

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**65≤Z≤92 BÖLGESİNDE BAZI ELEMENTLERİN K VE L X-IŞINI FLORESANS  
PARAMETRELERİNİN ÖLÇÜLMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Gökhan APAYDIN**

**AĞUSTOS 2006  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**65≤Z≤92 BÖLGESİNDE BAZI ELEMENTLERİN K VE L X-İŞİNİ FLORESANS  
PARAMETRELERİNİN ÖLÇÜLMESİ**

**Gökhan APAYDIN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Doktor”  
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Enstitüye Verildiği Tarih: 25.07.2006  
Tezin Savunma Tarihi : 24.08.2006**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU  
Jüri Üyesi: Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA  
Jüri Üyesi: Prof. Dr. Selami KARSLIOĞLU  
Jüri Üyesi: Prof. Dr. Hüseyin KARAL  
Jüri Üyesi: Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK**

**Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT**

**Trabzon 2006**

## ÖNSÖZ

Bazı ağır atom numaralı elementlerin K ve L X-ışını floresans parametrelerinin ölçümü konulu çalışmada örneklerin hazırlanması ve tüm ölçümlerinin yapılması K.T.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde, Atom ve Molekül Fiziği Araştırma laboratuvarı imkânlarıyla yapıldı.

Doktora tez çalışmamın her aşamasında benden yardımlarını ve gerek maddi gerek manevi desteğini esirgemeyen danışmanım sayın Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU'na en içten dileklerle teşekkür ederim.

Doktora çalışmamı sürdürebilmem için Fizik bölümündeki araştırma laboratuvarındaki çalışmalarında her türlü olanakları kullanmama izin veren Fizik Bölüm Başkanımız sayın Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA'ya teşekkür ederim. Tezimin hazırlanmasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, sayın Prof. Dr. Ekrem YANMAZ'a ve Doç. Dr. Uğur ÇEVİK'e teşekkür ederim. Ayrıca deney çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Birol ERTUĞRAL'a ve Arş. Gör. Hasan BALTAŞ' a teşekkür ederim.

Bu zamana kadar her türlü desteğini esirgemeyen aileme ve sevgili eşime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Gökhan APAYDIN

Trabzon 2006

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ .....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Gama ve X-Işınlarının Madde ile Etkileşmesi.....	5
1.2.1. Fotoelektrik Olay .....	6
1.2.2. Çift Oluşumu .....	8
1.2.3. Koherent Saçılma .....	8
1.2.4. İnkohherent Saçılma .....	9
1.2.4.1. Compton Olayı .....	9
1.3. Floresans Verim ve Coster -Kronig Geçişler .....	10
1.4. Tesir Kesiti .....	12
1.5. Karakteristik X-Işınlarının Oluşumu .....	12
1.6. Atomun Uyarılması .....	14
1.6.1. Radyoizotop Kaynaklar .....	14
1.6.2. Radyoizotop <sup>57</sup> Co Kaynağının Bozunumu .....	16
1.7. K Kabuğu X-Işını Üretim Tesir Kesiti Teorik Hesabı .....	17
1.8. L Kabuğu X-Işını Üretim Tesir Kesiti Teorik Hesabı.....	19
1.9. K ve L X-Işını Şiddet Oranı Teorik Hesabı.....	24
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	25
2.1. Enerji Ayrımlı X-ışını Floresans Spektroskopisi (ED-XRF) .....	25
2.1.1. Si(Li) Yarıiletken Dedektörü ve Çalışma Prensibi .....	27
2.1.2. Sayma Sistemi .....	30
2.1.2.1. Yüksek Voltaj Kaynağı .....	30

**Sayfa No:**

2.1.2.2. Ön Yükseltici.....	30
2.1.2.3. Yükseltici.....	30
2.1.2.4. Analog Dijital Dönüştürücü (ADC) .....	31
2.1.2.5. Çok Kanallı Analizör (MCA).....	31
2.2. Dedektör Verimi .....	31
2.2.1. Dedektör Verimliliğinin Ölçülmesi.....	32
2.3. Deney Geometrisi.....	34
2.4. Numunelerin Hazırlanması.....	35
2.5. Numunelerin Uyarılması ve Sayılması.....	36
2.6. K ve L Kabuğu X-Işını Üretim Tesir Kesiti Deneysel Hesabı.....	40
2.6.1. Soğurma Düzeltme Faktörünün Hesabı.....	40
2.6.2. $I_0Ge$ 'nin Hesabı .....	41
2.7. K ve L Kabuğu Floresans Verimi Deneysel Hesabı.....	43
2.8. K ve L X-ışını Şiddet Oranı Deneysel Hesabı.....	43
3. BULGULAR .....	45
3.1. Tesir Kesiti İfadesi ile İlgili Bulgular.....	45
3.2. Floresans Verim İfadesi ile İlgili Bulgular.....	53
3.3. Şiddet Oranı İfadesi ile İlgili Bulgular .....	57
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	66
5. ÖNERİLER .....	70
6. KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	80

