

**Fe, Cu, Sn, Pb FOİL NUMUNELER ÜZERİNE UYGULANAN  
ELEKTRİK AKIMININ X-IŞINI AZALTMA KAYSAYISINA  
ETKİSİ**

**Yusuf KÖSE**

**Y. Lisans Tezi**

**Fizik Anabilim Dalı**

**Prof. Dr. Gökhan BUDAK**

**2007**

**Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Y. LİSANS TEZİ**

**Fe, Cu, Sn, Pb FOİL NUMUNELER ÜZERİNE UYGULANAN ELEKTRİK  
AKIMININ X-IŞINI AZALTMA KATSAYISINA ETKİSİ**

**Yusuf KÖSE**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ERZURUM**

**2007**

**Her Hakkı Saklıdır**

Prof. Dr. Gökhan BUDAK danışmanlığında, Yusuf KÖSE tarafından hazırlanan bu çalışma 13/08/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Fizik Anabilim Dalı'nda Y.Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Gökhan BUDAK

*İmza* :

Üye : Prof. Dr. Abdulhalik KARABULUT

*İmza* :

Üye : Doç. Dr. Mehmet BİBER

*İmza* :

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL**

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

Y. Lisans Tezi

### **Fe, Cu, Sn, Pb FOİL NUMUNELER ÜZERİNE UYGULANAN ELEKTRİK AKIMININ X-IŞINI AZALTMA KATSAYISINA ETKİSİ**

**Yusuf KÖSE**

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gökhan BUDAK

Bu çalışmada; Fe, Cu, Sn, Pb element numuneleri üzerine akım uygulamadan (referans ölçüm) ve 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 2 000, 4 000, 6 000, 8 000 mA'lik DC akımlar geçirilerek 59,54 keV uyarıcı foton enerjisine sahip kolime edilmiş <sup>241</sup>Am radyoizotop nokta kaynak ve transmisyon deney geometrisi kullanılarak X-ışın şiddetleri ölçüldü. Ölçümler Si(Li) dedektör kullanılarak alınmıştır.

Ölçülen X-ışını şiddetleri Lambert-Beer kanunu kullanılarak her bir elementin değişen akım değerlerine karşılık kütle azaltma katsayıları bulunmuştur. Bulunan kütle azaltma katsayıları, WinXCOM bilgisayar programından faydalanılarak 59,54 keV uyarıcı foton enerjisinde kütle soğurma katsayıları ile mukayese edilmiştir.

Sonuçlar SPSS istatistik programında yorumlandığında, değişen DC akım değerlerine karşılık, ölçülen şiddetler yardımıyla bulunan kütle azaltma katsayıları arasında belirlenen akım değerleri için ilişkinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

**2007, 59 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** kütle azaltma katsayısı, elektrik akımı, soğurma.

## **ABSTRACT**

Master of Science Thesis

### **THE EFFECT OF THE ELECTRICAL CURRENT APPLIED ON THE Fe, Cu, Sn, Pb FOIL SAMPLES TO THE X-RAY ATTENUATION COEFFICIENT**

**Yusuf KÖSE**

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Gökhan BUDAK

In this study, X-ray intensities were measured without applying current (reference measurement) and with applying 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 2 000, 4 000, 6 000, 8 000 mA DC currents in Fe, Cu, Sn, Pb element samples at 59,54 keV incident photon energy by using transmission experiment geometry and by using a collimated <sup>241</sup>Am radioisotope point source. Measurements were obtained by a Si(Li) detector.

Mass attenuation coefficients at varying current values of each elements were found by Lambert-Beer law in which measured X-ray intensities were used. Obtained mass attenuation coefficients were compared with mass attenuation coefficients, in 59,54 keV incident photon energy, by using WinXCOM computer software.

When the results are interpreted by SPSS statistics program, it is established that there is not an important correlation for fixed current values between varying DC current values and mass attenuation coefficients obtained by measuring intensities.

**2007, 59 Pages**

**Keywords:** mass attenuation coefficient, electrical current, absorption.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde yapılmıştır. Bu çalışmanın planlanması ve yürütülmesinde tecrübelerini ve bilgilerini esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Gökhan BUDAK'a en içten şükranlarımı arz ederim.

Çalışmalarım sırasında yapmış oldukları katkılardan dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali GÜROL'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Songül DUMAN'a, Sayın Arş. Gör. İbrahim HAN'a, Sayın Arş. Gör. Murat AĞBABA ve Sayın M. Erdem SAĞSÖZ'e teşekkür ederim.

Yusuf KÖSE

Ağustos 2007

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>4</b>
2.1. X-Işınları .....	4
2.2. X-Işınlının Özellikleri .....	5
2.3. X-Işınlının Madde ile Etkileşmeleri.....	7
2.3.1. Fotoelektrik olay.....	8
2.3.2. Çift oluşumu.....	9
2.3.3. Elektromanyetik radyasyonun saçılması.....	9
2.3.3.a. Koherent saçılma.....	9
2.3.3.a.i. Rayleigh saçılması.....	10
2.3.3.a.ii. Delbrück saçılması.....	11
2.3.3.a.iii. Nükleer rezonans saçılma.....	11
2.3.3.a.iv. Nükleer Thomson saçılması.....	12
2.3.3.b. İnkoherent saçılma.....	13
2.3.3.b.i. Compton saçılması.....	14
2.3.3.b.ii. Nükleer Compton saçılması .....	16
2.3.3.b.iii. Raman saçılması.....	16
2.4. X-ışını Azaltma Katsayıları.....	16
2.4.1. Lineer azaltma katsayısı.....	18
2.4.2. Kütle azaltma katsayıları.....	18
2.4.3. Atomik azaltma katsayısı.....	19
2.4.4. Molar azaltma katsayısı.....	19

2.5. Yüklü Telden Akım Geçtiğinde Meydana Gelen Olaylar.....	20
2.6. XRF Tekniği ve XRF Spektrometreler.....	26
2.7. XRF Tekniğinde Kullanılan Kaynaklar.....	31
2.8. X-Işını Dedektörleri.....	32
2.9. WinXCOM.....	35
2.10. WinAxil .....	37
2.11. SPSS.....	39
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>40</b>
3.1. Deney Geometrisi ve Ölçülerin Alınması.....	40
3.2. Ölçüm Alınan Ortam ve Ölçme Sistemleri.....	46
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>48</b>
4.1. Kütle Azaltma Katsayılarının Deneysel Olarak Hesaplanması.....	48
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....</b>	<b>56</b>
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	60



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$a$	Parçacığın İvmesi
$A$	Kesit Alanı
$c$	Işık Hızı
$dt$	Madde Kalınlığı (gr/cm <sup>2</sup> )
$E$	Enerji
$h\nu$	Foton Enerjisi
$I$	X-Işını Şiddeti
$I_b$	Elektronun Bağlanma Enerjisi
$I_{ort}$	Ortalama Akım
$K_e$	Fotoelektronun Kazandığı Enerji
$m_0c^2$	Elektronun Durgun Kütle Enerjisi
$2m_0c^2$	Çift Oluşumda Eşik Enerjisi
$n$	Birim Hacim Başına Düşen Hareketli Yük Taşıyıcılarının Sayısı
$p$	Momentum
$q$	Yük
$r_0$	Katıdaki Atomlar Arası Mesafe
$T$	Elektronun Kinetik Enerjisi
$T_+$	Pozitronun Kinetik Enerjisi
$v$	Elektronun Hızı
$v_s$	Sürüklenme Hızı
$Z$	Atom Numarası
$\Delta x$	Birim Uzunluk
$\Delta Q$	Birim Alandan Geçen Yük Miktarı
$\theta$	Compton Saçılma Açısı
$\lambda$	Dalga boyu
$\lambda_c$	Compton Saçılma Açısı
$\mu$	Azaltma Katsayısı
$\tau$	Ortalama Zaman

$\phi$  Compton Geri Tepme Açısı

### **Kısaltmalar**

ED-XRFS	Enerji Ayırmalı X-ışını Floresans Spektrometresi
Ge(Li)	Li Sürüklenmiş Ge Dedektör
ppm	Milyonda Bir
Si(Li)	Li Sürüklenmiş Si Dedektör
WD-XRFS	Dalga boyu Ayırmalı X-ışını Floresans Spektrometresi
XRF	X-Işını Floresans

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Compton saçılma temsili.....	14
Şekil 2.2. X-ışınlarının soğrulması.....	17
Şekil 2.3. Altı atomdan oluşan bir katıda 2s düzeyindeki yarılımlar.....	21
Şekil 2.4. Bir katıda elektronlar için izinli ve yasak enerji bölgeleri.....	21
Şekil 2.5. Yalıtkan, yarı iletken ve iletken valans ve iletim bantları.....	22
Şekil 2.6. Bir A alanından geçen yükler. Alandan çıkan yüklerin zamana göre değişimi, $I$ akımı olarak tanımlanır. Akımın yönü artı yüklerin serbest olarak geçtiği yöndür.....	22
Şekil 2.7. XRF tekniği ve tipik XRF analiz düzeneği.....	27
Şekil 2.8. ED-XRFS'nin şematik temsili.....	29
Şekil 2.9. WD-XRFS'nin şematik temsili .....	29
Şekil 2.10. Bir Si(Li) katıhal dedektörü'nün şematik temsili.....	34
Şekil 2.11. Si(Li) dedektörde X-ışını dedeksiyon işlemi. Gelen radyasyon dedektördeki Si atomlarının iyonize olmasına neden olur. Gelen radyasyonun enerjisinin bir elektron hol çifti oluşturabilmek için gerekli olan $E_c=3,8$ eV'dan büyük olması gerekir.....	35
Şekil 3.1. Deney geometrisi fotoğrafları.....	40
Şekil 3.2. Güç kaynakları. a. DC Max. 80 W-15 A b. Dual Power Supply DC 0-35 V ; 1 A .....	43
Şekil 3.3. Reosta. Leybold-Heraeus 11 $\Omega$ -8 A.....	43
Şekil 3.4. Terazi. Ohaus Precision Standart Model TS120S Kapasite 120 gr Hassasiyet 0,001 gr 17 V DC @ 230 mA.....	43
Şekil 3.5. Multimetreler. a. Thurlby 1503 Digital Multimetre Mastech Ms 8209. b. Auto Ranging Multimeter Max. 10 A-600 V.....	44
Şekil 3.6. Kurşun kolimatör.....	44
Şekil 3.7. Kumpas.....	44
Şekil 3.8. Numune tutacağı.....	45
Şekil 3.9. HP Pentium 4 bilgisayar.....	45

<b>Şekil 3.10.</b> Azot dolum düzeneği.....	45
<b>Şekil 3.11.</b> Dedektör. Camberra Dedector Products. Model SI30180-2008B. Bias Voltage (-) 500 V. Cool Down Time 4 saat.....	46
<b>Şekil 3.12.</b> Analizör Camberra-DSA 1000. 7,5 V-0,75 A.....	46
<b>Şekil 4.1.</b> Boş spektrum.....	48
<b>Şekil 4.2.</b> Cu numuneden elde edilen spektrum.....	49
<b>Şekil 4.3.</b> Fe numuneden elde edilen spektrum.....	49
<b>Şekil 4.4.</b> Pb numuneden elde edilen spektrum.....	50
<b>Şekil 4.5.</b> Sn numuneden elde edilen spektrum .....	50
<b>Şekil 4.6.</b> Fe'in, ölçülen kütle azaltma katsayısı'nın akıma karşı çizilen grafiği .....	54
<b>Şekil 4.7.</b> Cu'ın, ölçülen kütle azaltma katsayısı'nın akıma karşı çizilen grafiği .....	54
<b>Şekil 4.8.</b> Pb'nun, ölçülen kütle azaltma katsayısı'nın akıma karşı çizilen grafiği.....	55
<b>Şekil 4.9.</b> Sn'ın, ölçülen kütle azaltma katsayısı'nın akıma karşı çizilen grafiği.....	55

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1.</b> Değişik koherent saçılma genliklerinin katkılarının rölatif önemi.....	13
<b>Çizelge 2.2.</b> XRF Tekniğinde yaygın olarak kullanılan radyoizotoplar .....	32
<b>Çizelge 2.3.</b> Bazı X-Işını Dedektörlerinin Karakteristikleri .....	33
<b>Çizelge 2.4.</b> Hesaplamalarda kullanılan WinXCOM programı'nın bilgisayar ekranındaki görüntüsü.....	36
<b>Çizelge 2.5.</b> Spektrum analizinde kullanılan WinAxil programı'nın bilgisayar ekranındaki görüntüsü.....	38
<b>Çizelge 2.6.</b> İstatistik veri analizinde kullanılan SPSS programı'nın bilgisayar ekranındaki görüntüsü.....	39
<b>Çizelge 3.1.</b> Kullanılan numunelerin özellikleri.....	41
<b>Çizelge 4.1.</b> Numunelerin kütle ve yarıçapları.....	51
<b>Çizelge 4.2.</b> Akım değerlerine karşılık kütle azaltma katsayıları.....	52
<b>Çizelge 5.1.</b> SPSS programı ile bulunan sonuçlar.....	56

## 1. GİRİŞ

Madde üzerine gelen ışın demetleri maddeyi geçtikten sonra azalacaktır. Bu azalma gelen şiddet ve kalınlıkla doğru orantılı olacaktır. Buradaki orantı katsayısına  $\mu$  azaltma katsayısı denilmiştir. Lambert-Beer Kanunu sayesinde azaltma katsayıları hesaplanabilir. Deneysel ölçülen değerler, hesaplanan bu teorik değerlerle karşılaştırılabilir. Azaltma katsayıları lineer azaltma katsayısı, kütle azaltma katsayısı, atomik azaltma katsayısı, molar azaltma katsayısı olarak ayrılmıştır.

X-ışınları azalması ile ilgili veriler fen bilimleri, mühendislik ve tıbbi uygulamalar için gereklidir. Literatürde X-ışını azaltma katsayıları ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Farklı numuneler (element, bileşik, karışım gibi) kullanılarak çeşitli enerjilerde, çeşitli deney geometrileriyle azaltma katsayıları ölçülmüştür.

Bu çalışma ile ilgili olarak bazı önemli çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Saloman *et al.* (1988), atom numarası 1'den 92'ye kadar tüm elementlerin tesir kesitlerini hesapladılar ve deneysel X-ışını azaltma katsayılarını (toplam azaltma tesir kesitleri) NBS (National Bureau of Standards) veritabanıyla 0,1-100 keV enerjilerinde çizelge ve grafik formunda sergilediler. Dachun *et al.* (1992), 3,3-20 keV enerjide demir ve 3,3-29,1 keV enerjide bakır numuneler için Si(Li) dedektör sistemini kullanarak kütle azaltma katsayılarını elde ettiler ve deneysel veriler ile teorik verileri karşılaştırdılar. Angelone *et al.* (2001), 22 saf numunenin ( C, Al, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Ta, Pt, Au, Pb ) kütle azaltma katsayılarını ince (50  $\mu$ m) Be pencerelessi germanyum dedektör kullanarak 13-50 keV enerji aralığında ölçtüler ve ölçülen bu değerleri XCOM veritabanı kullanarak teorik değerlerle karşılaştırıldı. Deneysel ve teorik değerler arasında  $\pm\%5$ 'lik bir uyum olduğunu gördüler. Younan (2001), Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo saf elementlerinin şiddetlerini, kütle azaltma katsayılarını ve Bragg-Pierce kanunundaki  $n$  ve  $n_0$  parametrelerini hesapladı. Şiddet tespitinde EDS (energy-

dispersive spektroskopu) kullanarak ince foil, oksit ve az yoğun numune metotlarını kullandı. Söğüt *et al.* (2001), Mo, Ag, Cd, Ba, La, Ce saf elementlerinin ve bunların bileşiklerinin  $K\beta/K\alpha$  şiddet oranlarını incelediler.  $K\beta$ ,  $K\alpha$  X-ışınları 5,9 keV'de 155 eV rezolüsyonlu Si(Li) dedektör kullanarak ölçtüler. Farklı bileşiklerde Fe'nin ve Cu'nun toplam kütle azaltma katsayılarını hesapladılar. Ölçülen değerler ile saf elementlerin teorik değerlerini karşılaştırdılar. Seven *et al.* (2004), Co, Cu, Ni elementleri ve CoCu, CoCuNi alaşımlarının toplam kütle azaltma katsayıları transmisyon geometrisini kullanarak  $^{241}\text{Am}$  nokta kaynaktan yayınlanan 11,88, 13,93, 17,59, 21,09, 26,00 keV enerjilerinde hesapladılar. Gama ışınlarını 5,9 keV'de 160 eV rezolüsyonlu Si(Li) dedektörle saydılar ve her alaşımın (CoCu, CoCuNi) kütle azaltma katsayılarını karışım kuralı kullanarak hesapladılar. Turgut *et al.* (2005), Fe elementi ve  $\text{FeF}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 2\text{NH}_4\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O}$  bileşiklerinin toplam kütle azaltma katsayılarını ikincil uyarıcı metodunu kullanarak 4,508-17,443 keV arasındaki enerjilerde ölçtüler. Ti, V, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo ikincil uyarıcı olarak kullanıldı.  $^{241}\text{Am}$  halka kaynaktan yayınlanan 59,5 keV'lik gama ışınları, 5,9 keV'de 160 eV rezolüsyonlu Si(Li) dedektörle ikincil uyarıcının yaydığı  $K\alpha$  (K-L<sub>3</sub>, L<sub>2</sub>) çizgilerini saydılar. Bulunan değerlerle teorik değerleri karşılaştırdılar. Turgut *et al.* (2004), Cu, Cr elementleri ve  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{CuC}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cr}_3(\text{CH}_3\text{CO}_7)(\text{OH})_2$  bileşiklerinin toplam kütle azaltma katsayılarını ikincil uyarıcı metodunu kullanarak 4,508-13,375 keV arasındaki enerjilerde ölçtüler. Ti, Mn, Fe, Ni, Zn, Ge, As, Rb elementleri ikincil uyarıcı olarak kullandılar. İkincil uyarıcının yaydığı  $K\alpha$ (K-L<sub>3</sub>, L<sub>2</sub>) çizgilerini  $^{241}\text{Am}$  halka kaynaktan yayınlanan 59,5 keV'lik gama ışınlarının uyarımı sonucu, 5,9 keV'de 160 eV rezolüsyonlu Si(Li) dedektörle saydılar. Bulunan değerler teorik değerlerle karşılaştırıldı. Demir *et al.* (2006), ölçümlerinde Si(Li) dedektör ile 59,54 ve 80,99 keV gama enerjileri için kolime edilmiş transmisyon metodu kullanarak bor bileşiklerinin kütle azaltma katsayılarını hesapladılar. Moreira *et al.* (2006), Ay, Mars ve Dünyaya ait numunelerin kütle azaltma katsayılarını hesapladılar. 1 keV'den 100 GeV'e kadar numunelerin azaltma katsayıları WinXCOM yazılımından belirlendi. Elde edilen değerler 100 keV'den daha büyük enerjiler için hemen hemen aynı iken 25 keV'un altındaki enerji değerlerinde farklılıklar gözlemlendiler. Midgley (2006), enerji rezolüsyonu iyi dedektör ile 100 keV enerjilerin

altında X-ışını lineer azaltma katsayılarını ölçtü. Endüstriyel ve tıbbi uygulamalarda kullanılan biyolojik materyaller, alüminyum, demir, bakır için 5-110 keV enerjilerinde saydı.

