

**TÜRKİYE’DE KULLANIMDAKİ BAZI TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN  
RADYASYON AZALTMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Ayşe Serpil MÜJDE**

**Y. Lisans Tezi  
Fizik Anabilim Dalı  
Yrd. Doç. Dr. İbrahim HAN  
2012  
Her Hakkı Saklıdır**

**AĞRI İBRAHİM ÇEÇEN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Y. LİSANS TEZİ**

**TÜRKİYE’DE KULLANIMDAKİ BAZI TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN  
RADYASYON AZALTMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Ayşe Serpil MÜJDE**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**AĞRI  
2012**

**Her Hakkı Saklıdır**

**T.C.**  
**AĞRI İBRAHİM ÇEÇEN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEZ ONAY FORMU**

---

**TÜRKİYE'DE KULLANIMDAKİ BAZI TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN  
RADYASYON AZALTMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yrd. Doç. Dr. İbrahim HAN danışmanlığında, Ayşe Serpil MÜJDE tarafından hazırlanan bu çalışma 18/06/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/~~oy çokluğu~~ ( ~~.../...~~ ) ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Lütfü DEMİR

İmza



Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim HAN

İmza

:



Üye : Yrd. Doç. Dr. Adem ÜN

İmza

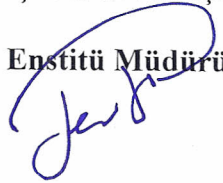
:



Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Yrd. Doç. Dr. Tefik İŞLEYEN

**Enstitü Müdürü**



**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Y. Lisans Tezi

### TÜRKİYE’DE KULLANIMDAKİ BAZI TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN RADYASYON AZALTMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

**Ayşe Serpil MÜJDE**

Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim HAN

Türkiye’de kullanımda olan bazı tekstil ürünlerinin radyasyon azaltma özellikleri farklı enerjili fotonlar için örneklerin kütle soğurma katsayıları ( $\mu/\rho$  cm<sup>2</sup>/gr) ölçülerek araştırılmıştır. Bu amaçla örnekler Am–241 ve Ba–133 radyoaktif nokta kaynaklardan yayımlanan 16–362 keV enerji aralığındaki fotonlar ile ışınlandı. Her örnek ve enerji için, kaynaktan gelen soğurulmamış  $I_0$  şiddeti ve numune tarafından soğurulduktan sonraki  $I$  şiddeti MCA ile birleşik bir NaI(Tl) dedektör transmission geometrisi kullanılarak ölçüldü. Daha sonra kütle soğurma katsayıları bu şiddetler kullanılarak belirlendi. İncelenen tekstil ürünlerinin radyasyon zayıflatma özelliklerinin karşılaştırılması için sonuçlar grafiksel olarak çizildi. Bu grafiklerden tekstil ürünlerinin radyasyon azaltma özelliklerinde örneklerin tipine ve içeriğine bağlı olarak önemli farklılıklar olduğu görülmüştür.

**2012, 53 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Radyasyon, Tekstil, Kütle Soğurma Katsayısı, XRF, NaI(Tl) Dedektör

## **ABSTRACT**

MS Thesis

### **INVESTIGATION of RADIATION ATTENUATION PROPERTIES of SOME TEXTİLE PRODUCTS in USE TURKEY**

**Ayşe Serpil MÜJDE**

Ağrı İbrahim Çeçen University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Physics

Supervisor: Asst. Prof. Dr. İbrahim HAN

Radiation attenuation properties of various types of textile products in use Turkey has been investigated by measuring the mass attenuation coefficients ( $\mu/\rho$  cm<sup>2</sup>/gr) of samples for photons with different energy. For this purpose, the samples were irradiated with photons in the energy range 16–362 keV emitted from Am–241 and Ba–133 radioactive point source. For each sample and energy,  $I_0$  and  $I$  intensities which are before and after attenuation were measured by a NaI(Tl) detector coupled to MCA using transmission arrangement. Afterwards mass attenuation coefficients were determined using these intensities. For comparison of radiation attenuation properties of investigated textile products, results were graphically plotted. From these graphics, it is shown that there are important differences in radiation attenuation properties of textile products depending on the type and content of the samples.

**2012, 53 Pages**

**Keywords:** Radiation, Textile, Mass Attenuation Coefficient, XRF, NaI(Tl) Detector

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmanın planlanması-yürütülmesi sırasında bilgisi ve tecrübesi ile her konuda ve her zaman destek veren, yardımlarını esirgemeyen tezimin her aşaması ile yakından ilgilenen, manevi desteği ile her zaman yol gösterici olan Kıymetli Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim HAN' a şükranlarımı arz ederim.

Çalışmalarım esnasında laboratuvar imkanlarını sağlayan Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümüne ve Sayın Prof. Dr. Lütfü Demir'e çok teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarım esnasında ilgilerini ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ayşe Serpil MÜJDE

Haziran 2012

## İÇİNDEKİLER

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| ÖZET .....                                                     | i   |
| ABSTRACT .....                                                 | ii  |
| TEŞEKKÜR .....                                                 | iii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....                           | vi  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                          | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                        | ix  |
| 1. GİRİŞ .....                                                 | 1   |
| 2. KURAMSAL TEMELLER .....                                     | 6   |
| 2.1. Elektromagnetik Spektrum .....                            | 6   |
| 2.1.1. Elektromagnetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi ..... | 9   |
| 2.1.2. Elektromagnetik Radyasyonun Soğurulması .....           | 10  |
| 2.1.3. X-Işınlarnn Oluşumu .....                               | 12  |
| 2.2. Radyasyon .....                                           | 17  |
| 2.2.1. Radyasyonun Özellikleri .....                           | 18  |
| 2.2.2. Radyasyonun Etkileri .....                              | 19  |
| 2.2.3. Radyasyondan Korunma Yöntemleri .....                   | 21  |
| 2.2.4. Radyasyon Birimleri .....                               | 22  |
| 2.3. Türkiye'de Tekstil Sektörü .....                          | 23  |
| 2.3.1. Tekstil Sektörünün Türkiye'deki Gelişimi .....          | 24  |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM .....                                    | 25  |
| 3.1. X-ışını Flöresans Tekniğı .....                           | 25  |
| 3.2. NaI(Tl) Dedektörlerinin Çalışma Prensibi .....            | 26  |
| 3.3. Numuneler .....                                           | 32  |
| 3.4. Deney Geometrisi ve Ölçme Sistemi .....                   | 33  |
| 3.5. Sayma Sistemi .....                                       | 35  |
| 3.5.1. Yüksek Voltaj Kaynağı .....                             | 37  |
| 3.5.2. Ön Yükseltici .....                                     | 37  |
| 3.5.3. Yükseltici .....                                        | 37  |
| 3.5.4. Analog Sayısal Dönüştürücü (ADC) .....                  | 38  |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5.5. Çok Kanallı Analizör (MCA).....                           | 38 |
| 3.6. Kütle Soğurma Katsayılarının Deneysel Olarak Ölçülmesi..... | 38 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....                                     | 40 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....                                       | 46 |
| KAYNAKLAR.....                                                   | 48 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                    | 53 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

|         |                                                                          |
|---------|--------------------------------------------------------------------------|
| $c$     | Işık Hızı                                                                |
| $e$     | Elektron Yüğü                                                            |
| $E$     | Yayımlanan X-Işınının Enerjisi                                           |
| $h$     | Planck Sabiti                                                            |
| $I$     | Elektromanyetik Radyasyonun Soğurucu Tabakadan Geçtikten Sonraki Şiddeti |
| $I_0$   | Elektromanyetik Radyasyonun Soğurulmadan Önceki Şiddeti                  |
| $m_o$   | Elektronun Durgun Kütlesi                                                |
| $t$     | Numune Kalınlığı (gr/cm <sup>2</sup> )                                   |
| $v_0$   | X-Işını Tüpene Uygulanan Potansiyel                                      |
| $XRF$   | X-ışını Floresans                                                        |
| $EDXRF$ | Enerji Ayrımlı X-ışını Floresans                                         |
| $\mu$   | Lineer Soğurma Katsayısı                                                 |
| $\mu_m$ | Kütle Soğurma Katsayısı                                                  |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Elektromagnetik spektrum.....                                                                                        | 7  |
| Şekil 2.2. Elektromagnetik radyasyon-madde etkileşmelerinin atom<br>numarasına ve enerjiye bağımlılığı. ....                    | 10 |
| Şekil 2.3. Elektromagnetik radyasyonun madde ile temel etkileşmeleri. ....                                                      | 10 |
| Şekil 2.4 X-ışını polarizasyonunu gösteren Barkla deneyi.....                                                                   | 13 |
| Şekil 2.5. Sürekli X-ışını oluşum mekanizması.....                                                                              | 14 |
| Şekil 2.6. Karakteristik X-ışını oluşumu.....                                                                                   | 16 |
| Şekil 3.1. XRF tekniği ve tipik XRF analiz düzeneği.. ....                                                                      | 26 |
| Şekil 3.2. Sintilasyon dedektörlerindeki temel işlemler... ..                                                                   | 28 |
| Şekil 3.3. Bazı foto-çoğaltıcı tüplerle birleşik NaI(Tl) sintilatörleri.. ....                                                  | 31 |
| Şekil 3.4. Bir foto-çoğaltıcı tüpün çalışma şeması.. ....                                                                       | 32 |
| Şekil 3.5. Kullanılan NaI(Tl) dedektör .....                                                                                    | 34 |
| Şekil 3.6. Deney geometrisinin şematik gösterimi .....                                                                          | 35 |
| Şekil 3.7. Ölçüm sistemi.. ....                                                                                                 | 35 |
| Şekil 3.8. Çok kanallı analizör... ..                                                                                           | 36 |
| Şekil 4.1. İncelenen tekstil numunelerinin 16,777 keV'lik fotonlar için<br>kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.....  | 40 |
| Şekil 4.2. İncelenen tekstil numunelerinin 31,734 keV'lik fotonlar için<br>kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.....  | 41 |
| Şekil 4.3. İncelenen tekstil numunelerinin 53,155 keV'lik fotonlar için<br>kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.....  | 41 |
| Şekil 4.4. İncelenen tekstil numunelerinin 59,536 keV'lik fotonlar için<br>kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.....  | 42 |
| Şekil 4.5. İncelenen tekstil numunelerinin 80,898 keV'lik fotonlar için<br>kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.....  | 42 |
| Şekil 4.6. İncelenen tekstil numunelerinin 276,397 keV'lik fotonlar için<br>kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması..... | 43 |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.7.</b> İncelenen tekstil numunelerinin 295,462 keV'lik fotonlar için |    |
| kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.....                             | 43 |
| <b>Şekil 4.8.</b> İncelenen tekstil numunelerinin 302,851 keV'lik fotonlar için |    |
| kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.....                             | 44 |
| <b>Şekil 4.9.</b> İncelenen tekstil numunelerinin 361,263 keV'lik fotonlar için |    |
| kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.....                             | 44 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 3.1.</b> Kullanılan tekstil numunelerinin bazı özellikleri. ....                                | 33 |
| <b>Çizelge 3.2.</b> NaI(Tl) dedektörünün karakteristik özellikleri.....                                    | 34 |
| <b>Çizelge 4.1.</b> Tekstil numunelerinin farklı enerjili fotonlar<br>için kütle soğurma katsayıları. .... | 45 |

## 1. GİRİŞ

Radyasyon; dalga veya parçacık formunda yayılan enerji olarak tanımlanabilir. Radyasyon daima doğada var olan, birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyo ve televizyon iletişimini olanaklı kılan radyo dalgaları, endüstride kullanılan X-ışınları ve güneş ışınları günlük hayatımızda alışkın olduğumuz radyasyon çeşitleridir. Biz hiç farkında olmadan organlarımız, dokularımız sürekli olarak radyasyonla etkileşime girmektedir. Bu etkileşim bazen gözle görülür durumlarda olurken bazen de hiç haberimiz olmadan vücudumuzu etkilemektedir. Nüfuz eden radyasyonun miktarını belirleme ve standardize etme, radyasyon risklerinin ve radyasyondan korunma standartlarının belirlenmesi uzun yıllar almıştır. 20. yüzyılın ilk çeyreğinde iyonizan radyasyonun tehlike ve riskleri anlaşılmış, X-ışını ve gama fotonlarına karşı kurşun gibi malzemelerden yapılmış levhalar zırhlama için kullanılmıştır.

Günümüzde kullanılan radyoaktif kaynakların her geçen gün artması, teknolojiye gelişmelere paralel olarak radyasyon yayan cihazlardaki artış gibi etkenler dolayısıyla insanlar binalarda, dış ortamlarda ve evlerinde sürekli radyasyona maruz kalmaktadırlar. Radyasyon şu ana kadar kanser gibi çeşitli hastalıkların tedavisi için kullanılan yöntemlerden biri olmuştur. Radyasyon ile tedavide yetersiz doz kanser hücrelerini öldürmek için başarısız olabilir. Ancak aşırı doz radyasyon normal dokuları tahrip edebilir. Radyasyon tedavisinde normal dokuların korunması için kullanılan malzemelerin radyasyon tutuculuklarının bilinmesi çok önemlidir.

X-ışını soğurma ve yayınlanma süreçleri, çok çeşitli materyallerin incelenmesinde, birçok analitik teknikte kullanılmaktadırlar. Son zamanlarda enerji ayırmalı X-ışını flüoresans (EDXRF) analizlerinde; bu metodun eşzamanlı multielement ölçüm kabiliyeti ve karakteristik X-ışınlarının yayımlanma ve soğurulmasını numunedeki elementlerin fiziksel ve kimyasal şartlarından bağımsız olarak basitçe tahmin etmesi sayesinde artış olmuştur. XRF ile atom-molekül fiziği, radyasyon fiziği, çevre bilimi, gıda, petrokimya, atık yağlar, nükleer fizik, medikal fizik, ziraat, tarım, malzeme bilimi,

biyoloji ve sağlık fiziğinde dozimetrik hesaplamalar için birçok parametre elde edilir. XRF spektrometrelerini, ileri düzeydeki hassasiyetleri ve yüksek derecede doğruluk paylarının yanı sıra esnek oluğu ayrıca çeşitli tiplerinin bulunması nicel (kantitatif) analizler için çok kullanışlı hale getirmiştir. Sahip olduğu üstünlük ve avantajlar içerisinde; hızlı ve kolay veri girişi sağlaması, çalışırken şarj edilebilmesi, dayanıklı ve tamamen izolasyonunun sağlanmış olması, sonuçları bilgisayar ortamına kolayca aktarma sayılabilir.

Kütle soğurma katsayıları ( $\mu_m$ ) temel fizik ve uygulamalı alanlarda çok önemlidir. Bu nedenle çeşitli materyallerin ( $\mu_m$ ) değerlerine ihtiyaç duyulur. X veya  $\gamma$ - ışını etkileşmeleri için ( $\mu_m$ ) değerlerinin farklı enerjilerde deneysel veya teorik olarak belirlendiği çalışmalar mevcuttur. Elementler (Angelonea *et al*, 2001; Tran *et al*, 2005), bileşikler (Sharanabasappa *et al*, 2009) , karışımlar (Millar and Greening, 1974; Jackson and Hawkes, 1981), odun rnleri (Shakhreet *et al*, 2009), alaşımlar (El-Kateb *et al*, 2000; Han and Demir 2009a,b,c, 2010), kristaller (Demir and Han, 2009; Medhat 2011), süper ilekken ve yarı iletkenler (Cevik *et al* 2006; Baltas *et al*, 2007), mineraller (Han *et al*, 2009), camlar (Singh *et al*, 2008), radyasyon zırhlama materyalleri (Medhat, 2009), yapı malzemeleri (Damla *et al*, 2012; Akkurt *et al*, 2010; Kirdsiri *et al*, 2011; Kulwinder *et al*, 2012), biyolojik olarak önemli malzemeler (Suresh *et al*, 2008) vs için farklı enerjilerde foton azaltma katsayılarının ölçüldüğü çeşitli çalışmalar literatürde rapor edilmiştir.

Millar and Greening, (1974) C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CF<sub>4</sub>, Ne, H<sub>2</sub>S, HCl, Ar, Hava (Air), Mg, Al, SiO<sub>2</sub> ve (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> için  $\mu_m$  değerlerini belirlemişlerdir. Tek kristal silikonun X-ışını azaltma katsayılarını enerji ayrımlı metot kullanılarak ölçülmüştür (Gerward, 1981). Hubbell, (1982) 40 element, 45 karışım ve bileşik için 1 keV–20 Mev enerji aralığında  $\mu_m$  değerlerini tablolar halinde sunmuştur. Bu tablolar Berger and Hubbell, (1987) daha sonra Hubbell and Seltzer, (1995) tarafından  $1 \leq Z \leq 92$  atom numarası aralığındaki tüm elementler ve dozimetri ile ilgili ilave 48 madde için yeniden düzenlenmiştir. Wang *et al.*, (1995) SiH<sub>4</sub> için 1,486–15,165 keV ve Si için 8,041–29,109 keV aralığındaki X-ışını enerjilerinde  $\mu_m$  değerlerini sistematik bir

biçimde ölçmüşlerdir. Khanna *et al.*, (1996) 662 keV’de  $\gamma$ -ışını azaltma katsayılarını bazı ağır metal oksit borat camlarda ölçmüşlerdir. Abdel-Rahman *et al.*, (2000) üç farklı  $\gamma$ -ışını enerjisinde (59,54; 661,6 ve 1332,5 keV) mika, bakalit, parafin, Al, Cu, Pb ve Hg için  $\gamma$ -ışını azaltma katsayılarını belirlediler. El Kateb *et al.*, (2000) 81, 356, 511, 662, 835, 1274 ve 1332 keV enerjilerde  $\gamma$ -ışınlarının transmission’u; pirinç, bronz, çelik, alüminyum-silikon ve kurşun-antimon alaşımlarında çalışılmıştır. Angelonea *et al.*, (2001) Yüksek saflıktaki 22 element (C, Al, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Ta, Pt, Au and Pb) için  $\mu_m$  değerlerini değişken enerjili bir X-ışını kaynağından elde edilen 13–50 keV aralığında enerjilere sahip X-ışınları için ölçtüler. Turgut *et al.*, (2002, 2004, 2005) Co, Mn, Fe, Cu, Cr ve bunların bazı bileşikler;  $\text{Co}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CoSO}_4$ ,  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnCO}_3$ ,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeF}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 2\text{NH}_4\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuC}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , ve  $\text{Cr}_3(\text{CH}_3\text{CO}_7)(\text{OH})_2$  için  $\mu_m$  değerlerini 4,508–11,210 keV arasındaki farklı erjilerde ikincil uyarıcı metodu kullanarak ölçtüler. n-tipi InSe, InSe:Gd, InSe:Ho, InSe:Er tek kristallerin ve farklı Ho konsantrasyonlarına sahip InSe’in  $\mu_m$  değerleri bir Si(Li) dedektör ve enerji ayrımlı X-ışını floresans sistem kullanılarak 15,746–40,930 keV X-ışını enerji bölgesinde ölçülmüştür (İçelli *et al.*, 2005; Erzenoğlu *et al.*, 2006). Tran *et al.*, (2005) Ag için  $\mu_m$  değerlerini Ag’nin K kıyısından uzak olan 15–50 keV enerji bölgesinde belirlemişlerdir. H’den Ca’a kadar olan elementleri kapsayan materyaller için X-ışını azaltma katsayıları ikincil uyarıcı kaynak metodu kullanılarak elde edilen 32–66 keV arasındaki X-ışınları ve Tc radyoaktif kaynaktan yayınlanan 140 keV’lik  $\gamma$ -ışınları için ölçülmüştür (Midgley., 2005). Rettschlag *et al.*, (2007) Pu’nun  $\mu_m$  değerlerini kolime edilmiş şua transmission metodunu kullanarak 60–2615 keV enerji aralığında belirlemişlerdir.

