultraviyole (VUV) gibi karakteristik ışınlar meydana gelir. Karakteristik radyasyon oluşan x-ışınlarının k¼¼k bir b¼¼l¼¼m¼¼n¼¼ oluşurmaktadır.



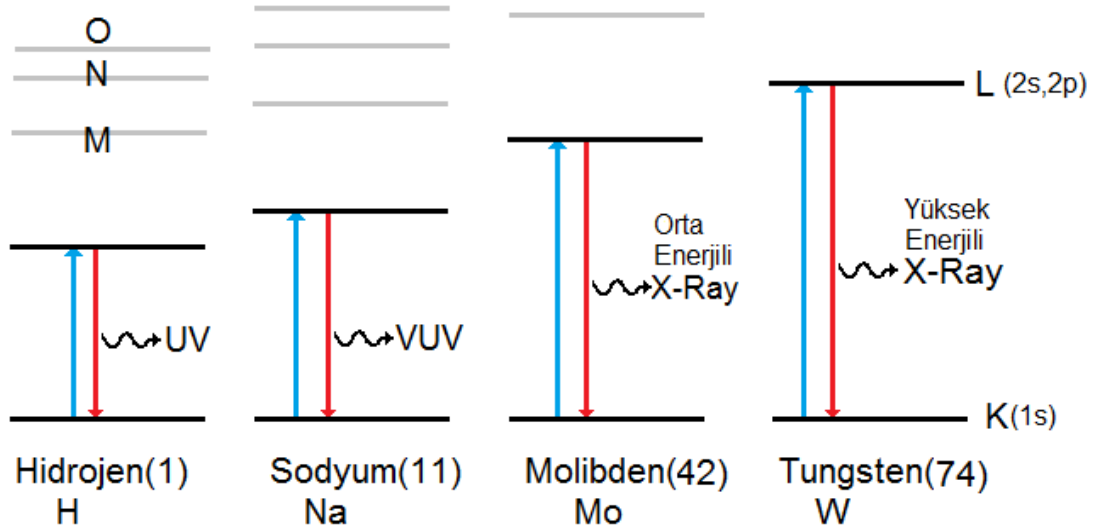
şekil 4. X-ışını t¼¼p¼¼n¼¼n yapısı



şekil 5. Hızlandırılmış elektronların anottaki atomlar ile etkileşim şekilleri (9)



Şekil 6. Bremsstrahlung (frenleme) ve karakteristik radyasyonda saptanan dalga boyları ve uygulanan kV ile değişimi

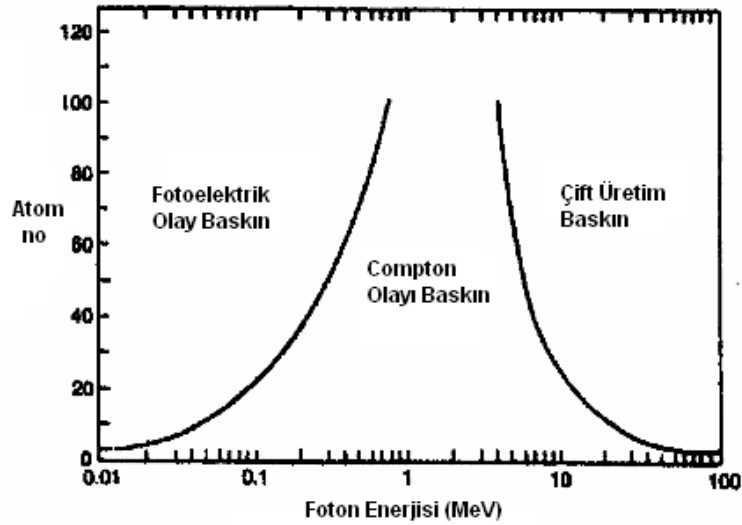


Şekil 7. Farklı atom numaralarına sahip hafif, orta ve ağır elementlerin çekirdeğine en yakın elektron enerji düzeyleri arasındaki farklar ve elemente özgü karakteristik ışınları gösteren diyagram

2.4. X-IŞINININ MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

Enerji yüklü fotonlar madde ile karşılaştığında maddenin çekirdeği ve yörüngelerinde yer alan elektronlar ile etkileşime girer. Bu etkileşimleri saçılma, soğrulma ve çift oluşumu olarak üç ana grup altında toplayabiliriz. Saçılma olayı koherent (elastik) ve inkoherent (inelastik) saçılma olarak iki gruba ayrılır. Fotonların madde ile etkileşim tipi, fotonların enerjisi ve etkileşime girdiği maddenin atom numarası ile değişmektedir. Fotoelektrik olay 0,001 MeV ile 0,8 MeV arasında bulunan foton enerji düzeylerinde daha baskın olarak ortaya çıkar. Saçılma (Compton) olayı 0,1 MeV ile 10 MeV arasında bulunan foton enerji düzeylerinde gerçekleşir. Çift oluşum olayı ise 1,02 MeV foton enerji düzeyinden başlar ve foton enerjisi arttıkça artar (10).

Enerji yüklü fotonların bir kısmı ise madde ile etkileşmeden maddeyi geçebilmektedir. Buna “penetrasyon” adı verilir. Fotonların penetrasyon yeteneği, fotonların sahip olduğu enerji ile doğru orantılı olarak artar. X-ışınları penetrasyon yeteneğine göre sert ve yumuşak x-ışınları olarak iki gruba ayrılır. Sert x-ışınları (>10 keV) ve yüksek enerjili gama ışınları hastayı penetre ederken, yumuşak x-ışınları (< 10 keV) hastada soğrulmaya uğrar. X-ışını kristalografide kullanılan ışınlar yumuşak x-ışını iken, görüntüleme (BT, floroskopi) kullanılanlar ise sert x-ışınlarıdır.



Şekil 8. Fotonların madde ile etkileşim tipi ve foton enerjisi arasındaki ilişki (10)

a. Saçılma olayı

Saçılma olayı koherent (elastik) ve inkoherent (inelastik) saçılma olarak iki gruba ayrılır.

1. Koherent (elastik) saçılma

Koherent (elastik) saçılma fotonların madde ile etkileşimi sonucunda enerjilerinde herhangi bir değişiklik olmadan saçılması olarak tanımlanır. Bu nedenle gelen foton ile saçılan fotonun dalga boyları aynıdır. Rayleigh, Delbruck, Thomson ve Nükleer Rezonans saçılmaları olarak tipleri vardır.

Rayleigh saçılması, elektron üzerine gelen fotonun elektronu sökebilecek kadar enerjisi olmadığı durumda meydana gelir. Fotonun enerjisi 0,1-0,5 MeV arasında olup, düşük enerjilidir. Fotonların çok ağır elementler üzerine uygulanması sonucunda görülür.

Delbruck saçılmasında fotonlar çekirdeğin oluşturduğu Coulomb alanından saçılır. Çekirdek etrafında, durgun Coulomb alanında, elektron-pozitron çifti atomun geri tepmesiyle yok olur. Bunun sonucunda enerji ve faz bakımından gelen fotonla aynı yeni bir foton oluşur.

Thomson saçılmasında foton elektron tarafından soğurularak elektronda titreşime (eksitasyon) neden olur. Titreşen elektron deeksitasyon ile enerjisini foton olarak yayımlar.

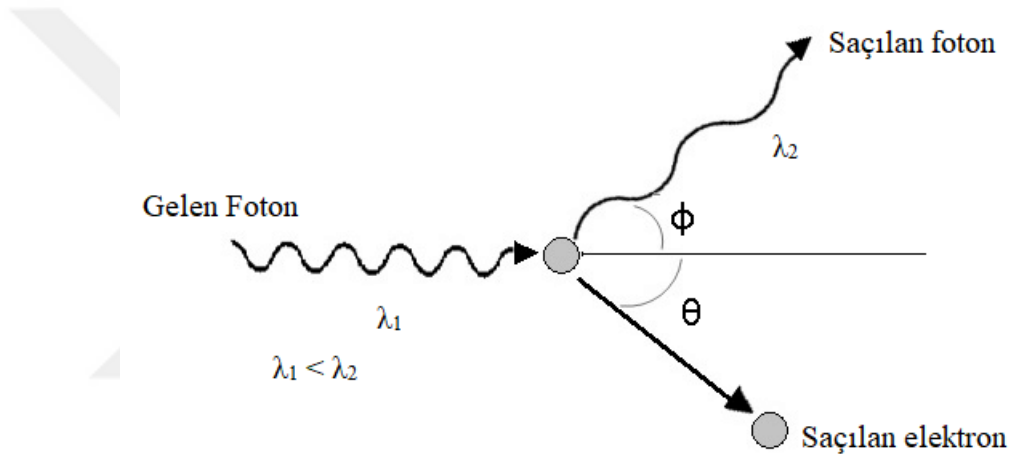
Nükleer Rezonans saçılmasında ise fotonların enerjisi çekirdeğin nükleer enerji seviyeleri arasındaki farka eş değer ise fotonlar çekirdek tarafından soğurularak çekirdeğin uyarılmış hale geçmesine (eksitasyon) neden olur. Bu olayı uyarılmış hale geçen çekirdeğin eski enerji seviyesine dönmesi (deeksitasyon) takip eder (10).

2. İnkoherent (inelastik) saçılma

İnkoherent (inelastik) saçılma, fotonların madde ile etkileşimi sonucunda enerjilerinde ve dalga boylarında farkın gözleendiği saçılmadır. Fazlar arasında

bağlantı olmaması nedeniyle saçılan dalgalar arasında girişim izlenmemektedir. Compton saçılması, Raman saçılması ve nükleer saçılma şeklinde tipleri vardır.

Compton saçılması, gelen fotonun zayıf bağlı bir elektronla çarpışması sonucunda geliş doğrultusundan saparak saçılmasıdır. Fotonla etkileşen elektron ise bağlı olduğu yörüngeden koparak farklı bir açıyla saçılır (Şekil 8). Compton saçılması enerjisi 0,1-10 MeV arasındaki fotonların madde ile etkileşiminde daha baskın olarak izlenir.



Şekil 9. Compton Saçılması (11)

Raman saçılmasında gelen foton atom tarafından soğrulur. Atom uyarılmış durumda değilse, gelen fotonun enerjisinden daha az enerjiye sahip bir foton yayımlanır. Atom, uyarılmış titreşim veya dönme enerji seviyesinde ise gelen fotonun enerjisinden daha fazla enerjiye sahip bir foton yayımlanır.

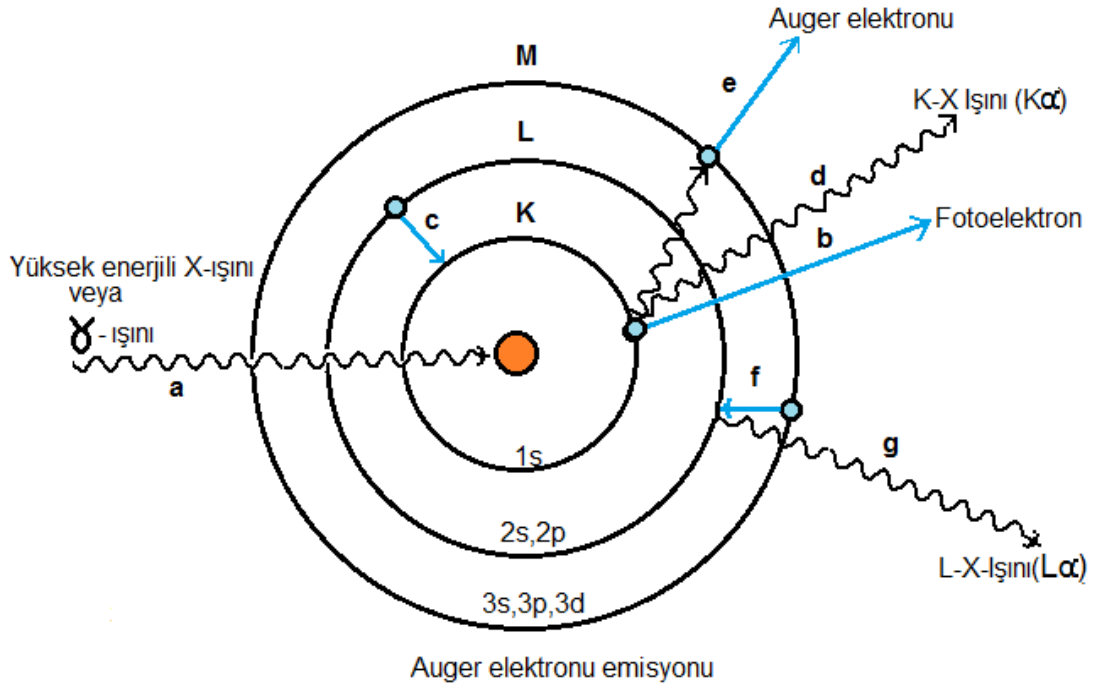
Nükleer inelastik saçılma, inelastik saçılmalar içerisinde küçük bir grubu oluşturur.

b. Soğrulma olayı

Fotonun madde ile etkileşimi sonucunda foton enerjisinin soğrulması izlenebilmektedir. Soğrulma olayını fotoelektrik olay ve Auger olayı olarak iki başlık halinde inceleyebiliriz (Şekil 9).