Bu çalışmada kolime edilmiş  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif nokta kaynaktan yayılan X-ışını demeti, transmisyon geometri kullanılarak üzerlerinden akım geçirilmeden ve 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 2 000, 4 000, 6 000, 8 000 mA'lık DC akım geçirilen Fe, Cu, Sn, Pb saf foil numuneler üzerine gönderildi. 59,54 keV uyarıcı foton enerjisinde geçen ışın şiddeti Si(Li) dedektörde sayıldı. Ölçülen değerler Lambert-Beer kanunundan yararlanılarak kütle azaltma katsayıları tespit edildi. Bulunan değerler Berger ve Hubbell tarafından (1987) geliştirilen WinXCOM bilgisayar programı ile tespit edilen teorik değerlerle karşılaştırıldı. Böylece numune üzerine uygulanan elektrik akımının X-ışını azaltma katsayısına etkisi yorumlandı. Elektrik akımının kullanıldığı bu deneyin benzeri literatür taramalarında bulunamamıştır.



## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. X-Işınları

Kaynağından ıraksayan doğru çizgiler boyunca, uzağa doğru dalga veya parçacıklar şeklinde yayılan enerjiye radyasyon denir. Bu tanım kapsamında, doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri, ivmeli hareket eden yüklü parçacıkların ışıdığı enerji, genel anlamda, radyasyon olarak adlandırılır. Radyasyonu temel olarak iki şekilde sınıflandırabiliriz: parçacık ve dalga tipi radyasyonlar.

Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden çok küçük parçacıkları ifade eder. Bunlar hızla giden mermilere benzerler, ancak çıplak gözle doğrudan görülemeyecek kadar küçüktürler. Dalga tipi radyasyon ise belli bir enerjiye sahip ancak kütesiz radyasyon çeşididir. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir (elektromanyetik dalgalar). Bütün elektromanyetik radyasyonlar ışık hızıyla (boş uzayda  $\sim 3 \times 10^8$  m/s) hareket ederler.

Parçacık ve dalga tipi radyasyonları, özellikleri itibarıyla de iki gruba ayırmak mümkündür. Bunlar; iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlardır. İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. İyonlaşma, herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dahil tüm canlılarda da oluşabilir. O halde iyonlaştırıcı radyasyonlar, önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için oldukça zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir. Başlıca beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi vardır. Bunlar: alfa parçacıkları, beta parçacıkları, X-ışınları, gama ışınları ve nötronlardır.

X-ışınları, yaklaşık  $10^{-8}$  m ile  $10^{-13}$  m aralığında dalga boylarına sahip elektromanyetik dalgalardır. X-ışınlarının en yaygın (bilinen) kaynağı, bir metal hedefi bombardımana tabi tutan yüksek enerjili elektronların yavaşlamasıdır. X-ışınları ayrıca, elektronların

yörünge atlaması ile de meydana gelebilirler.

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. X-ışınları kristal yapının incelenmesinde de kullanılır; çünkü X-ışını dalga boyları katı cisimlerdeki atomlar arası uzaklık (0,1 nm) mertebesindedir.

## 2.2. X-Işınlarının Özellikleri

X-ışınlarının genel özellikleri:

- 1- Sürekli spektrum oluştururlar,
- 2- Karakteristik çizgi spektrumu oluştururlar,
- 3- Karakteristik bant spektrumu oluştururlar,
- 4- Karakteristik azaltma spektrumunu meydana getirirler,
- 5- Işık hızında yayılırlar,
- 6- Doğru çizgiler boyunca yayılırlar,
- 7- Madde transfer etmeksizin yayılırlar,
- 8- Elektrik ve manyetik alandan etkilenmezler,
- 9- Gözle görülmezler ve duyularımızla hissedilmezler.

X-ışınları madde ile karşılaştıkları zaman şu olaylar meydana gelebilir:

- 1- Etkilenmeden geçiş,
- 2- Yansıma,
- 3- Kırılma,
- 4- Kutuplanma,
- 5- Kırınım,
- 6- Koherent saçılma,

- 7- İnkohherent saçılma,
- 8- Fotoelektrik soğurulma,
- 9- Çift oluşumu.

X-ışınlarının soğurulmasında maddede şu olaylardan en az biri meydana gelebilir:

- 1- Sıcaklık artar,
- 2- Dielektrik özellikler değişir,
- 3- Elektrik özellikler değişir,
- 4- İyonlaşma meydana gelebilir,
- 5- Radyoliz, fotoliz, kimyasal reaksiyonlar, çökmeler ve serbest radikal üretimi vs.,
- 6- Fotografik olaylar: renk merkezlerinin ve diğer örgü kusurlarının oluşumu,
- 7- Radyasyon hasarları,
- 8- Flöresans ya da fosforesans,
- 9- İkincil karakteristik X-ışını ve bant spektrumlarına uyarma,
- 10- Auger, geri tepme ve fotoelektronların uyarılması,
- 11- Uyarma, hasar, genetik değişme veya biyolojik dokuda ölüm.

X-ışınlarının madde ile etkileşimleri şu tip radyasyonlardan herhangi birini verebilir:

**a) Parçacık olanlar:**

- 1- İyonlar,
- 2- X-ışınlarınca uyarılmış fotoelektronlar,
- 3- Görülebilir veya ultraviyole flöresans ile uyarılmış fotonlar,
- 4- Auger elektronları,
- 5- Geri tepme elektronları,
- 6- Elektron-pozitron çifti,
- 7- İnkohherent saçılanlar.

**b) Elektromanyetik olanlar:****i. Gelen X-ışınları (sürekli veya çizgi)**

- 1- Geçenler,
- 2- Yansıyanlar,
- 3- Kırılanlar,
- 4- Polarize olanlar,
- 5- Kırınanlar,
- 6- Koherent saçılanlar,

**ii. Yayınlanan X-ışınları**

- 1- Diyagram spektral çizgi veya bantları,
- 2- Non-diyagram spektral çizgiler,
- 3- Auger, geri tepme ve fotoelektronların verdiği süreklilik.

**iii. Diğerleri**

- 1- İnfrared,
- 2- Ultraviyole, flöresans ve fosforesans,
- 3- Yok olma radyasyonu,
- 4- Çok yüksek enerjili X-ışınlarınca hâsıl edilen çok yüksek hızlı elektronlardan Çerenkov ışınması (yükü parçacıklar herhangi bir ortamda, o ortamdaki ışık faz hızından daha hızlı hareket etmeleri halinde, görünür bölgede meydana gelen zayıf ışınma).

**2.3. X-Işınlarının Madde ile Etkileşmeleri**

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-Atomun elektronu ile etkileşme.
- 2-Çekirdekle etkileşme.
- 3-Çekirdek ve elektronların etrafındaki elektrik alanla etkileşme.
- 4-Çekirdek çevresindeki mezon alanı ile etkileşme.

X-ışınlarının madde ile etkileşmeleri, etkileşme tarzlarına göre azaltma, saçılma ve çift oluşum olayları olarak incelenebilir. X-ışınlarının madde ile etkileşmesinde çeşitli azaltma ve saçılma olayları meydana gelebilmesine rağmen en fazla gözlenen azaltma şekli fotoelektrik azaltma, saçılma biçimi ise Compton saçılmasıdır.

### 2.3.1. Fotoelektrik olay

$h\nu$  enerjili bir foton atomun bağlı elektronlarından biri ile etkileşirse elektron fotonun toplam enerjisini soğurarak serbest hale geçebilir. Bu olaya fotoelektrik olay, serbest hale geçen elektrona da fotoelektron adı verilir. Bu işlem sonrasında serbest hale geçen fotoelektronun kazandığı kinetik enerji;

$$K_e = h\nu - I_b \quad (2.1)$$

ile verilir. Burada  $I_b$ , ilgilenilen yörünge için elektronunun bağlanma enerjisidir. Fotonun  $h\nu$  enerjisi elektronun bağlanma enerjisine ne kadar yakın ise fotonun soğurulma ihtimali (yani fotoelektrik olayın gerçekleşme ihtimali) o kadar büyüktür. Fotonun  $h\nu$  enerjisi, elektronun bağlanma enerjisinden uzaklaştıkça fotoelektrik olayın gerçekleşme ihtimali azalır.

### 2.3.2. Çift oluşumu

Çift oluşumu, çekirdeğin etki alanına giren bir fotonun bir elektron ile bir pozitrona dönüşmesi olayıdır (Bir pozitronun kütlesi elektronun kütlesine eşit, yükü ise eşit ancak zıt işaretlidir). Bir elektron veya pozitronun durgun kütle enerjisi  $m_0c^2 = 0,511$  MeV'dir. Bu nedenle çift oluşumu olayının gerçekleşebilmesi için gelen fotonun enerjisinin en az 1,02 MeV olması gerekir. Bu olay için eşik enerjisi  $2m_0c^2 = 1,02$  MeV'dir. Bu olay çekirdek etrafında gerçekleştiğinden toplam yük, çizgisel momentum ve enerji korunur.

Bu olayda soğurulan enerji, oluşan çiftin toplam enerjisine eşittir:

$$h\nu = (T_- + m_0c^2) + (T_+ + m_0c^2) \quad (2.2)$$

Burada  $h\nu$  gelen fotonun enerjisi,  $T_-$  ve  $T_+$  sırasıyla elektron ve pozitronun kinetik enerjileri,  $m_0c^2$  ise elektronun durgun kütle enerjisidir.

### 2.3.3. Elektromanyetik radyasyonun saçılması

Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi olaylarından biri olan saçılmayı, saçılan ışının enerjisine ve faz ilişkisine göre koherent ve inkoherent saçılma olarak iki grupta toplayabiliriz.

#### 2.3.3.a. Koherent saçılma

Elastik veya Rayleigh saçılması olarak da adlandırılan koherent saçılmada gelen fotonların enerji ve fazlarında saçılmadan sonra herhangi bir değişiklik meydana gelmez. Koherent saçılmada gelen fotonla saçılan fotonun dalga boyları aynıdır. Bu saçılma olayında gelen ve saçılan radyasyonun toplam şiddeti, her bir elektron tarafından saçılan radyasyonun genliklerinin toplamı ile bulunur ve bu toplam

kareseldir.

Saçılma olayını klasik elektromanyetik teoriye göre açıklayan Thomson'a göre bir foton serbest bir elektron üzerine geldiğinde elektron ile etkileşmekte ve elektrik alan bileşeni nedeni ile elektronu ortalama bir konum etrafında titreştirmektedir. Klasik teoriye göre bu titreşim foton olarak yayımlanmaktadır.

Thomson kuramına göre, gelen ışıklardan bir kısmı ışının dalga boyundan bağımsız olarak, elektron tarafından saçılır. Saçılan ışın gelen ışınla aynı frekansa sahiptir. Bu olayda elektron bir saçıcı görevi görmektedir.

Koherent saçılma olarak adlandırılan dört tip saçılma vardır. Bunlar, Rayleigh saçılması, Delbrück saçılması, Nükleer Rezonans saçılma ve Nükleer Thomson saçılmasıdır. Rayleigh saçılma elektrondan, diğerleri ise çekirdekten saçılma olaylarıdır.

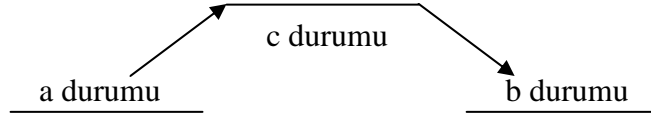
### **2.3.3.a.i. Rayleigh saçılması (Bağlı elektrondan rezonans saçılma)**

Bir koherent saçılma olayı olan Rayleigh saçılması (bağlı elektrondan rezonans saçılma), fotonların atoma sıkı bağlı elektronlar tarafından saçılmasıdır. Bu olay, gelen bir foton bağlı bir elektron üzerine düştüğünde elektronun atomdan sökülecek kadar enerji alamadığı hallerde meydana gelir. Bu yüzden düşük foton enerjilerinde ve büyük atom numaralı ( $Z$ ) ağır elementlerde daha çok meydana gelmektedir.

Büyük enerjili fotonların hafif elementlerden saçılmasında Rayleigh saçılması, Compton saçılması yanında ihmal edilebilir. Koherent saçılmanın en çok görülen şekli olan Rayleigh saçılmanın tesir kesiti  $Z^2$  ile orantılıdır. Fotonlar atomik elektrondan Rayleigh saçılmaya uğradıktan sonra hedef atom değişime uğramadan kalır.

Rayleigh saçılması, elektronun etkileşmeden sonra orjinal pozisyonuna döndüğü

saçılma olarak da tanımlanmaktadır. Bu izahta, fotonların atomik bir sistemden saçılması ikinci mertebeden bir olay olarak düşünülmektedir. Bu olayın, birinci adımında  $h\nu$  enerjili bir foton soğurulur ve atom bir a durumundan bir c durumuna uyarılır. İkinci adımında ise atom  $h\nu'$  enerjili bir foton yayımlar ve uyarılmış c durumundan son b durumuna döner.



Eğer sistemin son durumu b, başlangıçtaki durumu a ile aynı ise yayımlanan ışının enerjisi (frekansı), gelen ışının enerjisi (frekansı) ile aynıdır ( $h\nu = h\nu'$ ). İlk kez Lord Rayleigh tarafından incelenen bu olay ona atfen, Rayleigh saçılması olarak adlandırılır.

### 2.3.3.a.ii. Delbrück saçılması

Bu saçılmaya elastik nükleer potansiyel saçılma adı da verilmekte olup fotonun, çekirdeğin oluşturduğu Coulomb alanından saçılmasıdır. Delbrück saçılmasında, çekirdek çevresindeki durgun Coulomb alanında bir elektron-pozitron çifti oluşur. Atomun tamamen geri tepmesiyle bu çiftin yok olması esasen enerji ve faz bakımından, gelen fotonun aynısı olan yeni bir foton yayımlanmasına neden olur. Bu olayın etkisi oldukça küçük olduğundan deney sonuçlarında çok açık olarak gözlemlenememektedir. Delbrück saçılmasının tesir kesiti  $Z^4$  ile orantılıdır.

### 2.3.3.a.iii. Nükleer rezonans saçılma

Bu saçılma olayı, fotonun atomun çekirdeği ile etkileşmesi sonucu meydana gelir. Bu işlemde çekirdek, iki nükleer enerji seviyesi arasındaki farka eşit enerjiye sahip olan bir fotonu soğurarak uyarılmış hale geçer. Bunu çekirdeğin de-excitation'u (uyarılmış durumdan kurtulması) takip eder. Nükleer rezonans saçılma tesir kesiti Z ile orantılıdır.



### 2.3.3.a.iv. Nükleer Thomson saçılması

Bu saçılma, tamamen gelen foton ile çekirdek arasında vuku bulur. Klasik olarak, bir tek yük sistemi olarak düşünülebilen çekirdek, gelen dalga tarafından salındırılır. Çekirdeğin kütlesi çok büyük olduğundan bu etki küçüktür. Gelen fotonun dalga boyunun nükleer yarıçaptan çok büyük olması durumunda maksimum etki gözlenir.