Miskolczi *et al.*, (2006) düşük ve yüksek kükürt elementi içeren dizel yakıtları EDXRF ve ICPOES gibi iki farklı analitik yöntemle incelemişlerdir. Her iki yöntem arasında da belirgin bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Kucukomeroglu *et al.*, (2009) Türkiye’deki Bayburt ili için çevresel radyoaktivite konsantrasyonlarını ölçmüşler ve sonuçları ulusal ayrıca dünya genelindeki araştırmalarla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Bayburt için radyoaktivite değerlerinin doğal

konsantrasyon sınırları içinde olduğunu belirtmişlerdir. Çakır *et al.*, (2009) Türkiye’de ticari olarak kullanılan 24-18 ayar arasındaki çeyrek lira altın için kalibrasyon eğrileri hazırlayarak alarım oranlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak altının yoğunluğu ve konsantrasyonu arasındaki ilişkinin doğrusal olduğunu ve XRF metodun numuneye tahribat vermeyeceğini belirtmişlerdir.

Cevik *et al.*, (2009) Türkiye’de fındık yetişen bölgenin tüketim oranı ve ağır metal seviyesi nedeniyle radyoaktif dozu belirlemek amacıyla çalışmalarını yapmışlardır. Sonuç olarak aktivite konsantrasyonları Ordu fındığı için nispeten büyük konsantrasyona sahip iken, Trabzon fındığının düşük ortalama aktivite konsantrasyonuna sahip çıktığını ifade etmişlerdir. Cevik *et al.*, (2009) Türkiye’de fındık yetişen bölgelerde ağır metal kaynaklı radyoaktiviteyi belirlemek için toplanan fındık örneklerinde radyoaktif doz ölçümleri yapmışlardır. Cevik *et al.*, (2009) Türkiye’de inşaat malzemesi olarak kullanılan doğal kum örneklerinin radyoaktivite ölçümlerini yapmışlardır. Çalışma sonucunda ölçülen kum numunelerinde radyasyon miktarının tehlike teşkil etmediğini, yapı malzemesi olarak kullanım için güvenli olduğunu ve bu çalışmanın deneysel sonuçları ile literatürdeki diğer sonuçların uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir. Damla *et al.*, (2009) Türkiye’nin Batman ilindeki suların bürüt  $\alpha$  ve bürüt  $\beta$  değerlerini incelemişlerdir ve bu ildeki içme ve nehir sularında bürüt  $\alpha$  ve bürüt  $\beta$  aktivite konsantrasyonlarının oldukça düşük çıktığını belirtmişlerdir. Akkurt *et al.*, (2010) betonun lineer zayıflatma katsayılarının artan malzemenin yoğunluğu ile arttığını doğrulamışlardır. Akkurt and Mavi., (2010) Isparta şehrinde bulunan baz istasyonları civarındaki radyasyon oranının değişimini, baz istasyonuna olan uzaklığın bir fonksiyonu olarak ölçmüşlerdir. Sonuç olarak insanların baz istasyonları yakınlarında fazla zaman geçirmemeleri gerektiğini belirtmişlerdir. Akkurt *et al.*, (2010) Türkiye’ nin Afyonkarahisar bölgesinde üretilen bazı mermer malzemelerin doğal radyoaktivitelerini belirlemek için doz oranlarını ölçmüşlerdir. Yapılan çalışma sonucunda Afyonkarahisar’da üretilen mermerlerin doğal radyoaktivite nedeniyle kabul edilebilir sınırlar arasında olduğunu ve binalarda kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Damla *et al.*, (2010a) Türkiye’de bina yapımında kullanılan çimento örneklerinin doğal radyoaktivitelerini ölçüp, ölçülen aktivite konsantrasyonlarını diğer ülkeler ve dünya

ortalamasının sınır verileri ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak dünyadaki diğer ülkelerin aktivite konsantrasyonları ile bu çalışmadan elde ettikleri konsantrasyonların önemli ölçüde farklı olmadığını belirtmişlerdir. Damla *et al.*, (2010b) Batman ili çevresindeki radyoaktivite konsantrasyonlarını ölçmüşler ve Batman’ daki radyoaktivite düzeylerinin bir tehlike teşkil etmeyeceğini belirtmişlerdir. Cevik *et al.*, (2010) Türkiye’ nin Mardin-Mazıdağı’ndaki fosfat kayasının yapısal, radyolojik ve kimyasal karakterizasyonunu incelemişlerdir. Akkurt *et al.*, (2011) Barit malzeme ile üretilen betonun lineer zayıflatma katsayılarını ölçmüş ve sonuçları 6 aylık süre için kimyasal ortamlar üzerinde yapılan ölçümler ile karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda kimyasal ortamların betonun özelliğini etkilediğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada Türkiye’de kullanımdaki bazı tekstil ürünlerinin radyasyon soğurma özellikleri belirlenmiştir. Toplanan örnekler Am-241 ve Ba-133 radyoaktif kaynaklarından yayınlanan farklı enerjili radyasyonlara maruz bırakılarak radyasyon şiddetinde meydana gelen azalma bir NaI(TI) dedektör kullanılarak tespit edilmiştir. Her bir örneğin radyasyon tutuculuğunu belirlemek ve sonuçları birbirleriyle kıyaslamak için ölçülen şiddetler kullanılarak soğurma katsayıları elde edilmiştir. Kıyaslama için elde edilen sonuçlar tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Sonuçlardan örnekler için soğurma katsayılarının birbirlerinden farklı olduğu dolayısıyla tekstil ürünlerinin içeriklerine bağlı olarak farklı radyasyon tutuculuğuna sahip oldukları görülmüştür. Bununla birlikte, soğurma katsayıları enerjiye bağlı olarak düzgün bir değişim göstermemektedirler. Çalışma öncesinde ve sırasında yapılan literatür taramasında benzer bir çalışmaya rastlanamadığı için sonuçların literatürle karşılaştırılması mümkün olmamıştır.

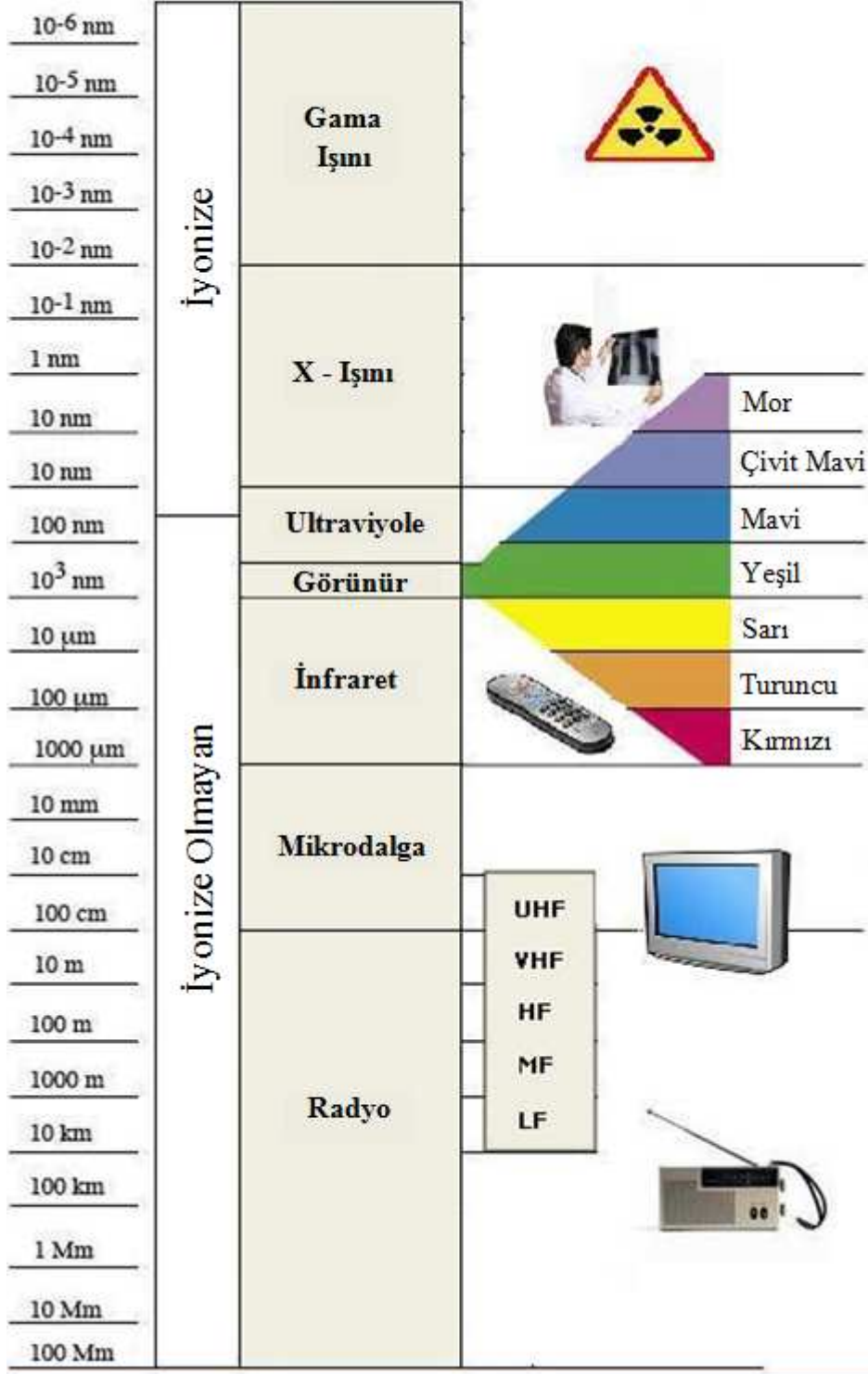
## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Elektromagnetik Spektrum

Spektrum önceleri ışığın renklerinin dalga boylarına göre dizilişi anlamında kullanılmıştır. 1686 yılında Newton'nun bir prizmadan geçen güneş ışığının renklere ayrıldığını gözlemlemesi ile geniş bir bilim dalı doğurmuştur. Spektrumu, en genel manada, parçacık ve fotonların enerjilerine, frekanslarına, dalgaboylarına veya saçılma açılarına göre şiddet dağılımlarının oluşturduğu desen olarak tanımlayabiliriz.

Spektroskopik bir olay genelde, Uyarıcı + Numune  $\Rightarrow$  Gözlemlenen tanecikler veya elektromagnetik radyasyon şeklinde ifade edilebilir. Uyarıcı olarak belirli bir enerjiye sahip olan iyon, atom, molekül, elektron, nötron, proton, foton, fonon vs. kullanılmaktadır. Uyarıcı, madde ile etkileştiği zaman ya kendi enerjisi değişmekte ya da yine adı geçen taneciklerden biri veya elektromagnetik (em) radyasyon yayınlanmaktadır. Optik spektroskopi, elektromagnetik dalga ile maddenin etkileşmesi ve bu etkileşmenin dalgaboyu ile değişmesi olayıdır. Em dalgaların, dalgaboyu "cm" mertebesinde daha küçük olanlarına "em ışıınım" veya sadece ışıınım (radyasyon) adı verilmektedir. Işıınımın bazı bölgelerine özel olarak, dalgaboyu 1 nm veya daha küçük olanlarına (x ve  $\gamma$  ışıınlarında olduğu gibi) "ışıın" , 400–750 nm arasında veya dolaylarındaki ışıınımlara da "ışık" denilmektedir. Bütün em dalgalar boşlukta ışık hızı (c) ile yayıldıklarından frekansları ( $\nu$ ) ve dalgaboyları ( $\lambda$ ) birbirlerine  $c=\lambda\nu$  ifadesi ile bağlıdır. Bütün em radyasyon şekillerinin, ivmeli yükler tarafından oluşturulduğuna dikkat edilmelidir. Em spektrum radyodalgalarından, mikrodalgalar, kızılötesi dalgalar, görünür dalgalar, morötesi dalgalar, X-ışıınları, gama ( $\gamma$ ) ışıınları, kozmik ışıınlara kadar uzanır (Şekil 2.1).

## Elektromagnetik Spektrum



Şekil 2.1. Elektromagnetik spektrum.

Radyo dalgaları; iletken tellerden geçen ivmeli yüklerin sonucudur. Radyo ve televizyon sistemlerinde kullanılırlar. Dalgaboyları birkaç nm'den 10 km'ye kadar değişir. Radyodalgaları; mikrodalgalar, TV ve FM, kısa dalga, AM ve uzun dalga olarak çeşitli bölgelere ayrılırlar.

Mikrodalgalar (Kısa dalgaboylu radyo dalgaları); 1 nm ile 30 cm arasında değişen dalgaboylarına sahiptirler ve elektronik cihazlarla meydana getirilirler. Kısa dalgaboylarından dolayı havacılıkta kullanılan radar sistemleri ve maddenin atomik ve moleküler parametrelerinin incelenmesi için çok uygundur. Mikrodalga fırınlar bu dalgaların evlerimizdeki ilginç uygulamasını temsil eder.

Kızıl ötesi dalgalar (ısı dalgaları); 1 nm'den görünür ışığın en uzun dalgaboyu olan  $7 \times 10^{-7}$  m'ye kadar değişen dalgaboylarına sahiptirler. Sıcak cisimler ve moleküller tarafından oluşturulan bu dalgalar, çoğu maddelerce kolaylıkla soğurulurlar. Bir maddenin soğurduğu kızılötesi enerjisi ısı şeklinde kendini gösterir. Çünkü madde tarafından soğurulan bu enerji vasıtası ile, atomların titreşim ve ötelenme hareketleri artar; dolayısıyla da maddede bir sıcaklık artması meydana gelir. Kızıl ötesi radyasyonun, fizik tedavi, kızıl ötesi fotoğrafçılığı ve titreşim spektroskopisini içeren birçok pratik ve bilimsel uygulamaları vardır.

Görünür dalgalar; insan gözünün görebildiği spektrum kısmı olarak tanımlanabilir. Işık, atom ve moleküllerdeki elektronların yeniden düzenlenmeleri ile oluşur. Görünür ışığın çeşitli dalgaboyları, mordan ( $\lambda \approx 4 \times 10^{-7}$  m) kırmızıya kadar ( $\lambda \approx 7 \times 10^{-7}$  m) değişen renklerle sınıflandırılır.

Morötesi (ultraviyole) dalgalar;  $3.8 \times 10^{-7}$  m (380 nm) ile  $6 \times 10^{-8}$  m (680 nm) arasındaki dalgaboylarını kapsar. Güneş yanıklarının başlangıç sebebi olan morötesi ışınların en önemli kaynağı güneştir. Güneşten gelen morötesi ışığın çoğu, üst atmosferdeki veya stratosferdeki atomlar tarafından yutulur. Stratosferin önemli bir muhtevası, morötesi radyasyonun oksijenle tepkimeye girmesi sonucunda oluşan ozon ( $O_3$ )'dur.

X-ışınları;  $10^{-8}$  m ile  $10^{-13}$  m aralığında dalgalılarına sahip em dalgalarıdır. X-ışınlarının en genel kaynağı bir metal hedefi bombardımana tabi tutan yüksek enerjili elektronların yavaşlamasıdır. X-ışınları, tıpta bir tanı aracı olarak ve belirli kanser türlerinin tedavisinde kullanılır. X-ışınları canlı dokulara ve organizmalara zarar verici veya öldürücü etki yaptığından, bu ışınlara gereksiz yere maruz kalmanın önlenmesine dikkat edilmelidir.

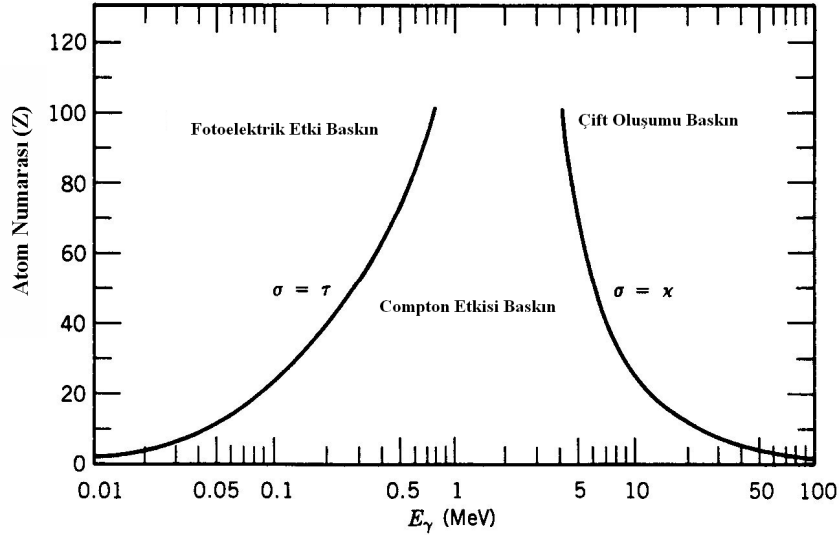
Gama ( $\gamma$ ) ışınları; radyoaktif çekirdekler tarafından ( $^{60}\text{Co}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  gibi) ve belirli nükleer tepkimeler süresince yayılan em dalgalarıdır. Dalgalıları  $10^{-10}$  m ve  $10^{-14}$  m bölgesindedir. Bu ışınlar yüksek derecede girginlik özelliğine sahiptirler; canlı dokular tarafından soğurulduğunda ciddi zararlar oluştururlar. Sonuç olarak bu tür tehlikeli radyasyonla veya bu radyasyon bölgesinde çalışanlar, kalın kurşun tabaka benzeri iyi soğurucu maddelerle korunmalıdır (Bertin, 1975).

Kozmik ışınlar; enerjileri oldukça büyük ve nüfuz kabiliyeti yüksek olan ışınlardır. Uzaydan atmosfere her saniyede, yaklaşık  $10^9$  eV enerjili ve hemen hepsi proton olan  $2 \times 10^8$  civarında kozmik ışın parçacıkları gelir. Bunlar atmosferdeki azot ve oksijen gibi atomlarla etkileşerek ikincil parçacıklar meydana getirirler. Uzaydan gelen orijinal kozmik ışın parçacıklarının hemen hepsi deniz seviyesinde kaybolur. Yeryüzündeki kozmik ışın dozu ikincil parçacıklardan meydana gelir. Kozmik ışınlar çok girici olduğundan bunlardan korunmak için çok kalın beton duvarlı yapılar gerekir.