Fotoelektrik olayda gelen fotonun enerjisi elektron tarafından tamamen soğularak elektronun serbestleşmesi meydana gelmektedir. Serbest hale geçen elektrona fotoelektron adı verilir. Fotoelektrik olay atomun etrafındaki bütün yörüngelerde ortaya çıkabilmektedir. Foton enerjisi yüksek ise iç yörüngelerde, düşük ise dış yörüngelerde fotoelektrik olay meydana gelme olasılığı artmaktadır.

Auger olayı, uyarılan bir atomda iç yörüngelerde ortaya çıkan bir boşluk daha üst tabakalardaki elektronların alt tabakalara geçişi ile doldurulurken atom daha düşük enerji seviyesine geçeceği için açığa çıkan enerji dış yörüngedeki elektronu koparmak için kullanılır. Kopan elektrona Auger elektronu adı verilir. Atom numarası düşük olan elementlerde daha sık görülür.

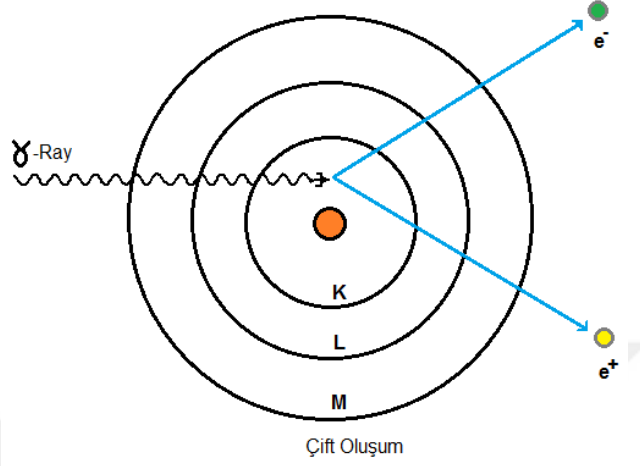


Şekil 10. Auger ve Fotoelektrik olay

c. Çift oluşumu

Bir fotonun bir elektron ve bir pozitrona (pozitif yüklü antilepton) dönüşmesine çift oluşumu adı verilir (Şekil 10). Çift oluşumu çekirdek etrafında veya yüklü bir parçacık etrafında meydana gelebilir. Çift oluşumu olabilmesi için fotonun enerjisi en az 1,02 MeV olması gerekir. Oluşan pozitronlar ortamdaki elektronlarla birleşerek

kaybolurlar (annihilasyon olay) ve enerjisi 0,51 MeV olan iki foton meydana getirirler.



Şekil 11. Çift oluşumu

2.5. RADYASYON İLE İLİŞKİLİ ÖLÇÜTLER VE DOZ SINIRLARI

Radyasyon ile ilişkili ölçütler radyasyonu ve etkilerini kantitatif olarak göstermeye yarayan sayısal değerler olarak tanımlanabilir. Bu ölçütler aktivite birimleri, ışınlama birimleri, absorblanmış doz birimleri ve eş değer doz birimleri olmak üzere dört gruba ayrılır.

Aktivite, birim zamandaki bozunma hızı olarak tanımlanır. Aktivite birimleri; Curie (Ci) ve Becquerel (Bq) ile ifade edilir. Curie (Ci) bir saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunan radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanır. Becquerel (Bq) ise bir saniyede bir birim bozunan aktivite miktarıdır (12).

Işınlama birimleri; Röntgen (R) ve Coulomb/kg (C/kg) ile ifade edilir. Röntgen (R) normal hava koşullarında (760mmHg hava basıncında ve 0°C sıcaklıkta) 1 kg'lık hava kütleğinde $2,58 \times 10^{-4}$ Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x-ışını veya gama (γ) radyasyon miktarıdır. Coulomb/kg normal hava koşullarında 1 kg'lık hava kütleğinde 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan radyasyon miktarıdır.

Absorblanmış doz; birim kütle başına soğurulan enerjiyi tanımlamaktadır. Birimleri Rad ve Gray (Gy) ile ifade edilir. Radyasyona maruz kalan 1kg'lık maddeye 10^{-2} joule'lük enerji veren radyasyon miktarına "Rad", 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarına "Gray (Gy)" adı verilir. 1 Gray 100 Rad'a eşittir.

Eş değer doz (H) ; aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarı olarak tanımlanır. Eş değer doz (H);

$$H = D \cdot W_R$$

denkleminde absorblanmış doz (D) ve radyasyon ağırlık faktörü (W_R) ye bağlıdır. Radyasyon ağırlık faktörü (W_R) farklı radyasyon tiplerinin biyolojik etkilerini karşılaştıran sayısal değer olarak tanımlanmaktadır. "Fotonlar" ve "elektronlar"ın ağırlık faktörü "1" dir. Ancak "nötronlar", "protonlar", "alfa parçacıkları" gibi daha partiküllü radyasyon tiplerinin ağırlık faktörleri "foton" ve "elektronlardan" daha yüksektir.

Eş değer doz birimleri; Rem ve Sievert (Sv) ile ifade edilir. 1 Röntgen'lik x-ışını ya da gama ışınlarının meydana getirdiği biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarı bir "Rem" olarak tanımlanır. 1 Gray'lik x-ışını ya da gama ışınlarının meydana getirdiği biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarı bir "Sievert" olarak tanımlanır (12).

Yıllık mesleki radyasyon maruziyeti ise ülkemizde yasalarla ve uluslararası kuruluşların kararıyla belirli sınırlar içerisinde tutulmaktadır (1, 13).

Uluslararası Atomik Enerji Dairesi (IAEA) mesleki radyasyon maruziyetlerinde 18 yaş ve üzeri çalışanlarda yıllık maksimum radyasyon maruziyeti 50 mSv, arka arkaya 5 yıl boyunca çalışanlarda ortalama yıllık maksimum radyasyon maruziyeti 20 mSv (5 yıl boyunca maksimum 100 mSv) olarak belirlemiştir (13). Lens için eş değer maruziyet dozu yıllık maksimum 50 mSv, arka arkaya 5 yıl boyunca ise ortalama yıllık maksimum 20 mSv (5 yıl boyunca maksimum 100 mSv) olarak belirlenmiştir. Ekstremiteler ve cilt için eş değer maruziyet dozu yıllık maksimum 500 mSv olarak belirlenmiştir (13). 16 ile 18 yaş arası çalışanlarda mesleki radyasyon maruziyetlerinde yıllık maksimum radyasyon maruziyeti 6 mSv, lens için eş değer

maruziyet dozu yıllık maksimum 20 mSv, ekstremite ve cilt için eş değer maruziyet dozu yıllık maksimum 150 mSv olarak belirlenmiştir (13).

“Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği” ile Uluslararası Atomik Enerji Dairesi (IAEA)’nin belirlediği maruziyet sınırlarının büyük bir çoğunluğu yasal olarak zorunluluk haline gelmiştir. “Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği” nde farklı olarak lens için eş değer maruziyet dozu yıllık maksimum 150 mSv olarak, 16 ile 18 yaş arası çalışanlarda lens için eşdeğer maruziyet dozu yıllık maksimum 50 mSv olarak sınırlandırılmıştır (1).

2.6. X-IŞINININ ETKİLERİ

İyonizan radyasyon grubunda olan x-ışınının madde üzerine etkileri fiziksel, fiziko-kimyasal ve biyolojik etkiler olarak üç gruba ayrılmaktadır.

X-ışınının neden olduğu kimyasal reaksiyon sonucunda ısı ve maddelerde flüoresans etkisi x-ışınının fiziksel etkileri; fotoğraf plakası üzerinde gümüş tuzlarından gümüşü açığa çıkararak görüntü oluşumunu sağlayan fotografik etki ve maddelerin ya da solüsyonların x-ışını altında kaldığında renk değişikliği göstermesi x-ışınının fiziko-kimyasal etkileri arasındadır.

X-ışınlarının biyolojik etkileri ise doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde görülmektedir. Doğrudan etki ile makromoleküllerde (DNA, protein) eksitasyon ve iyonizasyon görülebilmekte ve bunun sonucunda makromoleküllerin işlevleri bozulabilmektedir. Ancak DNA haricindeki diğer makromoleküllerin tekrar sentezlenebilmesi ve benzer çok sayıda makromolekülün hücre içinde olması nedeniyle bu makromoleküllerin işlev kaybında hücrede belirgin bir etki ya da fonksiyon bozukluğu ortaya çıkmaz. DNA’da ise baz hasarı ya da bağların kopması durumunda hücrelerde kalıcı mutasyon ve buna bağlı kanser gelişimi ya da hücre ölümü görülebilmektedir. Yumuşak x-ışınları biyolojik etkileri bakımından hücreler için en zararlı olanıdır. Bunun nedeni hücreler tarafından soğrulmasıdır (7).

X-ışınlarının dolaylı etkisi ise su moleküllerinde izlenmektedir. Su molekülleri x-ışınları etkisiyle iyonize olup serbest radikaller ortaya çıkarır. Serbest radikaller

hücre içerisindeki makromoleküllere (DNA, protein) zarar vererek hücre yapısının bozulmasına neden olabilir.

Her dokunun ve hücre tipinin biyolojik etkileri bakımından x-ışınlarına duyarlılığı farklıdır. Hematopoetik sistem, reproduktif sistem gibi hızlı çoğalan ve bölünme fazında olan hücreler x-ışınlarına daha duyarlıdır. Santral sinir sistemi gibi bölünmeyen hücrelerin ise duyarlılığı çok daha azdır.

X-ışınlarının organizma üzerindeki etkisi ışınlama dozu ve şekline göre farklılık göstermektedir. Bu etkiler hemen görülebilir ya da latent bir periyotdan sonra ortaya çıkabilir. Söz konusu etkiler deterministik ve stokastik etkiler olarak sınıflandırılmaktadır.

Deterministik etkiler, geniş bir vücut alanının etkilenmesi sonucunda ortaya çıkmakta olup bu tür etkilerin ortaya çıkabilmesi için eşik değerin aşılması gerekmektedir. Deterministik etkiler verilen dozla doğru orantılı olarak artar. Deterministik etkileri, yüksek doz maruziyetinde akut radyasyon etkileri ve düşük doz maruziyetinde kronik radyasyon etkileri olarak sınıflandırabiliriz (14).

Yüksek doz maruziyetinde izlenen akut radyasyon etkileri, tek seferde alınan yüksek doz ışınlamalarda veya yakın zaman içerisinde yüksek dozda yapılan tüm vücut ışınlamalarında görülebilmektedir (Tablo 2). Maruziyet dozuyla orantılı olarak kromozomlarda kırılmalar, mitozda inhibisyon, lökopeni, immün supresyon ortaya çıkabilmektedir. 400-600 Rad'ın (4-6 Gy) üzerindeki doz maruziyetinde hematopoetik sistem depresyonu görülür. 7 Gy'in üzerindeki doz maruziyetinde kemik iliği geri dönüşsüz biçimde hasarlanır. 10 Gy ve üzerindeki doz maruziyetinde gastrointestinal mukozanın yaygın nekrozu görülür. 20 Gy ve üzerindeki doz maruziyetinde ise santral sinir sistemi bulguları nedeniyle ölüm gerçekleşir.