Bir atomdan saçılma için toplam koherent saçılma genliği  $A$ , bu dört tip saçılmanın genlikleri toplamıdır.

$$A = A^R + A^D + A^N + A^T \quad (2.3)$$

Burada,  $A^R$  Rayleigh,  $A^D$  Delbrück,  $A^N$  Nükleer Rezonans ve  $A^T$  Nükleer Thomson saçılma genliklerini temsil etmektedir. Değişik koherent saçılma genlikleri 0,1-100 MeV enerji aralığında kıyaslamalı olarak Çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Değişik koherent saçılma genliklerinin katkılarının rölatif önemi

Saçılma türleri Foton enerji aralığı	$A^R$	$A^D$	$A^N$	$A^T$
100 keV'den küçük enerjiler için	Tüm geliş açılarında baskın	Önemsiz	Önemsiz	Önemsiz
100 keV-1 MeV arası enerjiler için	Küçük geliş açılarında baskın, orta ve büyük geliş açılarında ise önemli	Çok büyük atom numaralı elementler için orta büyüklükte geliş açılarında önemli	Önemsiz	Küçük geliş açılarında önemsiz, orta ve büyük geliş açılarında önemli, çok küçük atom numaralı elementler için büyük geliş açılarında baskın
1 MeV'den büyük enerjiler için	Enerjinin artması ile önemli küçük geliş açılarıyla kısıtlanır.	Çok küçük geliş açıları haricindeki tüm açılarda önemli	Enerjinin artması ile orta ve büyük geliş açılarında önemli	Çok küçük geliş açıları haricindeki tüm açılarda önemli

**2.3.3.b. İnkohherent saçılma**

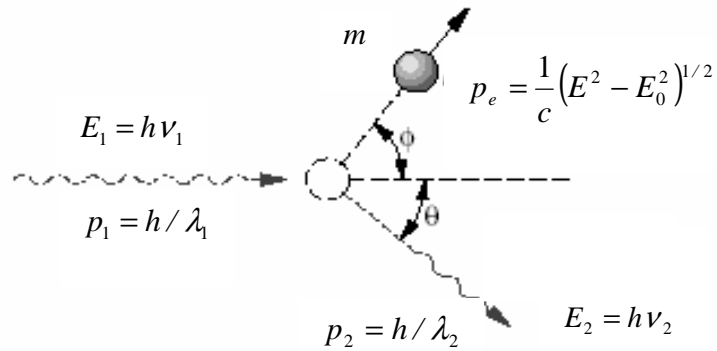
İnkohherent saçılmada gelen ve saçılan fotonlar arasında bir enerji farkı vardır. Saçılma sırasında gelen fotonun enerjisinin bir kısmı atomun zayıf bağlı elektronlarına transfer edilir. Bu enerji kaybı nedeniyle saçılan fotonların dalga boyları gelen fotonların dalga boyundan daha uzun olur. İnkohherent saçılmada, gelen ve saçılan fotonların fazları arasında sabit bir ilişki yoktur. Bu durumda atom tarafından saçılan radyasyonun toplam

şiddeti, atomun her bir elektronunun saçılma şiddetleri toplanarak bulunur. İnkoherent saçılma Compton, Nükleer Compton ve Raman saçılmaları olmak üzere üç grupta incelenebilir. En çok gözlenen inkoherent saçılma şekli Compton saçılmasıdır. Bu nedenle inkoherent saçılma çoğu kez Compton saçılması diye anılır.

### 2.3.3.b.i. Compton saçılması

Compton saçılması, bir fotonun başlangıçta durgun ve serbest olan bir elektrondan saçılmasıdır. Bu olay bir elektronun atomik bağlanma enerjisinin, gelen fotonun enerjisiyle kıyaslandığında ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu durumlarda gerçekleşir.

$E_1 = h\nu_1$  enerjili ve  $p_1 = h/\lambda_1$  başlangıç momentumlu bir foton  $m$  durgun kütleli bir elektron üzerine geldiğinde çarpışmadan sonra  $E_2$  enerjisine ve  $p_2$  momentumuna sahip olur. Elektron ise  $p_e$  momentumu ile bir  $\phi$  açısında geri teper. Gelen ve saçılan fotonların yolları saçılma düzlemini belirler ve  $\theta$  saçılma açısı olarak tanımlanır. Bu düzleme dik momentum sıfırdır, bu nedenle geri tepen elektronun izlediği yol bu düzlemde kalmalıdır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Compton saçılma temsili

$\lambda_1$  gelen fotonun ve  $\lambda_2$  saçılan fotonun dalga boyu olmak üzere gelen ve saçılan fotonların momentumları için,

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{E_1}{c} = \frac{h\nu_1}{c} = \frac{h}{\lambda_1} \\ p_2 &= \frac{E_2}{c} = \frac{h\nu_2}{c} = \frac{h}{\lambda_2} \end{aligned} \quad (2.4)$$

ifadeleri yazılabilir. Momentumun korunumundan,

$$\begin{aligned} \vec{p}_1 &= \vec{p}_2 + \vec{p}_e \\ p_e^2 &= p_1^2 + p_2^2 - 2p_1p_2 \cos \theta \end{aligned} \quad (2.5)$$

enerji'nin korunumundan ise

$$\begin{aligned} p_1c + E_0 &= p_2c + (E_0^2 + p_e^2c^2)^{1/2} \\ E_0^2 + c^2(p_1 - p_2)^2 + 2cE_0(p_1 - p_2) &= E_0^2 + p_e^2c^2 \\ p_e^2 &= p_1^2 + p_2^2 - 2p_1p_2 + \frac{2E_0(p_1 - p_2)}{c} \end{aligned} \quad (2.6)$$

ifadeleri yazılabilir. (2.5) ve (2.6) denklemlerinin eşitliklerinden hareketle,

$$\frac{E_0(p_1 - p_2)}{c} = p_1p_2(1 - \cos \theta) \quad (2.7)$$

(2.7) ifadesinde her bir terim  $hc / p_2E_0$  ile çarpılır ve  $\lambda = h / p$  olduğu dikkate alınır,

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \frac{hc}{E_0}(1 - \cos \theta) = \frac{hc}{mc^2}(1 - \cos \theta) \quad (2.8)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta) \quad (2.9)$$

ifadesi elde edilir. Burada,  $h$  planck sabiti,  $c$  ışık hızı,  $h/mc$  terimi ise elektronun Compton dalga boyudur ve değeri  $\lambda_c = h/mc = 0,0243 \text{ \AA}$ 'dur. (2.9) ifadesi fotonun bir elektrondan Compton saçılmasında, dalga boyunda meydana gelen değişimi verir ve  $\Delta\lambda$  Compton kayması olarak adlandırılır.  $\cos\theta$  daima birden küçük bir değer alacağından (2.9) ifadesine göre her zaman  $\lambda_2 > \lambda_1$  olur. İnkohherent olarak saçılan dalganın dalga boyundaki artış sadece saçılma açısına bağlıdır.

### 2.3.3.b.ii. Nükleer Compton saçılması

İnkohherent saçılma tiplerinden biri olan nükleer saçılma, fotonun, atomun çekirdeği ile etkileşmesi sonucu meydana gelmektedir. Bu olayda 10 MeV'den daha büyük enerjili fotonların çekirdekle etkileşmesi sonucu çekirdekte bir nötron ve bir proton fırlatılır.

### 2.3.3.b.iii. Raman saçılması

Raman saçılması iki aşamalı bir olay olarak düşünülmektedir. Olayın birinci adımında  $h\nu$  enerjili bir foton atom tarafından soğurulur ve atom bir  $a$  durumundan bir  $n$  durumuna uyarılır. İkinci adımında ise atom  $h\nu'$  enerjili bir foton yayımlar ve uyarılmış  $n$  durumundan son  $b$  durumuna döner. Atomun son durumu  $b$  başlangıçtaki  $a$  durumundan farklı ise saçılma koherent değildir. İlk defa Hintli fizikçi C. V. Raman tarafından gözlemlenen bu olay ona atfen Raman saçılması olarak adlandırılır. Bir inkohherent saçılma olayı olan Raman saçılmasında saçılan fotonun enerjisi aşağıdaki ifade ile verilir (Han 2005).

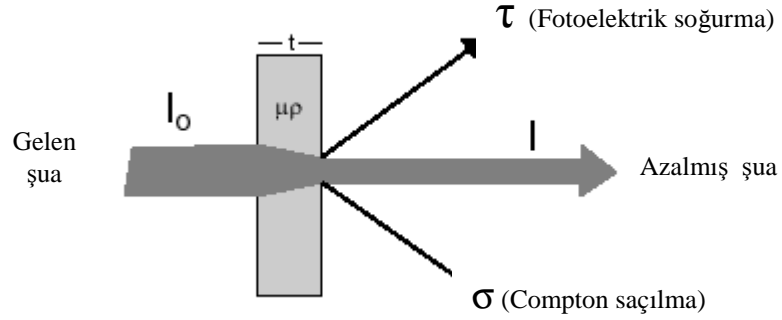
$$h\nu' = h\nu + (E_a - E_b) \quad (2.10)$$

## 2.4. X-Işını Azaltma Katsayıları

$dt$  kalınlığındaki bir madde üzerine gelen demetin şiddeti maddeyi geçtikten sonra

azalacaktır. Bu azalma  $-dI_0 = I_{son} - I_{ilk} = I_{geçen} - I_{gelen} = I - I_0 < 0$  şeklinde gösterilebilir. Burada işaretin negatifliği gelen şuanın şiddetindeki azalmayı gösterir. Buradaki  $dI_0$  kendi başına pozitif bir nicelik olup şiddetdeki azalmadan dolayı önüne eksi alır. Bu azalma gelen şiddet ve kalınlıkla doğru orantılı olacaktır. Buradaki orantı katsayısına  $\mu$  (azaltma katsayısı) dersek;

$$dI_0 = \mu I_0 dt \quad (2.11)$$



**Şekil 2.2.** X-ışınlarının soğrulması

yazılabilir. Buradan

$$\int_{I_0}^I \frac{dI_0}{I_0} = -\int_0^t \mu dt \quad (2.12)$$

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (2.13)$$

bulunur.  $I = I_0 e^{-\mu t}$  ifadesi "Lambert kanunu", "Beer kanunu" veya "Beer-Lambert kanunu" olarak bilinir. Bu ifadeden yazacağımız

$$\text{Geçen şiddet} / \text{Gelen şiddet} = \frac{I}{I_0} = e^{-\mu t} \quad (2.14)$$

ifadesi geçme ihtimalini verir. Numune bir tek saf elementten müteşekkil değilse, numuneyi meydana getiren elementlerin toplam azaltma katsayılarının ağırlıklı ortalaması

$$\mu = \sum_m C_m \mu_m \quad (2.15)$$

ifadesinden bulunabilir. Burada  $C_m$  numune içinde  $m$ . elementin ağırlık kesri (ağırlık konsantrasyonu),  $\mu_m$  ise  $m$ . elementin azaltma katsayısıdır.

Yukarıdaki ifadede yer alan azaltma (veya soğurma) katsayısı dört şekilde tanımlanmaktadır:

#### 2.4.1. Lineer azaltma katsayısı

Birim yüzeyde birim kalınlık başına düşen enerji azaltma kesrine denir. Yani birim yüzeye gelen enerjinin birim kalınlıkta azaltılma kesridir:

$$\mu = \frac{\ln(I / I_0)}{t} \text{ (cm}^{-1}\text{)} \quad (2.16)$$

#### 2.4.2. Kütle azaltma katsayısı

Birim alanda birim kütle başına düşen azaltmayı ya da alınan enerji kesrini verir:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \text{ (cm}^2 \text{ / g)} \quad (2.17)$$

### 2.4.3. Atomik azaltma katsayısı

Birim alanda atom başına düşen azaltmayı verir:

$$\mu_a = \frac{\mu}{\rho} \frac{A}{N} = \frac{\mu}{n} \text{ (cm}^2 \text{ / atom)} \quad (2.18)$$

### 2.4.4. Molar azaltma katsayısı

Birim alanda mol başına düşen azaltmadır:

$$\mu_{mol} = \frac{\mu}{\rho} A \text{ (cm}^2 \text{ / mol)} \quad (2.19)$$

Bu azaltma ifadeleri birbirleri cinsinden,

$$\mu = \mu_m \rho = \mu_a \rho (N / A) = \mu_{mol} (\rho / A) \quad (2.20)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $A$  atomik kütle ve  $N$  Avogadro sayısıdır.

Kütle azaltma katsayısı  $\mu_m$  kimyasal ve fiziksel durumlardan bağımsız olup elementlerin atomik bir özelliğidir. Sadece dalga boyu (enerji) ve atom numarasının fonksiyonudur. Ayrıca  $\mu / \rho$  bileşikler, çözeltiler ve karışımlar için muhtevaya ait değerlerden hesap edilebilirler. Bu durumda  $\mu / \rho$ , bileşiği teşkil eden elemanların azaltma katsayılarının ağırlıklı ortalamalarıdır. Cismin ağırlık kesirleri  $W_1, W_2, \dots$  ise bunlara karşılık  $\mu_1 / \rho_1, \mu_2 / \rho_2, \dots$  hesap edilirse toplam kütle azaltma katsayısı

$$\frac{\mu}{\rho} = W_1 (\mu / \rho)_1 + W_2 (\mu / \rho)_2 + \dots \quad (2.21)$$



şeklinde bulunabilir.

X-ışınlarının toplam azaltma katsayıları hesaplanırken ışınların sadece yutulup soğurulmasından değil levhayı geçerken saçılmadan ve çift oluşumundan dolayı şiddetlerindeki azaltmalar da dikkate alınmalıdır.

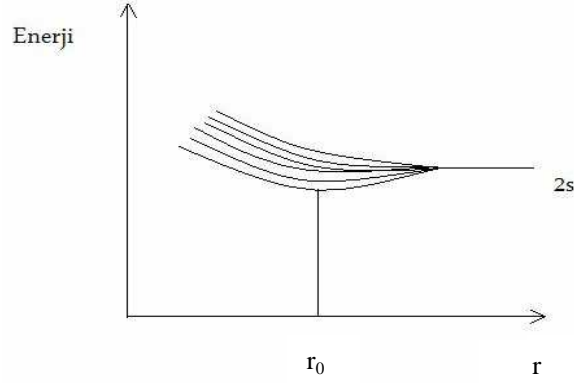
$$\frac{\mu}{\rho} = (\tau / \rho) + (\sigma / \rho) + (\pi / \rho) \quad (2.22)$$

$\mu / \rho$ , toplam azaltma katsayısı;  $\tau / \rho$ , fotoelektrik azaltma katsayısı;  $\sigma / \rho$ , saçılma azaltma katsayısı;  $\pi / \rho$ , çift oluşma katsayısıdır (Han 2005).

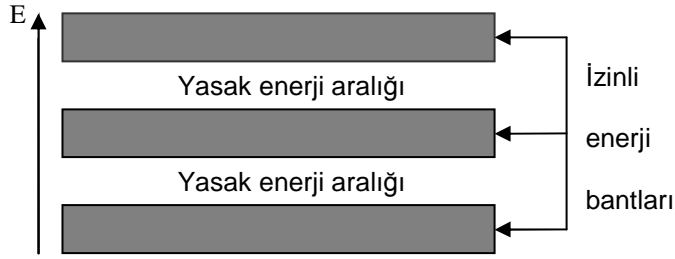
## 2.5. Yüklü Telden Akım Geçtiğinde Meydana Gelen Olaylar

Özdeş atomlar birbirlerini etkilemeyecek kadar mesafede ise, elektronik enerji düzeylerinin birbirlerinin aynısı olduğundan bu atomlar birbirine yaklaştırıldığında Pauli dışarlama ilkesi (bir atomda aynı kuantum sayılarına sahip iki elektron bulunamaz ise, katı içindeki elektronlardan da aynı kuantum sayılarına sahip iki elektron bulunamaz) nedeniyle atomik enerji düzeylerinde farklılıklar, yani yarılmalar meydana gelecektir.

Atomlardaki enerji düzeylerine karşılık katılarda da enerji bantları olmaktadır. Bir enerji ekseninde elektronların bulunabileceği ve bulunamayacağı enerji bölgeleri vardır. Yani iki farklı karakterde bant vardır. Bir tanesi elektronların bulunabileceği izinli enerji bantları, diğeri bunlar arasında kalan, elektronların bulunamayacağı izinsiz veya yasak enerji bantlarıdır.

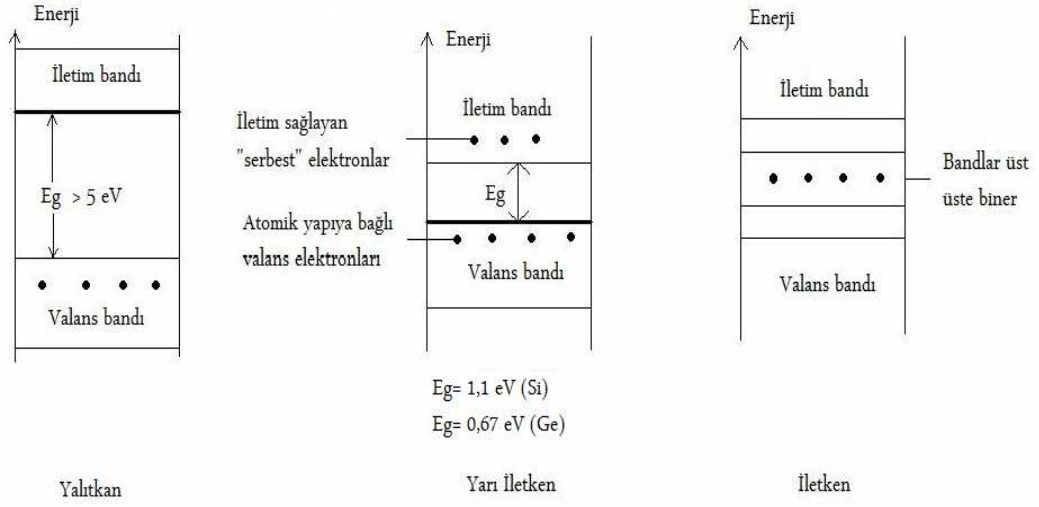


**Şekil 2.3.** Altı atomdan oluşan bir katıda 2s düzeyindeki yarılmalar



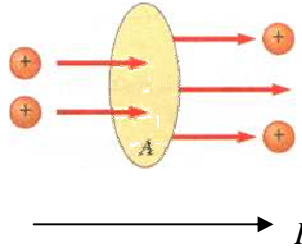
**Şekil 2.4.** Bir katıda elektronlar için izinli ve yasak enerji bölgeleri

Yüklü parçacıklar (elektron, hol, iyonlar) elektrik yüklü pozitif veya negatif olan parçacıklardır. Bir potansiyel fark altında, bu parçacıkların hareketleri de bildiğimiz elektrik akımını meydana getirmektedir. Katılarda yüklü parçacıkların (elektronların) hareket edebilmeleri için onların gidebilecekleri bir enerji düzeyinin boş olması gerekir, bir başka deyişle; elektronlar boş bir enerji düzeyi varsa hareket edebilir, aksi halde hareket edemezler (Zor *et al.* 1998).