### 2.1.1. Elektromagnetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

Elektromagnetik radyasyonun madde ile etkileşmeleri etkileşme tarzlarına göre soğurma, saçılma ve çift oluşum olayları olarak incelenebilir. X-ışınlarının madde ile etkileşmesinde çeşitli soğurma ve saçılma olayları meydana gelebilmesine rağmen en fazla gözlenen soğurma şekli fotoelektrik soğurma, saçılma biçimi ise Compton saçılmasıdır. Bu olayların meydana gelme ihtimaliyeti foton enerjisi ile değişmektedir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, fotoelektrik olay 0,001 MeV ile 0,5 MeV arasında etkin

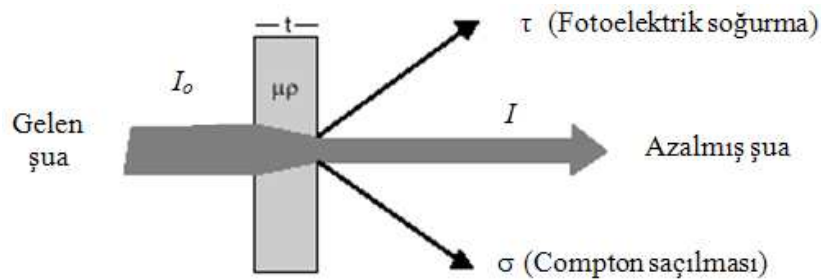
iken, saçılma olayı 0,1 MeV ve 0,5 MeV arasında daha etkin davranır. Çift oluşum olayı ise 1,02 MeV'den başlar ve artan foton enerjisi ile artar.



**Şekil 2.2.** Elektromagnetik radyasyon-madde etkileşmelerinin atom numarası ve enerjiye bağımlılığı.

### 2.1.2. Elektromagnetik Radyasyonun Soğurulması

X-ışınlarının gözlemlenmesi onların enerji spektrumlarının ve madde ile etkileşmelerinin incelenmesi ile mümkündür. X-ışınlarının madde ile etkileşmeleri etkileşme tarzlarına göre soğurma, saçılma ve çift oluşum olayları olarak incelenebilir. Elektromanyetik radyasyonun soğurulmasının temel özelliği, belli bir kalınlıktaki maddeden geçerken radyasyon şiddetinde görülen azalmadır (Şekil 2.3).



**Şekil 2.3.** Elektromagnetik radyasyonun madde ile temel etkileşmeleri.

Radyasyonun şiddetinde meydana gelen azalma Lambert Yasasına göre soğurucu malzemenin  $t$  kalınlığı ile orantılıdır. Başlangıçtaki şiddeti  $I_0$  olan elektromanyetik radyasyonun bir soğurucu tabakasından geçtikten sonraki  $I$  şiddeti,

$$dI = -\mu I dt \Rightarrow I = I_0 e^{-\mu t} \quad (2.1)$$

olur. Bu ifade başlangıçtaki şiddeti  $I_0$  olan bir X-ışını şuasının  $t$  kalınlıklı bir maddeyi geçtikten sonraki şiddetini verir.

Lineer soğurma katsayısı olan  $\mu$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) birim yüzeyde, birim kalınlık başına düşen enerji soğurma kesri olarak tarif edilir ve gelen fotonun enerjisine bağlıdır. (2.1) ifadesinden  $\mu$  için;

$$\mu = \frac{\ln(I_0/I)}{t} \text{ cm}^{-1} \quad (2.2)$$

yazılabilir. Lineer soğurma katsayısı  $\mu$ 'nın soğurucu maddenin yoğunluğuna oranı birim zamanda birim kütle başına soğurma olarak tanımlanır ve kütle soğurma katsayısı ( $\mu_m = \mu/\rho$ ) olarak adlandırılır.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\ln(I_0/I)}{t} \text{ cm}^2/\text{gr} \quad (2.3)$$

Kütle soğurma katsayısı  $\mu/\rho$ 'nın değeri soğurucu materyalin fiziksel haline bağlı olmadığından dolayı lineer soğurma katsayısı  $\mu$ 'den çok daha önemlidir. Kütle soğurma katsayısı direkt olarak soğurucu materyalin tabiatını yansıtır. Bu nedenle lineer soğurma katsayısından kütle soğurma katsayısını ölçmek çok daha uygundur.

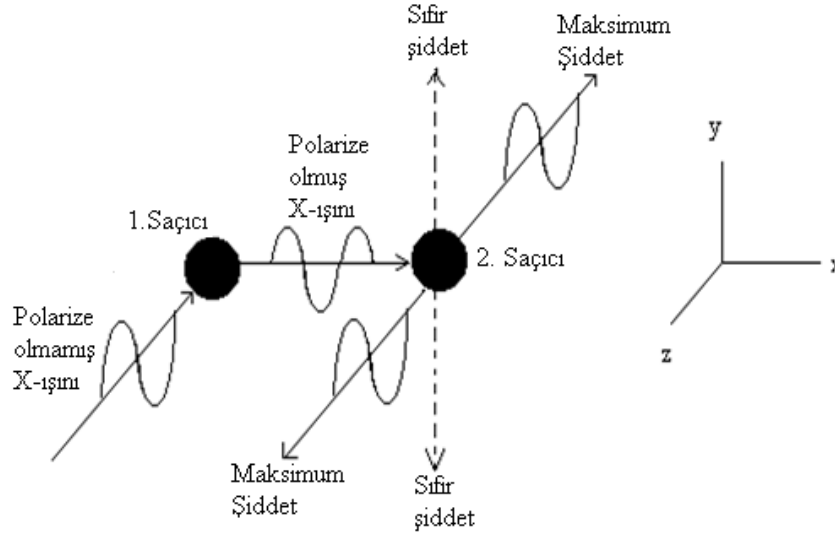
### 2.1.3. X-Işınlarnının Oluşumu

X-ışınları yüksek enerjili fotonlardan oluşur. 1895'te Wilhelm Röntgen, hızlı elektronlar maddenin üstüne düştüğünde, doğası bilinmeyen, çok girici bir radyasyonun oluştuğunu buldu. Kısa zamanda X-ışınlarının doğru çizgiler üzerinde yol aldıkları, elektrik ve manyetik alanlardan etkilenmedikleri, saydam olmayan malzemeden kolaylıkla geçtikleri, fosfor gibi ısıldayan maddelerin ısıldamasına neden oldukları ve fotoğraf plakalarında iz bıraktıkları bulundu. Başlangıçtaki elektronlar ne kadar hızlıysa, oluşan X-ışınları da o kadar girici ve X-ışını huzmesinin şiddeti o kadar fazla oluyordu.

Bu keşiften kısa zaman sonra X-ışınlarının em dalgalar olduğu açığa kavuştu. Elektromanyetik kuram, ivmeli bir elektrik yükünün em dalgalar yayımlamasını öngördüğünden aniden durdurulan bir hızlı elektron tabii ki ivmelidir. Bu şartlarda oluşturulan ışınlara Bremsstrahlung (frenleme ışınlamı) adı verilir. Elektronların bremsstrahlungdan dolayı enerji kaybı, ağır parçacıklara göre daha fazladır, çünkü elektronlar yolları üzerindeki çekirdeklerin yakınından geçerken daha fazla ivmelenirler. Elektronun enerjisi ve etkileştiği çekirdeklerin atom sayısı arttıkça frenleme ışınlamının enerjisi artar.

X-ışınlarının dalga tabiatı ilk kez 1906'da, bunların polarizasyonunu göstermeyi başaran Barkla tarafından ortaya konmuştur. Barkla'nın deney düzeneği Şekil 2.4'de çizilmiştir. Barkla'nın deneyi, X-ışınlarının elektromanyetik dalgalar olduğu kabulü altında çözümlenebilir. Deneyde  $-z$  yönünde kutuplanmamış (polarize olmamış) bir X-ışını demeti soldaki küçük bir karbon bloğu üzerine düşer. Bu ışınlar karbon tarafından saçılır; bu demektir ki, karbon atomları içerisindeki elektronlar X-ışınlarının elektrik vektörleri tarafından titreşime geçirilir ve sonra yeniden ışıma yaparlar. Bir elektromanyetik dalgadaki elektrik alan vektörü dalganın yayılma doğrultusuna dik olduğundan, ilk X-ışınları yalnızca x-y düzlemi içinde kalan elektrik alan vektörleri ihtiva eder.  $+x$  yönünde saçılan X-ışını, yalnızca y doğrultusunda elektrik vektörüne sahip olabilir ve bu nedenle düzlem polarize olmuştur. Bu polarizasyonu göstermek için, ışının yolu üzerine sağdaki gibi bir başka karbon blok konur. Bu bloktaki

elektronlar,  $y$  doğrultusunda titreşmekle kısıtlanmıştır ve bu nedenle, yalnızca  $x$ - $z$  düzlemi içinde yayılan X-ışınları ışıır,  $y$  doğrultusunda ışıma olmaz. Saçılan X-ışınlarının  $x$ - $z$  düzlemi dışında gözlenemeyişi X-ışınlarının dalga özelliğini doğrular.



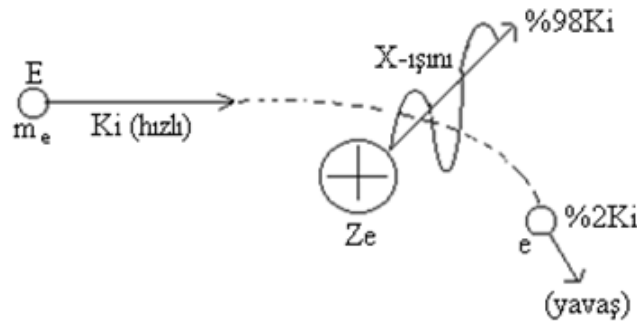
**Şekil 2.4.** X-ışını polarizasyonunu gösteren Barkla deneyi.

1912’de X-ışınlarının dalga boylarını ölçmek için bir yöntem geliştirildi. Bu amaç için bir kırınım deneyinin ideal olacağını düşünülüyordu; fakat fizik optikten hatırlanacağı gibi, tahmin edici sonuçlar elde edebilmek için, bir kırınım ağındaki iki komşu çizgi arasındaki aralıklar ışığın dalga boyu ile aynı mertebede olmalı ve X-ışınlarının gerektirdiği incelikte aralıklarla kırınım ağı yapmak mümkün değildi. Max von LAUE, X-ışınları için önerilen dalga boylarının kristallerdeki iki komşu atom arasındaki uzaklıkla kıyaslanabileceğini gördü ve örgüleri üç-boyutlu bir kırınımın ağı gibi davranacak olan kristallerin X-ışınlarını kırınımına uğratmak için kullanılmalarını önerdi. Ertesi yıl yapılan deneylerde, X-ışınları için 0.013 ile 0.048 nm arasında dalga boyları bulunmuştur. Bunlar görünen ışığa kıyasla  $10^{-4}$  kat daha küçük dalga boyuna sahip olan X-ışınları, görünür ışıktan  $10^4$  kat daha enerjiktirler.

Elektromanyetik yayımlama kaynağına göre yapılan sınıflandırmaya göre gama ( $\gamma$ ) ışınlarından radyo dalgalarına kadar yayılmış sürekli ışıma dizisine elektromanyetik

spektrum denir. Elektromanyetik ışımların fiziksel özellikleri bütün spektrumda aynıdır. Aynı hız ve aynı elektromanyetik tabiata sahip olan bu ışımlar arasındaki fark dalga boylarıdır (frekanslarıdır). Spektrumda dalga boyları 0,01'den 100 Å'a kadar olan elektromanyetik ışımlar X-ışınları kategorisine girer. Elektromanyetik spektrumun yüksek enerjili kısmına düşen bu kategorinin sınırları keskin değildir, kısa dalga boyu ucu  $\gamma$ -ışınları ile uzun dalga boyu ucu ise morötesi ışıqla karışır.

X-ışınları, nitelik itibarıyla sürekli X-ışınları ve karakteristik (veya çizgi) X-ışınları olmak üzere iki grupta incelenebilirler. Sürekli X-ışınları; elektronlar, protonlar veya  $\alpha$  parçacıkları gibi yüksek enerjili, yüklü parçacıkların ağır çekirdeklerin Coulomb alanından geçerken enerji kaybetmeleri bir başka deyişle nükleer saçılmalarla hedef içerisinde adım-adım yavaşlatılmaları sonucu meydana gelirler. Bu etkileşimde yüklü parçacığın ısıdığı enerji, sürekli spektrum veya Bremsstrahlung (frenleme radyasyonu) spektrumu olarak isimlendirilir. Sürekli X-ışını spektrumları geniş bir frekans aralığını kapsayan sürekli bir ışıma karşılık gelmektedir. Bu nedenle sürekli X-ışınlarına beyaz X-ışınları da denir. Sürekli X-ışını emisyonu, klasik elektromanyetik teoriye göre şöyle açıklanabilir. İvmeli hareket eden yükler elektromanyetik ışımda bulunurlar. Yüksek enerjili elektronlar bir hedefe çarptıkları zaman bu elektronların enerjilerinin %1'i sürekli X-ışınlarının oluşmasına yol açar. Sürekli X-ışınlarının üretilmesinde X-ışını tüpleri temel kaynaktır. Sürekli X-ışınlarının oluşumu Şekil 2.5.'de şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 2.5.** Sürekli X-ışını oluşum mekanizması.

Hedefe (bir X-ışını tüpünde anoda) çarpan elektronlardan çok az bir kısmı enerjilerini bir defada ve tümüyle bir X-ışını fotonu olarak yayımlayabilir. Bu elektronlar maksimum frekanslı (minimum dalgaboylu) ışınları oluştururlar. Minimum dalgaboyu ( $\lambda_{min}$ ) hedef üzerine gelen elektronun tüm kinetik enerjisini ( $E = eV_o$ ) tek bir fotona vermesine karşılık geldiğine göre,  $E_x = hc/\lambda_{min}$  yayımlanan X-ışınının enerjisi olmak üzere için;

$$E_x = \frac{hc}{\lambda_{min}}$$

yazılabilir. Buradan

$$\frac{hc}{\lambda_{min}} = eV_o \Rightarrow \lambda_{min} = \frac{hc}{eV_o} \quad (2.4)$$

ifadesi elde edilir.

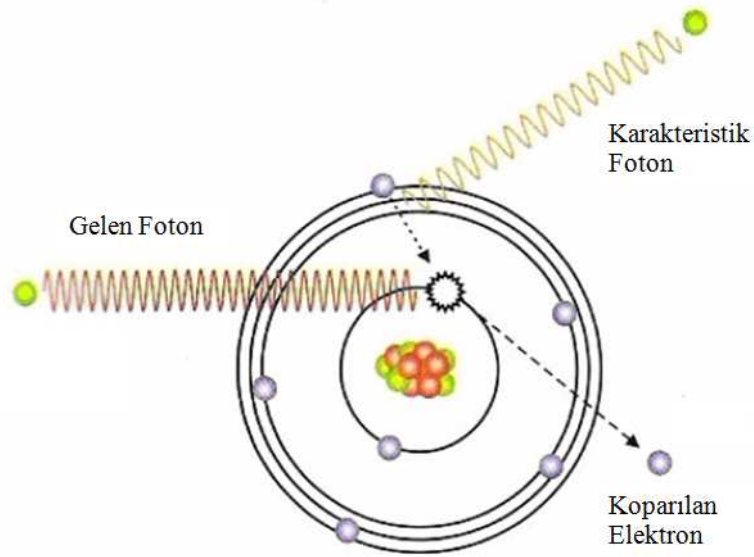
Bir X-ışını tüpünde elektronlarla meydana getirilen sürekli X-ışını spektrumu, uyarıcı elektronların maksimum enerjilerine karşılık gelen,  $\lambda_{min}$  kısa dalgaboyu sınırıyla karakterize edilir. Burada,  $h$  Planck sabiti ( $6,62 \times 10^{-27}$  erg.s),  $c$  ışık hızı,  $e$  elektronun yükü ve  $V_o$  ise tüpe uygulanan potansiyeldir. Kısa dalgaboyu sınırı ile uygulanan potansiyel arasındaki bu ilişki Duane-Hunt kanunu olarak bilinir. Bir X-ışını tüpünde elektronlar tarafından meydana getirilen sürekli X-ışını spektrumu şu özellikler ile karakterize edilir.

1- Kısa dalga boyu limiti  $\lambda_{min}$  ; bu dalga boyu altında radyasyon gözlemlenmez.

2- Maksimum şiddetin dalga boyu  $\lambda_{max}$  yaklaşık olarak  $\lambda_{min}/2$  dir.

3-Toplam şiddet, tüp voltajı ve hedef maddesinin atom numarası ( $Z$ ) ile orantılıdır.

Bir atomda elektronlar atomun merkezinde bulunan çekirdek etrafında yörünge olarak adlandırılan enerji katmanlarında dolanırlar. Her bir elektronun hızından kaynaklanan bir kinetik enerjisi ve çekirdekten uzaklığına bağlı olarak da sahip olduğu bir potansiyel enerjisi vardır. Bu nedenle enerji düzeylerinde hareket eden elektronların kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamına eşit olan bir enerjileri vardır. Elektronların sahip oldukları enerji iç tabakalardan dış tabakalara doğru gidildikçe artar. Bu sayede çekirdek çevresindeki elektronlar yüksek hızlarla dönmelerine rağmen konumlarını muhafaza ederler. Bu elektronların uzaysal konumları herhangi bir enerji etkisi ile bozulursa; iç tabakalara veya dış tabakalara doğru elektron geçişleri olur. Atomun herhangi bir iç tabakasından sökülen elektronun yerinde kalan boşluk, üst tabakadaki elektronlar tarafından belli geçiş kurallarına ve enerjinin minimumluğu prensibine uygun olarak doldurulur. Böyle bir doldurma sırasında enerji farkı bir X-ışını fotonu olarak yayımlanır. Bu foton yayımlandığı malzemeye has özellikler taşıdığı için o elementin karakteristik X-ışını diye adlandırılır. Karakteristik X-ışını oluşumu Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 2.6.** Karakteristik X-ışını oluşumu (Brouwer, 2003).

## 2.2. Radyasyon

Radyasyon; dalga veya parçacık şeklindeki hareketli enerji paketleridir. Sürekli doğada varolan ve insanların sürekli birlikte yaşadığı bir olgudur. Radyasyonlar maddeyle etkileşmesi sonucu iyonlaşma meydana getirip getirmemesine göre doğrudan iyonlayıcı ve dolaylı iyonlayıcı radyasyonlar olarak ikiye ayrılır. Doğrudan iyonlayıcı radyasyonlar alfa, beta ve ağır iyonlar gibi elektrik yüklü tanecikler, dolaylı iyonlayıcı radyasyonlar ise X ve  $\gamma$ -ışını yani elektromagnetik radyasyonlarla nötronlardan oluşur. Dolaylı iyonlayıcı radyasyonlar, madde ile etkileşirken iyonlayıcı özellikleri olan ikincil radyasyonlar meydana getirirler. Böylece iyonlaşma meydana gelir. Radyasyon dalga özelliği gösterip göstermemesine göre de partiküler radyasyon ve elektromanyetik radyasyon olarak da incelenebilir.