## ÖZET

Bu çalışmada  $65 \leq Z \leq 92$  arasındaki atom numarsına sahip bazı elementlerin K ve L kabuğuna ait üretim tesir kesitleri, floresans verim ve şiddet oranları gibi X-ışını floresans parameterleri deneysel olarak ölçüldü. Bu parametreler teorik olarak da hesaplandı. Numuneler 925 MBq'lık bir  $^{57}\text{Co}$  radyoaktif kaynağından yayımlanan 123,6 keV'lik enerji ile uyarıldı. Yayımlanan karakteristik X-ışınları, ayırım gücü 5,9 keV'de 160 eV olan bir Si(Li) yarıiletken dedektörü ile sayıldı.

Elde edilen deneysel sonuçlar, hesaplanan teorik değerler, diğer araştırmacıların deneysel ve teorik değerleri karşılaştırıldı. Gerek deneysel bulguların ve gerekse teorik hesaplamaların diğer araştırmacıların değerleri ile uyum içinde olduğu görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** K ve L Kabuğu, Tesir Kesiti, Floresans Verim, Şiddet Oranı, Si(Li) Dedektör, ED-XRF,  $^{57}\text{Co}$  Radyoaktif Kaynak

## SUMMARY

### **Measurement of K and L Shell X-ray Fluorescence Parameters for Some Elements in the Region of $65 \leq Z \leq 92$**

In this study, K and L shell X-ray fluorescence parameters, production cross sections, fluorescence yield and intensity ratios have been measured for some elements in the region  $65 \leq Z \leq 92$ . These parameter values have been theoretically calculated. Samples are irradiated by 123,6 keV photons energy emitted by an 925 MBq  $^{57}\text{Co}$  radioisotope source. The emitted Characteristic X-rays are counted by using a Si(Li) semiconductor detector with resolution 160 eV at 5,9 keV.

The obtained experimental values have been compared with calculated theoretical values and other experimental and theoretical values in literature. Both experimental and theoretical values are in good agreement with other researchers values.

**Key Words:** K and L Shell, Cross Section, Fluorescence Yields, Intensity Ratios, Si(Li) Detector, ED-XRF,  $^{57}\text{Co}$  Radioactive Source

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No:

Şekil 1.	Karakteristik K ve L X-ışınlarını oluşturan bazı geçişler.....	1
Şekil 2.	Gama ve X-ışınlarının madde ile etkileşimi .....	6
Şekil 3.	Fotoelektrik olay (a) Gelen X-ışını fotonu (b) Fotoelektron oluşumu (c) K kabuğunda oluşan bir boşluğun doldurması sonucu oluşan X-ışını (d) X-ışını fotonunun dış tabakadaki elektronlardan birini sökmesi sonucu oluşan Auger elektronu .....	7
Şekil 4.	Compton saçılması .....	10
Şekil 5.	<sup>57</sup> Co Radyoaktif kaynağının bozunma şeması (Kistner ve Sunyar, 1965) .....	16
Şekil 6.	ED-XRF sisteminin bölümleri.....	26
Şekil 7.	Si Yarıiletken diyotunun basit görünümü ve diğer kısımlar.....	29
Şekil 8.	Deney geometrisi.....	34
Şekil 9.	ED-XRF sistemin görüntüsü .....	36
Şekil 10.	Hg elementine ait L $\gamma$ pikleri .....	37
Şekil 11.	Tb elementine ait K $\alpha_{1,2}$ ve K $\beta_{1,2}$ pikleri.....	38
Şekil 12.	Bi elementine ait karakteristik K ve L X-ışınları .....	39
Şekil 13.	Th elementine ait karakteristik L X-ışını alt kabukları.....	39
Şekil 14.	I <sub>0</sub> G $\epsilon$ değerinin enerjiyle değişimi .....	42
Şekil 15.	$\sigma_{K\alpha 1}$ X-ışını üretim tesir kesiti .....	49
Şekil 16.	$\sigma_{K\alpha 2}$ X-ışını üretim tesir kesiti.....	49
Şekil 17.	$\sigma_{K\beta 1}$ X-ışını üretim tesir kesiti.....	50
Şekil 18.	$\sigma_{K\beta 2}$ X-ışını üretim tesir kesiti.....	50
Şekil 19.	L <sub>I</sub> alt kabuğu X-ışını üretim tesir kesitleri.....	51
Şekil 20.	L <sub>II</sub> alt kabuğu X-ışını üretim tesir kesitleri.....	51
Şekil 21.	L <sub>III</sub> alt kabuğu X-ışını üretim tesir kesitleri.....	52