**Şekil 2.5.** Yalıtkan, yarı iletken ve iletkenin valans ve iletim bantları

Belirli bir bölgede net bir yük akışı olduğunda, akımın mevcut olduğu söylenir. Akımı daha iyi tanımlamak için, yüklerin Şekil 2.6.'da gösterildiği gibi  $A$  alanlı bir yüzeye doğru dik olarak hareket ettiklerini farz edelim. (Bu alan, bir telin dik kesit alanı olabilir).



**Şekil 2.6.** Bir  $A$  alanından geçen yükler. Alandan çıkan yüklerin zamana göre değişimi,  $I$  akımı olarak tanımlanır. Akımın yönü artı yüklerin serbest olarak geçtiği yöndür.

Akım bu yüzeyden geçen yüklerin akış hızıdır. Bir  $\Delta t$  zaman aralığında bu alandan geçen yük miktarı  $\Delta Q$  ise, ortalama akım ( $I_{or}$ ), yükün bu zaman aralığına oranına eşittir:

$$I_{or} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (2.23)$$

Yükün akış hızı zamanla değişirse, akım da zamanla değişir. Bu durumda yukarıdaki ifadenin diferansiyel limiti olan ani akım ( $I$ )

$$I \equiv \frac{dQ}{dt} \quad (2.24)$$

olarak tanımlanır. Akımın (SI)'deki birimi Ampere (A)'dir ve

$$1A = \frac{1C}{1s} \quad (2.25)$$

dır. Yani, 1 A'lik akım, yüzeyden 1 s'de 1 C'luk yük geçmesine özdeştir.

Şayet bir iletken telin uçları bir ilmek (halka) şeklinde bağlanırsa, ilmek üzerindeki bütün noktalar aynı elektrik potansiyelindedirler ve böylece iletkenin yüzeyinde ve içinde elektrik alan sıfırdır. Elektrik alan sıfır olduğu için, tel içerisinde net bir yük iletimi yoktur, dolayısıyla akım da yoktur. Bununla birlikte, şayet iletken telin uçları bir pile bağlanırsa, ilmek üzerindeki bütün noktalar aynı potansiyelde değildir. Pil, tel içinde elektrik alanı meydana getirerek ilmeğin uçları arasında potansiyel farkı oluşturur. Elektrik alan tel içindeki iletkenlik elektronları üzerine kuvvet uygulayarak onların ilmek etrafında hareket etmesine ve böylece akım oluşmasına sebep olur.

Kesit alanı  $A$  olan bir iletkeni ele alalım.  $\Delta x$  uzunluğundaki iletken elemanın hacmi  $A \Delta x$ 'dir. Şayet  $n$  birim hacim başına düşen hareketli yük taşıyıcılarının sayısını gösterirse, bu hacim elemanındaki hareketli yük taşıyıcılarının sayısı  $nA \Delta x$  ile verilir. Dolayısıyla, bu parçadaki  $\Delta Q$  yükü

$$\Delta Q = \text{Taşıyıcıların sayısı} \times \text{parçacık başına düşen yük} = (nA \Delta x)q \quad (2.26)$$

olarak verilir. Burada  $q$ , her bir parçacık üzerindeki yüküdür. Şayet yük taşıyıcıları  $v_s$  hızıyla hareket ederlerse,  $\Delta t$  süresinde alacakları yol  $\Delta x = v_s \Delta t$  ile verilir. Dolayısıyla,

$\Delta Q$  yükü  $\Delta Q = (nAv_s \Delta t)q$  şeklinde yazabiliriz. Bu eşitliğin her iki tarafını  $\Delta t$ 'ye bölersek iletkendeki akımın

$$I_{or} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nqv_s A \quad (2.27)$$

ile verileceğini görürüz.

Yük taşıyıcılarının  $v_s$  hızı, gerçekte ortalama bir hızdır ve buna sürüklenme hızı denir. Sürüklenme hızının manasını anlamak için, içindeki yük taşıyıcıları elektronlar olan bir iletken düşünelim. Yalıtılmış bir iletkende bu elektronlar, gaz moleküllerinin yaptığı gibi, rasgele bir hareket yaparlar. İletkenin uçlarına bir potansiyel fark uygulandığında iletkende bir elektrik alan oluşur. Bu alan, elektronlar üzerinde bir elektrikselsel kuvvet uygular ve dolayısıyla bir akım oluşur. Elektronlardan metal atomlarına aktarılan enerji, atomların titreşim enerjilerinin artmasına ve dolayısıyla iletkeni sıcaklığının yükselmesine sebep olur. Fakat bu çarpışmalara rağmen, elektronlar, iletken boyunca ( $E$ 'ye ters yönde), sürüklenme hızı  $v_s$  adı verilen bir ortalama hız ile yavaşça hareketine devam eder.

Bir iletkenin, serbest elektronlar (bazen iletkenlik elektronları da denir) düzgün sıralanmış atomlar oluştuğunu düşünelim. İletkenlik elektronları, atomlar henüz katı oluşturmamışken kendi atomlarına bağlı oldukları halde, serbest atomlar katı oluşturduklarında, elektronlar bir mobilite (hareketlilik) kazanırlar. Serbest elektronlar, elektrik alanı yokken iletken içinde  $10^6$  m/s büyüklüğünde ortalama hızlarla rasgele yönlerde hareket ederler. Elektrik alan yokken, serbest elektronların sürüklenme hızı sıfır olduğundan, iletkende akım olamayacağına dikkat edilmelidir. Yani, ortalama olarak bir yönde ne kadar elektron hareket ediyorsa, aksi yönde de o kadar elektron hareket eder ve böylece net bir yük akışı olmaz.

Bir elektrik alan uygulandığında durum değişmektedir. Serbest elektronlar, burada anlatılan rasgele ısı (termal) harekete ilaveten, elektrik alanın zıt yönünde ortalama bir

sürüklenme hızıyla  $v_s$  yavaşça sürüklenirler. Bu sürüklenme hızı ( tipik olarak  $10^{-4}$  m/s), çarpışmalar arasındaki ortalama hızdan (tipik olarak  $10^6$  m/s) çok küçüktür.

Yükü  $q(=-e)$ , kütlesi  $m_e$  olan hareketli bir elektron,  $E$  elektrik alanında bulunduğu bir  $F=qE$  kuvvetine maruz kalır.  $\sum F = m_e a$  olduğundan parçacığın ivmesi

$$a = \frac{qE}{m_e} \quad (2.28)$$

ile verilir. Bu ivme sadece çarpışmalar arasındaki çok kısa zaman için söz konusu olup, elektrona küçük bir sürüklenme hızı kazandırabilir. Şayet  $t$ , son çarpışmadan sonra geçen zaman,  $v_i$  ilk hızı ise,  $t$  zaman sonunda elektronun hızı

$$v = v_i + at = v_i + \frac{qE}{m_e} t \quad (2.29)$$

ile verilir. Şimdi, bütün mümkün zamanlar ( $t$ ) ve bütün mümkün  $v_i$  değerleri üzerinde  $v$  ortalama değeri alalım. Şayet ilk hızların uzayda rasgele olarak dağıldıklarını farz edersek,  $v_i$ 'nin ortalama değerinin sıfır olacağını görürüz.  $(qE/m_e)t$  terimi, atomlar hareket sonunda alan tarafından kazandırılan ilave hızdır. Şayet elektron sıfır hızıyla başlarsa, (2.29) eşitliğinin ikinci teriminin ortalama değeri  $(qE/m_e)\tau$  olur; burada  $\tau$  çarpışmalar arasındaki ortalama zamandır.  $v_s$ 'nin ortalaması, sürüklenme hızına eşit olduğundan (Çarpışma işlemi rasgele olduğundan, her bir çarpışma olayı daha önce olanlardan bağımsızdır. Bu bir zar atışı işleminin rasgeleliği ile kıyaslanabilir. Bir atışta belli bir sayının gelme ihtimali, daha önceki atışın sonucundan bağımsızdır. Herhangi bir keyfi zamandan başlamak suretiyle o sayının gelmesi, ortalama olarak, zarın altı kere atılmasını gerektirir).

$$v = v_s = \frac{qE}{m_e} \tau \quad (2.30)$$

elde ederiz (Serway 2002).

## 2.6. XRF Tekniği ve XRF Spektrometreler

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 X-ışını floresans tekniği ile ilgili uygulamalar için pek çok spektrometre geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları,

Atomik emisyon spektrometre (AES)

Atomik absorpsiyon spektrometre (AAS)

Parçacık uyarımlı X-ışını spektrometre (PIXE)

Toplam yansımali X-ışını floresans spektrometre (TRXRF)

Sinkrotron uyarımlı X-ışını floresans spektrometre (SSXRF)

X-ışını floresans spektrometre (XRFS)

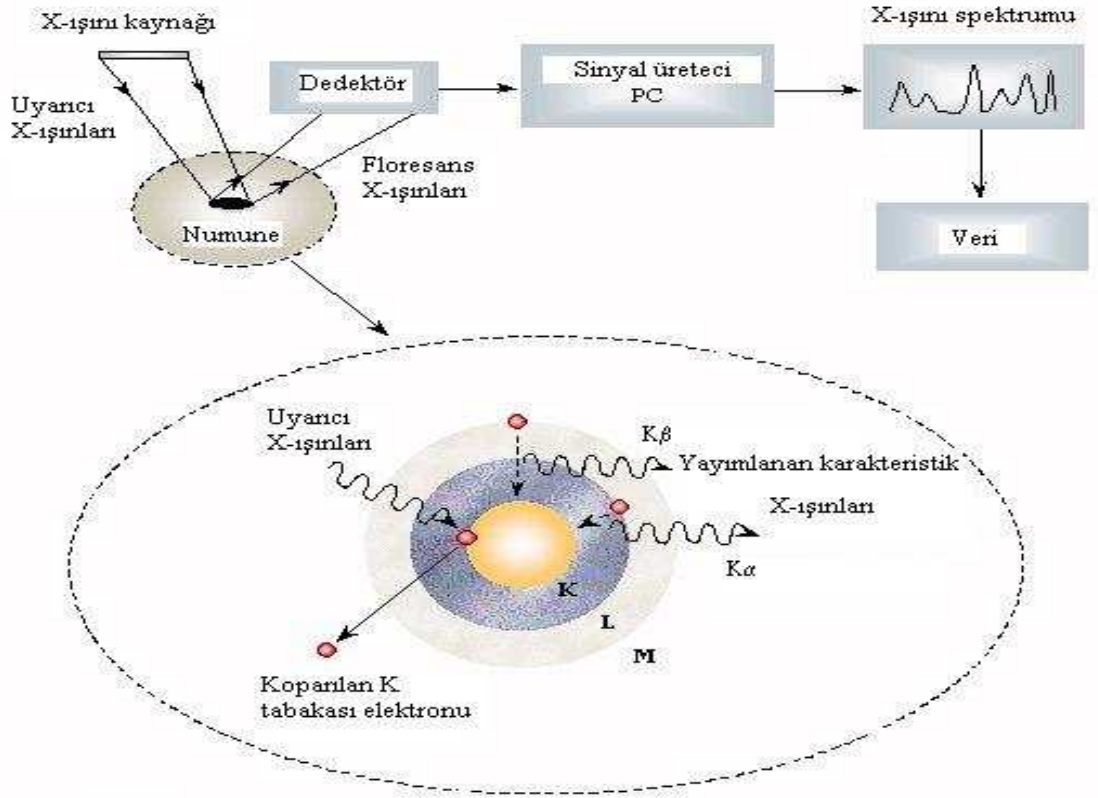
Enerji ayrımlı X-ışını floresans spektrometre (ED-XRFS)

Dalgaboyu ayrımlı X-ışını floresans spektrometre (WD-XRFS)

X-ışını floresans tekniği tahribatsız ve çoklu-element analiz imkanı, analiz süresinin kısalığı, değişik formlarda numune hazırlayabilme kolaylığı, periyodik tablodaki elementlerin hemen hemen tamamının incelenebilmesine imkan tanınması, yüksek hassasiyet (ppm), ucuz maliyet ve otomasyon kolaylığı gibi avantajlara sahip olduğundan bilim ve teknolojiye yaygın bir kullanım alanına sahiptir. X-ışını floresans tekniği atom-molekül fiziği, çevre kirliliği analizlerinde, radyasyon fiziği ve astrofizik araştırmalarında, eczacılık, kimya ve tıbbi araştırmalarda, endüstride kalite kontrol tespitinde, arkeolojide çok kıymetli tarihi eserlerin incelenmesi ve yaşlarının belirlenmesi gibi çok farklı alanlarda kullanılmaktadır.

X-ışını floresans tekniğinin temel prensibi Şekil 2.7.'de gösterilmiştir. Gelen foton tarafından atom 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 X-ışını spektrumu oluşturur. Piklerin enerjileri numunedeki elementlerin enerjilerini (kalitatif analiz), piklerin şiddeti ise elementlerin konsantrasyonlarını (semi-kantitatif ya da kantitatif analiz) verir. Tipik bir XRF spektrometre; bir primer radyasyon kaynağı (genellikle bir radyoizotop ya da X-ışını tüpü) ve numuneden yayımlanan X-ışınlarını (sekonder X-ışınları) saymak için kullanılan bir dedektör grubundan oluşur (Şekil 2.7.).



**Şekil 2.7.** XRF tekniği ve tipik XRF analiz düzeniği

X-ışını spektrometrelerinin temel fonksiyonu karakteristik çizgi şiddetlerini ölçebilmek ve numuneden gelen çok enerjili şüayı ayırmaktır. Bir spektrometrenin karakteristik çizgileri ayırabilme kabiliyetine spektrometrenin rezolüsyonu denir. Bir spektrometre



yeterli rezolüsyona sahip olmanın yanında özellikle eser element analizinde istatistik bakımdan önemli ölçümler yapabilmek için temel sayma üzerinde yeterince büyük bir cevap sağlamalıdır. Ayrıca spektrometre ilgilenilen dalga boyu veya enerji bölgesinde ölçüm yapabilme imkanı sağlamalıdır. Bu yüzden spektrometre seçiminde aşağıdaki dört faktör önemlidir. Bu faktörler birbirinden bağımsız değildir. Mesela rezolüsyonu sabit tutmak mutlak pik şiddetinin düşmesine sebep olur.

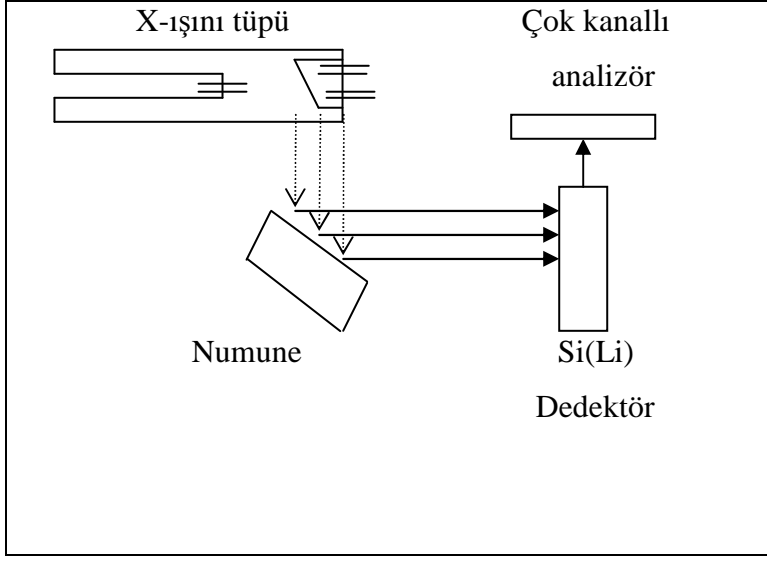
1-Rezolüsyon

2-Cevap fonksiyonu (karakteristik pik)

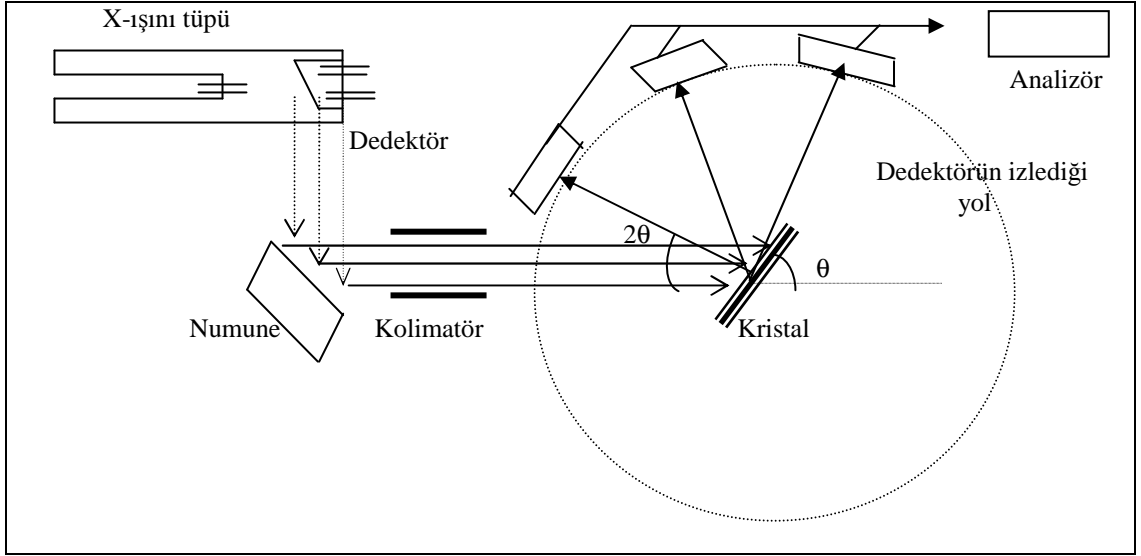
3-Temel sayma seviyesi

4-Enerji veya dalga boyu aralığı

ED-XRFS karakteristik fotonları enerjilerine göre ayırmak için dedektörün orantılılık özelliğini kullanır (Şekil 2.8.). WD-XRFS ise numuneden yayımlanan karakteristik fotonları dalga boylarına göre ayırmak için tek (single) kristal tarafından kırınım olayını esas alır (Şekil 2.9.). Dalga boyu ve enerji arasında basit bir ilişki  $E = hv = hc / \lambda$  olduğundan bu tekniklerin her ikisi de aynı sonuçları verir. Bu iki metot arasındaki başlıca farklılıklar hassasiyetleri ile veriyi oluşturma ve sunma biçimleridir. Dalga boyu ayırmalı sistemler, enerji ayırmalı sistemlere nazaran genellikle %50 nispetinde daha hassastırlar. Buna karşın ED-XRFS'ler enerji aralığındaki tüm elementleri aynı anda ölçebilirken, WD-XRFS'ler sadece programlanmış oldukları elementleri ölçebilirler. Bu nedenle enerji ayırmalı sistemler beklenmeyen elementleri seçmede daha kullanışlıdırlar. X-ışını spektrometrelerinde hassasiyet birçok element için ppm mertebesinde daha düşüktür.