X ve  $\gamma$ -ışınlarının her ikisi de elektromagnetik dalga olup madde ile etkileşmeleri birbirinin aynıdır. X ve  $\gamma$ -ışınlarının zayıflatılmaları temelde foton-madde ara etkileşmeleri ile olur. Foton bir maddesel çekirdek değil, bir enerji paketçigidir ve kütlesi yoktur. Foton ışık hızı ile gider ya da yörünge elektronu ile çarpışarak yok olur. Gama ışınları, kararsız atomun çekirdeğinden yayınlanırken, X-ışınları hızlandırılmış elektronların yüksek atom numaralı hedef atomlarının çekirdeklerine yaklaştıklarında çekirdeğe çarpmasıyla meydana gelir. Her iki ışının da elektrik yükleri yoktur, buna rağmen atomla etkileştiklerinde iyonlaşma meydana gelir. Elektrik yükleri olmadığından etkileşmeleri madde içerisinde itilip çekilmezler ancak yolları üzerindeki parçacıklarla çarpışmalar yaparlar (Karkuza, 2007).

X-ışınlarının gözlemlenmesi onların enerji spektrumlarının ve madde ile etkileşmelerinin incelenmesi ile mümkündür. Bu ışınların madde ile etkileşmelerini etkileşme alanlarına göre aşağıdaki gibi gruplandırmak mümkündür.

1- Atomik elektronla etkileşme,

2- Çekirdekle etkileşme,

3- Çekirdek ve elektronların etrafındaki elektrik alanla etkileşme,

4- Çekirdek çevresindeki mezon alanı ile etkileşme.

### 2.2.1. Radyasyonun Özellikleri

Radyasyon, elektromanyetik dalgalar ve parçacıklar biçimindeki enerjinin emisyonu veya aktarımıdır. Bilindiği gibi maddenin temel yapısını atomlar meydana getirir. Atom ise proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ile bunun çevresinde dönmekte olan elektronlardan oluşmaktadır. Eğer herhangi bir maddenin atom çekirdeğindeki nötronların sayısı, proton sayısına göre oldukça fazla ise bu maddeler kararsız bir yapı göstermekte ve çekirdeğindeki nötronlar dönüşerek  $\beta^-$ (negatron) yayarlar. Eğer protonlar, nötronlardan fazla ise protonlar dönüşerek  $\beta^+$ (pozitron) yayarlar. Atom çekirdeğinden ayrılan nötronlar ve protonlar kararlı olmayan atom çekirdeği gama ( $\gamma$ ) ışını yayarlar. Ağır çekirdekler alfa ( $\alpha$ ) ışını yayabilir veya fisyon reaksiyona maruz kalabilirler. Alfalar, (+) yüklü Helyum çekirdeğidirler ve bir kağıt parçası tarafından durdurulabilir. Bu tepkimelere maruz kalarak parçalanan maddelere radyoaktif madde, çevreye yayılan alfa, beta, gama gibi ışınlara ise radyasyon adı verilmektedir (Bilkent Üniv, Sağlık Merkezi, Kuş). Beta radyasyonu, elektronlardan oluşur. İnce bir alüminyum levha bu elektronları durdurmak için yeterlidir. Gama radyasyonu ise ışık hızında hareket eden enerji dalgalarından oluşmaktadır. Radyasyon ölçüm birimi için maddenin 1 gramının absorbe ettiği enerji miktarı olan RAD (Radyasyon Absorbsiyon dozu) yaygın olarak kullanılır.

En basit çekirdek olan Hidrojen (H) çekirdeğinin dışındaki tüm çekirdekler nötron ve protonlardan oluşmuştur. N/Z oranı hafif çekirdeklerde 1 iken, ağır çekirdeklere doğru gidildikçe bu oran artmaktadır. Oran arttıkça çekirdeklerin artık kararlı olmadığı bir yere ulaşılır. En ağır kararlı çekirdek bizmut (Bi) izotopudur. Daha ağır çekirdekler sahip oldukları fazla enerjiden dolayı kararsızdırlar. Böyle çekirdeklere radyoaktif

çekirdek adı verilir. Bunlar fazla enerjilerinden kurtulmaya ve kararlı duruma geçmeye çalışırlar. Bu olaya radyoaktiflik ya da radyoaktivite denir.

Radyoaktivitenin bulunmasından sonra radyasyonun özellikleri üzerinde çalışmalar hızlandı. 1898 yılında Curie' ler Polonyum ve Radyum'un radyoaktif madde olduklarını keşfettiler. Bu radyoaktif maddeleri Toryum, Aktinyum, Radyotoryum ve Mezotoryum takip etti. Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Herhangi bir şekilde müdahale edilip yavaşlatılamaz veya durdurulamaz. Üstel bir fonksiyon şeklinde zayıflayan bir tempo ile azalarak kendiliğinden tükeninceye kadar devam eder. Buna radyoaktif bozunma denir (Karakuza, 2007).

Radyasyonun özellikleri, şu şekilde sıralanabilir;

1 – Hızları; ışık hızına eşittir.

2 – Geçtikleri tüm ortamlara enerji transfer ederler. Enerji frekansları ile doğru, dalga boyları ile ters orantılıdır.

3 – Boşlukta düz bir çizgi boyunca yayılırlar.

4 – Maddeyi geçerken enerjileri azalır,(absorbe edilir ve saçılır) (Popüler Bilim Dergisi, Şubat 2000).

### **2.2.2. Radyasyonun Etkileri**

Elementlerin dış orbitallerindeki elektronlar, kimyasal reaksiyonlarda önemli rol oynar. Radyasyonun madde ile etkileşimi sonucu bu elektronlar yerlerinden sökülebilir (iyonizasyon) ve maddenin kimyasal özellikleri değişir. Yine radyasyonun biyolojik etkileri canlıların hücrelerindeki makromoleküllerde (DNA-RNA) veya su moleküllerinde görülebilir. Radyasyonun hücreye etkileri doğrudan ve dolaylı olmak

üzere ikiye ayrılır. Doğrudan etki, makromoleküllerde görülür. Enzim gibi makromoleküllerden hücre içerisinde çok sayıda olduğundan radyasyondan etkilenen böyle bir molekülün işlevi bir diğeri tarafından yerine getirilir ve radyasyondan kaynaklanan zarar hücrede kayda değer bir değişikliğe neden olmaz. Ancak anahtar molekül adı verilen DNA gibi makromoleküllerden hücre çekirdeğinde ancak gerektiği kadar vardır ve benzerleri bulunmaz. Işının anahtar moleküllerde oluşturduğu değişiklik, doğrudan hücrenin yapısını etkiler. Kromozomların yapısında bulunan ve kalıtsal karakterlerin geçişini sağlayan DNA’da meydana gelecek değişiklikler, derecesine göre genetik mutasyon veya hücrenin ölümü ile sonuçlanabilir. Su moleküllerinde görülen dolaylı etkide su molekülleri iyonize olur ve serbest kökler açığa çıkar. Bunların birleşmesiyle ortaya çıkan hidrojen peroksit, şiddetli oksidan bir maddedir, hücre metabolizmasını bozabilir. Ayrıca oluşan serbest kökler makromoleküller ile birleşerek kimyasal yapılarını değiştirebilir. Böylece doğrudan etki ile oluşan değişiklikler, dolaylı olarak ortaya çıkmış olur.

Hücre türünün radyasyona karşı duyarlılık derecesi farklıdır. Organizmadaki en duyarlı hücreler, lenfositler (bağışıklık sisteminin temel hücreleri), en dirençlileri ise kas ve sinir hücreleridir. Hızla çoğalan ve bölünme fazında olabilen hücreler, radyasyona daha duyarlıdır.

Radyasyonun organizmadaki etkileri ışınlamanın şekline ve dozuna göre değişir. Bu faktöre bağlı olarak, hemen görülebilir veya sessiz bir devreden sonra ortaya çıkabilir. Sessiz devre, yüksek dozda on beş günden başlayıp, az dozlarda kronik ışınlamalarda yirmi yıla kadar değişebilir. Bu etkiler; yüksek dozlarda akut radyasyon etkileri ve az dozda kronik radyasyon etkileri şeklinde sınıflanabilir; Akut radyasyon etkileri; bir kez yüksek doz radyasyon ile oluşur. Atom bombasında, nükleer reaktörlerdeki kazalarda, hayvan deneylerinde görülür. Etkiler dozla orantılıdır. Önce hücre bölünmesinde yavaşlama, kromozomlarda kırılma, alyuvar sayısında azalma ve bağışıklık sisteminde inaktivasyon oluşur (Popüler Bilim Dergisi, Şubat 2000).

300 – 600 RAD = Kemik iliğinin çalışmaması sonucu %50 ölüm görülür.

1000 – 1200 RAD = Sindirim sisteminde yaygın kanlanma bozukluğuna bağlı %100 ölüm.

5000 RAD = Beyin etkilenir, ani ölümle sonuçlanır.

Kronik radyasyon etkilerinde ise röntgen teknisyenleri ve radyologlarda ellerde ve deride kuruluk, pigmentasyon, erken katarakt, kısırlaşma, lösemi izlenebilir.

### 2.2.3. Radyasyondan Korunma Yöntemleri

İnsanların radyasyondan etkilenmesinin biyolojik zararı olduğu bilindiği için maruz kalınacak dozun sadece izin verilen seviyelerin altında kalması yeterli olmayıp, olabildiği kadar düşük tutulmalı ve bunun için gerekli her türlü tedbir alınmalıdır. Dış radyasyon kaynaklarından korunmanın zaman, mesafe ve zırhlama gibi üç temel kuralı vardır.

Zaman kuralı; radyasyonla yapılan işlemlerde alınan doz; doz hızı ile zamanın çarpımıdır. Zaman ne kadar çok artarsa alınan dozda o kadar artar. Bu bağıntıdan radyasyon alanında ne kadar az süre kalınırsa o kadar az doz alınacağı açıktır. Radyoaktif kaynağın ve cihazın yanında ne kadar kısa sürede işlem tamamlanırsa alınan doz o kadar az olacaktır. Doz hızının önceden bilinmesi ile bu bölümde çalışacak personelin ne kadar zaman çalışmasına izin verileceği belirlenir.

Mesafe kuralı; bir radyasyon alanının şiddeti kaynaktan olan uzaklık arttıkça azalır. R yarıçaplı bir kürenin merkezinde saniyede n adet foton yayınlayan bir nokta kaynak varsa; kürenin yüzeyindeki akı ( $\Phi$ ) kaynaktan olan uzaklığın karesiyle ters orantılıdır.

$$\Phi = \frac{n}{4\pi R^2} \quad foton \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1} \quad (2.5)$$

Bu kanun ters kare kanunu olarak bilinir. Kaynağın boyutlarının kaynakla söz konusu nokta arasındaki uzaklık ile karşılaştırıldığında ihmal edilecek kadar küçük olması yani kaynağın nokta kaynak olması halinde geçerlidir. Belirli bir uzaklıktaki doz hızı değeri biliniyorsa boşluk veya havadaki başka bir uzaklık için doz hızı değeri uzaklıkların karesiyle ters orantılı olarak hesaplanır.  $D_1$ , kaynaktan  $d_1$  uzaklıktaki doz hızı,  $D_2$ , kaynaktan  $d_2$  uzaklıktaki doz hızı olmak üzere;  $D_1 d_1^2 = D_2 d_2^2$  ifadesi elde edilir.

Zırhlama kuralı; radyasyon kaynağı ile bu kaynağın sebep olduğu dozdan etkilenme olasılığı olan kişiler arasına kurşun gibi radyasyon tutucu malzemeler konulmasına veya radyasyondan etkilenme ihtimali olan cihazların yine kurşun veya benzeri malzemeler ile çevrelenmesine zırhlama denilmektedir. Cihazlar için zırhlama, direk cihazın zırhlanması ile yapılabileceği gibi cihazın bulunduğu oda zırhlanarakta yapılabilir. Radyasyon dozunu azaltan malzemeye de zırh malzemesi denir. Zırh malzemelerinin yoğunluğu ne kadar fazla ise X ve  $\gamma$ -ışınlarını zırhlama (durdurma) özelliği o kadar artar (Karakuza, 2007).

#### 2.2.4. Radyasyon Birimleri

İyonlaştırıcı radyasyonların tüm etkileri radyasyonun geçtiği ortamlarda meydana getirdiği iyonlaşmaya bağlıdır. İyonlaşma da soğurulan radyasyonun enerjisine bağlıdır. Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu (ICRU), yaptığı çalışmalar sonucunda soğurulan doz için rad, ışınlama için Röntgen, aktivite için Curie, doz eşdeğeri için ise rem radyasyon birimlerinin kullanılmasını öngörmüştür.

1- Radyoaktivite Birimi: Radyoaktivite birimi Becquerel olup saniyede bir parçalanma veren radyoaktif madde miktarı veya bu maddenin radyoaktivitesi olarak tanımlanır. Bq ile gösterilir. Becquerel'in diğer bir radyoaktivite birimi olan Curie (Ci) ile arasındaki ilişki  $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$  şeklindedir.

2- Işınlama Birimi: Işınlama birimi olan Röntgen (R), normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg cıva basıncı) havanın 1 kg'ında  $2,58 \cdot 10^{-4}$  Coulomb'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan x-ışını ve gama radyasyon miktarı olarak tanımlanır. Işınlama, x- ve gama ışınlarının havayı iyonlaştırmalarının bir ölçüsüdür.  $1R = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg'dır.}$

3- Soğurulan Doz Birimi: Soğurulan doz her ortam ve her türdeki iyonlayıcı radyasyonlar için tanımlanmıştır. Bu birim, radyasyon demeti ile birlikte soğurucu maddenin de özelliğini belirtir. SI birim (International System of Unit) sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup, 1 Gray; 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule'lük enerji veren herhangi bir iyonlayıcı radyasyon dozudur. Diğer bir soğuran doz birimi olan rad (radiation absorbed dose) herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg'lik enerji soğurmasına eşdeğerdir.  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$  ve  $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad'dır.}$

4- Doz Eşdeğeri: Eşdeğer doz birimi (Sievert), iyonlayıcı radyasyonların oluşturduğu zararlı biyolojik etkilerin bir ölçüsüdür. Sievert, soğurulmuş doz ile biyolojik etki faktörünün çarpımı olarak tanımlanmıştır.  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$  ve  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rad'dır}$  (Yavuz E, 2011).

### **2.3. Türkiye’de Tekstil Sektörü**

Tekstil; elyaftan başlayarak iplik, dokuma, örme, boya ve baskı gibi süreçleri, hazır giyim ise bu süreçleri kullanım eşyasına dönüştürecek işlemleri kapsamaktadır. Elyaftan iplik ve mamül kumaşa kadar olan kısım tekstil, kumaştan giyim eşyası elde edilene kadar olan süreç ise hazır giyim sektörünün içinde değerlendirilebilmektedir.

Tekstil ve hazır giyim, sanayileşme sürecinin önemli yapı taşı oluşturan ve gelişmekte olan ülkelerin kalkınmasına ciddi katkılar sağlayan yoğun sektörlerin başında gelmektedir. Dünyada rekabetin en yoğun yaşandığı bu sektörde, kotaların kalkmasıyla hem arz hem de talep yönünde rekabet daha da keskin hale gelmiştir. Bu çerçevede

tekstil ve hazır giyimde markalaşma büyük önem arz etmeye başlamış, nitekim sektörün güç kaybetmesi sonucunda bazı ülkelerin markalaşmaya yöneldikleri görülmüştür (Dünya Gazetesi, 16.12.2011).

### **2.3.1. Tekstil Sektörünün Türkiye’deki Gelişimi**

Tekstil ve hazır giyim temeli Osmanlı İmparatorluğu döneminde atılmıştır. Dokuma konusunda Denizli ve Tokat, ipekli ürünler konusunda da Bursa şehrinde küçük işletmeler halinde üretim yapılmıştır. 1915 yılında önde gelen 22 kamu sanayi işletmesinin 18’i, 28 anonim şirketin 10’u, 214 özel sektör işyerinin 45’i ve toplam 264 sanayi işyerinin 73’ü bu sanayide faaliyet göstermiştir. Cumhuriyetin ilanından sonra Sümerbank’ın kuruluşuyla birlikte bütün tekstil ve hazır giyim fabrikaları ve atölyeleri bu kuruluşun çatısı altında toplanmıştır. Sektörde, 1950’li yıllardan sonra özel sektörün öncülüğünde gelişim başlamış ve 1960’lardan sonra sentetik elyaf üretimine geçilmiştir.

Sektörel panoramaya bakıldığında; hazır giyim ve hazır giyim üreticileri ağırlıklı olarak Marmara ve Ege bölgesinde, İstanbul, Bursa, Tekirdağ, Çorlu, İzmir ve Gaziantep gibi şehirlerde yerleşiktir. Tekstil ve hammaddeleri üretim tesisleri ise ağırlıklı olarak İstanbul, İzmir, Denizli, Bursa, Gaziantep ve Kahramanmaraş gibi illerde bulunmaktadır. Marmara’dan yapılan ihracat Türkiye toplam giyim ve konfeksiyon ihracatının beşte dördüne karşılık gelmektedir. 2010 yılı eylül ayında %76.1 olan kapasite kullanım oranı sektörde 2011 Eylül ayında %76.8’e yükselmiştir. Bununla birlikte son 1.5 yılda Türkiye’nin iç pazar hazır giyim satışı ise Avrupa ve ABD’yi geride bırakarak %50’nin üzerinde artış göstermiştir (Dünya Gazetesi, 16.12.2011).