**Sayfa No:**

Şekil 22.	K kabuğu floresans verimi.....	56
Şekil 23.	L kabuğu ortalama floresans verimi.....	56
Şekil 24.	$K_{\beta}/K_{\alpha}$ X-ışını şiddet oranının atom numarasıyla değişimi.....	62
Şekil 25.	$K_{\alpha 2}/K_{\alpha 1}$ X-ışını şiddet oranının atom numarasıyla değişimi.....	62
Şekil 26.	$K_{\beta 2}/K_{\beta 1}$ X-ışını şiddet oranının atom numarasıyla değişimi .....	63
Şekil 27.	$L_{3\gamma}/L_{3\alpha}$ ve $L_{2\gamma}/L_{2\beta}$ X-ışını şiddet oranlarının atom numarasıyla değişimi.....	63
Şekil 28.	$L_{3\beta}/L_{3\alpha}$ , $L_{2\gamma}/L_{2\eta}$ ve $L_{1\gamma}/L_{1\beta}$ X-ışını şiddet oranları atom numarasıyla değişimi.	64
Şekil 29.	$L_{\alpha}/K_{\alpha}$ ve $L_{\beta}/K_{\beta}$ X-ışını şiddet oranlarının atom numarasıyla değişimi.....	64
Şekil 30.	$L_{\beta}/K_{\alpha}$ ve $L_{\alpha}/K_{\beta}$ X-ışını şiddet oranlarının atom numarasıyla değişimi.....	65
Şekil 31.	$L_{\gamma}/K_{\alpha}$ ve $L_{\gamma}/K_{\beta}$ X-ışını şiddet oranlarının atom numarasıyla değişimi .....	65

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No:

Tablo 1.	K ve L X- ışını geçişlerinin gösterimi .....	13
Tablo 2.	Radyasyon tip ve özellikleri .....	15
Tablo 3.	Atom numarasına göre $\sigma_K^P$ ve $F_{Ki}$ değerleri .....	18
Tablo 4.	Atom numarasına göre $F_{ij}$ ve $\eta_{KLi}$ değerleri .....	22
Tablo 5.	Şiddetlendirme faktörleri .....	23
Tablo 6.	Farklı dedektörler için farklı enerjilerde FWHM değerleri .....	26
Tablo 7.	Çalışmada kullanılan elementler ve özellikleri .....	35
Tablo 8.	Atom numarası $65 \leq Z \leq 92$ arasındaki bazı elementlere ait $K_{\alpha 1}$ ve $K_{\alpha 2}$ üretim tesir kesiti deneysel ve teorik değerleri (barns/atom) .....	46
Tablo 9.	Atom numarası $65 \leq Z \leq 92$ arasındaki bazı elementlere ait $K_{\beta 1}$ ve $K_{\beta 2}$ üretim tesir kesiti deneysel ve teorik değerleri (barns/atom) .....	47
Tablo 10.	Atom numarası $75 \leq Z \leq 92$ arasındaki bazı elementlere ait L alt kabuğu üretim tesir kesiti deneysel ve teorik değerleri (barns/atom) .....	48
Tablo 11.	K kabuğu floresans verimi .....	54
Tablo 12.	L kabuğu ortalama floresans verimi .....	55
Tablo 13.	$K_{\beta}/K_{\alpha}$ şiddet oranı .....	58
Tablo 14.	$K_{\alpha 2}/K_{\alpha 1}$ ve $K_{\beta 2}/K_{\beta 1}$ şiddet oranları .....	59
Tablo 15.	$L_{3\gamma}/L_{3\alpha}$ , $L_{3\beta}/L_{3\alpha}$ , $L_{2\gamma}/L_{2\beta}$ , $L_{2\gamma}/L_{2\alpha}$ ve $L_{1\gamma}/L_{1\beta}$ şiddet oranları .....	60
Tablo 16.	$L_{\alpha}/K_{\alpha}$ , $L_{\beta}/K_{\beta}$ , $L_{\beta}/K_{\alpha}$ , $L_{\alpha}/K_{\beta}$ , $L_{\gamma}/K_{\alpha}$ ve $L_{\gamma}/K_{\beta}$ şiddet oranları .....	61
Tablo 17.	Deneysel hata kaynağı ve miktarları .....	69