**Şekil 2.8.** ED-XRFS'nin şematik temsili



**Şekil 2.9.** WD-XRFS'nin şematik temsili

Rutin ve rutin olmayan analizler için tipik tek kanallı dalga boyu ayırımı spektrometreler geliştirilmiştir. Bunlar demirli ve demirsiz alaşımlar, yağlar, atıklar, tortular, cevherler, mineraller ve ince filmler vs. gibi maddelerin analizinde kullanılırlar. Bu sistemler çok kanallı spektrometrelere kıyasla daha yavaştır. Çok kanallı dalga boyu ayırımı spektrometreler ise oldukça büyük hassasiyet gerektiren rutin analizler için kullanılırlar.

ED-XRFS'ler aynı anda çok sayıda elemente ait bilgiyi aktarabilme gibi büyük bir avantaja sahiptirler. Bunların rezolüsyonu dedektöre ve dedektör amplifikatörüne bağlıdır ve WD-XRFS'lere kıyasla biraz düşüktür. Ancak numunede varlığı bilinen elementler kadar bilinmeyen elementleri de açığa vurma kabiliyetleri ve genel arıza problemlerinin azlığı ED-XRFS'lerin daha fazla tercih edilmesini sağlar. Bunlar özellikle hurda alaşım ayırma, adli bilimler vs. alanlarda etkin biçimde kullanılırlar. ED-XRFS'ler uyarıcı kaynak, dedektör ve sayma sistemlerinden oluşurlar. Bunlarda genellikle; Si(Li) veya Ge(Li) dedektörler kullanılır. Si(Li) veya Ge(Li) dedektörler bir diyot olup ön yüzünde yaklaşık 0,02 µm kalınlığında altın kontak bulunmaktadır. Bunu 1 µm kalınlığında silikon veya germanyum ölü tabaka takip eder. Bu iki tabaka düşük enerjili X-ışını fotonlarını önemli derecede azaltma etkisine sahiptir. Si(Li) veya Ge(Li) dedektörlerde azaltma kaybının en büyük kaynağı dedektör kristalini koruyucu olan ince Berilyum penceresidir. Bu etkilerin tümü enerji ayırmalı sistemlerin hassasiyetinde, Sülfür (Z=16) ve Sodyum (Z=11) elementlerinin K çizgilerinin büyüklüğü mertebesinde, bir kayba sebep olabilir. Enerji ayırmalı sistemin rezolüsyonu yaklaşık olarak dedektörün rezolüsyonuna eşittir ve bu yüzden bu sistemlerde dedektör seçimi çok daha önemlidir. ED-XRFS'lerde veriyi oluşturmak, pulsarı birbirinden ayırmak ve belirlemek için çok kanallı analizör kullanılır. Genellikle bu spektrometreler bir mini bilgisayarla donatılmışlardır. Spektral soyma (stripping), pik belirmesi, kantitatif analiz ve diğer faydalı işlemler bu bilgisayar ile kolayca yapılabilir. Operatör bir enerji spektrumunda değişik kanalların muhtevasının gösterebilir, spektrumları üst üste bindirebilir veya genişletebilir. Logaritmik veya lineer skalada (düşey eksen) spektrum görülebilir sayma çıkarması ve buna benzer birçok operasyon spektrum üzerinde yapılabilir. Yüksek enerjili spektrumların ölçülmesinde, çok yüksek azaltma gücüne sahip olmasından dolayı, Si(Li) dedektörlerden ziyade Ge(Li) dedektörler kullanılır. Ayrıca CdT ve HgI<sub>2</sub>'de oda sıcaklığında dedektör özelliği gösterirler. Uzun dalga boyları için kullanılan spektrometrelerin dedektörleri gazlı dedektörlerdir. Bu dedektörlerde aşırı ince ve yüksek geçirgen bir pencere geliştirilmiştir.

X-ışını spektrometre sistemlerinde, düşük atom numarasına gidildikçe mutlak hassasiyetin (yani analiz elementi yüzdesi başına saniyede ölçülen sayımın) önemli

derecede azalması bu sistemlerle ilgili en ciddi problemlerden biridir. Bunun üç sebebi vardır:

- 1-Atom numarası azaldıkça floresans veriminin azalması
- 2-Bir Bremsstrahlung (frenleme radyasyonu) kaynağından yayımlanan uzun dalga boylu X-ışını fotonlarının mutlak sayısının artan dalga boyu ile azalması
- 3-Genellikle analiz çizgisinin, dalga boyunun artmasıyla azaltma etkisinin artması.

Bu nedenlerden ilk ikisi, X-ışını uyarma işlemine ve klasik X-ışını tüplerinin yapısına, üçüncü faktör ise sistemin yapısına ve özellikle dedektör karakteristiklerine sıkı sıkıya bağlıdır. Yeni geliştirilmiş olan ultra-ince pencereci dedektörlerle (Mesela KeveX Corp. 1987) Oksijene ( $Z=8$ ) kadar olan elementlerin karakteristik X-ışını spektrumları ölçülebilmektedir. WD-XRFS'lerde en düşük atom numarası sınırı Flor ( $Z=9$ )'dur ve özel kristallerin kullanılması ile bu Berilyum'a ( $Z=4$ ) kadar indirilebilir. Düz bir kristale sahip dalga boyu ayırmalı sistemlerde rezolüsyon analiz edici kristalin açılma dağılımına ve kolimatör diverjansına bağlıdır. WD-XRFS'lerde, rezolüsyon ve şiddet ölçümleri çok daha kontrollüdür. WD-XRFS'lerde rezolüsyon genellikle 10-100 eV aralığında iken ED-XRFS'lerde 150-200 eV aralığındadır.

## 2.7. XRF Tekniğinde Kullanılan Kaynaklar

XRF tekniğinde numune genellikle bir radyoizotop kaynak ya da X-ışını tüpü kullanılarak uyarılır. Kaynaktan gelen primer radyasyonun enerjisi M, L veya K-tabakası elektronlarının bağlanma enerjilerinden daha büyük olduğunda atom uyarılabilir. En yaygın olarak kullanılan radyoizotop kaynaklar Fe-55, Co-57, Cd-109 ve Am-241'dir. Belirli enerjilerde  $\gamma$ -ışınları yayımlayan bu radyoizotop kaynakların bazı özellikleri Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** XRF Tekniğinde yaygın olarak kullanılan radyoizotoplar

İzotop	Yarı ömür	Radyasyon	Enerji (keV)
Fe-55	2,7 yıl	Mn K	5,9
Co-57	270 gün	Fe K	6,4
		$\gamma$	14,4
		$\gamma$	122
		$\gamma$	136
Cd-109	1,3 yıl	Ag K	22,2
		$\gamma$	88
Am-241	470 yıl	Np L	14-21
		$\gamma$	26
		$\gamma$	59,5

## 2.8. X-Işını Dedektörleri

Dedektörler, X-ışını foton enerjisini bu fotonların dedektörün aktif maddesi ile çeşitli yollarla etkileşmesi sonucu, voltaj pulsuna çeviren dönüştürücülerdir. X-ışını dedeksiyonunda kullanılan dedektörler (sayaçlar) üç gruba ayrılırlar;

- 1- Gazlı Sayaçlar
- 2- Sintilasyon Sayaçları
- 3- Katıhal Sayaçları

Yarı iletkenlerin düşük sıcaklıklarda iyi bir yalıtkan davranışı göstermesinden istifade ile yapılmış olan katıhal sayaçları ikincil X-ışınlarını ölçmek için yaygın olarak kullanılırlar. Karakteristik X-ışınlarının şiddetleri ölçülürken ayırma gücü ve dedektör verimi çok iyi olan yarı iletken katıhal dedektörler tercih edilir. Son yıllarda Si-PIN, HgI<sub>2</sub>, Si-DRIFT ve CDZnTe gibi yüksek rezolüsyonlu yarı iletken dedektörler yapılmasına rağmen, Si(Li), Ge(Li) ve HPGe yarı iletken kristal dedektörler uygun şekil

ve soğutma şartlarına sahip olduklarından daha yaygın olarak kullanılırlar. Bazı sayaçların özellikleri Çizelge 2.3.'de verilmiştir.

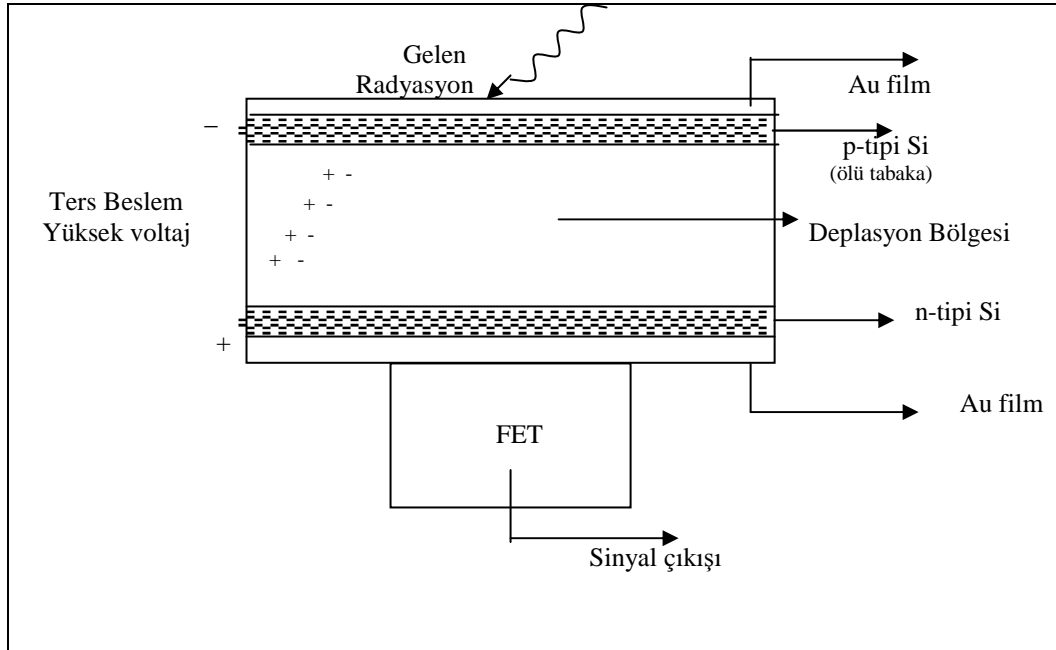
**Çizelge 2.3.** Bazı X -Işını Dedektörlerinin Karakteristikleri

	Si(Li)	HPGe	Si-PIN	CdZnTe	HgI <sub>2</sub>
Rezolüsyon (eV) (5,9 keV'de FWHM)	140	150	180	280	200
Soğutucu	Sıvı N <sub>2</sub>	Sıvı N <sub>2</sub>	Peltier	Peltier	Peltier

Yarı iletkenlere elektrik iletimini kontrol etmek için, az miktarda katkı maddesi ilave edilir. Katkı maddesi olarak 5 değerlik elektronlu atomlar kullanılırsa elektronlardan dördü komşu Si veya Ge ile kovalent bağ yapar ve beşinci elektron örgü içerisinde kolayca hareket edebilir. Negatif yük taşıyıcılarının fazla olduğu böyle bir yarı iletken materyale n-tipi yarı iletken denir. Eğer katkı maddesi olarak 3 değerlik elektronlu atomlardan biri kullanılırsa kristalde dört komşu atomla kovalent bağ oluşur ve pozitif yük fazlalığı meydana gelir. Pozitif yük fazlalığının olduğu böyle yarı iletken materyallere ise p-tipi yarıiletken denir. Çünkü bunlarda esas yük taşıyıcıları pozitif yüklü boşluklardır. n-tipi ve p-tipi materyaller temas ettirilirse, eklem yakınındaki elektronlar ve boşluklar birleşerek yük taşıyıcılarının nötr hale geldikleri bir bölge oluştururlar. Bu bölgeye deplasyon, tüketim veya intristik bölge adı verilir. Alanı yaklaşık 30-100 mm<sup>2</sup> olan bu bölge gelen radyasyonlar için hassas hale gelir.

Ge ve Si dedektörler yapılırken en çok takip edilen işlem önce p-tipi bir materyal almak ve sonra bunun yüzeyine Li atomlarını yaymaktır. Böylece n-tipi ince bir bölge oluşturulmuş olur. Ters beslem ve hafifçe artırılan sıcaklık altında Li geniş bir deplasyon bölgesi yaparak p-tipi bölgeye sürüklenir. Bu tür dedektörler Li sürüklenmiş Ge veya Li sürüklenmiş Si dedektörler olarak adlandırılırlar ve Ge(Li) veya Si(Li) şeklinde gösterilirler. Ge(Li) veya Si(Li) dedektörlerin üretiminde oluşturulan n-tipi tabakanın kalınlığı 1 mm civarındadır ve orta enerjili gamma ışınları bu kalınlığa kolayca nüfuz edebilirler. Ayrıca ince bir altın tabakası, elektriksel teması sağlamak için

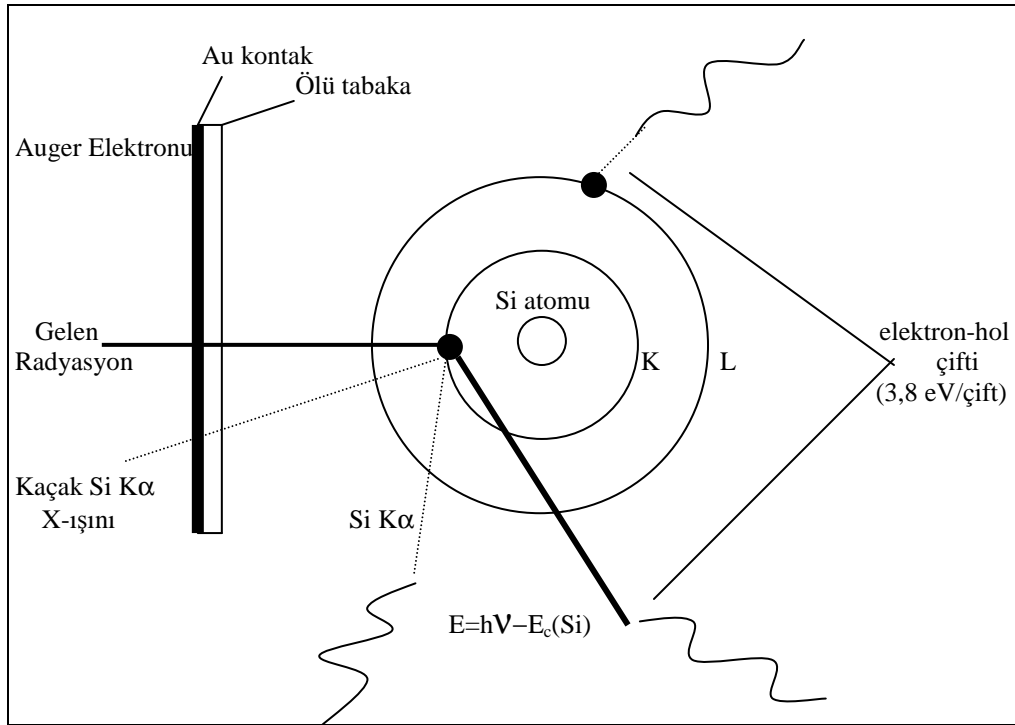
ön yüzeye buhar şeklinde püskürtülür (yaklaşık 200 Å kalınlığında). Böylece parçacıkların deplasyon bölgesine ulaşmak için sızmaları gereken toplam kalınlık yaklaşık 0,1 µm'ye kadar düşürülür. p-tipi bölgede (kristal sayacın girişinde) sayıma katkısı bulunmayan bölgeye ölü tabaka adı verilir. Ters besleme ile deplasyon bölgesi daha geniş hale getirilebilir ve elektrik alanın büyüklüğü artırılabilir. Ters beslem voltajı iki etkiye sahiptir; birinci olarak deplasyon bölgesindeki elektrik alan büyüklüğünü, yük birikimini daha verimli yaparak artırır, ikinci olarak da bir tip materyalden diğerine daha fazla yük taşıyıcısını sürükleyecek bir kuvvet uygulayarak deplasyon bölgesinin boyutlarını (dolayısıyla dedektörün duyarlı hacmini) artırır. Bir Si(Li) dedektörün şematik gösterimi Şekil 2.10.'da verilmiştir.