Tablo 2. 70 kg ağırlığında insan için tek seferlik radyasyon maruziyetinde farklı dozların etkileri (5)

Doz (Gray)	Etkiler/Semptomlar
<0,05	Gözlenebilen bir etki oluşmaz
0,05-0,2	Kromozomal hasar oluşma olasılığı
0,2-1	Beyaz kan hücrelerinde (WBC) geçici düşüş
0,5-1	Erkeklerde geçici sterilite (Bir yıla kadar)
1-2	Radyasyon hastalığının ılımlı belirtileri, bulantı, kusma, diyare, immün supresyon, çocuklarda kemik iliğinde baskılanma
>3	Kadınlarda kalıcı sterilite
>5	Kemik iliği ve gastrointestinal sistemde yıkım, 30 gün içerisinde %50 sinde ölüm
>30	Saatler içinde ölüm

Düşük doz maruziyetinde izlenen kronik radyasyon etkileri radyasyonun dozu ve alım süresine göre değişmektedir. Cilt bulguları eritem ile başlayarak kuru deskuamasyon ve eksudatif reaksiyon ile devam eder. Radyasyon maruziyeti devam ederse epilasyon, yağ ve ter bezi yıkımı, telenjiektaziler ve pigmentasyon değişiklikleri ortaya çıkar. Tırnakların kırılabilirliği artar, yüksek dozlarda ise tırnak yatağı ortadan kalkar. Gözde 5 Gy ve üzeri doz maruziyeti sonucunda katarakt görülür. Orofarenks ve diğer mukozalarda ülserasyon, hematopoetik sistemde ise kemik iliği depresyonu, aplastik anemi görülür. İlerleyen dönemlerde lösemi görülebilir. Gonad bölgesine erkeklerde 3,5-6 Gy, kadınlarda 2,5-6 Gy'lik doz maruziyetinde sterilite izlenebilir (14). Kromozomlarda kırılma ve yeniden birleşmelere neden olur, mitozu bozar.

Stokastik etkiler ise, daha geç ortaya çıkan, eşik değer belirlenemediği ve dozla etki miktarının artmadığı etkilerdir. Ancak doz artımı ile stokastik etkilerin ortaya çıkma olasılığı artar. Kanserler, genetik mutasyonlar bu grupta ele alınır (14).

2.7. DOĞAL RADYOAKTİF KAYNAKLAR VE URANİL ASETAT

Dünya üzerinde çeşitli doğal kaynaklardan sürekli olarak yayılan radyasyon arka plan (background) radyasyon olarak isimlendirilmiştir. Arka plan radyasyon dozu insanlar üzerinde yaklaşık 150-600 mrem/yıl maruziyete neden olmaktadır. Arka plan radyasyonunu oluşturan başlıca etkenler: Kozmik ışınlarla bağlı radyasyon, kozmojenik radyasyon, terrestrial (yeryüzü kaynaklı) radyasyon ve radon gazına bağlı oluşan radyasyondur (5).

Kozmik ışınlarla bağlı radyasyon, güneş ve diğer yıldızlardan yayılan yüksek enerjili partiküller ve gama (γ) ışınlarının oluşturduğu radyasyondur. Bu ışınların büyük bir kısmı atmosfer tarafından soğrularak etkisi azalır. Deniz seviyesinde yaşayan insanlarda yaklaşık 30 mrem/yıl radyasyon maruziyeti oluşturmaktadır. Deniz seviyesinden daha yüksek yerlerde yaşayan insanlarda ise kozmik ışınlarla bağlı radyasyon maruziyeti artmaktadır (5).

Kozmojenik radyasyon, kozmik ışınların üst atmosferde bulunan gazlarla etkileşimi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Yüksek enerjili kozmik ışınların oksijen ve nitrojen atomları ile etkileşimi sonucunda nötronlar ve protonlar açığa çıkar. Açığa çıkan nötronlar ve protonlar ise, diğer elementlerin radyoaktif izotoplarının (^{14}C , ^3H gibi) oluşmasına katkıda bulunur. ^{14}C atomuna bağlı yaklaşık 1 mrem/yıl radyasyon maruziyeti, Tritiyuma (^3H) bağlı yaklaşık 0.001 mrem/yıl radyasyon maruziyeti gözlenmektedir (5).

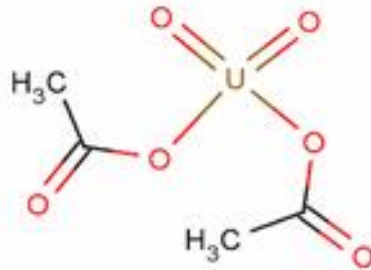
Terrestrial radyasyon, yerküre üzerinde radyoaktif maddelerin kalıntıları ve bozunma ürünlerinin bulunması nedeniyle oluşan radyasyondur. Toprakta çok düşük miktarda radyoaktif izotoplar bulunabilmektedir. ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra gibi radyoaktif izotoplar yaklaşık 30 mrem/yıl maruziyet oluşturmaktadır. Tuğla ve beton içerisinde de bu radyoaktif izotoplar bulunabilmektedir. Bu nedenle tuğla ve beton evlerde yaşayan insanlarda 60-160 mrem/yıl radyasyon maruziyeti gözlenmektedir (5).

Radon gazının oluşturduğu radyasyon maruziyeti arka plan radyasyonunun en önemli etkenlerinden biridir. ^{238}U (Uranyum) bozunması sonucunda ortaya çıkan ^{222}Ra (Radon) gazı bozunarak önce ^{218}Po (Polonyum), sonrasında ^{214}Pb (Kurşun)

elementlerine dönüşür ve beraberinde alfa partiküllerini oluşturur. Radon yoğunluğu yüksek bir gaz olması nedeniyle yere yakın yerlerde birikir. Solunumla alınan radon gazı akciğerde sırasıyla: Önce polonyuma dönüşür, sonra hücrelere irreversibl olarak bağlanır ve bozularak alfa partikülleri ortaya çıkarır. Oluşan alfa partikülleri akciğer hücrelerinde hasara ve bu hasarın sürekli olması durumunda kanser patogeneziine neden olur. Radon gazı maruziyeti, akciğer kanseri nedeniyle ölümlerin yaklaşık %15'ini oluşturur (5).

Arka plan radyasyonu dışında vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlere bağlı soğrulan radyasyon da bulunmaktadır. En önemlisi potasyum (^{40}K) elementinin bozunmasına bağlı oluşan radyasyondur. Potasyum (^{40}K) elementinin bozunmasına bağlı ortalama 40 mrem/yıl radyasyon dozu maruziyeti gözlenmektedir (5).

Çalışmada kullanılan uranil asetat sarı-yeşil renkte rombik kristallerden oluşan, uranyum elementinin asetat tuzudur (Şekil 11). Yoğunluğu $2,89 \text{ g/cm}^3$ olup, çözünürlüğü $7-8 \text{ gr/100 mL}$ (su) dir. $0,37-0,51$ mikrocurie (μCi) veya $14-19 \text{ kBq}$ 'lik doğal zayıf bir radyoaktiviteye sahiptir (15). ^{235}U ve ^{238}U olmak üzere iki adet izotopu vardır. ^{238}U uranil asetatın %99,3'ünü, ^{235}U uranil asetatın %0,7'sini oluşturur. Ancak zayıflatılmış uranil asetatta ^{235}U yaklaşık %0,3-0,4 civarında bulunmaktadır. Vücut dışında radyasyon açısından tehlikeli sayılmaz. Uranil asetat üç farklı radyasyon ışıması yapar: İlk ikisi alfa ve gama ışıması olup çok az miktarda ortaya çıkarken üçüncü ışıma ise, beta ışıması olup en çok ortaya çıkan ışıma tipidir ve Geiger-Müller dedektörü ile kolaylıkla tespit edilebilmektedir.

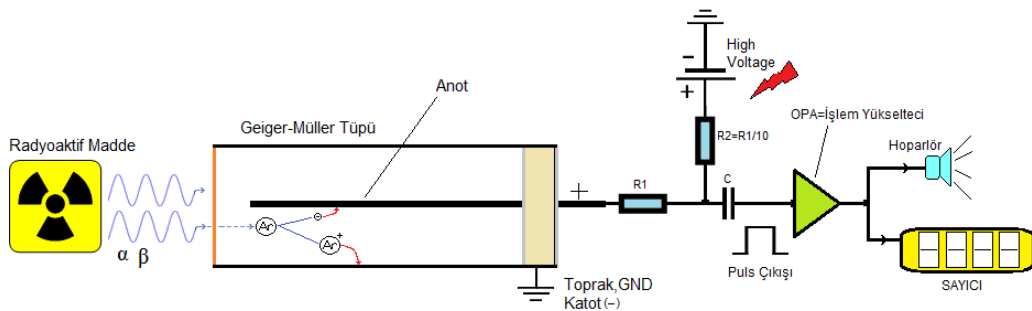


Şekil 12. Uranil asetatın kimyasal yapısı (15)

2.8. GEİGER-MÜLLER CİHAZI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Geiger-Müller cihazı alfa (α), beta (β), gama (γ) ve x-ışınları gibi iyonizan radyasyonu tespit edip ölçen parçacık detektörüdür. Dedektör, Geiger-Müller tüpü ve elektronik devreleri olmak üzere iki ana elemandan oluşur (Şekil 12). Geiger-Müller tüpü radyasyonu algılayan kısım olup soy gaz (He, Ne, Ar gibi) ve halojen (Cl veya Br) içerir. Bu tüpün her iki ucuna elektrik akımı uygulandığında tüpün içerisindeki soy gazda herhangi bir iyonlaşma mevcut değilse elektrik akımını iletmez. Ancak foton ya da partiküler radyasyon etkisiyle soy gazda iyonizasyon meydana geldiğinde elektrik alan altında bu iyonlar anot ve katoda doğru ilerleyerek elektrik akımını iletir. Elektrik alan altında hızlanan elektronlar tüpün içerisinde bulunan diğer gaz moleküllerinde de iyonizasyona neden olur. Bunun sonucunda tek bir iyonizasyon olayı hızla artarak çok sayıda iyonizasyon olayını meydana getirir. Bu durum “Townsend çığ etkisi ya da boşalım” olarak adlandırılır. “Townsend çığ etkisi” ile bu iyonizasyon yükseltilecek uygulanan elektrik akımı ölçülebilecek şekilde getirilir. İyonizasyon ve elektrik akımının iletilmesi sonrasında Geiger-Müller tüpünün eski durumuna dönmesi içerisinde bulunan halojen gazların etkisiyle yüklerin yeniden birleştirilmesi sonucunda meydana gelir (16).

Geiger-Müller tüpünün çalışabilmesi için yüksek gerilime (400-600 volt) ihtiyaç vardır. Uygulanan yüksek gerilim nedeniyle radyasyon enerjisinden bağımsız şekilde sinyal oluşur. Geiger-Müller cihazı saniyede oluşan iyonizasyon (iyonlaşma) sayısını yani frekansı tespit ederken radyasyon dozunu tespit edememektedir. Ayrıca puls tipi radyasyon alanlarında kullanılmazlar, sonuçlar belirgin bir şekilde düşük değerlerde çıkar.



Şekil 13. Geiger-Müller cihazı çalışma düzeneği

2.9. BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ (BT) AYGITI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bilgisayarlı tomografi (BT) x-ışını kullanılarak vücudu kesitler şeklinde gösteren bir yöntemdir.

Bilgisayarlı tomografi aygıtı tarayıcı, bilgisayar sistemi ve görüntüleme bölümü olmak üzere üç ana bölümden oluşur (Şekil 14). Tarama ünitesi x-ışını tüpü ve dedektörlerin bulunduğu, ortasında inceleme yapılabilmesi için açıklık bulunan “gantry” ve “gantry açıklığı” içerisinde bulunan hasta masasından oluşmaktadır. “Gantry” genellikle yere dik olmakla beraber öne veya arkaya doğru 30 dereceye kadar eğim verilebilir bir yapıya sahiptir.