## SEMBOLLER DİZİNİ

ADC	: Analog sayısal dönüştürücü
$A^D$	: Delbrück saçılma genliği
$A^N$	: Nükleer rezonans saçılma genliği
$A^R$	: Rayleigh saçılma genliği
$A^T$	: Thomson saçılma genliği
Bq	: Bekerele
Ci	: Curie
c	: Işık hızı
$d\sigma_{SC}/d\Omega$	: İnkohherent saçılma tesir kesiti
$d\sigma_{SC}/d\Omega$	: Klein-Nishina tesir kesiti
$e^-$	: Elektron
$e^+$	: Pozitron
E	: Gelen foton enerjisi
$E_{fe}$	: Sökülen foton enerjisi
$f_{ij}$	: Coster-Kronig geçişleri
$f_{Au}$	: Altın elektrotlardaki soğurma için düzeltme faktörü
$f_{Be}$	: Be pencere soğurma düzeltme faktörü
$f_g$	: Geometrik faktör
$f_d$	: Ölü bölge soğurma düzeltme faktörü
$f_R$	: Açığa bağlı dedektör verimi için düzeltme faktörü
F	: Fano faktör
$F_{Ki}$	: Ki X-ışınlarının kısmi emisyon hızı ( $i=\alpha 1, \alpha 2, \beta 1, \beta 2$ )
$F_{ij}$	: L X-ışını kısmi emisyon hızı ( $i=1, 2, 3$ ve $j=l, \alpha, \beta, \gamma, \eta$ )
FET	: Alan etkili transistör
FWHM	: Bir pikin yarı maksimumdaki tam genişliği
G	: Geometrik faktör
h	: Planc sabiti
$I_0$	: Gelen gama veya X-ışını demeti
I	: $I_0$ şiddetindeki bir demetin x kalınlıklı numuneyi geçtikten sonraki şiddeti
$I_{Ki}$	: i. K X-ışını grubunun şiddeti ( $i=\alpha 1, \alpha 2, \beta 1, \beta 2$ )

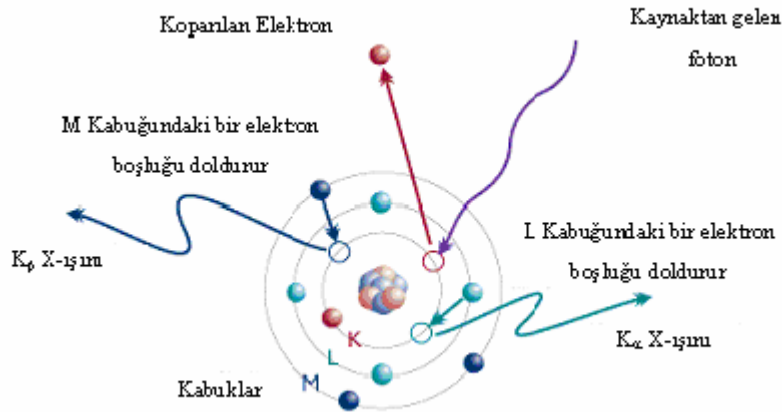
$L_i$	: ( $i=1,2,3$ ) L alt tabakaları
MCA	: Çok kanallı analizör
$N$	: Karakteristik X-ışını şiddeti
$M_i$	: Numune içindeki analitik madde miktarı
$m_0$	: Durgun kütle
$R$	: Direnç
$Q$	: Yük
$S(x,Z)$	: İnkohherent saçılma fonksiyonu
$T_{1/2}$	: Radyoizotop için yarı ömür
$x$	: Kalınlık (cm)
$Z$	: Atom numarası
$\beta_{K,Li}$	: Soğurma düzeltme faktörü
$\varepsilon$	: Elektron-boşluk çifti oluşturmak için gerekli enerji
$\varepsilon_I$	: İntiristik verim
$\varepsilon_{K,Li}$	: Dedektör verimi
$\mu$	: Toplam kütle soğurma katsayısı ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )
$\nu$	: Foton frekansı
$\Gamma$	: Seviye genişliği
$\Gamma_{Li}$	: Li alt tabakalara olan ışımalı geçiş ihtimaliyetidi
$\tau$	: Fotoelektrik soğurma katasayısı
$\eta_{KLi}$	: K tabakasından Li alt tabakasına boşluk geçiş ihtimali ( $i=1,2,3$ )
$\kappa$	: Şiddetlendirme parametresi
$\lambda$	: Gelen fotonun dalga boyu
$\lambda'$	: Saçılan fotonun dalga boyu
$\sigma_{K,L}^x$	: K ve L üretim tesir kesiti
$\sigma_K^P$	: K kabuğu iyonizasyon tesir kesiti
$\sigma_{Li}^P$	: L kabuğu iyonizasyon tesir kesiti
$\Omega_0$	: Katı açısı
$\rho$	: Yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
$\rho D$	: Numune kalınlığı
$\phi_{K,L,M}$	: K, L ve M kabuğunun bağlanma enerjisi

$\omega_i$  : ( $i=1,2,3$ ) L alt kabuğu floresans verimi  
 $\omega_L$  : L kabuğu ortalama floresans verim  
 $\omega_K$  : K kabuğu floresans verim