**Şekil 2.10.** Bir Si(Li) katıhal dedektörü'nün şematik temsili

Au film ve p-tipi bölgeyi geçerek deplasyon bölgesine ulaşan fotonlar Si atomlarını uyatarak fotoelektronlar yayımlamalarına neden olurlar. Bu işlem sırasında fotonlar enerjilerinin büyük bir kısmını fotoelektronlara aktarırlar. Bu fotoelektronlar enerjileri bitinceye kadar yolları üzerinde elektron-hol çiftleri oluştururlar. Uygulanan ters beslem (-500 V) nedeniyle meydana gelen elektrik alan elektron-hol çiftlerini toplar. Ters

beslem nedeniyle elektronlar n-tipi, boşluklar (holler) p-tipi bölgeye yönelirler. Sonuçta dedektöre gelen foton enerjisi ile orantılı sayıda elektron–hol çifti oluşur. Toplanan yük bir ön amplifikatörde potansiyel pulsuna dönüştürülür ve dijital dönüştürücü pulsu enerjisine karşılık gelen kanala kaydeder. Bir Si(Li) dedektörde bir elektron-hole çifti meydana getirebilmek için gerekli enerji 3,8 eV, Ge(Li) dedektörde ise gerekli olan enerji 2,9 eV'dur. Yüksek sıcaklıklarda dedektör karakteristikleri değişebileceğinden, Si(Li) ve Ge(Li) dedektörler yüksek rezolüsyonlarını muhafaza etmek için yaygın olarak sıvı azot sıcaklığında (-196°C) tutulurlar. Bu sayede lityumun yüksek mobilitesinden kaynaklanan gürültü ihmal edilebilir bir dereceye düşürülebilmektedir. Bir Si(Li) dedektörün çalışma prensibi Şekil 2.11.'de verilmiştir.



**Şekil 2.11.** Si(Li) dedektörde X-ışını dedeksiyon işlemi. Gelen radyasyon dedektördeki Si atomlarının iyonize olmasına neden olur. Gelen radyasyonun enerjisinin bir elektron hol çifti oluşturabilmek için gerekli olan  $E_c=3,8$  eV'dan büyük olması gerekir (Han 2005).

## 2.9. WinXCOM

X-ışınları veya gama ışınlarının saçılma ve soğurulması ile ilgili veriler fen bilimleri,



mühendislik ve tıbbi uygulamalar için gereklidir (Hubbell 1999a). Mevcut çizelgeler genellikle seçilmiş elementlerle, sınırlı sayıdaki bileşik ve karışımlarla ilgili tesir kesitlerini içerir. Çizelge değerlerini kullanarak el yordamıyla yapılan hesaplamalara bir alternatif olarak, bilgisayar programı kullanarak element, karışım ve bileşikler için tesir kesiti ve azaltma katsayılarının hesaplanması daha tercih edilir olmuştur. Bu amaçla Berger ve Hubbell tarafından (1987) geliştirilen WinXCOM bilgisayar programı kullanılmaktadır. Bu programın veri tabanı, 1-100 GeV enerji aralığında karışım, bileşik veya herhangi bir element için tesir kesiti ve kütle azaltma katsayılarını hesaplamak için kullanılır.

**Çizelge 2.4.** Hesaplamalarda kullanılan WinXCOM programı'nın bilgisayar ekranındaki görüntüsü

Elements	Energy (MeV)	Coherent (cm2/g)	InCoherent (cm2/g)	Photo Electric (cm2/g)	PAIR Nuclear (cm2/g)	PAIR Electron (cm2/g)	Sum (cm2/g)	Sum NonCoherent (cm2/g)
H (Hydrogen)								
He (Helium)								
Li (Lithium)								
Be (Beryllium)	5,954E-002	1,09E+001	1,31E-001	1,38E+000	0	0	1,63E+000	1,52E+000
B (Boron)	5,630E-003	2,65E+000	4,90E-002	1,35E+002	0	0	1,37E+002	1,35E+002
C (Carbon)	5,840E-003	2,56E+000	5,06E-002	1,22E+002	0	0	1,24E+002	1,22E+002
N (Nitrogen)	6,040E-003	2,48E+000	5,21E-002	1,11E+002	0	0	1,14E+002	1,11E+002
O (Oxygen)	6,460E-003	2,33E+000	5,52E-002	9,20E+001	0	0	9,44E+001	9,20E+001
F (Fluorine)	6,700E-003	2,25E+000	5,70E-002	8,31E+001	0	0	8,54E+001	8,31E+001
Ne (Neon)	6,919E-003	2,18E+000	5,85E-002	7,59E+001	0	0	7,82E+001	7,60E+001
Na (Sodium)	9,440E-003	1,55E+000	7,42E-002	2,46E+002	0	0	2,48E+002	2,46E+002
Mg (Magnesium)	9,650E-003	1,51E+000	7,54E-002	2,34E+002	0	0	2,35E+002	2,34E+002
Al (Aluminum)	1,022E-002	1,41E+000	7,84E-002	2,03E+002	0	0	2,05E+002	2,03E+002
Si (Silicon)	1,050E-002	1,37E+000	7,98E-002	1,90E+002	0	0	1,92E+002	1,90E+002
P (Phosphorus)	1,078E-002	1,32E+000	8,12E-002	1,78E+002	0	0	1,79E+002	1,78E+002

XCOM hem standart enerjide hem de kullanıma bağlı olarak istenilen enerjide, tesir kesiti ve azaltma katsayılarını verir. Ayrıca fotoelektrik, koherent ile inkoherent saçılma ve çift oluşum gibi kısmi tesir kesitleri ve kısmi kütle azaltma katsayılarının hesaplamalarını da içerir.

XCOM programında tesir kesitleri ve azaltma katsayılarıyla ilgili hesaplamalar için oluşturulan veri tabanı DOS altında çalıştığından bu durum kullanıcılar için kolaylık sağlamadığı düşünülerek Windows altında çalışan WinXCOM programı geliştirildi.

1- WinXCOM'un ayrıcalıkları içinde, kullanıcıya sunulan materyal tanımlama listesinden seçilen elementlere ait tanımlama bilgilerinin kaydedilmesi vardır. Ayrıca bu durum bileşik ve karışımlar için de geçerlidir. Bu listede atom numarası 1-100 arasındaki bütün elementler mevcuttur.

2- WinXCOM, standart XCOM enerji aralığı ve kullanıcı tarafından seçilen enerji aralığında da tesir kesitleri ve azaltma katsayılarını verir.

3- XCOM programıyla yapılan tesir kesitleri ve azaltma katsayılarıyla ilgili verileri Excel, Origin gibi programlarda verileri değerlendirmek için uygun olmadığından, verileri el ile taşımak kullanıcı açısından zaman alıcı ve pratik bir kullanım değildi. Bu aşamada WinXCOM kullanıcılar için daha pratik bir yaklaşımla ASCII koduyla verileri değerlendirmek için diğer programlara bir köprü kurulabilmiş ve veriler rahatlıkla taşınabilir hale gelmiştir.

## **2.10. WinAxil**

WinAxil enerji ayırımı X-ışını spektrometresini kullanarak ölçülen X-ışını spektrumunun tekrar oluşumu ve analizi için kullanılan bir programdır. WinAxil uluslararası bilinen Axil (Analysis of X-ray spectra by Iterative Least Squares) tabanlıdır.

Ancak, WinAxil, modern işletim sistemleri (Windows 95/ Windows NT) ve tamamen güncel spektrum hesaplaması için 32-bitlik işlemci ve güçlü yazılım paketinin olanaklarıyla kullanılır. WinAxil'in başlıca diğer özellikleri:

1- Yeni ve güçlü kullanıcı arayüzü menü seçenekleri, araç çubuğu ikonları, popup menüleri ve klavye kısayolları vasıtasıyla programın kullanımını etkinleştirme ve

kolaylaştırma.

2- 32-bitlik hesaplamalar, hızlı spektrum tekrar oluşumu ve hesaplamalarının sonucunu verme.

3- MultiDocument (MDI) teknikleri kullanımı.

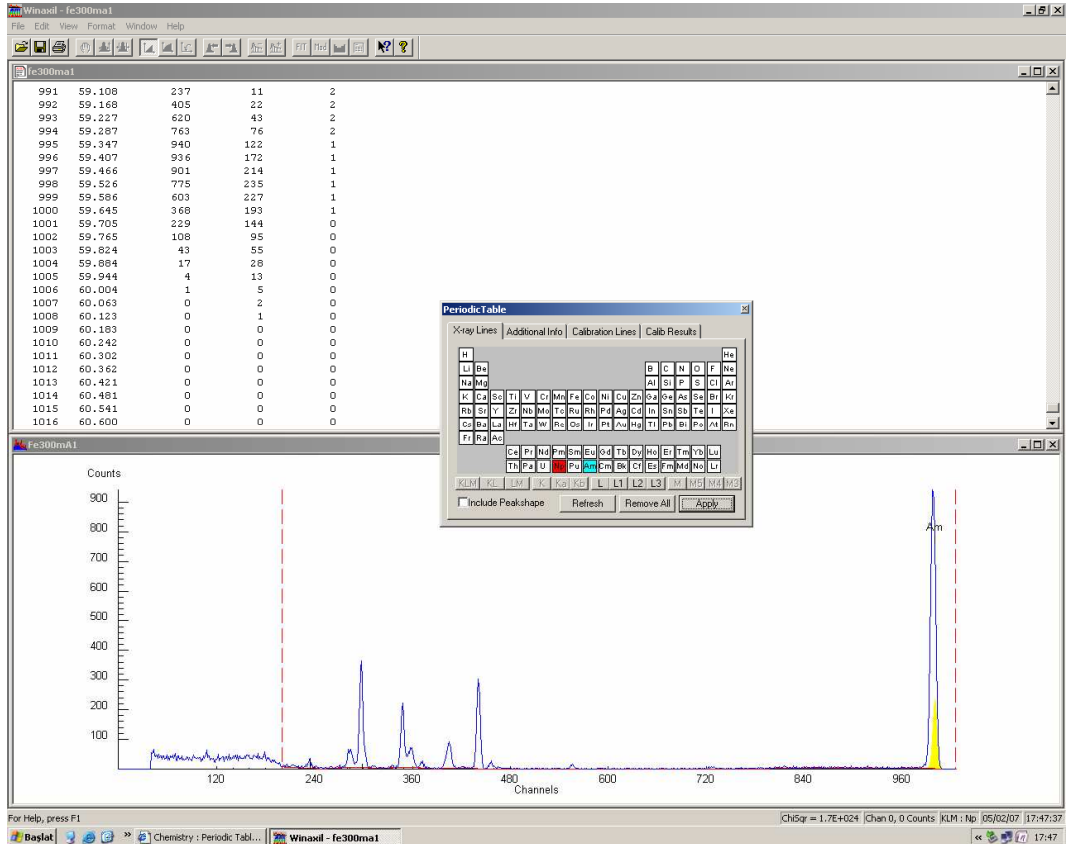
4- MS Excel ya da MS Word gibi sıklıkla kullanılan uygulamalarına herhangi bir bölümünü aktarmayı kolaylaştıran OLE tekniklerini kullanma.

5- Farklı spektrum dosyalarının alımı (örneğin Camberra Genie CAM, Ortec, Silena, Aptec, Tracor, vs. )

6- Kalite kontrolünü daha güvenilir hale getirmek için tüm spektrumla ilgili parametrelerini bir dosya (Wax.) içerisinde birleştirme.

7- Temel parametre yaklaşımı kullanan nicel analizler uygulaması.

**Çizelge 2.5.** Spektrum analizinde kullanılan WinAxil programı'nın bilgisayar ekranındaki görüntüsü

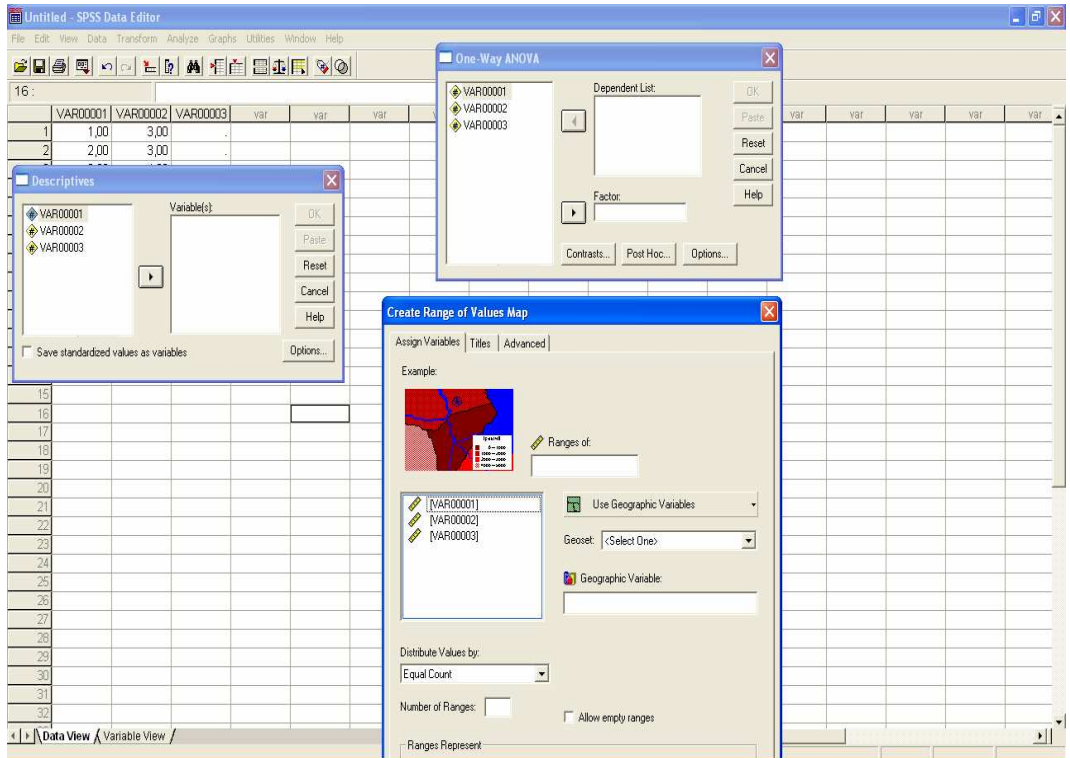


## 2.11. SPSS

SPSS, yaygın olarak kullanılan istatistiksel veri analizi paketlerinden birisidir. SPSS sözcüğü, Sosyal Bilimlerde İstatistik Paketi (**S**tatistical **P**ackages for **S**ocial **S**ciences) sözcüklerinin baş harflerinden oluşan bir sözcüktür. Veri analizi için çok sayıda paket program vardır. BMDP (**B**io**M**edical **P**rograms), MINITAB, SAS (**S**tatistical **A**nalysis **S**ystems), S-Plus, STATISTICA ve SYSTAT bunlar arasında en ünlüleridir.

SPSS programının kullanılma sebeplerinden bazıları, WINDOWS altında çalışır olması, kullanımı kolay ve Menü yönetimidir. Çok sayıda güncel istatistiksel analiz modülleri içerir. Modüller yeni versiyonlar ile sıklıkla güncelleştirilir. Şu anda 13.0 sürümü kullanılmaktadır.

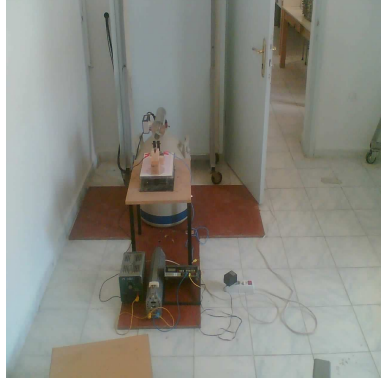
**Çizelge 2.6.** İstatistik veri analizinde kullanılan SPSS programı'nın bilgisayar ekranındaki görüntüsü



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Deney Geometrisi ve Ölçüleri Alınması





Bu deneyde Şekil 3.1.'de verilen transmisyon geometride Fe, Cu, Pb, Sn element numuneleri üzerine akım geçirilmeden ve 100-8 000 mA'lik DC akımlar uygulanarak şiddetler ölçüldü.