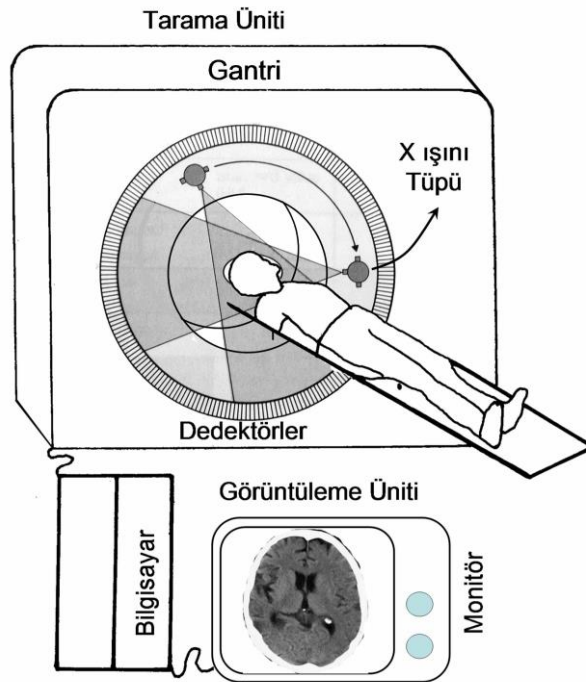
X-ışını tüpünden çıkan ışınlar kolimatörler aracılığıyla istenilen çapta ve şekilde ışın demetlerine çevrilir. Kolimasyon işlemi sonucunda saçılma azalır, dokular arası kontrast ve geometrik rezolüsyon artar. Dedektörler incelenen alandan geçen x-ışını atenüasyonunu ölçer. İki çeşit dedektör tipi vardır: Xenon gaz dedektörleri ve solid-state(katı-hal) dedektörler. Günümüzde daha çok kullanılan solid-state (katı-hal) dedektörler bir sintilatör (gadolinium oksisülfid, gadolinium oksit ya da kalsiyum tungstat) aracılığı ile x-ışınını görünür bölge ışığına çevirerek fotodiyot üzerine düşürür. Fotodiyot üzerine düşen ışınlar ise önce elektrik akımına daha sonra analog-dijital çevirici ile dijital veriye çevrilerek okunur. Ham verinin oluşturduğu görüntüye “sinogram” adı verilir. X-ışını tüpü ve dedektörler tarama esnasında dönerek çok sayıda görüntü (sinogram) alırlar. Bilgisayar sistemi dedektörlerden gelen dijital verileri işleyip (rekonstrüksiyon) voksellere dönüştürür ve kesitleri oluşturur. Görüntüleme bölümü görüntülerin işlendiği, kaydedildiği ve sisteme komut verildiği bölümdür.

İlk jenerasyon BT aygıtları tek dedektör ve tek x-ışını tüpü (pencil beam) ile 1° lik açılarla dönerek çizgi boyunca tarama yaparak (translate/rotate) görüntü oluşturmaktadır. Bir kesit yaklaşık 4,5 dakika sürmekte olup 180 ° boyunca tarama yaklaşık 2,5 saat sürmektedir. Günümüzde kullanılan BT aygıtlarında ise çok sayıda dedektörün ve x-ışını tüpünün hasta etrafında dönmesiyle (rotate/rotate) görüntüler hızlı bir şekilde elde edilmektedir. Helikal (spiral) BT ve çok kesitli BT “Rotate/rotate” şeklinde çalışan altıncı ve yedinci jenerasyon BT aygıtlarına örnektir.

Helikal (spiral) BT de bir nefes tutma süresinde 40-80 cm'lik bir alan taranabilir. Çok kesitli BT de tek dedektör halkası yerine çok sayıda dedektör halkası yanyana sıralanarak dedektör bloğu oluşturur. Böylece inceleme esnasında taranan hacim artmakta ve tarama süresi helikal BT ye kıyasla daha kısa olmaktadır (17).

Bilgisayarlı tomografi aygıtında inceleme öncesi incelenecek bölgeyi göstermek amacıyla dijital röntgenogram alınabilir. Topogram ya da scanogram olarak adlandırılan dijital röntgenogramlar antero-posterior (AP) ya da lateral olarak alınabilir.

Bilgisayarlı tomografi görüntüsü piksel adı verilen küçük karelerden oluşan bir matriksden oluşur. Genellikle bu matriks 256x256, 320x320 ya da 512x512 pikseldir. Pikseller iki boyutlu olmakla beraber çekim sırasında seçilen kesit kalınlığına göre bir hacim oluşturur ve buna voksel adı verilir. Pikseller incelenen bölgedeki x-ışını atenüasyon değerini gösterir. -1000 ile +1000 arasındaki bütün değerleri kapsayan ve suyun 0 değeri aldığı "Hounsfield skalası" x-ışını atenüasyon değerlerinin alabileceği aralığı yansıtır. Her bir pikselin aldığı atenüasyon değerinin birimi ise "Hounsfield Unitesi (HU)" ile ifade edilir.



Şekil 14. Bilgisayarlı tomografi aygıtı ve bölümleri

2.10. RADYASYONDAN KORUNMA VE KORUYUCU EKİPMANLAR

İyonizan radyasyon dokular ve hücreler üzerinde hasarlanmaya yol açan etkiler oluşturabilmektedir. Bu etkileri önlemek ve oluşturduğu riskleri azaltmak için radyasyondan korunma prensiplerine uyulması gerekmektedir.

Radyasyondan korunmada üç önemli faktör: Zırhlama, mesafe ve zamandır. Radyasyon maruziyeti zamanla doğru, mesafenin karesi ile ters, zırh kalınlığının karesi ile ters orantılıdır.

Radyasyondan korunmada önemli bir etken olan zırhlama, kullanılan materyalin özelliklerine göre değişebilmektedir. Alfa ışınları ince kâğıt tabakası, beta ışınları alüminyum levha, X-ışınları ve gama ışınları ise kurşun levha ve beton ile kesilebilmektedir.

Türkiye’de radyasyon güvenliğinin sağlanmasından sorumlu kuruluş Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)’dur. Yıllık maruziyet dozu 1 mSv ve üzerinde olma ihtimali bulunan alanlar radyasyon alanları olarak tanımlanmaktadır. Radyasyon alanları beklenen maruziyet dozuna göre gözetimli alanlar ve denetimli alanlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Gözetimli alanlarda yıllık maruziyet dozu 6 mSv’i aşmayıp kişisel doz ölçümü gerekmemektedir. Denetimli alanlarda ise yıllık maruziyet dozu 6 mSv’i aşabilmekte olup kişisel doz ölçümü gerekmektedir.

Sağlık çalışanlarının radyasyon maruziyetinden korunması konusundaki en önemli uygulamalardan birisi “ALARA” prensibidir. ALARA (As Low As Reasonably Achievable) prensibi radyasyon uygulamalarında olabildiğince en düşük dozun alınması anlamına gelir. ALARA prensibi nedeniyle kişilere yarar sağlamayacak radyasyon uygulamalarından kaçınılmalıdır; ancak işlem yapılacaksa da mümkün olan en düşük doz verilerek yapılmalıdır (18, 19). Ek olarak dozimetre kullanımı ile sağlık çalışanlarının aldığı dozlar belirli periyotlarla takip edilmelidir.

Radyasyondan koruyucu ekipman kullanımı maruziyetin azaltılmasında diğer önemli uygulamalardan birisidir. Radyasyondan koruyucu ekipmanlar kurşun önlükler, eldiven, tiroid kalkanı, gözlük, gonad koruyucu, kurşun camlar ve paravanlardır. Bu ekipmanlar genellikle kurşun eş değer kalınlığına sahip malzemedir ve bu

kalınlıkta kurşunla aynı düzeyde koruma sağlar. Söz konusu ekipmanlar içerisinde rutinde en çok kullanılan radyasyondan koruyucu önlükler olmaktadır. Bu önlükler genellikle 0,5 mm kurşun eşdeğeri kalınlığında kurşun içeren vinil ya da kauçuk levhalardan ve naylon dış tabakadan oluşmaktadır.

Önlük içerisindeki levhalar ve önlüğü oluşturan diğer parçalar zaman içerisinde kullanımla ya da yanlış kullanım ve saklama sonucunda hasar görebilmektedir. Hasar gören önlüklerin koruyuculuğu azalmakta ve kullananların sağlığını tehdit etmektedir. Bu nedenle kurşun önlükler başta olmak üzere radyasyondan koruyucu ekipmanların belirli periyotlarla denetlenmesi ve denetim planı oluşturulması ABD’de “Joint Commission on the Accreditation of Healthcare Organizations (JCAHO)” tarafından, ülkemizde de “Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)” tarafından zorunlu hale getirilmiştir (20, 21).

Genel olarak radyasyondan koruyucu ekipmanların denetimi inspeksiyon ve radyasyon penetrasyonunun ölçümünden oluşmaktadır. İnceleme sırasında dışarıdan izlenebilen ve hasara neden olma olasılığı taşıyan yırtık, delinme ve katlanmalar tespit edilir. Radyasyon penetrasyonu ise x-ışını içeren yöntemler (radyografi, floroskopi, tomografi) ile ölçülmektedir. Kurşun önlükler, gonad koruyucular, tiroid koruyucular en az 80 kVp; eldivenler 120 kVp, 2.5-3.2 mAs olarak ayarlanan x-ışını görüntüleme yöntemi ile değerlendirilmelidir. Kurşun camlar ve bariyerlerde x-ışını kullanılarak değerlendirme yapmaya gerek yoktur (20).

Denetim sonucunda defektif bulunan ekipmanların rejeksiyon kriterlerine göre kullanıma uygun olup olmadığına karar verilmelidir. Literatürde defekt toplam boyutu üst sınırları over, testis ve tiroid bezi için kullanılan koruyucular için 11 mm², kritik organların üzerinde olmayan koruyucular için 15 mm², önlüklerde dikiş yerleri, sırt kısmı ve üst üste binen alanlar için 670 mm² olarak belirlenmiştir (22). Kriterlere uygun olmayan ekipmanlar kullanımdan kaldırılmalıdır.

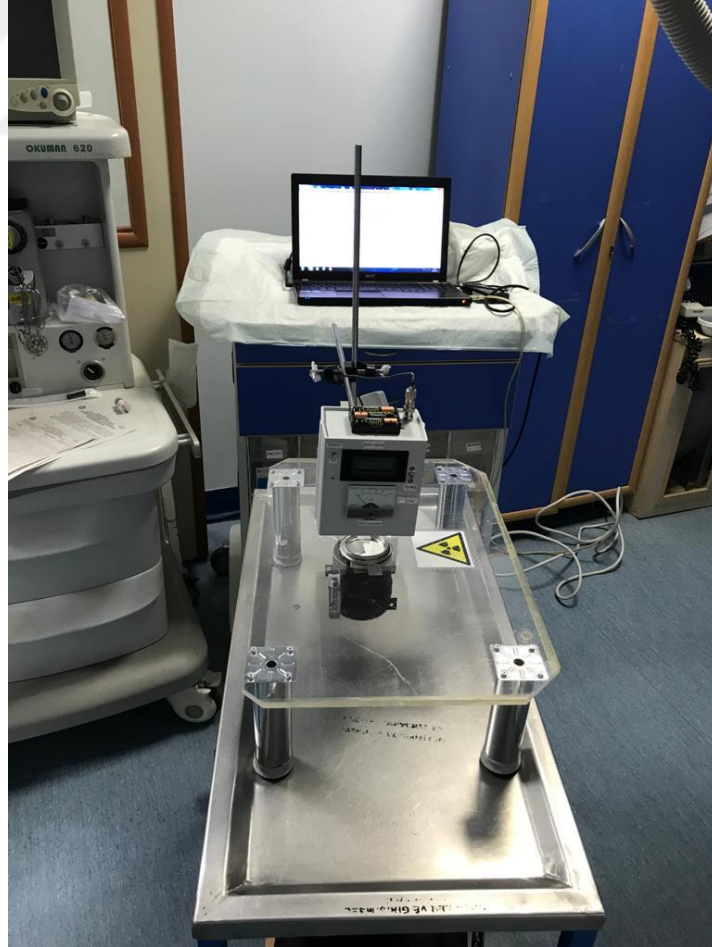
3. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmaya hastanede nörogirişimsel anjiyo ünitesi, girişimsel radyoloji ünitesi ve röntgen ünitesinde kullanılan 24 adet kurşun önlük dâhil edilmiştir. Önlüklerin tamamı yelek/etek şeklinde iki parçadan oluşmaktadır. Kurşun önlüklerin üzerindeki yırtıkları ve çatlakları tespit edebilmek amacıyla laboratuvar ortamında yenilikçi bir tasarımla radyoaktif kaynaklı Geiger-Müller dedektörü ile test cihazı kurulmuş olup çalışmaya dâhil edilen kurşun önlükler radyasyon bulunmayan ve geçirmeyen özel odalarda tarama tekniğine uygun bir şekilde taranmıştır. Kurulan tarama düzeneğinden elde edilen veriler ile bilgisayarlı tomografi (BT) topogram görüntüleri değerlendirme kriterleri çerçevesinde karşılaştırılmış ve istatistikî analiz yapılmıştır. Söz konusu çalışmanın izlenim süreci aşağıda alt başlıklar hâlinde belirtilmiştir.