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Atomların yapılarını belirlemede etkili spektroskopi yöntemlerinden biri de X-ışını spektroskopisi olarak bilinmektedir. Bu spektroskopinin temel teknikleri, genellikle X-ışınlarının soğurulması, saçılması ya da yayılması esasına dayanmaktadır. Atomların üzerine düşürülen foton, proton, elektron veya iyon demetleri atom tarafından soğurulması ve yayılması esnasında iç yörüngelerinden bir elektron sökebilir. Bunun sonucunda atomda yeniden bir elektron düzenlenmesi gerçekleşir ve bazı kabuklarda boşluk oluşur. K kabuğunda meydana gelen bir boşluk ya L kabuğundan geçişler ya da M, N ve O kabuklarından geçişler ile doldurulabilir (Şekil 1). Bu geçişler sırasında karakteristik X-ışınları yayınlanır. Yayınlanan bu ışınlar kabuklar arası geçişlere bakılarak  $K_{\alpha}$  [K-L<sub>1,2,3</sub>],  $K_{\beta}$  [K-M<sub>2,3</sub>N<sub>2,3</sub>] gibi sembollerle ifade edilir. Karakteristik X-ışınlarının her elementte farklı özellik göstermesi sebebiyle atomik parametre ölçümlerinde farklılıklar arz edecektir. Elementlere ait atomik parametrelerin, özellikle tesir kesiti parametresinin ( $\sigma_{K,L}$ ) doğru olarak tespit edilmesi, başta atom ve molekül fiziği, sağlık fiziği ve XRF yöntemi kullanılarak örneklerin kalitatif ve kantitatif analizlerinde oldukça önemlidir.



Şekil 1. Karakteristik K ve L X-ışınlarını oluşturan bazı geçişler

Ayrıca, elementlerin K, L ve M kabuklarına ait floresans tesir kesitleri ve floresans verim değerlerinin bilinmesi; bilimsel araştırmalarda özellikle nükleer santrallerde ve diğer nükleer tesislerde radyasyondan korunma, radyoaktif maddelerin muhafazası, uzay çalışmalarında, hatta cep telefonlarının kullanımı ve üretilmesinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte medikal uygulamalarda, tıpta biyolojik doku analizinde, radyasyon terapisinde doktor ve hasta sağlığı için, plastik materyallerde, polimerlerde, mineral içeren ve içermeyen bileşiklerin incelenmesinde, içeriği bilinmeyen maddelerin konsantrasyon analizi ve yapısal özelliklerinin belirlenmesinde, atom ve moleküllerde elektron yoğunluğu ve kütle yoğunluğu, kütle soğurma katsayısı azalması gibi sabitlerin elde edilmesinde ve buna benzer bir çok alanda geniş bir şekilde kullanılmaktadır.

K kabuğuna ait X-ışını floresans parametereleri, özelliklede tesir kesiti ve floresans verim ifadeleri, farklı dedektör, uyarıcı ve yöntem kullanılmak suretiyle günümüze kadar pek çok araştırmacı tarafından yapılmıştır. X-ışını spektroskopisi alanındaki bazı araştırmacıların çalışmalarına bakarsak; Gowda ve Sanjeevaiah, (1973,1974) bir kuyu tipi plastik sintilasyon sayacı yardımıyla Cu, Zr, Ag, Sn Ta, Au ve Pb elementleri için K kabuğu fotoelektrik tesir kesitlerini 145 (60 mCi-<sup>141</sup>Ce), 279.1 (20 mCi-<sup>203</sup>Hg) ve 411.8 (100 mCi-<sup>198</sup>Au) keV'lik gama ışınları altında ölçmüşlerdir. Çalışmalarında hemem hemen 4 $\pi$  ye yakın bir geometri seçmişler ve background spektrum düzeltmesi yapabilmek için fotoelektrik katkısı az olan alüminyum elementinin piklerinden faydalanmışlardır. Allawadhi ve Sood, (1975) 33  $\leq$  Z  $\leq$  74 arası atom numaralı bazı elementlerde 37 ve 74 keV'lik enerjili hem gama hemde X-ışınlarını kullanarak, Ranganathaiyah, vd., (1979,) 50  $\leq$  Z  $\leq$  92 arasındaki bazı elementlerde 514, 661.6, 765.8 ve 1115.5 keV'lik enerjiler yardımıyla K kabuğu fotoelektrik tesir kesitlerinin deneysel değerlerini bir NaI(Tl) detektörü kullanarak bulmuşlardır. Prakhya vd., (1986) <sup>170</sup>Tm kaynağından yayımlanan 84.26 keV'lik gama ışınları ve HPGe detektör kullanarak, Tb, Ho, Er ve Pt elementlerinin K kabuğu fotoelektrik tesir kesitlerini ölçmüşlerdir. Kumar vd., (1986) 34  $\leq$  Z  $\leq$  46 arası atom numaralı bazı elementlerin K kabuğu fotoelektrik tesir kesitlerini, NaI(Tl) detektörü kullanarak ölçmüşlerdir. Çalışmada <sup>241</sup>Am kaynağıyla Sn foyili uyarılmış, bundan yayımlanan 26 keV'lik Sn'nin K X-ışınları enerjisi kullanılmıştır. Pious vd., (1992) Fe, Cu, Zn, Ge ve Mo elementlerinin toplam K kabuğu floresans verim değerlerini, 59.5 (300 mCi-<sup>241</sup>Am) keV'lik gama ışınları ve bir Xe doldurulmuş gazlı sayaç ile ölçmüşlerdir. Balarishna vd., (1994) bazı nadir toprak elementleri ve ağır elementlerin K kabuğu floresans verimlerini 59.5 ve 279.2 keV'lik gama ışınları yardımıyla, bir HPGe dedektörü