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

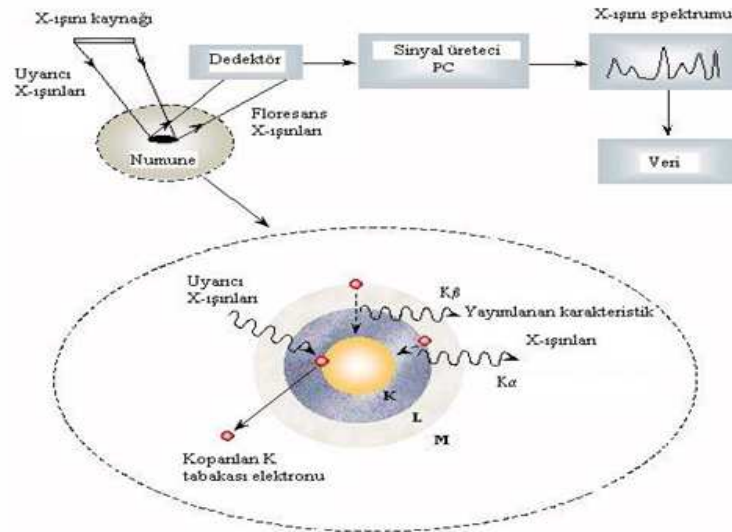
#### 3.1. X-ışını Flöresans Tekniği

X-ışını flöresans (XRF) tekniği; analiz süresinin kısalığı, tahribatsız oluşu, değişik formlarda numune hazırlayabilme kolaylığı, periyodik tablodaki elementlerin hemen-hemen tamamının incelenebilmesine imkân tanınması, yüksek hassasiyet (ppm), ucuz maliyet ve otomasyon kolaylığı gibi avantajlara sahip olduğundan bilim ve teknolojiye yaygın bir kullanım alanına sahiptir. XRF tekniği; atom-molekül, radyasyon ve astrofizik araştırmaları, çevre kirliliği analizleri, eczacılık, kimya ve tıbbi araştırmalar, endüstride kalite kontrol tespiti, arkeolojide çok kıymetli tarihi eserlerin incelenmesi ve yaşlarının belirlenmesi gibi çok farklı alanlarda kullanılmaktadır.

XRF spektrometreler çevresel, jeolojik, biyolojik, kimyasal, fiziksel, endüstriyel ve benzeri alanlarla ilgili numunelerin kantitatif (nicel) ve kalitatif (nitel) element analizleri için yaygın olarak kullanılırlar. Günümüzde XRF tekniği ile ilgili uygulamalar için pek çok spektrometre geliştirilmiştir. X-ışını spektrometrelerinin temel fonksiyonu karakteristik çizgi şiddetlerini ölçmek ve numuneden gelen çok enerjili şüayı ayırmaktır. Bir spektrometrenin karakteristik çizgileri ayırabilme kabiliyetine spektrometrenin rezolüsyonu (ayırma gücü) denir.

Bir spektrometre yeterli rezolüsyona sahip olmanın yanında özellikle eser element analizlerinde istatistik bakımdan önemli ölçümler yapabilmek için temel sayma üzerinde yeterince büyük bir cevap sağlamalıdır. Ayrıca spektrometre ilgilenilen enerji veya dalgaboyu bölgesinde ölçüm yapabilme imkânı sunmalıdır. Bu yüzden spektrometre seçiminde rezolüsyon, cevap fonksiyonu (karakteristik pik), temel sayma seviyesi ve enerji veya dalgaboyu aralığı faktörleri önemlidir. Bu faktörler birbirinden bağımsız değildir. Mesela rezolüsyonu sabit tutmak mutlak pik şiddetinin düşmesine sebep olur.

XRF tekniğinin temel prensibi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bir atom herhangi bir yöntemle uyarıldığında atomun bir iç tabaka elektronu koparılabilir. Atomun temel hale geçişi (de-excitation) sırasında daha dış tabakadaki bir elektron bu iç tabakadaki boşluğu doldurur. İki tabaka arasındaki enerji farkı bir X-ışını fotonu olarak atomdan yayımlanır. Karakteristik piklerin sayısı bir karakteristik X-ışını spektrumu oluşturur. Piklerin enerjileri numunedeki elementlerin enerjilerini (kalitatif analiz), piklerin şiddeti ise elementlerin konsantrasyonlarını (semi-kantitatif yada kantitatif analiz) verir. Tipik bir XRF spektrometre; bir primer radyasyon kaynağı (genellikle bir radyoizotop kaynak veya X-ışını tüpü) ve numuneden yayımlanan karakteristik X-ışınlarını (sekonder X-ışınları) saymak için kullanılan bir dedektör grubundan oluşur.



**Şekil 3.1.** XRF tekniği ve tipik XRF analiz düzeneği.

### 3.2. NaI(Tl) Dedektörlerinin Çalışma Prensibi

Aralarında sodyum iyodür, sezyum iyodür, antrasin, naftalin ve fenantirinin bulunduğu bazı maddelere bir tek yüklü parçacık, x-ışını veya gama ışını çarptığı zaman bir ışık parıltısı meydana getirirler. Bu gibi maddelere sintilatör adı verilir. Bu ışık parıltıları

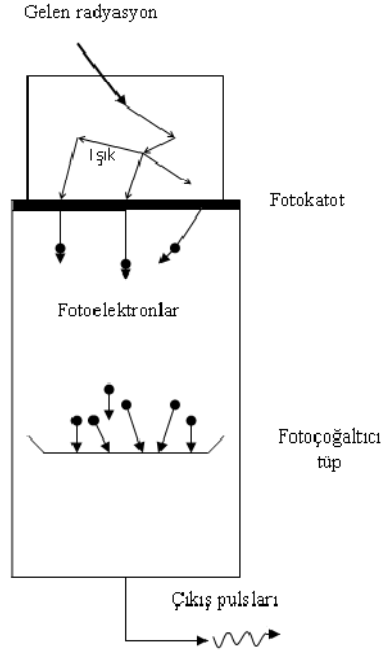
elektrik pulslarına dönüştürülür ki, bu pulslar yükseltilerek sayılabilir. Dedeksiyon ve sayma için gerekli düzenek bir sintilasyon sayacı olarak bilinmektedir.

Gazlı sayaçların, nükleer fiziğin ilgilendiği pek çok radyasyon için elverişsiz tarafı düşük verimli olmalarıdır. 1 MeV' lik gama ışınlarının havadaki menzili 100 m civarındadır. Büyük yoğunluğa sahip katı dedektörler, uygun boyutlarda olduğu zaman, uygun soğurma olasılıkları verirler. Ancak iyi çalışabilir bir katı dedektör yapmak için, birbiriyle çelişen iki kritik şartın sağlanması gerekir:

- 1- Elektron ve iyonların yeteri kadar birikip elektronik pulsların oluşabilmesi için yüksek elektrik alana dayanabilecek dedektör materyaline ihtiyaç vardır. Radyasyon olmadığında az veya hiç akım geçmemelidir, böylece taban sayım gürültüleri küçük olacaktır.
- 2- Elektronlar, gönderilen radyasyon ile atomdan kolayca ve çok sayıda koparılabilmelidir. Elektronlar ve ilk iyonlaşan atomlar materyal boyunca kolayca hareket edebilmelidirler (gerçekte, iyonların kendileri katı içinde hareket etmezler; bunun yerine elektronik boşluklar veya “hol” ler bir atomdan diğerine geçen ardışık elektronlar tarafından doldurulurlar. Böylece “hol” hareket ediyormuş gibi görünür).

Birinci şart, yalıtkan bir materyal seçimini gerektirirken, ikinci şart bir iletken kullanımını önermektedir. Bu iki şartın bir yariletken ile sağlanacağı açıktır.

Sintilasyon sayaçları materyal seçimindeki ikilemi şöyle çözer. İyonlaşma sonucu oluşan elektronlar ile elektronik pulslarla oluşturan elektronlar aynı değildir. İyonlaşma elektronuyla puls elektronları arasındaki aracı ışıktır (Şekil 3.2).



**Şekil 3.2.** Sintilasyon dedektörlerindeki temel işlemler.

1- Bir yüklü parçacık veya fotonun sebep olduğu ilk iyonlaştırmadan dolayı kristalin içinde serbest elektronlar meydana gelir.

2- Bu elektronların kristalin atom veya moleküllerine bağlanması ile görünür bölgede, yaklaşık  $3300 \text{ Å}$ 'dan  $5000 \text{ Å}$ 'a kadar değişen dalga boyunda ışık yayınlanır.

3- Kristalden yayınlanan bu ışınlar foto-çoğaltıcı tüpün fotokatodu üzerine düşerler. Fotokatodun yüzeyi, ince bir sezyum-antimon alaşımı levhadan yapılmış olduğundan, buraya gelen ışınlar buradan elektron yayınlanmasına sebep olurlar.

4- Foto-çoğaltıcı, her bir dinot'ta (çoğaltıcıda) peş peşe ve voltaj artmaları olacak şekilde, yaklaşık 800 ile 1500 volt arasında bir voltajda çalıştırılır. Bu ise elektronların fotokatottan son dinot'a kadar giderken sayılarının peş peşe artması neticesini verir.

Sintilatörün seçiminde göz önünde bulundurulacak özellikler, ışık çıkışı (ışık olarak görünecek gelen enerji kesri), verim (radyasyonun soğurulma olasılığının bir ölçüsü),

zamanlama ve enerji çözme gücüdür. Kolay elde edilebilen bir sintilatör olan NaI kristali, nem kapıcıdır; su buharına maruz kaldığında saydam kristal halden donuk toz hale geçer. Bu yüzden kristalin foto-çoğaltıcıya optik kontak yapılan yüzü haricinde bütün çevresi Al levha ile kaplanır. Bu levhanın iç kısmı magnezyum oksitle kaplıdır ki, bu ışık yansıtıcı olarak iş görür. Diğer taraftan pek çok plastik sintilatöre, bir kesici ile kesilerek, arzu edilen şekli vermek mümkündür (Demir, 2009).

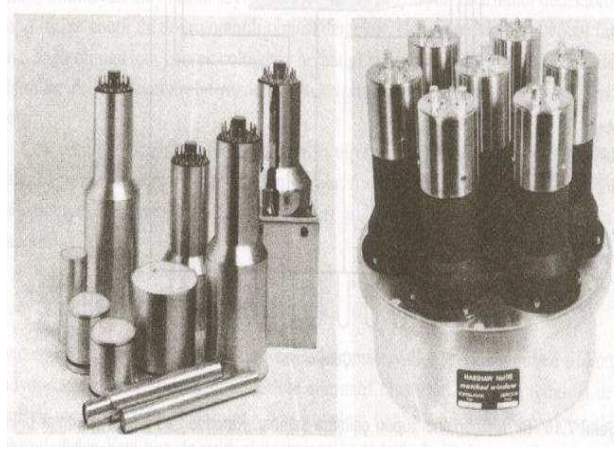
Bir sintilatörün çalışmasını anlamak için, enerjinin soğurularak, elektronların uyarılmış durumlara çıkmasıyla ilgili mekanizmayı göz önüne almamız gerekir. Temel olarak iki tip sintilasyon dedektörü vardır: Birisi organik diğeri inorganik materyaller içerir. Organik sintilatörlerde (katı veya sıvı olabilir) moleküller arası etkileşmeler nispeten zayıftır ve bunların özellikleri kesikli uyarılmış seviyeleri cinsinden tartışılabilir. Bir molekülün enerji soğurabileceği iki yol vardır. Elektronlar daha yüksek uyarılmış duruma geçebilirler ve moleküldeki atomlar titreşebilirler. Tipik bir titreşim enerji aralığı 0,1 eV iken elektronik uyarılma enerjileri için bu birkaç eV civarındadır. Uyarılmış elektronlar genellikle materyale kuvvetli bir bağ ile bağlı değildir. Benzenin halka yapısı gibi aromatik hidrokarbonlarda karbonun dört değerlik elektronunun 3'ü hibritleşmiş yörüngelerdedirler ve bunlara  $\sigma$  yörüngeler denir. Bunlar her karbon arasına kuvvetli şekilde yerleşmiştir.  $\pi$  yörüngesi denilen yörüngede bulunan 4. elektronun yerleşimi böyle değildir ve  $\sigma$  elektronları kadar kuvvetli olarak bağlanma işlemine katılmazlar. Bu  $\pi$  elektronları sintilasyon işlemine en çok cevap verenlerdir.

Sayaç içine giren radyasyon birçok molekülle, her etkileşimde birkaç eV kaybederek etkileşir ve molekülü uyarır. Birçok mümkün titreşim durumu uyarılabilir (ve aynı zamanda birçok mümkün elektronik uyarılmış durum; basit olması nedeniyle sadece en düşük elektronik uyarılmış durum olarak gösterilmiştir). Bunlar hızla ( $\sim 1$  ps) elektronik uyarılmış durumların en düşük titreşim durumlarına bozunurlar ve sonra elektronik taban durumunun bir titreşim durumuna bozunurlar ( $\sim 10$  ns). Bunlar da hızla titreşim taban durumuna geçerler (Krane, 2001).

Normal şartlarda oda sıcaklığında sintilatör moleküllerinin hepsi elektronik taban durumun en düşük titreşim durumundadır. Oda sıcaklığındaki termal enerji 0,025 eV'dir ve Boltzmann dağılımına göre,  $e^{-E/kT}$  elektronik taban durumunun üstünde herhangi bir titreşim durumu bulmak olası değildir. Böylece, birçok yayınlanmış foton geçişlerinden sadece birisi soğurulma olasılığına sahiptir. Bu, sintilatörün önemli bir özelliği olan sintilatörlerin kendi ışıklarına şeffaf olduklarını ifade eder.

İnorganik sintilatörlerden en yaygın kullanılanı bir alkali halojenürün tek kristali olan NaI'dır. Geçirgenliği sağlamak için tek kristale gerek vardır. Kristal yüzeyindeki yansımalar ve soğurulmalar çok kristalli sintilatörü kullanışsız hale getirir. Kristaldeki atomların birlikte etkileşimleri enerji bant serilerinde kesikli enerji seviyelerine neden olurlar. En yüksek iki bant; değerlik bandı ve iletim bandıdır. NaI gibi yalıtkan bir materyalde değerlik bandı genellikle dolu, iletim bandı ise boştur. Gelen radyasyon bir elektronu, enerji aralığını (4 eV civarında) atlatarak iletim bandını uyarabilir; elektron, enerjisini foton yayınlayarak kaybeder ve değerlik bandına geri döner.

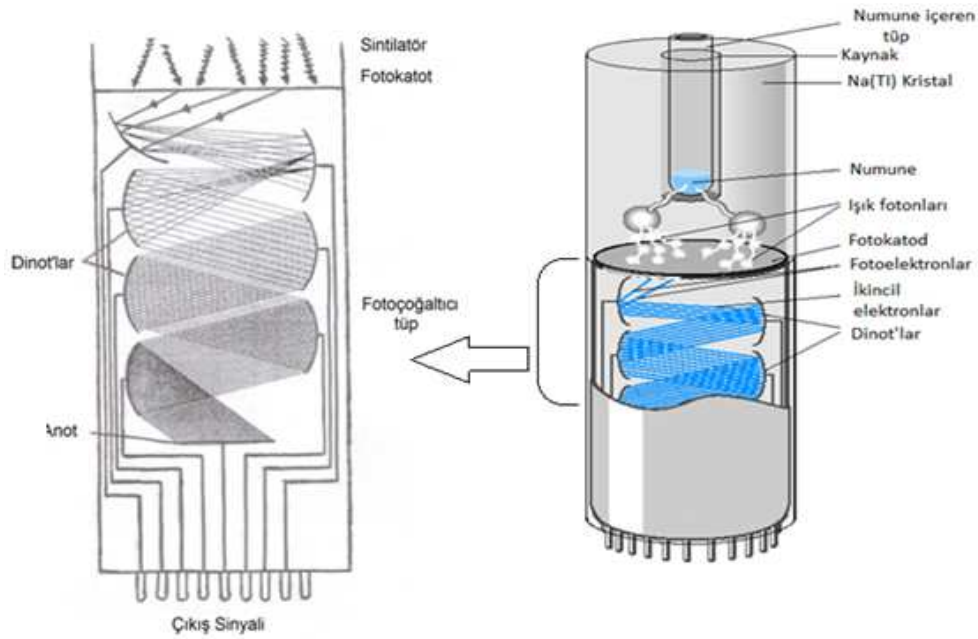
Foton yayınlanma olasılığını artırmak ve ışığın kendisinin soğurulmasını azaltmak için kristale aktivatör denen küçük miktarda safsızlıklar ilave edilir. En çok kullanılan aktivatörlerden biri talyumdur ve böyle bir dedektör NaI(Tl) şeklinde gösterilir. Aktivatör, enerji aralığında durumlar meydana getirir ve bu aktivatör durumları arasında ışık yayınımları oluşur. NaI'de 303 nm dalga boylu ışık yayınlanırken NaI(Tl) 410 nm'lik ışık yayınlar. NaI(Tl)'da bu enerjide soğurulma olmaz, çünkü aktivatör taban durumları işgal edilmez ve dalga boyundaki morötesi bölgesinden görünür bölgeye değişim, pek çok foto-çoğaltıcı tüpün maksimum duyarlılığı ile oluşur. Şekil 3.3'te bir sintilasyon dedektörü ve fotoçoğaltıcılar görülmektedir. Bir sintilatörün foto-çoğaltıcı tüple birleştirilmesi çeşitli yollarla yapılabilir. Bazı dedektör-tüp sistemleri tek birim halinde yapılmaktadır. NaI(Tl) dedektörleri, kırılma indisinde nispeten düzgün bir değişim sağlamak ve iç yansımayı en aza indirmek için saydam "optik-yağ" kullanılarak PM tüpünün camı ile doğrudan temas edecek şekilde yerleştirilebilir. Foto-çoğaltıcının geometrisi, bazen sintilatör geometrisinden çok farklıdır veya bazı sebeplerle (örneğin, manyetik alan etkilerini yok etmek için) sintilatörden çok uzağa yerleştirilmiştir.



**Şekil 3.3.** Bazı foto-çoğaltıcı tüplerle birleşik NaI(Tl) sintilatörleri.

Bu durumda bir “ışık borusu” kullanılır. Işık boruları herhangi bir büyüklük veya şekilde olabilir; Lucite gibi şeffaf herhangi bir maddeden yapılmış olabilir. Hem sintilatör hem de ışık borusu, ışık verimini artırmak için yansıtıcı bir madde ile sarılmalıdır. Bir PM tüpünün şeması Şekil 3.4’te verilmiştir. Fotokatottan gelen foton sayısından daha az sayıda yayınlanan elektronlar dinot’lar ile çoğaltılır ve odaklanırlar. Dinot’lar, bir yüksek voltaj kaynağı tarafından üretilen bir voltaj zinciri ve bir dizi voltaj bölücüleriyle birleştirilmiştir. Komşu dinot’lar arasındaki tipik potansiyel farkı yaklaşık 100 V’dur ve böylece elektronlar dinot’lara 100 eV’luk enerji ile çarparlar. Dinot’lar ikincil elektron yayınlanmasının yüksek olasılıklı olduğu bir maddeden (sezyum-antimon alaşımı) yapılır; bir elektron salınması için 2-3 eV yeterli olabilir, böylece elektron sayısında 30-50 çarpanı ile bir kazanç sağlanabilir. Ancak elektronlar, madde içinde rastgele doğrultularda yayınladıkları için bunların tamamı istenilen yönde giderek sayıma katkı sağlamazlar. Her dinot’taki artış 5 çarpanı kadar olacaktır. Örneğin 10 dinot’lu bir tüp ile sağlanacak kazanç  $10^7$  civarındadır. Bu elektron çoğalmasında elde edilen pulsun yüksekliği, gelen foton ve parçacığın enerjisi ile orantılıdır. Enerji spektrometreleri için iki önemli özellik lineerlik ve kararlılıktır. Lineerlik, son çıkış puls genliğinin, sintilasyon olaylarının sayısı ile dolayısıyla radyasyon tarafından dedektörde depo edilen enerji ile doğru orantılı olması demektir. Her dinot’taki artış, voltaj farkına bağlı olduğu için yüksek voltajdaki herhangi bir değişme çıkış pulslarında değişmelere neden olacaktır; bu yüzden yüksek voltaj kaynağının kararlı olması gereklidir. Ticari olarak çok çeşitli foto-çoğaltıcı tüpler vardır. Tüp seçimi; fiziksel boyut, gelen farklı

dalga boylu radyasyonlara fotokatodun cevabı, fotokatodun duyarlılığı, kazanç, gürültü seviyesi ve zamanlama karakteristikleri gibi parametreler göz önüne alınarak yapılır (Yavuz E, 2011).