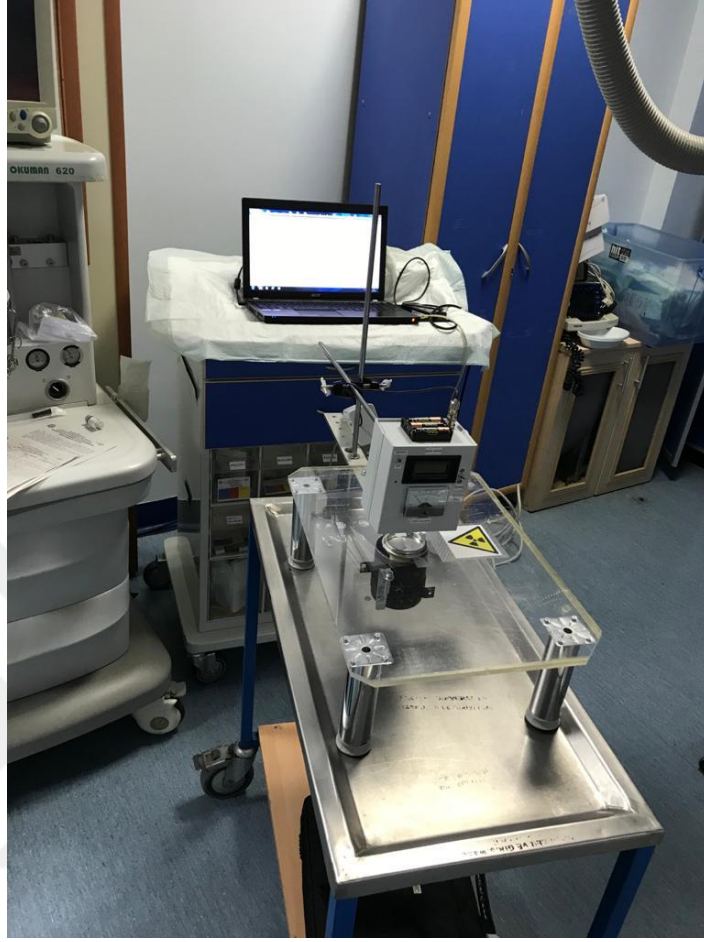
a. Geiger-Müller Dedektörü ile Kurulan Test Cihazı

Test cihazında kullanılan ekipmanlar Geiger-Müller dedektör, zayıf bir radyoaktif kaynak (Uranil Asetat-Merck No: 8473, 50 gramlık plastik kutuda), radyoaktif kaynağı dışarıdan çevreleyen metal radyasyon kesici kutu, koruyucu önlük ya da eteklerin serilerek incelenebileceği bir PVC-polimer saydam sehpa, dedektör çıkışının bağlandığı bir Schmitt-Trigger devresi ile mikroişlemcili data toplama (data logger) amaçlı bir Arduino-Uno kartını içeren modül ve bunun USB kablo ile seri olarak bağlandığı taşınabilir bir bilgisayar içermektedir. Plastik kutu içerisindeki zayıf radyoaktif kaynak radyoaktif kaynağı çevreleyen metal radyasyon kesici kutu içerisine konularak PVC-polimer saydam sehpanın altına yerleştirilmiştir.

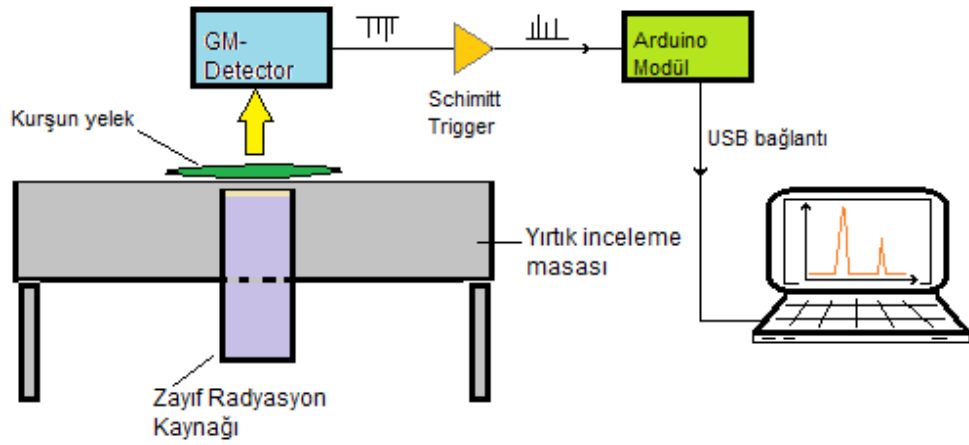
Yerleştirildiği noktada sehpanın üzerine yarıçapı 2,5 cm olan radyoaktif kaynaktan gelen ışınların geçebileceği delik açılmıştır ve bu delik, üzerine yerleştirilen metal hareketli kapak (shutter) ile kapatılıp açılabilir şekilde dizayn edilmiştir. Delikten yaklaşık 5,5 cm uzaklıkta ise Geiger-Müller dedektörü saydam sehpaye bir çubuk aracılığı ile sabitlenmiştir. Geiger-Müller dedektörü tarafından algılanan sinyaller pulslar şeklinde olup zayıf pulslar “Schmitt-Trigger” olarak adlandırılan puls şekillendirici CMOS-IC entegre devresi üzerinden düşük empedans ile fazı çevrilerek sürülmüş ve güçlendirilmiştir. +2,5 voltun üzerindeki pulslar lojik 1 olarak kabul edilmiştir. Güçlendirilen pulslar “Arduino-Uno” kompakt mikroişlemci kartının dijital kanalına uygulanarak “Frekans Sayıcı” programı aracılığı ile pulsların sayımı yapılmıştır. Bu modül USB kablosu ile bilgisayara bağlanarak tarama sırasında Geiger-Müller dedektörünün okuduğu değerler bilgisayarda gerçek zamanlı olarak kayıt altına alınmıştır (Şekil 15).



a



b



c

Şekil 15. Çalışmada kullanılan Geiger-Müller test cihazı ve şematik gösterimi (a, b,

c)

b. Tarama Tekniği

Çalışmaya dâhil edilen kurşun önlükler Geiger-Müller (G-M) test cihazı ile radyoaktivite miktarı eş zamanlı kontrol edilerek dikey olarak taranmıştır. Tarama esnasında G-M test cihazının tespit ettiği radyoaktivite miktarı eş zamanlı olarak Arduino-Uno kartını içeren modül ve USB kablo aracılığıyla bağlandığı bilgisayar üzerinden 2000 milisaniyede bir defa olmak üzere bilgisayara kaydedilmiş ve frekans-zaman eğrileri oluşturulmuştur. Kurulan düzeneğin tekrar edilebilirliğini ölçmek amacıyla kurşun önlükler karışık sıra ile iki defa taranmıştır.

c. Görüntüleme Tekniği

Taranan kurşun önlükler aynı gün içerisinde bilgisayarlı tomografi (Toshiba Aquillon One Systems, USA) aygıtı eşliğinde görüntülenerek değerlendirilmiştir. “Gantry” açıklığı içerisine kurşun önlükler tek katman halinde ve boydan boya önlüğün tamamını içerecek şekilde yerleştirilmiştir. Kurşun önlükler ile x-ışını tüpü arasında yaklaşık 57,6 cm’lik, dedektör ile arasında yaklaşık 32,4 cm’lik mesafe bulunmaktadır. Kurşun önlükler ön ve arka katmanları için birer defa bilgisayarlı tomografi (BT) aygıtının topogram modunda taranarak görüntüler PACS sistemine yollanmıştır. Görüntü alanına girmeyen kesimlerin bulunması durumunda o bölgelere yönelik tekrar görüntüleme işlemi yapılmıştır. Görüntüleme protokolü 120 kV (kilovolt), 50 mA (miliamper), 17 sn ekspozur zamanı, 1950 mm FoV (Field of view) ve sıfır derece tilt olacak şekilde ayarlanmıştır.

d. Değerlendirme Kriterleri

Taranan önlükler değerlendirilirken BT topogram modunda elde edilen görüntüler ile G-M test cihazından elde edilen veriler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Değerlendirme yapılırken baz alınan kriterler şunlardır: G-M test cihazı ile defektlerin tespit edilip edilememesi ve tespit edilen defekt varsa uzanımı ve şekli. Karşılaştırmada literatürde bahsedilen farklı defekt tipleri ayrıca sınıflandırılmamıştır (23).

e. İstatistikî Analiz

G-M test cihazı ile elde edilen frekans sayımları gruplar arasında bağımsız örneklem T testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Etek ve yelek grupları arasında yapılan karşılaştırmalar χ^2 testi kullanılarak yapılmıştır.

Literatüre benzer şekilde BT topogram görüntüleri altın standart kabul edilerek G-M test cihazının yırtık ve/veya çatlakların tespit edilebilme durumu için %95 güven aralığı içerisinde sensitivitesi, spesifitesi, negatif prediktif değeri, pozitif prediktif değeri Wilson Metodu ile hesaplanmıştır. Kappa katsayısı (κ) hesaplanarak yöntemler arasındaki uyum değerlendirilmiştir (24). BT topogram görüntüleri ile G-M test cihazından elde edilen veriler arasında yapılan karşılaştırmalar McNemar χ^2 testi kullanılarak yapılmıştır.

G-M test cihazı ile yapılan ölçümlerin tekrar edilebilirliğini tespit etmek amacıyla yapılan ölçümler arasında McNemar χ^2 testi kullanılarak karşılaştırma yapılmış olup kappa katsayısı (κ) hesaplanarak ölçümler arasındaki uyum değerlendirilmiştir (24).

Her iki yöntemle tespit edilen defektlerin şekil ve uzanım bakımından uyumluluğu tek örneklem Binomial test ile karşılaştırılmıştır.

$p < 0,05$ çift taraflı değerler istatistikî olarak anlamlı kabul edilmiştir. İstatistikî analiz SPSS Statistics 25.0.0 (IBM Corporation, USA) paket programı ile yapılmıştır.

4. BULGULAR

Röntgen ünitesi (n=3), nörogirişimsel anjiyo ünitesi (n=7) ve girişimsel anjiyo ünitesinde (n=14) bulunan 24 adet kurşun önlük (etek ve yelek) çalışmaya dâhil edilmiştir. Röntgen ünitesinde kullanılan 3 adet önlük 0,25 mm kurşun eşdeğeri kalınlığında, diğer önlükler ise 0,50 mm kurşun eşdeğeri kalınlığında korumaya sahiptir.

BT ile değerlendirme sonucunda 8 önlükte defekt tespit edilmiş olup 16 önlükte defekt tespit edilmemiştir. Önlüklerin 3 tanesinde sadece etek kısmında, 3 tanesinde sadece yelek kısmında, 2 tanesinde ise hem etek hem de yelek kısmında defekt gözlenmiştir. Eteklerle yelekler arasında defekt bulunma durumu açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır (Tablo 3, $p=1>0,05$).