kullanarak ölçmüşlerdir. Horakeri vd., (1997,1998) floresans verim hesaplamak için numuneden gelen K X-ışını sayısını K kabuğundaki boşluk sayısına bölerek elde ettiği denklemi kullanmıştır. Bu yöntemle, 27–662 keV arası enerji ve NaI(Tl) detektörü kullanarak  $59 \leq Z \leq 83$  arası atom numaralı elementlerde floresans verim değerleri hesapladı. Bhan vd., (1981) yaptığı çalışmada  $11 \leq Z \leq 69$  aralığındaki bazı elementlerin K X-ışını floresans tesir kesitlerini,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{125}\text{I}$  ve  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif kaynaklarını kullanarak ölçmüştür. Budak vd., (1999)  $44 \leq Z \leq 68$  ve Karabulut, vd., (1999),  $26 \leq Z \leq 42$  element bölgesinde  $K_{\alpha}$  ve  $K_{\beta}$  floresans tesir kesitlerini 59.5 keV' lik gama fotonlar ve Si(Li) detektör kullanarak ölçmüşlerdir. Baraldi vd., (2000) Gd, Dy ve Er elementlerinin K fotoelektrik emisyon tesir kesitlerini ( $\omega_K \tau_K$ ), 59.54 keV'lik fotonlar ile uyararak ve bir Ge detektörü kullanarak hesaplamışlardır. Durak ve Özdemir (2001a), Özdemir vd., (2002), Şimşek vd., (2002a,b), Söğüt vd., (2003) çalışmalarında 59.5 keV'lik fotonlar ile periyodik tablodaki bazı elementleri uyararak, Si(Li) ve Ge(Li) detektörleri yardımıyla K kabuğuna ait floresans tesir kesitlerini ve floresans verimlerini ölçmüşlerdir. Ertuğrul (2003),  $57 \leq Z \leq 68$  arasındaki bazı elementlerin K, L ve üst tabaka fotoiyonizasyon tesir kesitini ölçmüştür. Bunun için 59.5 keV'lik fotonlar ve Si(Li) detektörü kullanmıştır. Gudennavar vd., (2003a,b) aynı yıl yaptığı iki çalışmada;  $30 \leq Z \leq 50$  ve  $62 \leq Z \leq 82$  bölgesindeki elementlerin K kabuğu floresans parametrelerini ölçmüşlerdir. Bu ölçümler için  $2\pi$  geometrisinde, 122 keV ( $^{57}\text{Co}$ ), 22.6 ve 88 keV ( $^{109}\text{Cd}$ ), 32.6 keV Ba K x-ışınları ( $^{137}\text{Cs}$ ) ve 59.5 keV ( $^{241}\text{Am}$ ) enerjili gama kaynaklarını ve bir NaI(Tl) detektörünü kullanmışlardır.

Bazı araştırmacılar da uyarıcı olarak radyoaktif kaynak yerine proton/elektron hızlandırıcılar ve SEM kullanarak K X-ışını tesir kesitlerini, şiddet oranlarını ve auger geçiş ihtimaliyetini ölçmüşlerdir (Singh vd., 1991; Fazinic vd., 1996; Cipolla, 1999; Hajivaliei vd., 2000; Zhou vd., 2001).