**Şekil 3.4.** Bir foto-çoğaltıcı tüpün çalışma şeması.

### 3.3. Numuneler

Bu çalışmada Türkiye’de giysi yapımında yoğun olarak kullanılan ve bazı özellikleri Çizelge 3.1’de verilen tekstil ürünleri çeşitli fabrikalardan toplanmıştır. Ölçümler için belli büyüklüklerde kesilen ve bir mikrometre kullanılarak kalınlıkları belirlenen örnekler hazırlanan özel bir numune tutucuya yerleştirilmiştir. Daha sonra radyoaktif kaynak ve dedektör arasına yerleştirilen bu örneklerin kaynaktan gelen farklı enerjili radyasyonların şiddetlerinde meydana getirdikleri azalma ölçülmüştür.

Çizelge 3.1. Kullanılan tekstil numunelerinin bazı özellikleri.

| Numara | Numune                   | İçerikleri (%)                     | Kütle Kalınlığı<br>(gr/cm <sup>2</sup> ) |
|--------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|
| 1.     | Polyamid - Akrilik       | %10 Polyamid - %90 Akrilik         | 0,090                                    |
| 2.     | Yün - Akrilik            | %30 Yün - %70 Akrilik              | 0,305                                    |
| 3.     | Yün - Akrilik            | %50 Yün - %50 Akrilik              | 0,205                                    |
| 4.     | Polyester - Pamuk        | %70 Polyester - %30 Pamuk          | 0,145                                    |
| 5.     | Pamuk - Likra            | %95 Pamuk - %5 Likra               | 0,095                                    |
| 6.     | Pamuk(2)                 | %100 Pamuk(2)                      | 0,072                                    |
| 7.     | Polyester Damalı         | %100 Polyester Damalı              | 0,060                                    |
| 8.     | Numune Mavi              | Mavi Renkli Numune                 | 0,082                                    |
| 9.     | Elastan - Akrilik-Viskon | %20 Elastan-%20 Akrilik-%60 Viskon | 0,135                                    |
| 10.    | Akrilik - Polyamid       | %50 Akrilik - %50 Polyamid         | 0,175                                    |
| 11.    | Pamuk - Polyester        | %70 Pamuk - %30 Polyester          | 0,106                                    |
| 12.    | Polyester - Pamuk        | %80 Polyester - %20 Pamuk          | 0,100                                    |
| 13.    | Pamuk                    | %100 Pamuk                         | 0,040                                    |
| 14.    | Akrilik                  | %100 Akrilik                       | 0,199                                    |
| 15.    | Polyester Siyah          | %100 Polyester Siyah               | 0,090                                    |
| 16.    | Numune Elastik           | Elastik Kumaştan Numune            | 0,080                                    |
| 17.    | Numune Yeşil             | Yeşil Renkli Numune                | 0,137                                    |

### 3.4. Deney Geometrisi ve Ölçme Sistemi

Bu çalışmada 662 keV'de yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) 8,5 keV olan bir NaI(Tl) dedektör kullanılmıştır (Şekil 3.5). NaI(Tl) dedektörün fiziksel ve elektriksel özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Numuneler Am-241 ve Ba-133 radyoaktif kaynaklarından yayınlanan farklı enerjili radyasyonlara maruz bırakılmıştır. Her bir numunenin kütle soğurma katsayılarını belirlemek için kaynaktan gelen şiddet ( $I_0$ ) kaynak ve dedektör arasında numune olmaksızın ve numune varken ( $I$ ) ölçülmüştür. Hazırlanan deney geometrisinde dedektör-numune mesafesi 12 mm ve dedektör-kaynak mesafesi 30 mm olarak seçilmiştir. Ölçümler için hazırlanan deney geometrisinin şematik gösterimi Şekil 3.6'da ve ölçüm sisteminin fotoğrafı Şekil 3.7'de verilmiştir. Yüksek enerjili radyoaktif kaynakların yaydığı zararlı radyasyondan korunmak, enerji spektrumundaki temel sayma (background) ve kuyruklanma bölgesini azaltmak için

NaI(Tl) dedektör silindirik bir kurşun zırh ile çevrelenmiştir. Deney süresince ölçüm ortamının şartlarının değişmemesine özen gösterilmiştir.

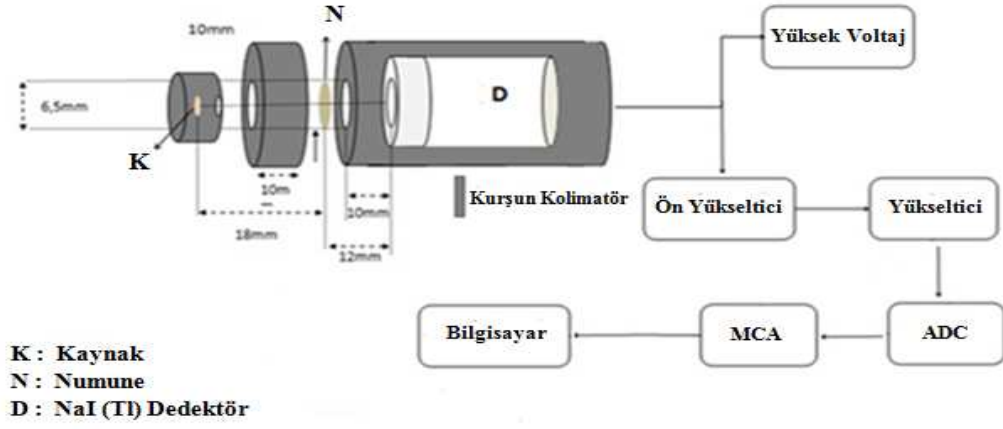


**Şekil 3.5.** Kullanılan NaI(Tl) dedektör (Ün,2007).

**Çizelge 3.2.** NaI(Tl) dedektörünün karakteristik özellikleri.

|                          |                                                             |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Pencere                  | Alüminyum; Kalınlık=0,5 mm; Yoğunluk=147 mg/cm <sup>2</sup> |
| Yansıtıcı                | Oksit; Kalınlık=1,6 mm; Yoğunluk=88mg/cm <sup>2</sup>       |
| Tipik çalışma voltajları |                                                             |
| Katot-Anot               | +1100 V dc                                                  |
| Dinot-Dinot              | +80 V dc                                                    |
| Katot-Dinot              | +150 V dc                                                   |
| Magnetik kaplama         | Çelik                                                       |
| Kristal boyutu           | 2 inc x 2 inc                                               |

MCA için Genie-2000 programında 4096 kanal seçilmiş çeşitli radyoaktif kaynaklar ve bazı elementlerin enerjileri bilinen K X-ışını pikleri kullanılarak kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Genie-2000 programında alınan spektrumlar, Mathlab 7.0 programında yazılan ve Genie-2000 programının formatına göre elde edilmiş ham verileri bir text-dosyası formatına çeviren program vasıtasıyla text-dosyasına dönüştürülerek, Microcal Origin 8 programında çizdirilmiştir. Bu program kullanılarak piklerin enerjileri ve net alanları belirlenmiştir.



**Şekil 3.6.** Deney geometrisinin şematik gösterimi.



**Şekil 3.7.** Ölçüm sistemi.

### 3.5. Sayma Sistemi

Sayma sistemi bir dedektör (ön yükseltici ile birlikte), yükseltici, analog sayısal dönüştürücü (ADC), yüksek voltaj kaynağı, çok kanallı analizör (MCA) sistemin tüm

birimlerini yöneten spektrumları alan ve değerlendirmede kullanılan "Genie 2000" programının yüklü olduğu bir bilgisayar ile sistemin diğer birimleri arasında interface görevi yapan bir dalgılda (software key) oluşmaktadır. Kullandığımız "Desktop Inspector" sayma sistemindeki yüksek voltaj güç kaynağı, yükseltici ve ADC ile MCA'yı ihtiva etmektedir. Burada yüksek voltaj güç kaynağı, amplifikatör ve ADC'nin koşulları "Genie 2000" olarak adlandırılan bir bilgisayar programı ile kontrol edilmektedir.

Çok Kanallı Analizör (Desktop Inspector), gelişmiş dijital sinyal proses (DSP) teknikleriyle donanımlı çok kanallı (16 K'lı) bir analizördür. Şekil 3.8'de görünen Çok Kanallı Analizör, sinyal prosesinin sonrasında sinyalleri sayısallaştıran dönüştürücü sistemlerden farklı olarak sinyal prosesinin öncesinde ön yükselticiden alınan sinyalleri sayısallaştırır. Analog devre sayısının azaltılmasıyla hassasiyet, yeniden üretilebilirlik ve kararlılığın artması sağlanmış olur. DSP teknolojisinin kullanımı pulsların daha hızlı ve hassas olarak işlenmesini sağlayarak (filtre fonksiyonlarıyla) sinyal toplama performansını ve spektrum rezolüsyonunu da artırır.



**Şekil 3.8.** Çok kanallı analizör.

### 3.5.1. Yüksek Voltaj Kaynağı

Dedektörde meydana gelen yükleri toplamak için dedektör üzerine yüksek gerilim uygulanmalıdır. En iyi çalışma gerilimi; çalışma öncesinde deneyci tarafından belirlenir ve bu gerilim küçük bir dedektör için birkaç yüz volt, büyük bir dedektör için beş bin volta kadar değişebilir. Bu çalışma boyunca "Genie 2000" programı ile NaI(Tl) dedektörüne verilen gerilim +1100 V'a ayarlanmış ve çalışmalar süresince bu gerilim uygulanmıştır.

### 3.5.2. Ön yükseltici

Yarı iletken dedektörler ile yüke hassas bir ön yükseltici kullanılır. Elektronik gürültüyü minimize etmek için, genellikle bir alan etkili transistör (FET) olan ön yükselticinin girişi dedektör ile birlikte sıva azot içerisinde muhafaza edilir. Ön yükseltici dedektörden gelen yükü voltaj pulsuna dönüştürür. Ön yükselticiden çıkan pulsların yükseklikleri veya genlikleri dedektörde toplanan yük miktarı eğer fotonun bütün enerjisi dedektörde soğurulmuş ise fotonun enerjisi ile orantılı olmalıdır.

### 3.5.3. Yükseltici

Bir yükselticinin birinci görevi; ön yükselticinin çıkış puls genliklerini ayırt etmek ve sayılması için uygun voltaj seviyelerine yükseltmek, ikinci görevi ise; pulsları, puls genliği ve X-ışını fotonu arasındaki orantılı ilişkiyi aynen koruyarak işleme uygun bir hale getirmektir. Kullanıcı puls genişliğini belirleyen şekillendirme zamanı (shaping time) sabitinin seçimine dikkat etmelidir. Bir spektrumdaki pikler için en iyi rezolüsyon genellikle daha uzun zaman sabitiyle elde edilebilir çünkü sistem daha uzun bir zaman üzerinden gürültünün ortalamasını alabilir. Bununla birlikte, daha uzun zaman sabitleri yüklerin daha fazla rastgele toplanmasına neden olur (Debertin and Helmer 1988).

### 3.5.4. Analog Sayısal Dönüştürücü (ADC)

Analog sayısal dönüştürücünün (ADC) görevi yükselticiden gelen analog pulsunu, onun genliğiyle (dolayısıyla X-ışını fotonunun enerjisiyle) orantılı bir tam sayıya çevirmektir. Ön yükselticiden gelen potansiyel pulsları liner yükselticide büyütüldükten sonra ADC'ye gönderilirler. ADC'de analog işlemleri yapılan bu pulslar çok kanallı analizöre gönderilir ve orada enerjilerine karşılık gelen kanallarda sayılırlar. Bu sayımlar sonucu sayacın ayırma gücüyle ilgili olarak aynı enerjili karakteristik X-ışınları bir pik oluştururlar. Bu pikler bir araya geldiğinde enerjiye veya dalgaboyuna karşı şiddet desenleri oluştururlar ki bu desene X-ışını spektrumu denir.

### 3.5.5. Çok kanallı analizör (MCA)

Çok kanallı analizör (MCA) sayısal hale getirilmiş pulsları uygun gelen kanallara yerleştirir ve bilgisayar hafızasına kaydeder. Her kanal kalibrasyon işlemiyle belirlenmiş olan belli bir enerji aralığına düşen pulsları sayar.

## 3.6. Kütle Soğurma Katsayılarının Deneysel Olarak Ölçülmesi

Farklı materyal ve enerjiler için kütle soğurma katsayıları transmission ile belirlenebilir. Bu işlem aşağıdaki eşitlik ile açıklanır.

$$I = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} t} \quad (3.1)$$

Burada  $I_0$  madde üzerine gelen fotonların soğurulma olmadan önceki şiddetini ve  $I$  maddeden soğurulmadan geçen fotonların şiddetini gösterir.  $\mu_m = \mu/\rho$  ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) kütle soğurma katsayısı ve  $t$  ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) numunenin kütle kalınlığı (birim alan başına kütle) dir. Buna göre  $\mu_m$  için;

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\ln(I_0/I)}{t} \quad \text{cm}^2/\text{gr}$$

ifadesi yazılabilir. Herhangi bir enerjiye sahip X- veya  $\gamma$ - ışınları için  $t$  kütle kalınlığına sahip bir materyalin  $\mu_m$  değeri başlangıçtaki şiddeti  $I_0$  ve maddeyi geçtikten sonraki şiddet  $I$  ölçülmek suretiyle belirlenebilir. Çok elementli kompoze bir materyal için toplam kütle soğurma katsayısı her bir elementin kütle soğurma katsayılarının karışım kuralına göre toplamıdır.

$$\mu_m = \sum_i \omega_i (\mu_m)_i \quad (3.2)$$

Burada  $\omega_i$   $i$ . elementin ağırlık kesri,  $(\mu_m)_i$  ise  $i$ . elementin kütle soğurma katsayısıdır. Çok elementli bir materyal için ağırlık kesri;

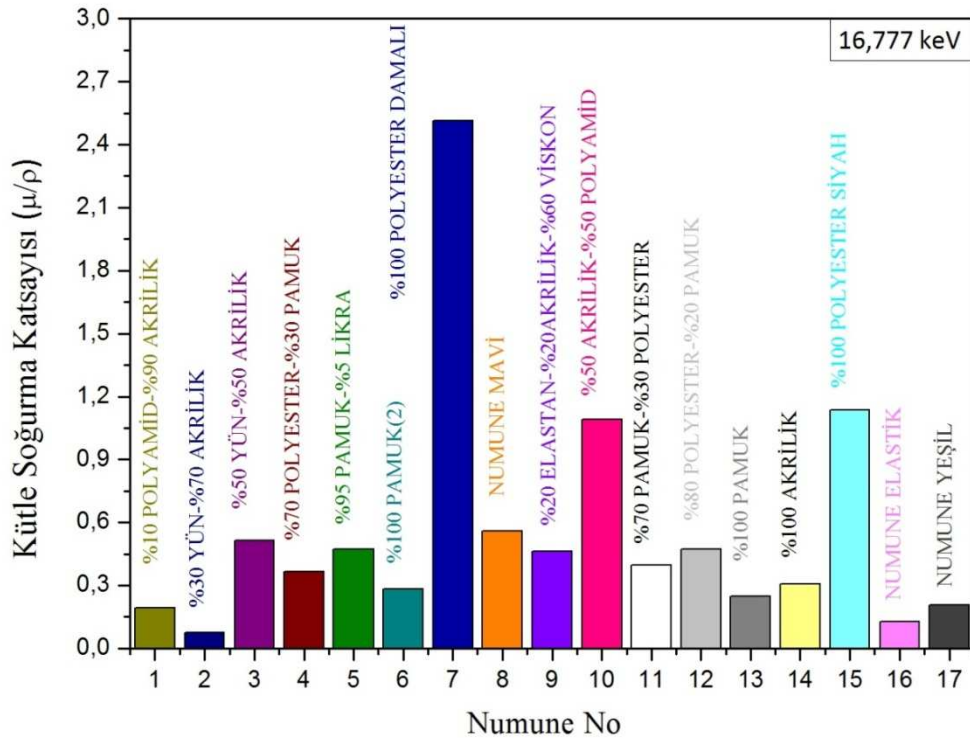
$$\omega_i = \frac{n_i A_i}{\sum_j n_j A_j} \quad (3.3)$$

ifadesi ile verilebilir. Burada  $A_i$   $i$ . elementin atom numarası ve  $n_i$  materyaldeki sayısıdır.