Tablo 3. Etek ve yeleklerde BT ile saptanan defekt bulunma durumu

	Etek	Yelek	Toplam	p değeri
Defekt (+)	5	5	10	1
Defekt (-)	19	19	38	
Toplam	24	24	48	

0,50 mm kalınlığında korumaya sahip önlüklerde Geiger-Müller (G-M) test cihazı ile çizdirilen frekans-zaman eğrilerinde defekt bulunmayan alanların frekans aralığı 0-14 sayım/2 sn, ortalama frekansı 2,07 sayım/2 sn (%95 güven aralığı içerisinde

1,96-2,18 sayım/2 sn); defekt bulunan alanların frekans aralığı 4-50 sayım/2 sn, ortalama frekansı 22,53 sayım/2 sn (%95 güven aralığı içerisinde 20,71-24,34 sayım/2 sn) olarak saptanmıştır. Defekt bulunan alanlar ile defekt bulunmayan alanların frekans sayım ortalamaları karşılaştırıldığında defekt bulunan alanlarda ortalama frekans sayımının defekt bulunmayan alanlara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Söz konusu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Tablo 4, $p \approx 0,00$).

Kurşun bulunmayan alanlarda uranil asetatın oluşturduğu baseline ortalama frekans sayımı 32,70 sayım/2 sn (%95 güven aralığı içerisinde 31,44 – 33,95 sayım/2 sn) olarak tespit edilmiştir. Ölçümler sonucunda kurşun bulunmayan alanlarda uranil asetatın oluşturduğu baseline ortalama frekans sayımının defekt bulunan alanlarda izlenen ortalama frekans sayımından daha fazla olduğu tespit edilmiş olup söz konusu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Tablo 4, $p \approx 0,00$).

Tablo 4. 0,50 mm kurşun kalınlığına sahip önlüklerin defekt bulunan, defekt bulunmayan ve kurşun bulunmayan (baseline) alanlarında izlenen ortalama frekans sayımı ve karşılaştırılması

	Ortalama frekans (0,50 mm kurşun kalınlığı)	p değeri
Defekt (+)	22,5303	$\approx 0,00$
Defekt (-)	2,0719	
Baseline	32,7036	

BT de defekt saptanmayan 0,25 mm kurşun eşdeğeri kalınlığındaki önlüklerin ortalama frekans sayımı 2,3950 sayım/2 sn (%95 güven aralığı içerisinde 2,21 – 2,57 sayım/2 sn), frekans sayım aralığı 0-12 sayım/2 sn; BT de defekt saptanmayan 0,50 mm kurşun eşdeğeri kalınlığındaki önlüklerin ortalama frekans sayımı 2,0719 sayım/2 sn (%95 güven aralığı içerisinde 1,96 – 2,18 sayım/2 sn), frekans sayım aralığı 0-14 sayım/2 sn olarak saptanmıştır. BT de defekt tespit edilmeyen 0,25 mm kurşun kalınlığındaki önlüklerle BT de defekt saptanmayan 0,50 mm kurşun kalınlığındaki önlükler ortalama frekans sayımı açısından karşılaştırıldığında 0,25

mm kalınlığındaki önlükler 0,50 mm kalınlığındaki önlüklere göre yaklaşık %15 daha fazla ortalama frekans sayımı göstermiştir. Söz konusu bu fark istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur (Tablo 5, $p=0,003<0,05$).

Tablo 5. 0,25 mm ve 0,50 mm kurşun kalınlığında korumaya sahip BT’de defekt tespit edilmeyen önlüklerde ortalama frekans ölçümleri ve karşılaştırılması

	Ortalama frekans	p değeri
0,25 mm kurşun kalınlığı	2,395	0,003
0,50 mm kurşun kalınlığı	2,0719	

G-M test cihazı ile yapılan ilk ve ikinci taramalar arasındaki karşılaştırmada istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmamıştır (Tablo 6, $p=1$). İlk ve ikinci tarama arasındaki uyumu gösteren kappa katsayısı (κ) 0,822 olarak bulunmuş olup her iki tarama arasında çok iyi düzeyde uyum olduğu gözlenmiştir.

Tablo 6. G-M test cihazı ile yapılan ilk ve ikinci taramaların karşılaştırılması

İkinci T. İlk T.	Defekt (+)	Defekt (-)	Toplam	p değeri
Defekt (+)	8	1	9	1
Defekt (-)	1	14	15	
Toplam	9	15	24	

Yapılan değerlendirmeler sonucunda her iki yöntemin (BT ve G-M test cihazı) de defektif olarak tespit ettiği 8 adet önlük gözlemlenmiştir. Ancak G-M test cihazı ile tespit edilip BT ile tespit edilemeyen 1 adet önlük saptanmıştır. Yine BT de defekt tespit edilip G-M test cihazında tespit edilemeyen herhangi bir önlük gözlemlenmemiştir. Her iki yöntemle 15 adet önlükte defekt saptanmamıştır (Tablo 7).

Kurşun önlüklerdeki defektlerin tespit edilebilmesi bakımından G-M test cihazının %95 güven aralığı içerisinde spesifitesi %93,75 (%67-%99), sensitivitesi %100 (%59-%100), negatif prediktif değeri %100 (%74-%100), pozitif prediktif değeri %88 (%50-%99), doğruluk (accuracy) değeri %95,83 (%78-%99) ve kappa katsayısı (κ) 0,909 olarak bulunmuştur. Defektlerin tespit edilebilmesi açısından her iki yöntem üzerinden elde edilen veriler karşılaştırıldığında iki yöntem arasında anlamlı farklılık saptanmamıştır (Tablo 7, $p=1$).

Tablo 7. BT ve G-M test cihazının defekt tespiti açısından karşılaştırılması

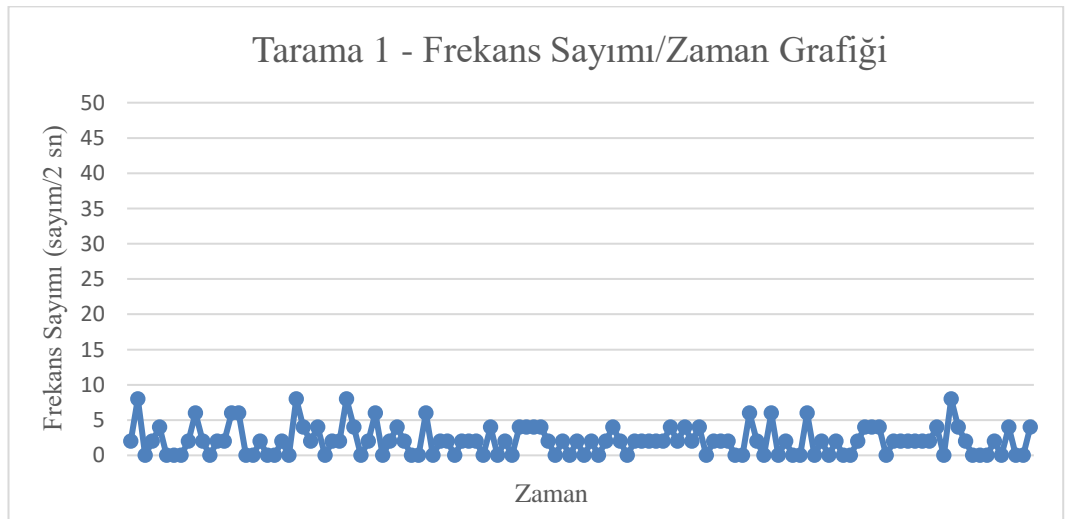
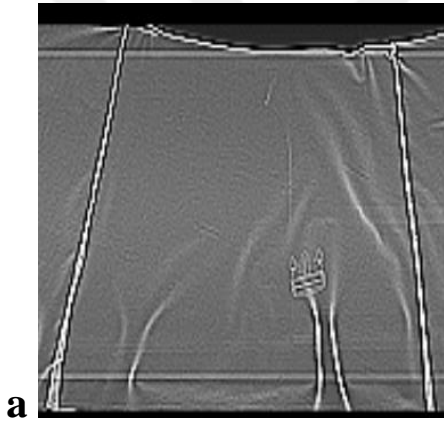
	BT defekt (+)	BT defekt (-)	Toplam	p değeri
G-M defekt (+)	8	1	9	1
G-M defekt (-)	0	15	15	
Toplam	8	16	24	

Her iki yöntemle (BT ve G-M test cihazı) defekt tespit edilen önlüklerde defektlerin şekli ve uzanımı bakımından karşılaştırma yapıldığında tespit edilen defektlerin %87'si birbiriyle uyumlu, %13'ü birbiriyle uyumsuz bulunmuştur. Gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlıdır (Tablo 8, $p=0,007<0,05$).

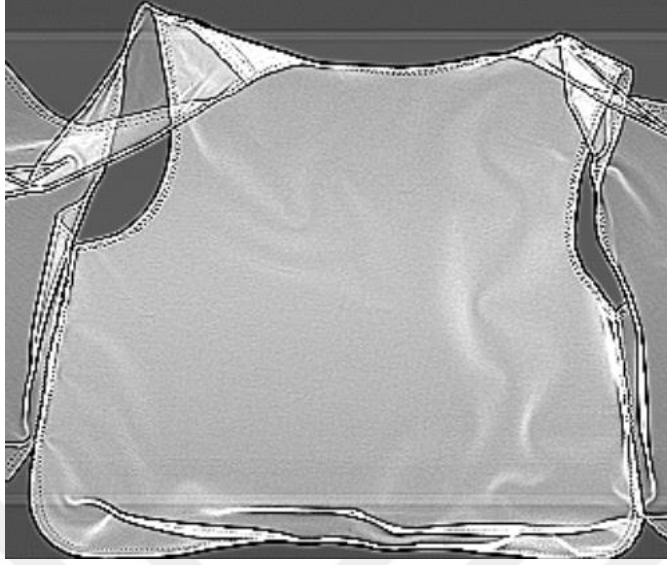
Tablo 8. BT ve G-M test cihazı ile defekt tespit edilen önlüklerde şekil ve uzanım bakımından uyumluluk karşılaştırılması

Şekil ve uzanım bakımından	Defekt Sayısı	p değeri
Uyumlu (+)	13	0,007
Uyumsuz (-)	2	

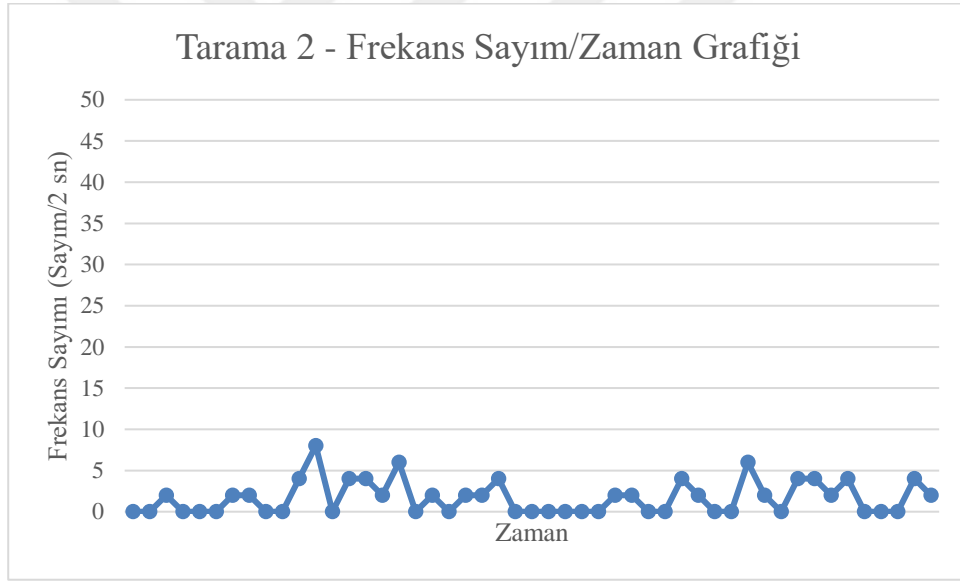
5. TARAMA ÖRNEKLERİ



Tarama 1; BT de önlüğün etek kısmında defekt izlenmemektedir (a). Bu alana ait frekans-zaman eğrisi çizdirildiğinde frekans aralığı 0-8 sayım/2 sn olarak saptanmıştır (b). Belirgin defektif alanı düşündüren frekans sayımı saptanmamıştır.