Literatür incelememiz de  $^{57}\text{Co}$  radyoaktif kaynağı kullanılarak ölçülmüş K X-ışını üretim tesir kesitleri ve floresans verim değerlerine çok az sayıda rastlanmıştır. Saleh ve Al-Saleh, (1987)  $73 \leq Z \leq 82$  aralığındaki bazı elementlerin  $K_{\alpha 1}$  ve  $K_{\beta 1}$  floresans tesir kesitlerini, yine aynı element aralığı için  $K_{\alpha 2}$  ve  $K_{\beta 2}$  floresans tesir kesitlerini Ge dedektörü yardımıyla hesaplamışlardır (Saleh ve Abu El-Haija, 1988). Jahagirdar vd., (1993,1996) ve Bennal vd., (2005) NaI(Tl) dedektörünü, Durak ve Şahin (1998) Ge(Li) dedektörünü ve Seven (2002) ise HPGe dedektörünü kullanarak Cs ile Pb arasındaki bazı elementlerin K



kabuğu tesir kesiti değerlerini ölçmüşlerdir. Yashoda vd., (2005) yaptıkları çalışma da 14,4 ve 122 keV'lik enerjili fotonlarla  $22 \leq Z \leq 52$  arasındaki bazı elementlerin K kabuğu floresans verimlerini, bir termoelektrot soğutmalı XR-100 Si-PIN diot dedektör kullanarak ölçmüşlerdir. Ertuğrul ve Şimşek, (2002) ise yaptıkları çalışmada  $K\beta_2'/K\beta_1'$  ve  $K\beta_1'/K\alpha_1$  relatif şiddet oranlarını  $69 \leq Z \leq 92$  element aralığındaki 13 element için ölçmüşlerdir.

L kabuğuna ait tesir kesitleri, floresans verimleri ve şiddet oranları ifadeleri literatürde oldukça geniş bir aralıkta yer almaktadır. Bunun temel sebebi genelde kullanılan radyoaktif kaynakların, periyodik çetveldeki pek çok elementin L kabuğunu uyarabilecek enerjiye sahip olması ve gelişen dedektör teknolojisinin yardımıyla L altkabuğunun daha kolay ayırılabilmesidir. Daha önceki yıllarda yapılan çalışmaların bir kısmında araştırmacılar, 59.543 keV'lik  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif kaynağını kullanarak Ba ile U arasında elementlerin pek çoğuna ait  $L_I$ ,  $L_{\alpha}$ ,  $L_{\beta}$  ve  $L_{\gamma}$  tesir kesiti değerlerini deneysel olarak ölçmüşlerdir ( Arora, vd., 1981; Shantendra, 1985; Ertuğrul, 1996,2001a; Doğan vd., 1997; Durak ve Özdemir, 2000; Şahin vd., 2000; Tıraşoğlu vd., 2001; Karabulut vd., 2002; Küçükönder vd., 2004). Bir grup araştırmacı da L X-ışını tesir kesitlerini ikincil uyarıcı yardımıyla 5.96-53.5 keV arasındaki bazı enerjilerde ölçmüşlerdir (Singh vd., 1987; Mann vd., 1991;Garg vd., 1992;Rao vd., 1993a,b; Puri vd., 1996; Al-Saleh ve Saleh, 1999; Şimşek, 2000; Ertuğrul vd., 2002; Salah, 2002; Kaya ve Ertuğrul, 2003). L X-ışını tesir kesitlerini deneysel değerlerini ölçmek için bir grup araştırmacı, uyarıcı olarak proton ve iyonları kullanmışlardır (Fast vd., 1982; Semaniak vd., 1995; Fazinic vd., 1996; Papp ve Campbell, 1996; Yu vd., 1999; Kennedy vd., 2000). Bazı araştırmacılar L kabuğuna ait floresans verim değerlerini ölmüşler, mevcut deneysel ve teorik değerlerle karşılaştırmışlardır (Şimşek vd., 1998,1999; Durak ve Özdemir, 2001b; Özdemir, 2004).Ayrıca şiddet oranı ifadeleride L alt kabukları için ölçülmüştür (Close vd., 1973; Dhal ve Pahdi, 1994; Ertuğrul, 1995,1997; Doğan vd., 1998; İsmail ve Malhi, 2000; Baydaş vd., 2001; Durak vd., 2001;Durak ve Özdemir, 2001c; Ramakrishna vd., 2002; Öz vd., 2004).

Bu çalışmada 925 MBq'lik bir  $^{57}\text{Co}$  radyoaktif kaynağından yayımlanan 122 ve 136 keV'lik enerjiler yardımıyla Terbiyum (65) ile Uranyum (92) arasındaki 21 element uyarılmış ve Canberra marka bir Si(Li) dedektörle elementlerden gelen karakteristik K ve L X-ışını pikleri elde edilmiştir. Bu pikler yardımıyla, K kabuğuna ait üretim tesir kesitleri ( $\sigma_{K\alpha_1}$ ,  $\sigma_{K\alpha_2}$ ,  $\sigma_{K\beta_1}$  ve  $\sigma_{K\beta_1}$ ) deneysel olarak ölçülmüştür. Scofield'in Hartree-Fock (Scofield, 1974a) ve Hartree-Slater (Scofield, 1974b) teoremleri yardımıyla hesapladığı şiddet