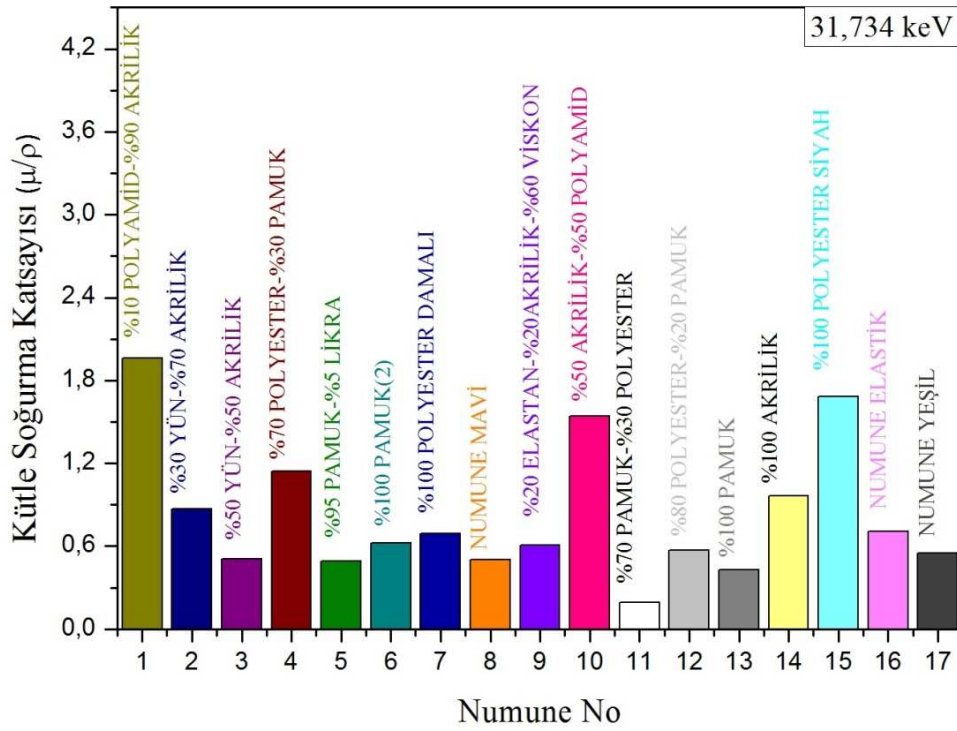
Bu çalışmada kullanılan numuneler için kütle soğurma katsayıları Am-241 ve Ba-133 radyoaktif nokta kaynaklardan yayımlanan 16,777; 31,734; 53,155; 59,536; 80,898; 276,397; 295,462; 302,851 ve 361,263 keV'lik foton enerjilerinde belirlenmiştir. Her bir numune ve enerji için  $I_0$  ve  $I$  şiddetleri bir NaI(Tl) dedektör kullanılarak üçer kez ölçülmüş ve hesaplamalar için bu ölçümlerin ortalamaları kullanılmıştır.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

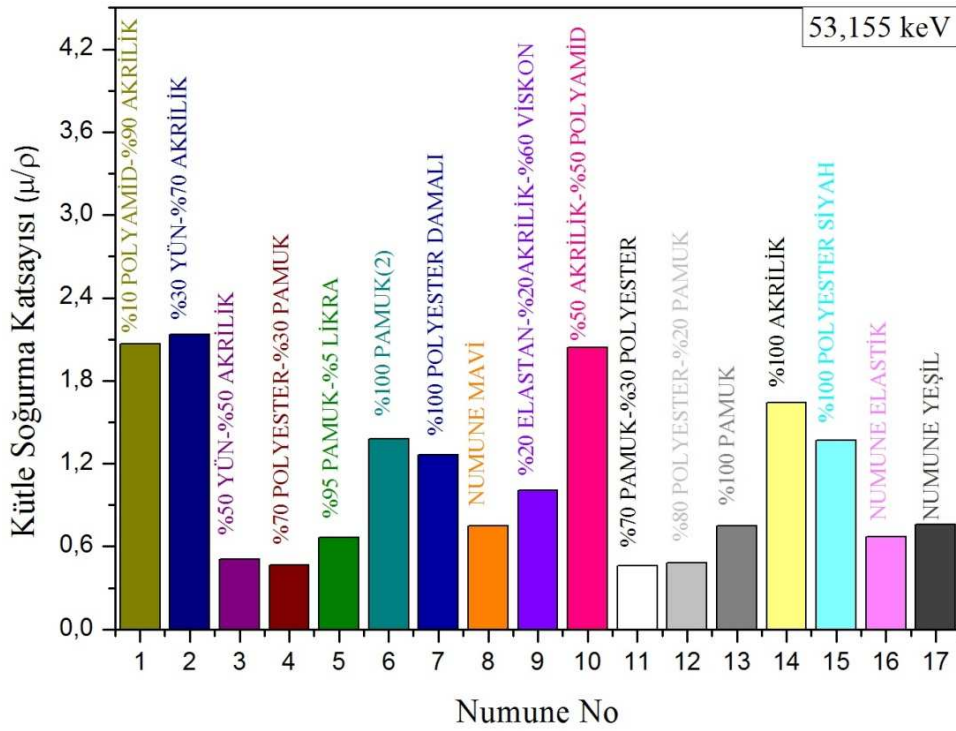
Tekstil numuneleri için dokuz farklı enerji değerindeki kütle soğurma katyasıları Şekil 4.1–9’da çizilmiş ve bu değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir.



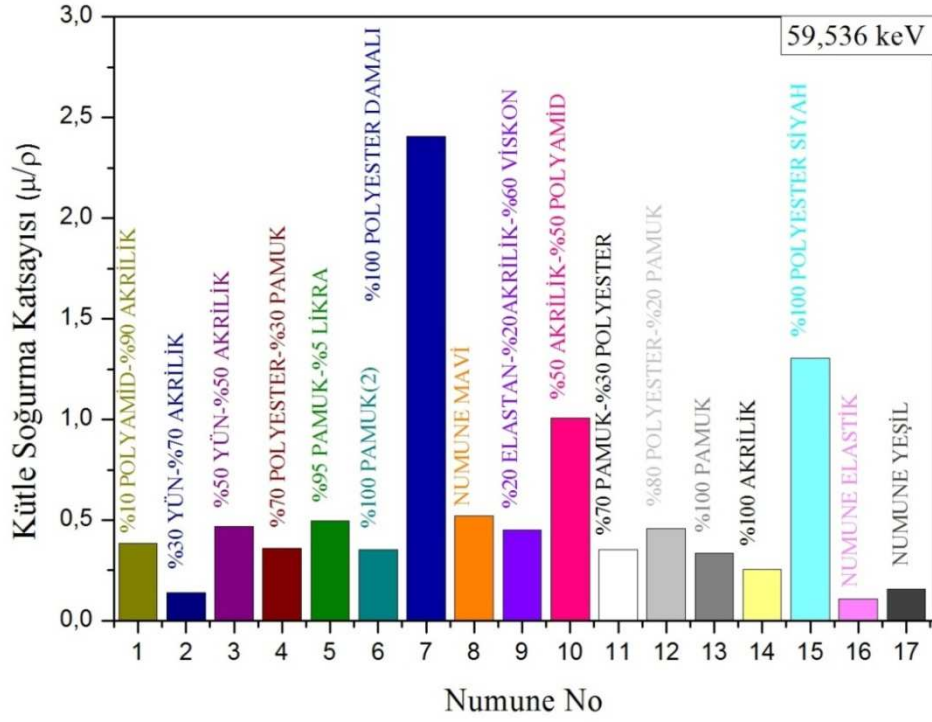
**Şekil 4.1.** İncelenen tekstil numunelerinin 16,777 keV’lik fotonlar için kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.



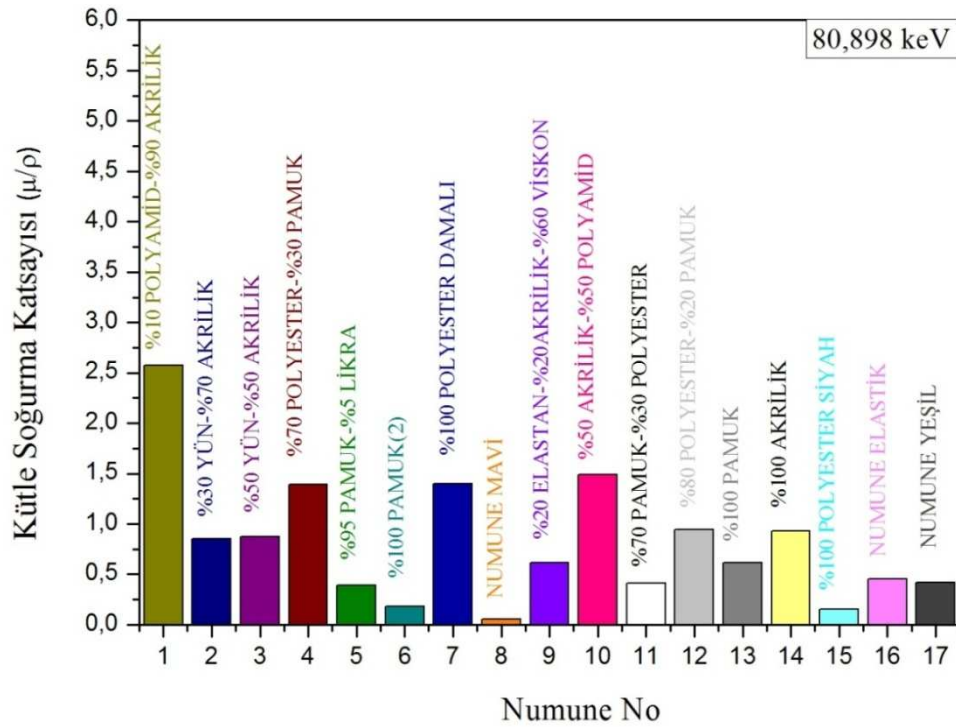
**Şekil 4.2.** İncelenen tekstil numunelerinin 31,734 keV’lik fotonlar için kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.



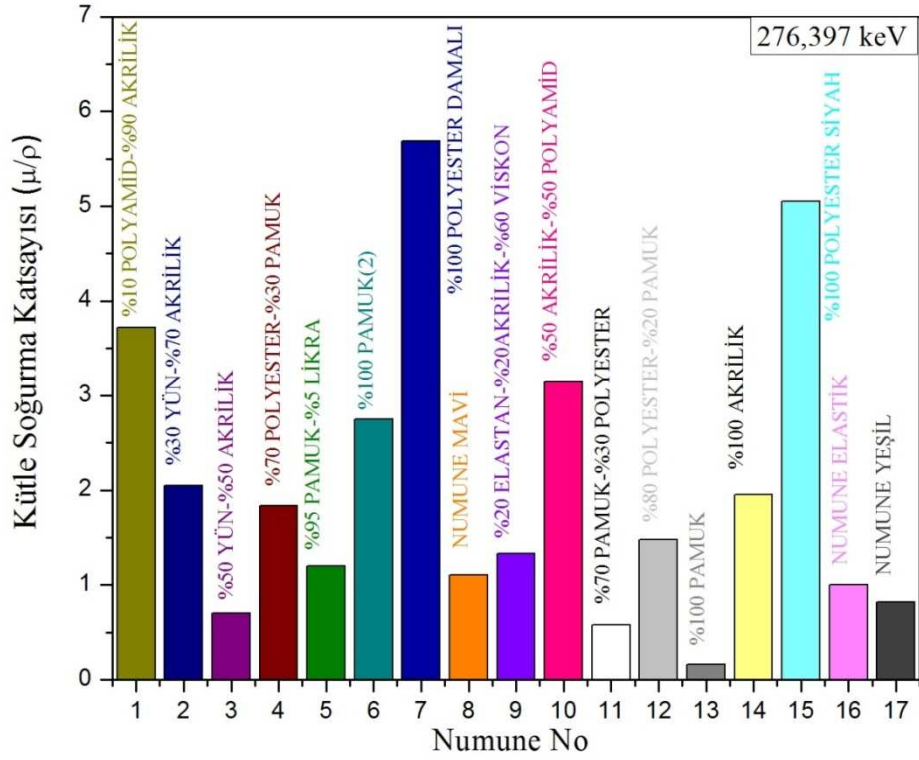
**Şekil 4.3.** İncelenen tekstil numunelerinin 53,155 keV’lik fotonlar için kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.



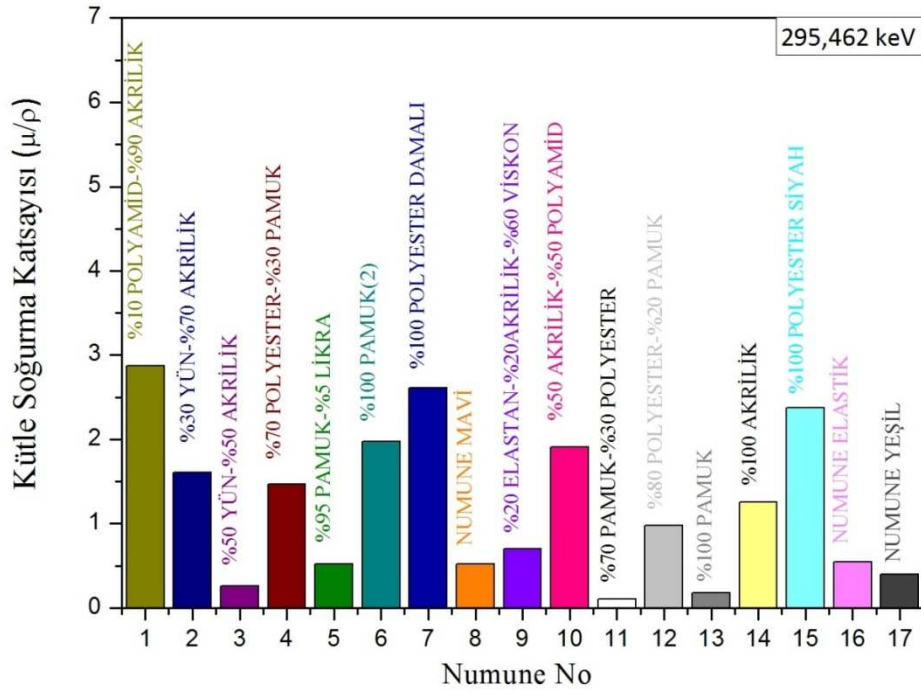
**Şekil 4.4.** İncelenen tekstil numunelerinin 59,536 keV’lik fotonlar için kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.



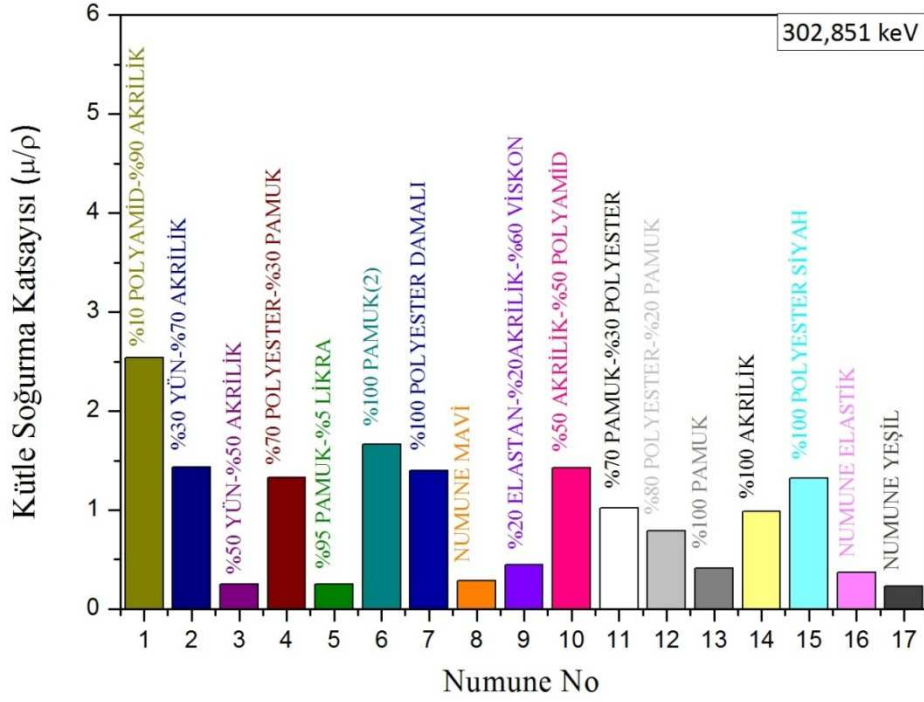
**Şekil 4.5.** İncelenen tekstil numunelerinin 80,898 keV’lik fotonlar için kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.



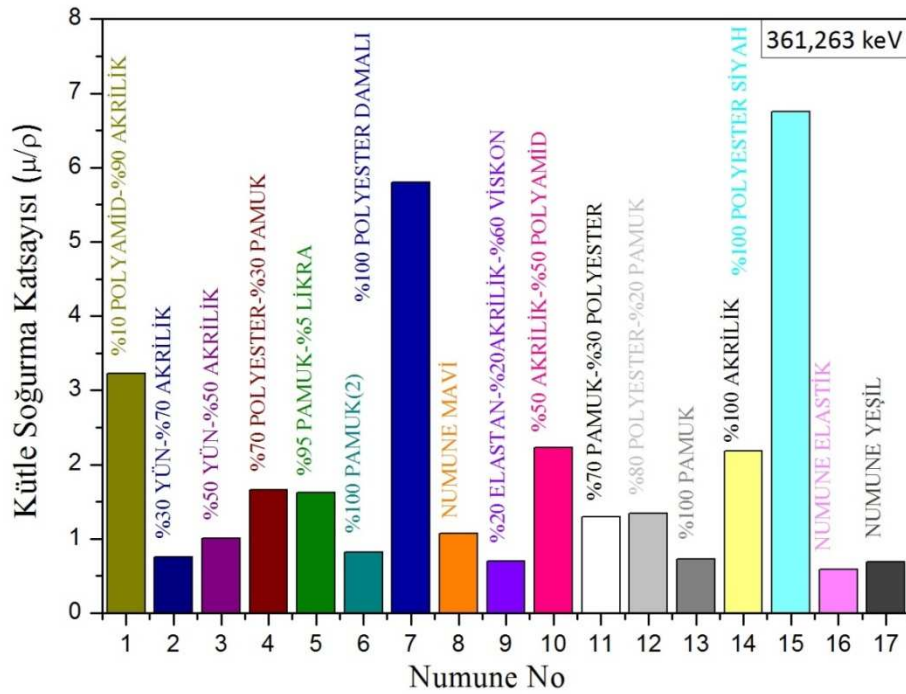
**Şekil 4.6.** İncelenen tekstil numunelerinin 276,397 keV’lik fotonlar için kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.



**Şekil 4.7.** İncelenen tekstil numunelerinin 295,462 keV’lik fotonlar için kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.



**Şekil 4.8.** İncelenen tekstil numunelerinin 302,851 keV’lik fotonlar için kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.



**Şekil 4.9.** İncelenen tekstil numunelerinin 361,263 keV’lik fotonlar için kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.