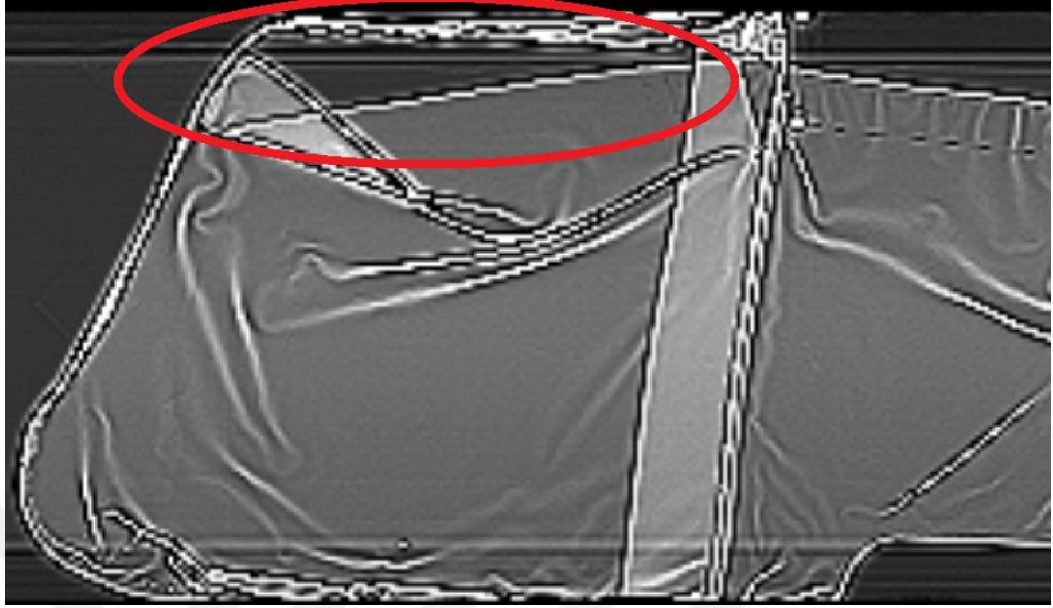


a

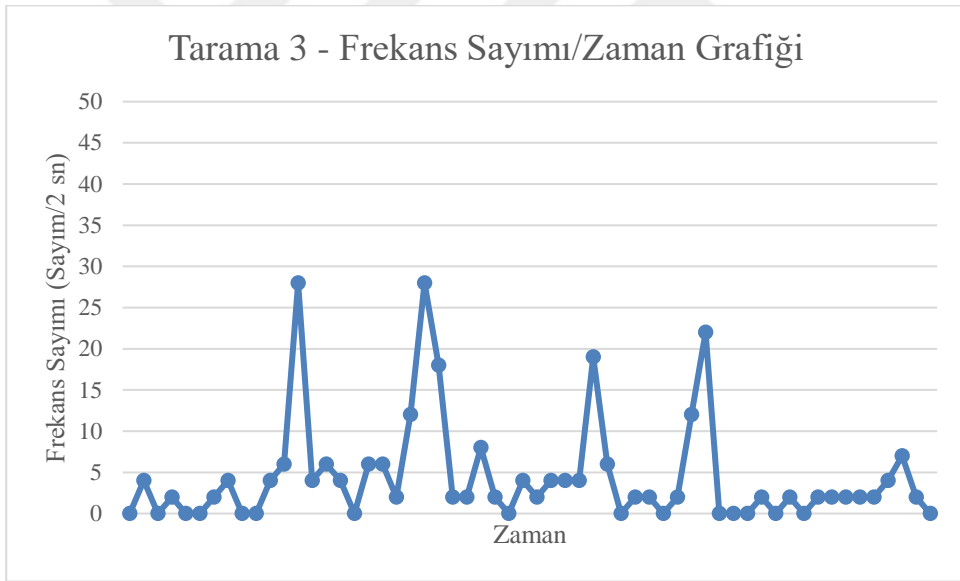


b

Tarama 2; BT de önlüğün yelek kısmında defekt izlenmemektedir (a). Bu alana ait frekans-zaman eğrisi çizdirildiğinde frekans aralığı 0-8 sayım/2 sn olarak saptanmıştır (b). Belirgin defektif alanı düşündüren frekans sayımı saptanmamıştır.

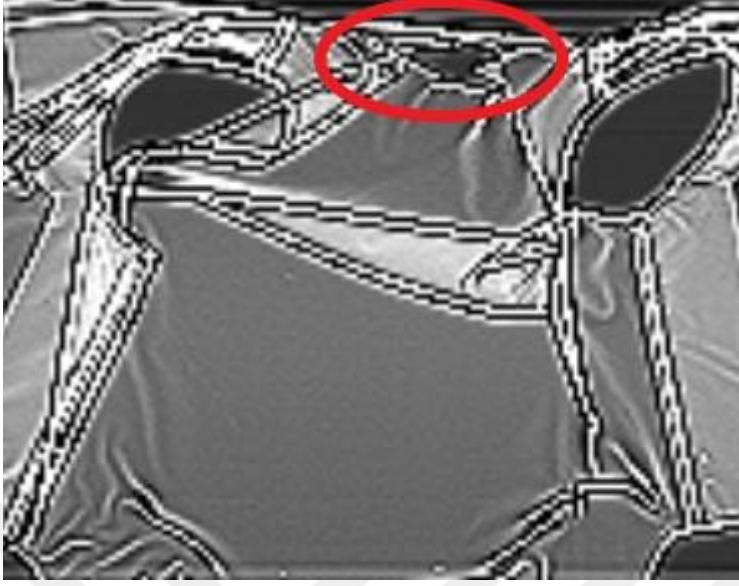


a

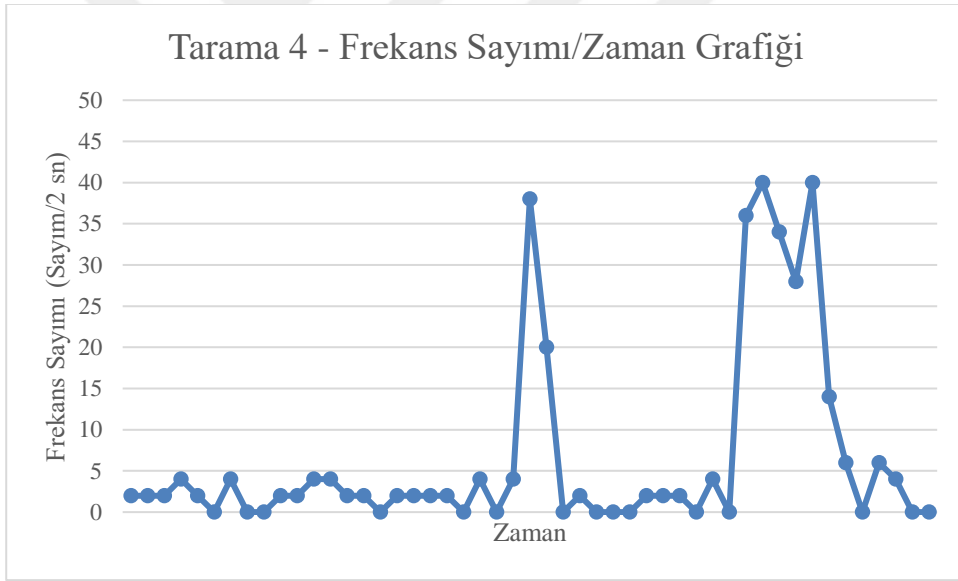


b

Tarama 3; BT de önlüğün etek kısmında defekt izlenmektedir (işaretli alan, a). Bu alana ait frekans-zaman eğrisi çizdirildiğinde defekt bulunmayan alanlarda frekans aralığı 0-8 sayım/2 sn, defekt bulunan alanlarda frekans aralığı 12-28 sayım/2 sn olarak saptanmıştır (b).



a



b

Tarama 4; BT de önlüğün yelek kısmında defekt izlenmektedir (işaretli alan, a). Bu alana ait frekans-zaman eğrisi çizdirildiğinde defekt bulunmayan alanlarda frekans aralığı 0-6 sayım/2 sn, defekt bulunan alanlarda frekans aralığı 15-40 sayım/2 sn olarak saptanmıştır (b).

6. TARTIŞMA

Rutin uygulamada ve yapılan birçok çalışmada kurşun önlüklerin üzerindeki yırtık ve/veya çatlaklar dijital radyografi, floroskopi veya bilgisayarlı tomografi (topogram, scanogram) gibi x-ışını kullanılan yöntemler ile tespit edilmektedir (23, 25). Literatürde x-ışınının kullanıldığı yöntemler söz konusu defektlerin tespitinde “altın standart” olarak kabul edilmektedir (20). Ancak x-ışınının kullanıldığı yöntemlere karşı alternatif bir yöntemin olmayışının bu kabule neden olduğu söylenebilir. Bilinen yöntemlerden farklı olarak Geiger-Müller (G-M) test cihazında ışın kaynağı olarak zayıf bir doğal radyoaktif madde olan “Uranil Asetat” kullanılmış olup dedektör, ışın kaynağından ortaya çıkan beta ışınlarını tespit etmektedir. Bu özelliği sayesinde literatürde kurşun önlüklerin kalite kontrolünde x-ışınına alternatif olarak kullanılan ilk yöntem olmuştur.

Mevcut çalışmada G-M test cihazı ile defekt saptanan alanlarda ortalama frekans 22,53 sayım/2 sn (%95 güven aralığı içerisinde 20,71-24,34 sayım/2 sn), defekt bulunmayan alanlarda ortalama frekans 2,07 sayım/2 sn (%95 güven aralığı içerisinde 1,96-2,18 sayım/2 sn) ve kurşun bulunmayan alanlarda uranil asetatin baseline olarak oluşturduğu ortalama frekans 32,70 sayım/2 sn (%95 güven aralığı içerisinde 31,44 – 33,95 sayım/2 sn) olarak ölçülmüştür. Ortalama frekans sayımları büyükten küçüğe doğru uranil asetatin oluşturduğu kurşun bulunmayan (baseline) alanlar, defekt bulunan alanlar ve defekt bulunmayan alanlar olarak sıralanmış olup her bir grubun kendi aralarında izlenen farkları istatistiksel olarak anlamlı

bulunmuştur. Buna dayanılarak her bir grubun kendine özgü (karakteristik) ortalama frekans aralığının bulunduğu bilgisine ulaşılmaktadır.

Yine çalışmada kullanılan ve BT de defekt saptanmayan 0,25mm kurşun eşdeğeri kalınlığında korumaya sahip olan 3 adet önlüğün ortalama frekans sayımı 2,3950 sayım/2 sn (%95 güven aralığı içerisinde 2,21 – 2,57 sayım/2 sn) olarak tespit edilmiştir. 0,50 mm kurşun eşdeğeri korumaya sahip önlüklerle 0,25 mm kurşun eşdeğeri korumaya sahip önlükler ortalama frekans sayımı açısından karşılaştırıldığında yaklaşık %15 daha fazla frekans sayımı izlenmiş olup bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,003<0,05$). Buradan yola çıkarak kurşun eşdeğer kalınlığının ortalama frekans sayımını etkilediğini ve farklı kurşun eşdeğer kalınlığındaki korumaya sahip önlüklerin karakteristik ortalama frekans aralığının bulunduğunu söyleyebiliriz.

Geiger-Müller dedektörü “Townsend çığ etkisi” nin yükseltici etkisi sayesinde en küçük iyonizan radyasyonu bile tespit edebilmektedir. Çalışmada BT nin defekt tespit edemediği alanlarda G-M test cihazı ile yer yer 6-8 sayım/2 sn arasında ölçülen frekans sayımları gözlenmiştir. Defekt bulunmayan alanlar ile defekt bulunan alanların ortalama frekans ölçümleri, frekans aralıkları (%95 güven aralığı içerisinde) ve maksimum/minimum frekans değerleri göz önünde bulundurulduğunda 6-8 sayım/2 sn arasında ölçülen değerlerin kısmen minimal fokal defektlere işaret edebileceği düşünülmektedir. Buradan hareketle G-M test cihazının x-ışınının kullanıldığı yöntemlerden daha efektif bir yöntem olabileceği sonucuna ulaşılmaktadır. İleride yapılacak daha kapsamlı çalışmalar bu yöntemde kullanılacak olan eşik frekans değerlerini (threshold) ve değer aralıklarını aydınlatacaktır.