**Şekil 3.1.** Deney geometrisinin fotoğrafları

Ölçümlerde kullanılan numuneler Fe, Cu, Pb ve Sn'in foil formlarıdır. Fe ve Cu element numuneleri iletkenlikleri yüksek, Pb ve Sn element numuneleri de yüksek kütle azaltma katsayılarına sahip olduğu için seçilmiştir. Numunelerin mümkün olduğunca saf olanlarının seçilmesine ve temizliklerine özen gösterilmiştir. Numunelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Kullanılan numunelerin özellikleri

	Cu	Fe	Sn	Pb
Kullanılan numunelerin fotoğrafları				
Kullanılan numunelerin kütleleri (gr)	0,0149 ± 0,0006	0,0619 ± 0,0009	0,2053 ± 0,0008	0,1278 ± 0,0013
Kullanılan numunelerin yarıçapları (cm)	0,5642 ± 0,0034	0,5184 ± 0,0059	0,5275 ± 0,0087	0,5076 ± 0,0089
Atom Numarası	29	26	50	82
Kimyasal Atomik Kütle(u)	63,546	55,847	118,71	207,2
Kütle Numarası	63	54	112	202
Kütle azaltma katsayısı (cm <sup>2</sup> /g)	1,63	1,23	6,7	5,12
Bolluk Yüzdesi	69,17	5,9	0,97	1,4
Kullanılan numune'nin saflığı	% 99,9	% 99,9	% 99,9	% 99,9
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	8,96	7,86	7,31	11,34
Erime Noktası (°C)	1084,62	1535	231,9	327,5
Kaynama Noktası (°C)	2562	2750	2270	1740
Bulunuş Tarihi	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Tunç Devri	Antik Çağ
Buluşu Yapan	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Bilinmiyor

**Çizelge 3.1.** (devam)

Elementin Serisi	Geçiş metali	Geçiş Metali	Zayıf Metaller	Metaller
Kristal Yapı	Kübik	Kübik	Tetragonal	Kübik
Elektron Dizilimi	$3d^{10}4s^1$	$3d^64s^2$	$4d^{10}5s^25p^2$	$4f^{14}5d^{10}$ $6s^26p^2$
Maddenin Hali	katı	katı	katı	katı
İyonlaşma Enerjisi (kJ/mol)	745,5	762,5	708,6	715,6
Atom Yarıçapı (pm)	135	140	145	180
Atom Yarıçapı (hesap yoluyla)(pm)	145	156	145	154
Elektrik Direnci (nΩm)(20°C'de)	16,78	96,1	115	208
Isıl İletkenliği (W/m.K)	401	80,4	66,8	35,3
Isıl Genleşme (μm/m.K)(25°C'de)	16,5	11,8	22	28,9

Bu numunelerin üzerindeki akım değerlerine karşı kütle azaltma katsayılarını hesaplamak için  $I_0$  şiddeti ve numunelerin üzerine akım geçirilmeden ve 100-8 000 mA DC akımlar uygulanarak  $I$  şiddetleri sayılmıştır. Daha sonra  $I_0$  ve  $I$  sayımları, numunelerin yarıçapları ve kütleleri kullanılarak her akım değerine karşılık, kütle azaltma katsayıları Lambert-Beer kanunu yardımıyla hesaplanmıştır. Her bir akım değerine karşı bulunan kütle azaltma katsayısını gösteren grafikler Şekil 4.6-9.'da verilmiştir. Bu sayede farklı akım değerleriyle kütle azaltma katsayısındaki değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu ölçümler alınırken kullanılan alet ve malzemeler Şekil 3.2-12.'de gösterilmiştir.



a



b

### Şekil 3.2. Güç kaynakları

a. DC Max. 80 W-15 A

b. Dual Power Supply DC 0-35 V ; 1 A



### Şekil 3.3. Reosta

Leybold-Heraeus 11  $\Omega$ -8 A



### Şekil 3.4. Terazi

Ohaus Precision Standart Model TS120S Kapasite  
120 gr Hassasiyet 0,001 gr 17 V DC @ 230 mA





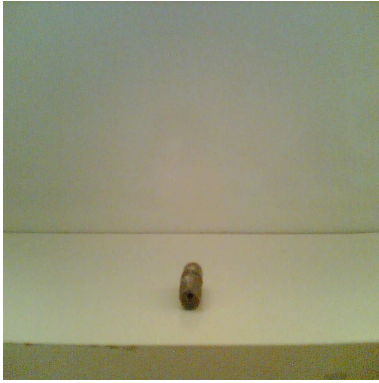
a



b

### Şekil 3.5. Multimetreler

- a. Thurlby 1503 Digital Multimeter Mastech Ms 8209  
b. Auto Ranging Multimeter Max. 10 A-600 V



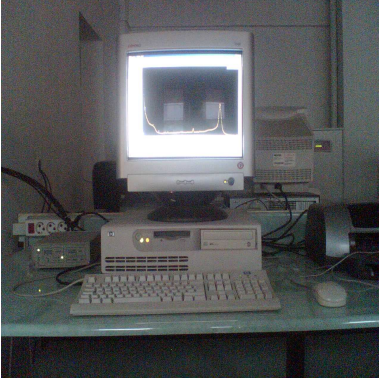
### Şekil 3.6. Kurşun kolimatör



### Şekil 3.7. Kumpas



**Şekil 3.8.** Numune tutacağı



**Şekil 3.9.** HP Pentium 4 bilgisayar



**Şekil 3.10.** Azot dolum düzeneği



**Şekil 3.11.** Dedektör

Camberra Detector Products. Model SI30180-2008B  
Bias Voltage (-) 500 V. Cool Down Time 4 saat



**Şekil 3.12.** Analizör Camberra

DSA 1000. 7,5 V-0,75 A

### 3.2. Ölçüm Alınan Ortam ve Ölçme Sistemleri

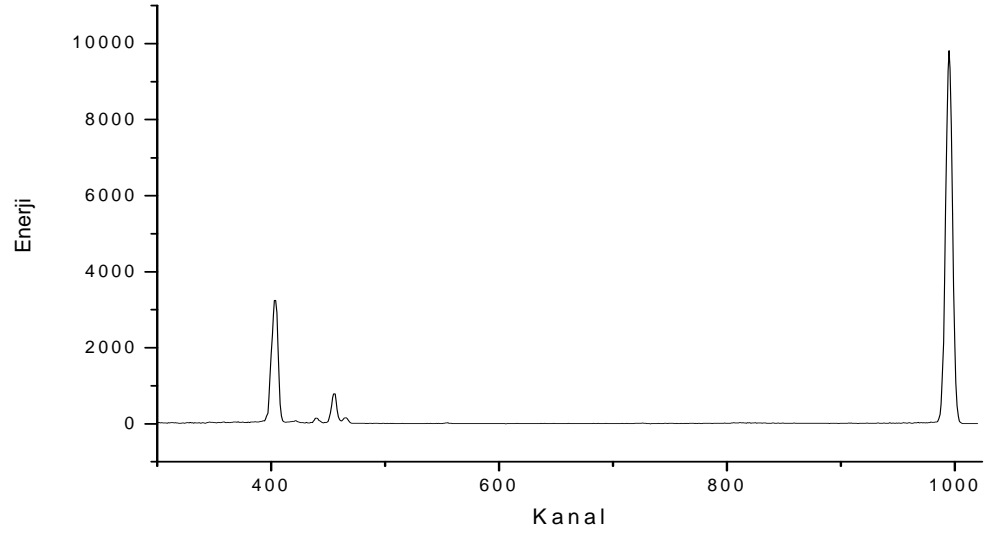
Dedektörün bulunduğu ölçüm odası kurşun ile kaplı olduğundan dedektörün bu oda içindeki konumu mümkün olduğunca az saçılmış X-ışını alacak şekilde belirlenmiştir. Ölçüm alınan oda mümkün olduğunca temiz tutulmuş, tüm deney sırasında çevresel şartların değiştirilmemesine dikkat edilmiş, ölçümler sırasında oda kapısı kapalı tutulmuş ve ölçüm bitinceye kadar içeri girilmemiştir. Uyarıcı olarak  $^{241}\text{Am}$  radyoizotop kaynak kullanılmıştır ve deneyde kullanılan kaynağın dışında başka bir kaynak odada bulundurulmamıştır. Uygulanan akımla dedektörün aktif yüzeyi zarar görmesin diye kolimatörün üzeri plastik malzeme ile kaplanmıştır. Bu çalışmada enerji ayrımlı X-ışını

spektrometre (ED-XRFS) kullanılmıştır. Kullanılan Si(Li) dedektörün 5,96 keV'de rezolüsyonu 160 eV, aktif alanı 12 mm<sup>2</sup> ve kalınlığı 3 mm'dir. Elektrotlar, lityum sürüklenmesi ve silisyum yüzeyine yaklaşık 200 Å kalınlığında altın buharlaştırılmasıyla elde edilmiştir. Dedektör dış ortamdan gelebilecek yüzey kirlenmesini önlemek için 13 µm kalınlığında berilyum pencere ile koruma altına alınmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

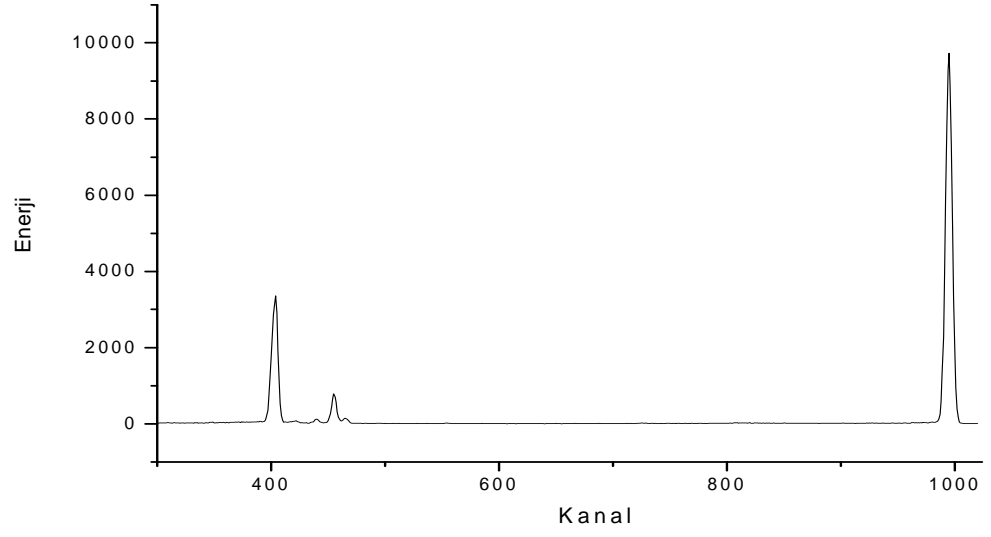
### 4.1. Kütle Azaltma Katsayılarının Deneysel Olarak Hesaplanması

Deneyde  $I_0$  şiddetini bulmak için deney geometrisine numune yerleştirilmeden önce sayım yapılarak Şekil 4.1.'deki gibi spektrum elde edildi.

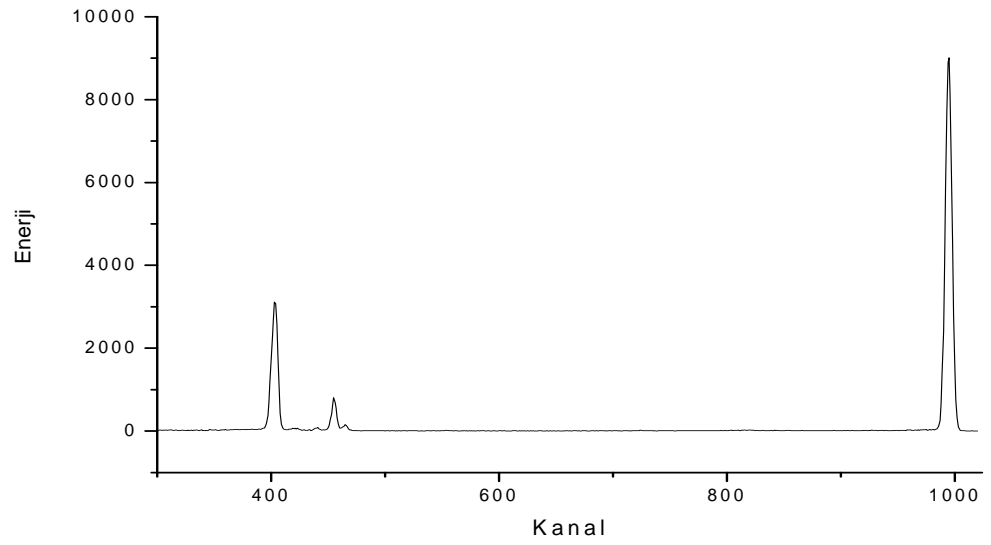


Şekil 4.1. Boş spektrum

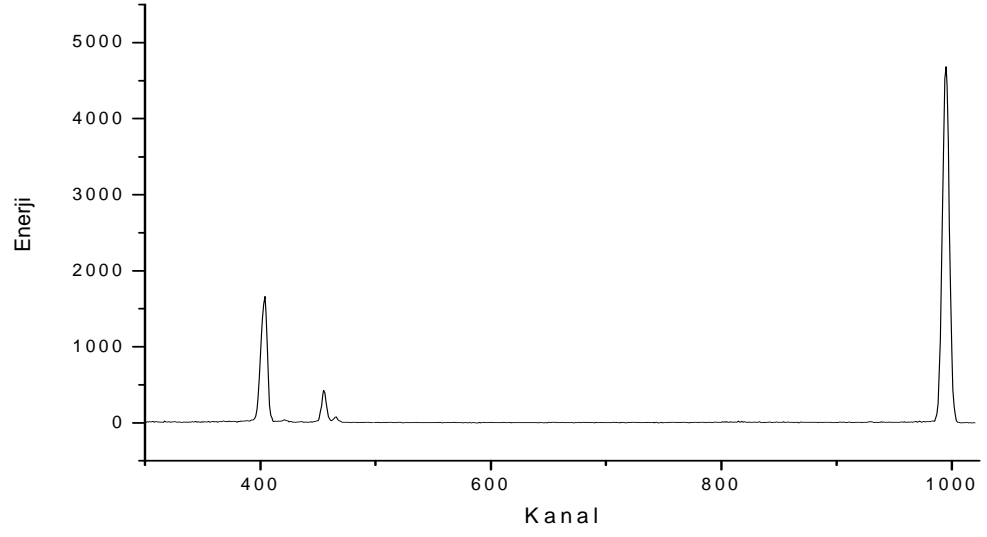
Sonra  $I$  şiddetini bulmak için kaynak ve dedektör arasına numuneler yerleştirildikten sonra akım verilmeden ve 100-8 000 mA DC akımlar uygulanıp Şekil 4.2-5.'de olduğu gibi spektrumlar elde edildi.



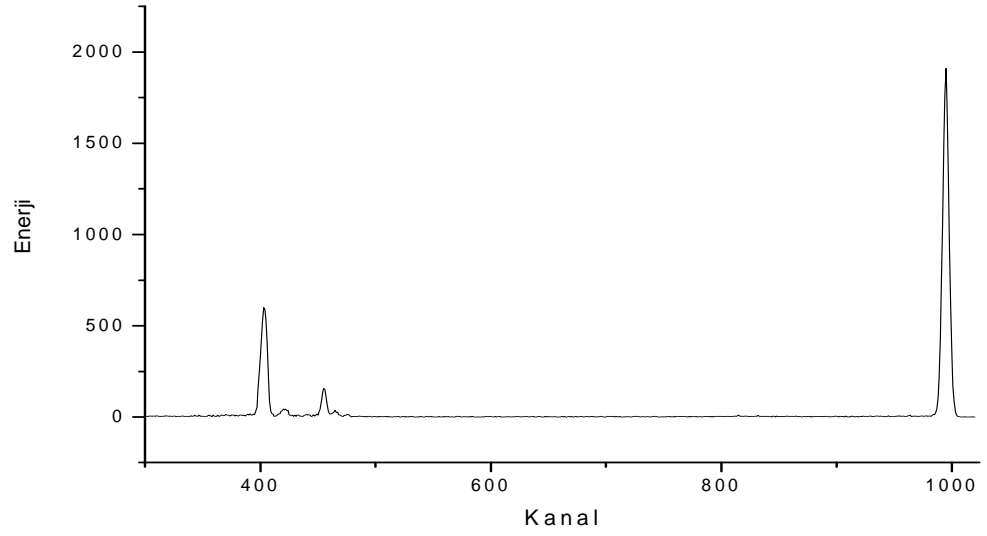
**Şekil 4.2.** Cu numuneden elde edilen spektrum



**Şekil 4.3.** Fe numuneden elde edilen spektrum



**Şekil 4.4.** Pb numuneden elde edilen spektrum



**Şekil 4.5.** Sn numuneden elde edilen spektrum

Spektrometreden alınan veriler WinAxil programına aktarılarak koherent saçılma piklerinin alanları hesaplanıp  $I$  şiddetleri bulundu.