**Çizelge 4.1.** Tekstil numunelerinin farklı enerjili fotonlar için kütle soğurma katsayıları.

| $\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /gr) |                               |          |          |          |          |          |           |           |           |           |
|----------------------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Numune No                        | Numune İçeriği                | 16,7 keV | 31,7 keV | 53,2 keV | 59,5 keV | 80,9 keV | 276,4 keV | 295,5 keV | 302,9 keV | 361,3 keV |
| 1.                               | %10 Polyamid - %90 Akrilik    | 0,193    | 1,960    | 2,068    | 0,384    | 2,574    | 3,715     | 2,873     | 2,540     | 3,223     |
| 2.                               | %30 Yün - %70 Akrilik         | 0,074    | 0,870    | 2,136    | 0,140    | 0,854    | 2,046     | 1,608     | 1,435     | 0,759     |
| 3.                               | %50 Yün - %50 Akrilik         | 0,513    | 0,509    | 0,508    | 0,468    | 0,873    | 0,701     | 0,262     | 0,248     | 1,012     |
| 4.                               | %70 Polyester - %30 Pamuk     | 0,365    | 1,143    | 0,467    | 0,360    | 1,389    | 1,837     | 1,473     | 1,329     | 1,665     |
| 5.                               | %95 Pamuk - %5 Likra          | 0,471    | 0,491    | 0,666    | 0,498    | 0,394    | 1,203     | 0,521     | 0,251     | 1,620     |
| 6.                               | %100 Pamuk(2)                 | 0,281    | 0,622    | 1,380    | 0,353    | 0,179    | 2,753     | 1,976     | 1,668     | 0,821     |
| 7.                               | %100 Polyester Damalı         | 2,513    | 0,690    | 1,264    | 2,408    | 1,399    | 5,686     | 2,615     | 1,397     | 5,801     |
| 8.                               | Numune Mavi                   | 0,558    | 0,504    | 0,752    | 0,522    | 0,056    | 1,101     | 0,518     | 0,286     | 1,070     |
| 9.                               | %20 Elas.%20 Akri.-%60 Viskon | 0,461    | 0,610    | 1,005    | 0,451    | 0,613    | 1,332     | 0,698     | 0,447     | 0,703     |
| 10.                              | %50 Akrilik - %50 Polyamid    | 1,092    | 1,541    | 2,042    | 1,007    | 1,486    | 3,143     | 1,913     | 1,426     | 2,227     |
| 11.                              | %70 Pamuk - %30 Polyester     | 0,397    | 0,192    | 0,464    | 0,353    | 0,414    | 0,579     | 0,106     | 1,023     | 1,295     |
| 12.                              | %80 Polyester - %20 Pamuk     | 0,474    | 0,571    | 0,485    | 0,459    | 0,944    | 1,476     | 0,982     | 0,786     | 1,344     |
| 13.                              | %100 Pamuk                    | 0,247    | 0,429    | 0,752    | 0,334    | 0,618    | 0,161     | 0,180     | 0,414     | 0,727     |
| 14.                              | %100 Akrilik                  | 0,307    | 0,965    | 1,642    | 0,254    | 0,930    | 1,951     | 1,258     | 0,983     | 2,179     |
| 15.                              | %100 Polyester Siyah          | 1,136    | 1,685    | 1,369    | 1,305    | 0,152    | 5,049     | 2,377     | 1,318     | 6,754     |
| 16.                              | Numune Elastik                | 0,126    | 0,710    | 0,670    | 0,107    | 0,453    | 1,001     | 0,547     | 0,367     | 0,583     |
| 17.                              | Numune Yeşil                  | 0,205    | 0,549    | 0,758    | 0,157    | 0,422    | 0,815     | 0,395     | 0,228     | 0,692     |

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Günümüzde insanoğlunun çeşitli amaçlar için radyoaktif madde üretme arzusu ilaveten teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak insanların çokça vakit geçirmek durumunda olduğu ev, işyeri ve ortak kullanım alanlarında radyasyon yayan cihazlar giderek artmaktadır. Modern yaşamda radyasyonun tamamen izolasyonu olanaksızdır. Dolayısıyla radyasyondan korunmak için yeni teknikler geliştirmenin önemi giderek artmaktadır. Bu nedenle radyasyon ve uygulama alanları konusunda insanların bu zararlı etkiden korunmaları için gerekli her türlü tedbirin alması gerekmektedir.

Dış radyasyon kaynaklarından korunmanın; zaman, mesafe ve zırhlama gibi üç temel kuralı vardır. Bunlardan ikisinde zaman ve mesafe kurallarından iş ve bulunulan ortam gereği yararlanmak bazen mümkün olmayabilir. Bu durumlarda zırhlama daha da önem arz etmektedir.

Meslekleri ve bulundukları ortamlar nedeniyle radyasyona maruz kalma ihtimalleri fazla olan kişiler radyasyon tutuculuğu yüksek tekstil ürünlerinden yapılmış olan giyisiler giyerek radyasyondan bir miktar korunabilirler. Bu çalışmada, Türkiye’de kullandığımız bazı giysi türlerinden alınan örneklerin radyasyon tutuculuklarını belirlemek için, Am –241 ve Ba –133 radyoaktif kaynaklardan yayımlanan farklı enerjili fotonlar için kütle soğurma katsayıları bir NaI(Tl) dedektör kullanılarak ölçüldü. Numunelerinin radyasyon soğurganlıklarını kıyaslamak için farklı foton enerjilerine göre ölçülen kütle soğurma katsayılarının grafikleri çizildi. Elde edilen sonuçlardan ve çizilen grafiklerden hareketle tekstil örneklerinin kütle soğurma katsayılarının birbirlerinden çok farklı olduğu yani örneklerin farklı radyasyon tutuculuklarına sahip oldukları sonucuna varılmıştır.

Numuneler için elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, polyester ve polyester katkılı ürünlerin en fazla, polyamid, akrilik ve polyamid–akrilik katkılı tekstil ürünlerinin

onlara nazaran daha az radyasyon tutuculuğuna sahip olduğu söylenebilir. Yün, pamuk ve bunların fazla miktarda olduğu tekstil ürünleri ise en az radyasyon tutuculuğuna sahiptir. Bununla birlikte tekstil örneklerinin kütle soğurma katsayıları enerjiye bağlı düzgün bir değişim göstermemektedir. Bu durum, numune içeriklerinden ve/veya bazı numunelerin boşluklu örgü yapılarından kaynaklanıyor olabilir. Bu çalışma öncesi ve sırasında yapılan literatür taramalarında tekstil ürünleri için böyle bir çalışmaya rastlanmadığından erişilen sonuçların literatürle kıyaslanması mümkün olmamıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, günlük hayatta kullanılan bazı giysilerde fotonların dokulara ulaşma olasılıkları daha fazla olabilirken bazıları onları azaltabilir. Radyasyona maruz kalma ihtimali fazla olan kişiler için kıyafet seçimi önemiyet arz etmektedir. Buna göre, özellikle meslekleri, çalışma ortamları gibi çeşitli sebeplerle radyasyona maruz kalma ihtimalleri fazla olan kişiler uygun içerikli tekstil malzemelerinden yapılmış giysiler giyinmek suretiyle radyasyonun zararlı etkilerinden az da olsa korunabilirler.

## KAYNAKLAR

- Abdel-Rahman, M.A., Badawi, E.A., Abdel-Hady, Y.L., Kamel, N., 2000. Effect of sample thickness on the measured mass attenuation coefficients of some compounds and elements for 59.54, 661.6 and 1332.5 keV gamma-rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, 447, 432–436.
- Akkurt, I. and Mavi, B., 2010. The measurement of radiation dose around base-stations. *Scientific Research and Essays*, 5, 15, 2088–2090.
- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, S., Basyigit, C., 2010. Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate. *Annals of Nuclear Energy*, 37, 910–914.
- Akkurt, I., Comak, B., Kilincarslan, S., Basyigit, C., 2010. Image processing technique (IPT) to determine radiation shielding. *Digital Signal Processing*, 20, 1592–1596.
- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Karipçin, F., Mavi, B., 2011. Chemical corrosion on gamma-ray attenuation properties of barite concrete. *Journal of Saudi Chemical Society*, 10.1016/j.jscs.2011.01.003.
- Akkurt, I., Oruncak, B., Gunoglu, K., 2010. Natural radioactivity and dose rates in commercially used marble from Afyonkarahisar-Turkey. *International Journal of the Physical Sciences*, 5, 2, 170–173.
- Angelonea, M., Bubbab, T., Espositoc, A., 2001. Measurement of the mass attenuation coefficient for elemental materials in the range  $6 \leq Z \leq 82$  using X-rays from 13 up to 50 keV. *Applied Radiation and Isotopes*, 55, 505–511.
- Baltas, H., Celik, S., Cevik, U., Yanmaz, E., 2007. Measurement of mass attenuation coefficients and effective atomic numbers for MgB<sub>2</sub> superconductor using X-ray energies. *Radiation Measurements*, 42, 55–60.
- Berger, M.J., Hubbell, J.H., 1987, 1999, (XCOM) Photon cross section on a personal computer (versiyon 1.2), NBSIR 87, 3597, National Bureau of Standarts, Gaithers, MD, USA; versiyon 3.1, <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/Text/>.
- Bertin, P.E., 1975. *Principles and Prattice of X-Ray Spectrometric Analysis*. Plenum Press, 1078 P, New York, USA.
- Brouwer, P., 2003, *Theory of XRF*. Panalytical B.V. Netherlands
- Cevik, U., Baltas, H., Celik, A., Bacaksız, E., 2006. Determination of attenuation coefficients, thicknesses and effective atomic numbers for CuInSe<sub>2</sub> semiconductor. *Nuclear Instrumants and Methods in Physics Research Section B*, 247, 173–179.
- Cevik, U., Baltas, H., Tabak, A., Damla, N., 2010. Radiological and chemical assessment of phosphate rocks in some countries. *Journal of Hazardous Materials*, 182, 531–535.
- Cevik, U., Celik, N., Celik, A., Damla, N., Coskuncelebi, K., 2009. Radioactivity and heavy metal levels in hazelnut growing in the eastern black sea region of Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 2351–2355.

- Cevik,U., Damla,N., Kobya,A.I., Celik,N., Celik,A., Van,A.A., 2009. Assessment of natural radioactivity of sand used in Turkey. *Journal of Radiological Protection*, 29, 61– 74.
- Çakır,C., Gürol,A., Demir,L., Şahin,Y., 2009. Nondestructive analysis of the gold quarter liras. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 279, 1, 345– 348.
- Damla, N., Baltas, H., Celik, A., Kırıs, E., Cevik, U., 2012. Calculation of Radiation attenuation coefficients, effective atomic numbers and electron densities for some building materials. *Radiation Protection Dosimetry*, doi: 10.1093/rpd/ncr432.
- Damla,N., Cevik,U., Karahan,G., Kobya,A.I., Kocak,M., Isık,U., 2009. Determination of gross  $\alpha$  and  $\beta$  activities in waters from Batman Turkey. *Desalination*, 244, 208– 214.
- Damla,N., Cevik,U., Kobya,A.I., Ataksor,B., Isık,U., 2010b. Assessment of environmental radioactivity for Batman Turkey. *Environ Monit Assess*, 160, 401– 412.
- Damla,N., Cevik,U., Kobya,A.I., Celik,A., Celik,N., Van Grieken,R., 2010a. Radiation dose estimation and mass attenuation coefficients of cement samples used in Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 176, 644– 649.
- Debertin, K., Hemler, R.G., 1988, *Gamma and X-Ray Spectrometry with Semiconductor Detectors*, Elsevier Science Publishers, 94-97, New York.
- Demir, F., 2009. Bor ve Barit Agregalı Ağır Betonların Nötron Parçacıkları, X- ve  $\gamma$ -Işınları için Radyasyon Soğurganlıklarının Belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Demir, L. and Han, I., 2009. Mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and electron densities of undoped and differently doped GaAs and InP crystals. *Ann. Nucl. Energy* 36, 869–873.
- Dünya Gazetesi, 16.12.2011
- El-Kateb, A.H., Rizk, R.A.M., Abdul-Kader, A.M., 2000. Determination of atomic cross-sections and effective atomic numbers for some alloys. *Annals of Nuclear Energy*, 27, 1333– 1343.
- Erzenenoğlu, S., İçelli, O., Gürbulak, B., Ateş, A., 2006. Measurement of mass attenuation coefficients for holmium doped and undoped layered semiconductors InSe at different energies and the validity of mixture rule for crystals around the absorption edge. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 102, 343– 347.
- Gerward, L., 1981. X-ray attenuation coefficients and atomic photoelectric absorption cross sections silicon. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 14, 3389–3395.
- Han, I., 2005. Atom Numarası  $78 \leq Z \leq 92$  Aralığındaki Bazı Elementlerin  $L_I$ ,  $L_{\alpha}$ ,  $L_{\beta}$ ,  $L_{\gamma}$  X-ışını ve Compton Saçılma Diferansiyel Tesir Kesitlerinin Ölçümü. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Han, I. and Demir, L., 2009. Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for Cr, Fe and Ni alloys at different energies. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 267, 3–8.

- Han, I. and Demir, L., 2009. Mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers of Ti and Ni alloys. *Radiation Measurements*, 44, 289–294.
- Han, I. and Demir, L., Sahin, M., 2009. Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for some natural minerals. *Radiation Physics and Chemistry* 78, 760–764.
- Han, I. and Demir, L., 2009. Studies on effective atomic numbers, electron densities from mass attenuation coefficients in  $Ti_xCo_{1-x}$  and  $Co_xCu_{1-x}$  alloys. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B* 267, 3505–3510.
- Han, I. and Demir, L., 2010. Studies on effective atomic numbers, electron densities and mass attenuation coefficients in Au alloys. *Journal of X-Ray Science and Technology*, 18, 39-46.
- Han, I., 2009. Geçiş Metallerinin Valens Elektron Yapılarının X-ışını Şiddet Oranları Vastasıyla Belirlenmesi, X-ışını Şiddet Oranlarının Tavlama Sıcaklığına Bağlı Davranışlarının İncelenmesi, Alaşımlar için Etkin Atom Numaraları ve Elektron Yoğunluklarının Tayini. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Hubbell, J.H., 1982. Photon mass attenuation and energy-absorption. *International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 33, 1269–1290.
- Hubbell, J.H., Seltzer, S.M., 1995. Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements  $1 \leq Z \leq 92$  and 48 additional substances of dosimetric interest. National Institute of Standards and Physics Laboratory, NISTIR 5632.
- İcelli, O., Erzeneoglu, S., Gürbulak, B., 2005. Mass attenuation coefficients for n-type InSe, InSe:Gd, InSe:Ho and InSe:Er single crystals. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 90, 399–407.
- Jackson, D.F., Hawkes, D.J., 1981. X-ray attenuation coefficients of elements and mixtures. *Physics Reports*, 70, 169–233.
- Karakuza, A., 2007. Kimyasal Etkilerin Betonların Radyasyon Zırhlama Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi Isparta.
- Khanna, A., Bhatti, S.S., Singh, K.J., Thind, K.S., 1996. Gamma-ray attenuation coefficients in some heavy metal oxide borate glasses at 662 keV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 114, 217–220.
- Kirdsiri, K., Kaewkhao, J., Chanthima, N., 2011. Limsuwan, P., Comparative study of silicate glasses containing  $Bi_2O_3$ ,  $PbO$  and  $BaO$ : Radiation shielding and optical properties. *Annals of Nuclear Energy*, 38, 1438–1441.
- Krane, K.S., 2001. *Sintilasyon Dedektörleri*. Nükleer Fizik 1. Cilt, Başar Şarar. Palme Yayıncılık, Ankara, 207–213.
- Kucukomeroglu, B., Kurnaz, A., Damla, N., Cevik, U., Celebi, N., Ataksor, B., Taksin, H., 2009. Environmental radioactivity assessment for Bayburt Turkey. *Journal of Radiological Protection*, 29, 417–428.
- Kulwinder S.M., Jyoti, S., Vipani, K., Sidhu, G.S., 2012. Verification of some building materials gamma-ray shields. *Radiation Protection Dosimetry*, doi:10.1093/rpd/ncr455.
- Kuş, K., Bilkent Üniversitesi, Sağlık Merkezi.

- Medhat, M.E., 2009. Gamma-ray attenuation coefficients of some building materials available in Egypt. *Annals of Nuclear Energy*, 36, 849–852.
- Medhat, M.E., 2011. Studies on effective atomic numbers and electron densities in different solid state track detectors in the energy range 1 keV–100 GeV. *Annals of Nuclear Energy* 38, 1252–1263.
- Midgley, S.M., 2005. Measurements of the X-ray linear attenuation coefficient for low atomic number materials at energies 32, 66 and 140 keV. *Radiation Physics and Chemistry*, 72, 525–535.
- Millar, R.H., Greening, J.R., 1974. Experimental x ray mass attenuation coefficients for materials of low atomic number in the energy range 4 to 25 keV. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 7, 2332–2344.
- Miskolczi, N., Bartha, L., Borszéki, J., Halmos, P., 2006. Determination of sulfur content of diesel fuels and diesel fuel-like fractions of waste polymer cracking. *Talanta*, 69, 776–780.
- Popüler Bilim Dergisi, Şubat 2000.
- Rettschlag, M., Berndt, R., Mortreau, P., 2007. Measurement of photon mass attenuation coefficients of plutonium from 60 to 2615 keV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, 581, 765–771.
- Shakhreet, B.Z., Bauk, S., Tajuddin, A.A., Shukri, A., 2009. Mass attenuation coefficients of natural *Rhizophora* spp. wood for X- rays in the 15.77–25.27 keV range *Radiation Protection Dosimetry*, 135, 47–53.
- Sharanabasappa., Kaginelli, S.B., Kerur ,B.R., Anilkumar, S., Hanumaiah, B., 2009. Mass attenuation coefficient of chromium and manganese compounds around absorption edge. *Journal of X-Ray Science Technology*, 17, 75–84.
- Singh, S., Kumar, A., Singh, D., Thind, K.S., Mudahar, G.S., 2008. Barium–borate–flyash glasses: As radiation shielding materials. *Nuclear Instruments Methods in Physics Research Section B*, 266, 140–146.
- Suresh, K.C., Manjunatha, H.C., Rudraswamy, B., 2008. Study of  $Z_{\text{eff}}$  for DNA, RNA and retina by numerical methods. *Radiation Protection Dosimetry*, 128, 294–298.
- Tran, C.Q., Chantler, C.T., Barnea, Z., de Jonge, M.D., Dhal, B.B., Chung, C.Y.T., Paterson, D., Wang, J., 2005. Measurement of the x-ray mass attenuation coefficient of silver using the x-ray-extended range technique. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 38, 89–107.
- Turgut, Ü., Büyükkasap, E., Şimşek, O., Ertuğrul, M., 2005. X-ray attenuation coefficients of Fe compounds in the K-edge region at different energies and the validity of the mixture rule. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 92, 143–151.
- Turgut, Ü., Şimşek, O., Büyükkasap, E., Ertuğrul, M., 2002. X-ray attenuation coefficients at different energies and the validity of the mixture rule for compounds around the absorption edge. *Spectrochimica Acta Part B*, 57, 261–266.
- Turgut, Ü., Şimşek, O., Büyükkasap, E., Ertuğrul, M., 2004. X-ray attenuation coefficient measurements for photon energies 4.508–13.375 keV in Cu, Cr and their compounds and the validity of the mixture rule. *Analytica Chimica Acta*, 515, 349–352.

- Ün, A., 2007. Compton Saçılması ile Toprak Nem Miktarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Wang, D.C., Ping, L.A., Yang, H., 1995. Measurement of the mass attenuation coefficients for  $\text{SiH}_4$  and Si. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 95, 161–165.
- Yavuz, E., 2011. NaI(Tl) Dedektörü ile Bazı Vitaminlerin Kütle Soğurma Katsayılarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Yavuz, S., 2011. Dış Elektrik Alanın Bazı Yarı İletkenlerin Kütle Soğurma Katsayısına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize Üniversitesi, Rize.

## ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Adıyaman'ın Besni ilçesinde doğan Ayşe Serpil MÜJDE orta ve lise öğrenimini Besni Lisesinde tamamladı. 2002 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi (Antalya) Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Tezsiz Yüksek Lisans yapmaya başladı ve 2009 yılında mezun oldu. 2009-2010 eğitim-öğretim yılında Adıyaman Üniversitesi Besni Meslek Yüksekokulunda öğretim elemanı olarak dışarıdan derslere girdi. 2010 yılında Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı'nda Tezli Yüksek Lisans yapmaya başladı. Şu an yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