Mevcut çalışmada BT topogram görüntülerinden ve G-M test cihazından elde edilen veriler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmamış olup ($p=1>0,05$) cihazın spesifitesi %93,75, sensitivitesi %100, doğruluk (accuracy) değeri %95,83 olarak hesaplanmıştır. Her iki yöntem arasındaki ilişkiyi tanımlayan kapa katsayısı (κ) 0,909 olarak saptanmış olup her iki yöntem arasında çok iyi düzeyde uyum olduğu gözlenmiştir. Ayrıca defektlerin şekli ve uzanımı bakımından her iki yöntem karşılaştırıldığında %87 oranında uyum izlenmiştir. Söz konusu veriler ışığında G-M

test cihazı ile yapılan taramaların kurşun önlüklerde tespit edilen yırtıkların ve/veya çatlakların yerinin tespiti, şekli ve uzanımı bakımından x-ışını kullanılarak yapılan taramalara benzer şekilde bilgi verdiği ve güvenilir bir tanı sonucuna ulaştırdığı söylenebilir.

G-M test cihazı ile yapılan tarama işlemi sırasında önlükler karışık sırayla iki kez taranmıştır. Yapılan birinci ve ikinci tarama arasında anlamlı farklılık izlenmemiştir ($p=1>0,05$). Bununla beraber her iki tarama arasındaki uyumu gösteren kappa katsayısı (κ) 0,822 olarak bulunmuş olup her iki tarama arasında çok iyi düzeyde uyum olduğu gözlenmiştir. Elde edilen veriler G-M test cihazının güvenli bir tekrarlanabilirlik özelliğine sahip olduğunu göstermektedir.

Taramalar esnasında her iki yöntemin ayrı ayrı avantajları ve dezavantajlarının olduğu gözlenmiş olup söz konusu farklılıklar aşağıda kıyaslamalı olarak portatiflik, altyapı gereksinimi, radyasyon maruziyeti, tarama süresi ve maliyet alt başlıkları şeklinde sınıflandırılıp açıklanmıştır.

a. Portatiflik

X-ışını kaynağını oluşturan x-ışını tüpü ve yüksek gerilim ekipmanları hem kaplayacağı yer bakımından hem de ağırlığı bakımından portatif değildir. Ancak G-M test cihazında hem ışın kaynağı hem de dedektör portatif olup istenilen yere kolaylıkla taşınabilmektedir.

b. Altyapı Gereksinimi

G-M test cihazında kullanılan beta ışınlarının ortaya çıkması için ayrıca bir güç kaynağına ihtiyaç olmayıp radyoaktif bozunma sonucunda kendiliğinden (spontan) ortaya çıkmaktadır. Ancak x-ışınlarının ortaya çıkabilmesi için yüksek gerilim ekipmanları gerekmektedir. Söz konusu olan altyapı gereksiniminin her ortamda sağlanamama sorunu ile karşılaşılabilir.

c. Radyasyon Maruziyeti

X-ışını ekipmanları ile yapılan taramalarda ekipmanların bulunduğu odanın kurşun plakalarla kaplanmış olması konsol odasında bulunan çekim yapan personelin radyasyon maruziyetini belirgin bir şekilde azaltmaktadır. Bu nedenle uzaktan yönetilebilen x-ışını ekipmanlarının kullanıldığı sistemler radyasyon maruziyeti açısından tamamen güvenilir olarak değerlendirilebilir.

G-M test cihazında kullanılan uranil asetat orta düzeyde (14-19 kBq) bir radyoaktiviteye sahiptir ve radyasyon kesici kutu içerisinde güvenle saklanabilmektedir. Uranil asetatın vücut dışında önemsiz bir radyoaktiviteye sahip olması nedeniyle düzeneği kullanan personel açısından radyasyon maruziyeti nispeten daha az olacaktır. Ayrıca yeni bir prototip geliştirmek amacıyla yapılan bu çalışmada elle tarama yöntemi yerine otomatize sistemlerin kullanılması radyasyon maruziyetini azaltacaktır.

d. Tarama Süresi

X-ışını kullanılarak yapılan taramalarda tarama süresi geniş FoV kullanıldığında çok kısa (17 sn) olmaktadır. Ancak G-M test cihazı ile yapılan taramalarda tarama süresi bir önlük (etek ve yelek) için yaklaşık 10-15 dakika arasında değişmektedir. Bu durumun öncelikli sebebi taramanın el ile yapılmış olması ve yeni bir prototip geliştiriliyor olması nedeniyle otomatize sistemin kullanılamamasıdır. İlerleyen zamanlarda elle tarama yöntemi yerine otomatize sistemlerin kullanılması tarama hızını ve tetkikin güvenilirliğini arttıracaktır.

e. Maliyet

Önlükleri taramak için kullanılacak dijital radyografi ekipmanlarının maliyeti en az 20000\$ olarak hesaplanırken çalışmada geliştirilen cihazın maliyeti yaklaşık 1000\$ olarak hesaplanmıştır. Bu açıdan G-M test cihazının, x-ışını kullanılan ekipmanlara göre maliyet açısından avantajlı bir konumda olduğu görülmektedir.

G-M test cihazı ile kıyaslanabilecek x-ışını kullanarak tarama yapan lineer tarayıcılar daha hızlı ve BT ye göre daha efektiftir. Ancak maliyetinin yüksek olması nedeniyle bu çalışmada lineer tarayıcılarla karşılaştırma yapılamamıştır.



7. SONUÇLAR

1. Literatürde ve rutin uygulamada kurşun önlüklerde bulunan defektlerin x-ışını ile tespit edilmesine karşılık ilk defa beta ışını kullanılarak alternatif bir yöntem uygulanmıştır.

2. Geiger-Müller (G-M) test cihazı ile defekt saptanan, defekt saptanmayan ve kurşun koruyucunun hiç bulunmadığı şekilde sınıflandırılan alanların her birinin kendine özgü ortalama frekans sayımına sahip olduğu gözlenmiştir.

3. Yine test cihazı ile farklı kalınlıklardaki kurşun eşdeğeri korumaya sahip önlüklerin de karakteristik ortalama frekans sayımına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4. Çalışmada gerçekleştirilmiş olan taramalar, tekrarlanabilirlik açısından güvenilir olarak saptanmıştır.

5. G-M test cihazı ile yapılan taramaların spesifitesi %93,75, sensitivitesi %100, doğruluk (accuracy) değeri %95,83 ve kappa katsayısı (κ) 0,909 olarak saptanmış olup söz konusu veriler ışığında test edilen yöntemin güvenilir bir tanı yöntemi olduğu söylenebilir.

6. BT ve G-M test cihazı ile yapılan taramalar karşılaştırıldığında her iki yöntem ile defektlerin tespiti, uzanımı ve şekli bakımından benzer sonuçlara ulaşıldığı gözlenmiştir.

7. G-M test cihazı portatif olması, alt yapı gereksiniminin bulunmaması, maliyetinin düşük olması nedenleriyle x-ışını kullanılan ekipmanlara göre daha avantajlı konuma sahiptir. Tarama süresi ve radyasyon maruziyeti açısından

x-ışını kullanılan ekipmanlara göre nispeten dezavantajlı gibi görünse de ileride otomatize sistemlerin geliştirilmesi bu dezavantajları ortadan kaldıracaktır.



KAYNAKLAR

1. Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlığı. Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği. Türkiye Cumhuriyeti Resmî Gazetesi; 24 Mart 2000.
2. Aghaei M, Thayoob YHM, Mahdaviasl S, Darzi S, Imamzai M, editors. A Review on the Impact of the Electromagnetic Radiation (EMR) on the Human's Health. Proceedings National graduate conference (NatGrad2012), Universiti Tenaga Nasional, Putrajaya Campus; 2012.
3. Batool S, Bibi A, Frezza F, Mangini F. Benefits and hazards of electromagnetic waves, telecommunication, physical and biomedical: a review. European review for medical and pharmacological sciences. 2019;23:3121-8.
4. Zamanian A, Hardiman C. Electromagnetic radiation and human health: A review of sources and effects. High Frequency Electronics. 2005;4:16-26.
5. Averill B, Eldredge P. Chemistry: principles, patterns, and applications. Pearson Benjamin Cummings San Francisco, CA; 2007.
6. Wikipedia. Wilhelm Röntgen 2020 [cited 2020 03.09.2020]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_R%C3%B6ntgen.
7. Arslan T. X Işınları ve Kullanım Alanları. Gazi Üniversitesi Tezi. 2010.
8. Martz HE, Logan CM, Schneberk DJ, Shull PJ. X-Ray Imaging: Fundamentals, Industrial Techniques and Applications. CRC Press; 2016. p. 55-72.
9. Seibert JA. X-ray imaging physics for nuclear medicine technologists. Part 1: Basic principles of x-ray production. J Nucl Med Technol. 2004;32:139-47.
10. Krane KS. Nükleer fizik: Palme Yayıncılık; 2001.

11. Venugopal V, Bhagdikar P. de Broglie Wavelength and Frequency of Scattered Electrons in the Compton Effect. *Physics Education*. 2013;29:35.
12. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Dozimetrik Niceliklere İlişkin Kılavuz. Ankara, 2016.
13. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014.
14. Yeyin N. Radyasyonun Biyolojik Etkileri. *Nük Tıp Sem*. 2015;3:139-43.
15. Wikipedia. Uranyl acetate 2020 [cited 2020 30.08.2020]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Uranyl_acetate.
16. Wikipedia. Geiger–Müller tube 2020 [cited 2020 30.08.2020]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Geiger%E2%80%93M%C3%BCller_tube.
17. Goldman LW. Principles of CT and CT technology. *Journal of nuclear medicine technology*. 2007;35:115-28.
18. Hendee WR, Edwards FM, editors. ALARA and an integrated approach to radiation protection. *Seminars in nuclear medicine*; 1986: Elsevier.
19. Oudiz A, Lochard J, Lombard J, Croft J, Fleishman A, Webb G. What is ALARA. *Centre d'Etude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucleaire*, 1986.
20. Michel R, Zorn MJ. Implementation of an X-ray radiation protective equipment inspection program. *Health Phys*. 2002;82:S51-3.
21. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Tıbbi Radyoloji Uygulamalarında Radyasyon Korunma Programı Hazırlanmasına İlişkin Kılavuz. Ankara, 2017.

22. Lambert K, McKeon T. Inspection of lead aprons: criteria for rejection. *Health Phys.* 2001;80:S67-9.
23. Glaze S, LeBlanc A, Bushong S. Defects in new protective aprons. *Radiology.* 1984;152:217-8.
24. Landis JR, Koch GG. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics.* 1977;33:159-74.
25. Matsuda M, Suzuki T. Evaluation of lead aprons and their maintenance and management at our hospital. *Journal of Anesthesia.* 2016;30:518-21.

TC.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ DEKANLIĞI'NA

Dr. Emre Can ÜLGEN'e ait 'Koruyucu Kurşun Önlüklerin Kalite Değerlendirmesinde Radyoaktif Kaynaklı Geiger-Müller Dedektörlü Test Cihazı Geliştirilmesi' adlı çalışma, jürimiz tarafından Radyoloji Anabilim Dalı'nda Tıpta Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tarih : 09/12/2020

Başkan.....*Prof. Dr. Gökten Kahraman*.....İmza

Prof. Dr. Gökten KAHRAMAN
Radyoloji Anabilim Dalı Başkanı
Dip. Tes. No: 2523
Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastaneleri

Üye.....*Prof. Dr. Abdülhalim Coşkun*.....İmza

Y. Coşkun

Üye.....*Doç. Dr. Ahmet Savranlar*.....İmza

Doç. Dr. Ahmet SAVRANLAR
Radyodiagnostik Eğitim Görevlisi
Dip. Tes. No: 86229
Kaysari Eğitim ve Araştırma Hastanesi