Lambert- Beer kanununu denklemi (2.13)

$$\frac{\mu}{\rho} = -\frac{\ln(I/I_0)}{\frac{m}{\pi r^2}} \quad (4.1)$$

kullanılarak kütle ve yarıçap değerleri, 10 ölçüm için ortalamaları alınıp kütle azaltma katsayıları hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.1.** Numunelerin kütle ve yarıçapları

Elementler	Kütle(gr)	Yarıçap(cm)
Pb	0,1278 ± 0,0013	0,5076 ± 0,0089
Fe	0,0619 ± 0,0009	0,5184 ± 0,0059
Sn	0,2053 ± 0,0008	0,5275 ± 0,0087
Cu	0,0149 ± 0,0006	0,5642 ± 0,0034



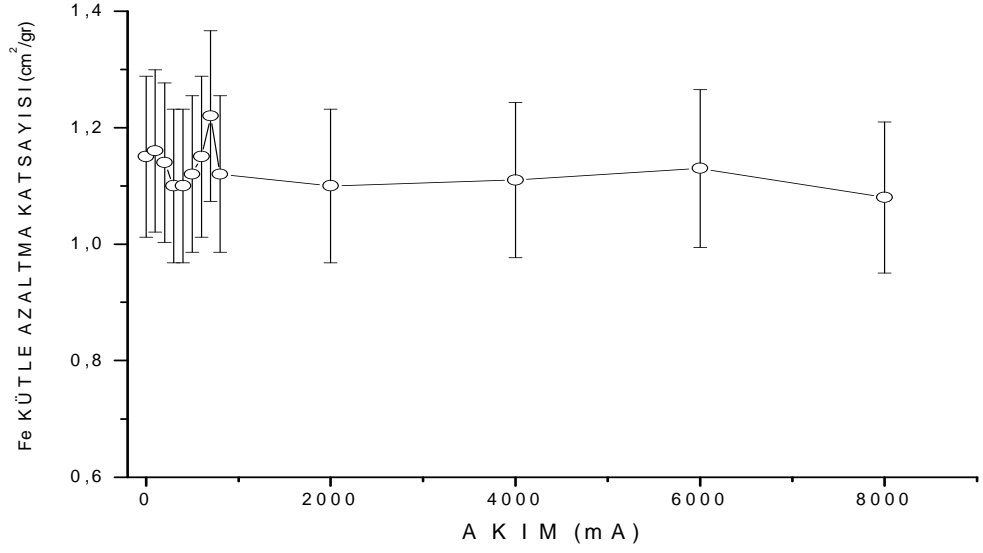
Çizelge 4.2. Akım değerlerine karşılık kütle azaltma katsayıları

Element	Referans Ölçüm	100 mA	200 mA	300 mA	400 mA	500 mA
Sn	$7,18 \pm 8,47.10^{-2}$	$7,21 \pm 8,47.10^{-2}$	$7,16 \pm 8,47.10^{-2}$	$7,26 \pm 8,48.10^{-2}$	$7,22 \pm 8,47.10^{-2}$	$7,24 \pm 8,47.10^{-2}$
Yüzde hata	-7,18	-7,26	-6,92	-8,42	-7,73	-8,03
Fe	$1,08 \pm 7,01.10^{-2}$	$1,13 \pm 7,01.10^{-2}$	$1,11 \pm 7,01.10^{-2}$	$1,10 \pm 7,01.10^{-2}$	$1,12 \pm 7,01.10^{-2}$	$1,22 \pm 7,01.10^{-2}$
Yüzde hata	6,83	5,75	7,03	10,72	10,33	9,02
Pb	$4,61 \pm 9,58.10^{-2}$	$4,49 \pm 9,58.10^{-2}$	$4,48 \pm 9,58.10^{-2}$	$4,44 \pm 9,57.10^{-2}$	$4,49 \pm 9,58.10^{-2}$	$4,44 \pm 9,57.10^{-2}$
Yüzde hata	9,99	12,24	12,47	13,35	12,31	13,35
Cu	$1,48 \pm 7,27.10^{-2}$	$1,54 \pm 7,27.10^{-2}$	$1,60 \pm 7,27.10^{-2}$	$1,56 \pm 7,27.10^{-2}$	$1,55 \pm 7,27.10^{-2}$	$1,63 \pm 7,27.10^{-2}$
Yüzde hata	9,47	5,37	1,72	4,24	5,13	0,23

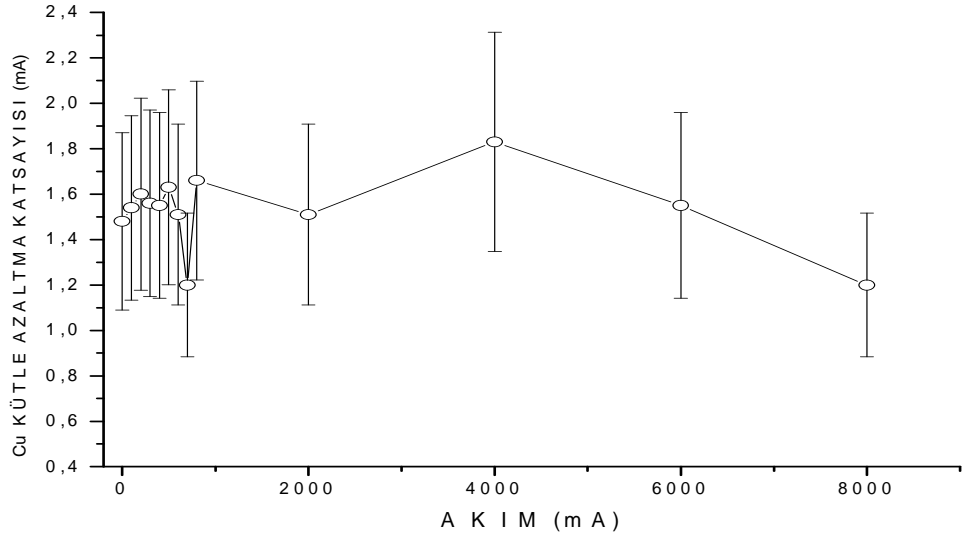
Çizelge 4.2. (devam)

600 mA	700 mA	800 mA	2000 mA	4000 mA	6000 mA	8000 mA
$7,29 \pm 8,48.10^{-2}$	$7,24 \pm 8,47.10^{-2}$	$7,24 \pm 8,47.10^{-2}$	$7,24 \pm 8,47.10^{-2}$	$7,26 \pm 8,48.10^{-2}$	$7,24 \pm 8,47.10^{-2}$	$7,29 \pm 8,48.10^{-2}$
-8,75	-8,02	-8,02	-8,00	-8,40	-8,01	-8,86
$1,15 \pm 7,01.10^{-2}$	$1,12 \pm 7,02.10^{-2}$	$1,10 \pm 7,01.10^{-2}$	$1,10 \pm 7,01.10^{-2}$	$1,14 \pm 7,01.10^{-2}$	$1,16 \pm 7,01.10^{-2}$	$1,15 \pm 7,01.10^{-2}$
6,84	0,72	9,07	10,45	9,62	8,45	11,85
$4,49 \pm 9,58.10^{-2}$	$4,44 \pm 9,57.10^{-2}$	$4,53 \pm 9,58.10^{-2}$	$4,62 \pm 9,58.10^{-2}$	$4,57 \pm 9,58.10^{-2}$	$4,52 \pm 9,58.10^{-2}$	$4,63 \pm 9,58.10^{-2}$
12,36	13,25	11,61	9,82	10,65	11,66	9,50
$1,51 \pm 7,27.10^{-2}$	$1,20 \pm 7,27.10^{-2}$	$1,66 \pm 7,27.10^{-2}$	$1,51 \pm 7,27.10^{-2}$	$1,83 \pm 7,27.10^{-2}$	$1,55 \pm 7,27.10^{-2}$	$1,20 \pm 7,27.10^{-2}$
7,52	26,29	-1,75	7,64	-12,00	4,83	26,12

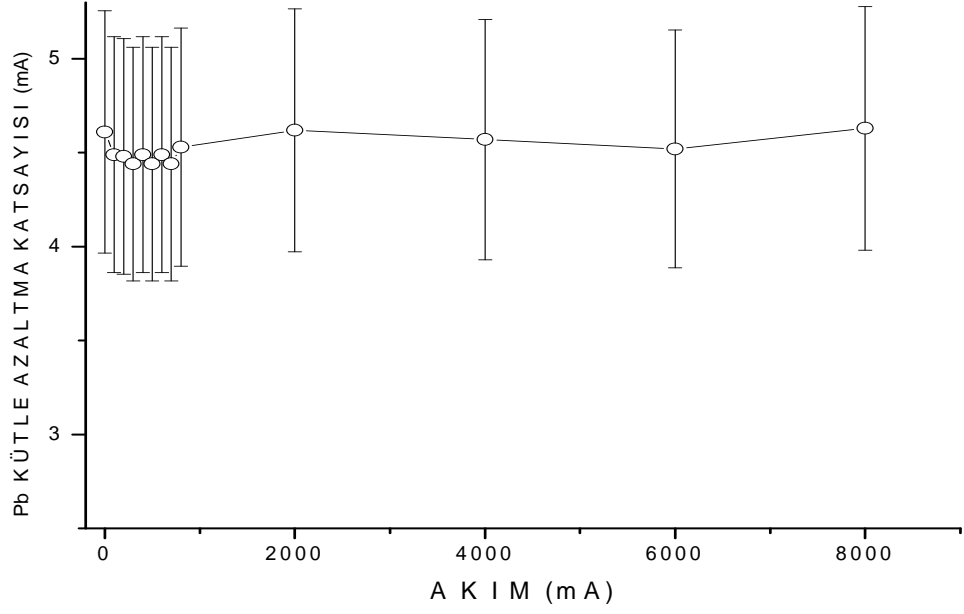
Çizelge 4.2.'deki değerlerden yararlanarak Cu, Fe, Sn, Pb numuneleri için akıma karşılık kütle azaltma katsayıları grafikleri çizildi.



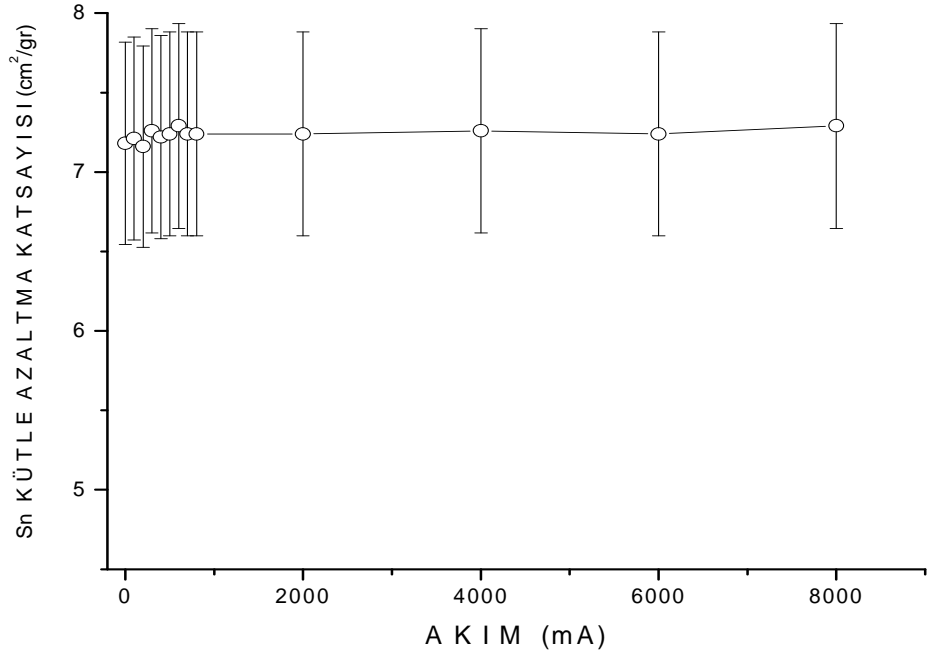
Şekil 4.6. Fe'in, ölçülen kütle azaltma katsayısı'nın akıma karşı çizilen grafiği



Şekil 4.7. Cu'in, ölçülen kütle azaltma katsayısı'nın akıma karşı çizilen grafiği



**Şekil 4.8.** Pb'nun, ölçülen kütle azaltma katsayısı'nın akıma karşı çizilen grafiği



**Şekil 4.9.** Sn'ın, ölçülen kütle azaltma katsayısı'nın akıma karşı çizilen grafiği

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu araştırmada seçilen dört farklı Cu, Fe, Sn, Pb numuneleri üzerine akım geçirilmeden ve doğrudan 100-8 000 mA DC akımlar uygulanarak radyasyon geçirgenliğindeki sapmalar incelenmeye çalışılmıştır. Bu akım değerlerinden daha yüksek akım değerleri, numunede ve kullanılan deney alet ve malzemelerinde aşırı ısınmalara sebep olduğu için uygulanamamıştır. Akım değerleri için Çizelge 4.2.'de görüldüğü gibi radyasyon geçirgenliğinin ölçüsü olan kütle azaltma katsayılarında sapmalar gözlenmiştir. Bu sapmalar aletsel, operatör hatalarından gelebileceği gibi numune üzerine uygulanan akımın numune özelliklerindeki değişimlerinden de kaynaklanabilir. Aynı akım değerindeki aletsel ve operatör hatalarından gelen sapmalar değişik akım değerlerindeki sapmalardan daha küçük olmaktadır. Bu sapmalar sürekli artış veya azalış şeklinde olmayıp bir düzensizlik, yani bir rasgelelik sergilemektedir. Farklı akım değerlerindeki sapmaların numune üzerine uygulanan akım nedeniyle ısınmadan dolayı numunelerde genleşme olacağı ve bu da numune kalınlığını değiştireceğinden kütle azaltma katsayısını etkileyeceği düşünüleceği gibi numune üzerine uygulanan akımın artmasının da kütle azaltma katsayısını etkileyebileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca numunelerin üzerine uygulanan akım değerlerinin artması sonucu olarak ısınmadan dolayı numune direncinde meydana gelen değişimler de bu sapmalara katkıda bulunabilir. Buradaki kütle azaltma katsayılarındaki değişim düşüktür ve lineerlik arz etmemektedir. Bundan dolayı bu verilerin değerlendirilmesi için istatistik veri analizinin yapılması gerekir. Bu sebeple, alınan veriler istatistiksel veri analizi için SPSS istatistik programında yorumlanıp Çizelge 5.1.'deki sonuçlar sunuldu.

**Çizelge 5.1.** SPSS programından alınan istatistik sonuçlar

Numune	Sn	Fe	Pb	Cu
Ölçüm sayısı	13	13	13	13
Korelasyon katsayısı	0,501	-0,427	0,542	-0,247

İstatistik korelasyon analizinde, bir ana kütlede seçilmiş en az iki veya daha fazla

örnek grup alınarak, bu gruplar arasındaki etkileşime bir katsayı yardımıyla bakılır. Bu katsayı korelasyon katsayısıdır ve  $r$  ile gösterilir. Korelasyon katsayısı, değişkenlerin yönü, etkileşimlerin nasıl olduğu hakkında bilgi verir. Değişkenlerin birbiri arasındaki etkileşim var mı, varsa etkileşimin çok fazla mı yani kuvvetli mi olduğu ve gözlem gruplarından birinin gözlem değerleri artarken diğerinin azalıyor mu yoksa aynı yönde mi değerleri değişiyor olduğu gözlenebilir. Korelasyon katsayısı  $-1$  ile  $+1$  arasında değişen değerler alır. Katsayı, etkileşimin olmadığı durumda  $0$ , tam ve kuvvetli bir etkileşim varsa  $1$ , ters yönlü ve tam bir etkileşim varsa  $-1$  değerini alır. Korelasyon katsayısının yorumunu, tam değerler dışında ara değerler için yapmak oldukça güçtür. Ara değerler için katsayı değerlendirirken, örnek gözlem sayısı ( $n$ ) oldukça önemlidir. Çok fazla gözleme dayanan değerlendirmelerde  $0,25$ 'e kadar düşmüş bir korelasyon katsayısı bile anlamlı sayılabilmektedir. Fakat az sayıda,  $10-15$  gözleme dayanan değerlendirmelerde korelasyon katsayısının  $0,71$  üstünde olması beklenir. Ana kütleye göre normal sayılacak kadar bir gözlem sayısı alınarak bakılmış gözlem grupları için genellikle,  $0-0,49$  arasında ise korelasyon zayıf,  $0,5-0,74$  arasında ise orta derecede,  $0,75-1$  arasında ise kuvvetli ilişki vardır denilmektedir.

Bulunan deneysel sonuçlara göre etkileşim var gibi görünse de korelasyon katsayıları  $0,71$ 'den küçük olduğu için element numunelerinin kütle soğurma katsayıları ile akım arasında istatistiksel olarak sapmaların önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır.

**KAYNAKLAR**

- Angelone, M., Bubba, T., Esposito, 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*, 64 (2001), 1063-1073.
- Boylestad, R., Nashelsky, L., 1994. *Endüstriyel Okullar İçin Elektronik Elemanlar ve Devre Teorisi*. Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, 915 s, Ankara.
- Dachun, W., Xunliang, D., Xinfu, W., Hua Y., Hongyu Z., Xinyin S., Guanghua Z., 1992. X-ray attenuation coefficients and photoelektric cross sections of Cu and Fe in the range 3 keV to 29 keV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 71 (1992), 241-248.
- Demir, D., Keleş, G., 2006. Radiation transmission of concrete including boron waste for 59.54 and 80.99 keV gamma rays. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 245 (2006), 501-504.
- Han, İ., 2005. Atom numarası  $78 \leq Z \leq 92$  aralığındaki bazı elementlerin  $L\alpha$ ,  $L\beta$ ,  $L\gamma$  X-ışını ve Compton saçılma diferansiyel tesir kesitlerinin ölçümü. Yüksek Lisans, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Midgley, S., 2006. Energy resolution for accurate measurements of the X-ray linear attenuation coefficient. *Radiation Physics and Chemistry*, 75 (2006), 936-944.
- Moreira, A. C., Appoloni, C. R., 2006. Mass attenuation coefficient of the Earth, Moon and Mars samples over 1 keV-100 GeV energy range. *Applied Radiation and Isotopes*, 64 (2006), 1065-1073.
- Polat, R., 2002. EDXRF tekniği kullanılarak bazı elementlerin K tabakası soğurma-sıçrama faktörleri ve sıçrama oranlarının tayini. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Saloman, E. B., Hubbell J. H., Scofield J. H., 1988. X-ray attenuation cross sections for energies 100 eV to 100 keV and elements  $Z=1$  to  $Z=92$ . *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 38 (1988), 1-196.
- Serway, R. A., Beichner, R. J., 2002. *Fen ve Mühendislik İçin Fizik 2*. Palme Yayıncılık, 1243 s, Ankara.
- Seven, S., Karahan, I. H., Bakkaloglu, Ö. F., 2004. The measurement of total mass attenuation coefficients of CoCuNi alloys. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 83 (2004), 237-242.
- Söğüt, Ö., Seven S., Baydaş E., Büyükkasap E. Küçükönder A., 2001. Chemical effects on  $K\beta/K\alpha$  X-ray intensity ratios of Mo, Ag, Cd, La, Ce compounds and total mass attenuation coefficients of Fe and Cu. *Spectrochimica Acta Part B*, 56 (2001), 1367-1374.
- Turgut, U., 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 & Radiative Transfer*, 92 (2005), 143-151.
- Turgut, Ü., Şimşek, Ö., Büyükkasap, E., Ertuğrul, 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 (2004), 349-352.

- Younan, H., 2001. Studies on Pure element intensities, mass absorption coefficients, and parameters ( $n$  and  $n_0$ ) for energy-dispersive X-ray fluorescence analysis. *J. Trace and Microprobe Techniques*, 19 (1), 35-44.
- Zor, M., Orhun, Ö., Şenyel, M., Tanışlı, M., Aybek, A. Ş., Aksay, S., 1998. *Fizik. T. C. Anadolu Üniversitesi Yayınları*, 203 s, Eskişehir.



## ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Erzurum'da doğan Yusuf KÖSE ilk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 1993 yılında başladığı Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden 1997 yılında mezun oldu. 1998 yılından beri Fen Bilgisi öğretmeni olarak görev yapmaktadır. 2004 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans yapmaya başladı.