oranları kullanılarak 2 farklı teorik değer de bu elementler için hesaplanmıştır. Yine K kabuğuna ait deneysel floresans verimleri ( $\omega_K$ ) ve deneysel şiddet oranları  $K_\alpha/K_\beta$ ,  $K_{\alpha 2}/K_{\alpha 1}$ ,  $K_{\beta 2}/K_{\beta 1}$  değerleri olarak hesaplandı. Bu değerler mevcut deneysel ve teorik değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca Renyum ile Uranyum arasındaki 11 elementin L kabuğu üretim tesir kesitleri ( $L_{3l}$ ,  $L_{3\alpha 1,2}$ ,  $L_{3\beta 2,6,15}$ ,  $L_{2\beta 1,17}$ ,  $L_{1\beta 9,10}$ ,  $L_{2\gamma 1,5}$ ,  $L_{1\gamma 2,3}$  ve  $L_{2\eta}$ ) deneysel ve teorik olarak bulunmuştur. L kabuğu ortalama floresans verimi ( $\omega_L$ ) deneysel olarak ölçülmüş ve şiddet oranları  $L_{3l}/L_{3\alpha}$ ,  $L_{3\beta}/L_{3\alpha}$ ,  $L_{2\gamma}/L_{2\beta}$ ,  $L_{2\gamma}/L_{2\eta}$ ,  $L_{1\beta}/L_{1\gamma}$  ve  $L_i/K_j$  ( $i=\alpha, \beta, \gamma$ ) ve ( $j=\alpha, \beta$ ) deneysel ve teorik olarak hesaplanmıştır. Deneysel olarak bulduğumuz değerlerin birçoğu literatürde bulunamadığı için başka deneysel değerlerle karşılaştırılmamış, yarı-deneysel ve teorik değerlerle karşılaştırılmıştır.

## 1.2. Gama ve X-Işınlınının Madde ile Etkileşmesi

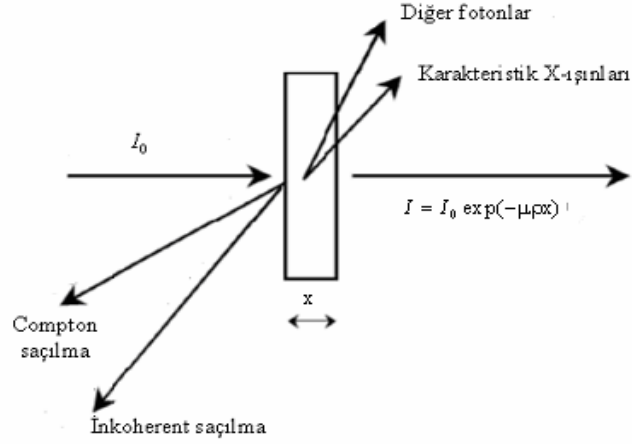
Gama ışınları bir madde üzerine düşürülecek olursa, madde içerisine giren ışın, atomların bağlı ve serbest elektronları ve çekirdeği ile çeşitli etkileşimler yapar. Bu etkileşim sonucunda iki temel olay meydana gelir. Bunlardan birincisi, gama ışınlarının enerjisinin bir kısmını kaybederek oluşan (inkoherent veya compton) veya hiç kaybetmeden oluşan (koherent) saçılma olayı, diğeri ise gama ışınının tamamen soğrulması sonucu meydana gelen fotoelektrik olay ve çift oluşumdur.

Bir radyasyon demeti x kalınlığındaki bir maddeden geçirilecek olursa, gelen demet ve madde arasındaki etkileşmelerin kompleks bir sonucu olarak, çıkan radyasyon demetinin şiddetinde bir azalma olduğu gözlenir (Şekil 2). Madde ile gelen demet arasındaki azaltma olayları ve türü için hedef materyalin kalınlığı ve atom numarasının değeri de önemli bir etkindir. Soğurucu materyal belli bir kalınlıktan daha ince olduğunda, bütün parçacıklar soğurucu materyali geçer ancak soğurucu materyal belli bir kalınlıktan daha büyük ise parçacıklar bütün enerjisini kaybeder ve soğurucu materyalden çıkamaz (Apaydın, 2002).

Şiddeti  $I_0$  olan gama ışınlarının x(cm) kalınlığındaki bir maddeyi geçtikten sonraki şiddeti;

$$I = I_0 \exp(-\mu\rho x) \quad (1.1)$$

ile verilir. Burada  $\mu$  ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) toplam kütle soğurma katsayısı,  $\rho$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ise yoğunluktur.



Şekil 2. Gama ve X-ışınlarının madde ile etkileşimi

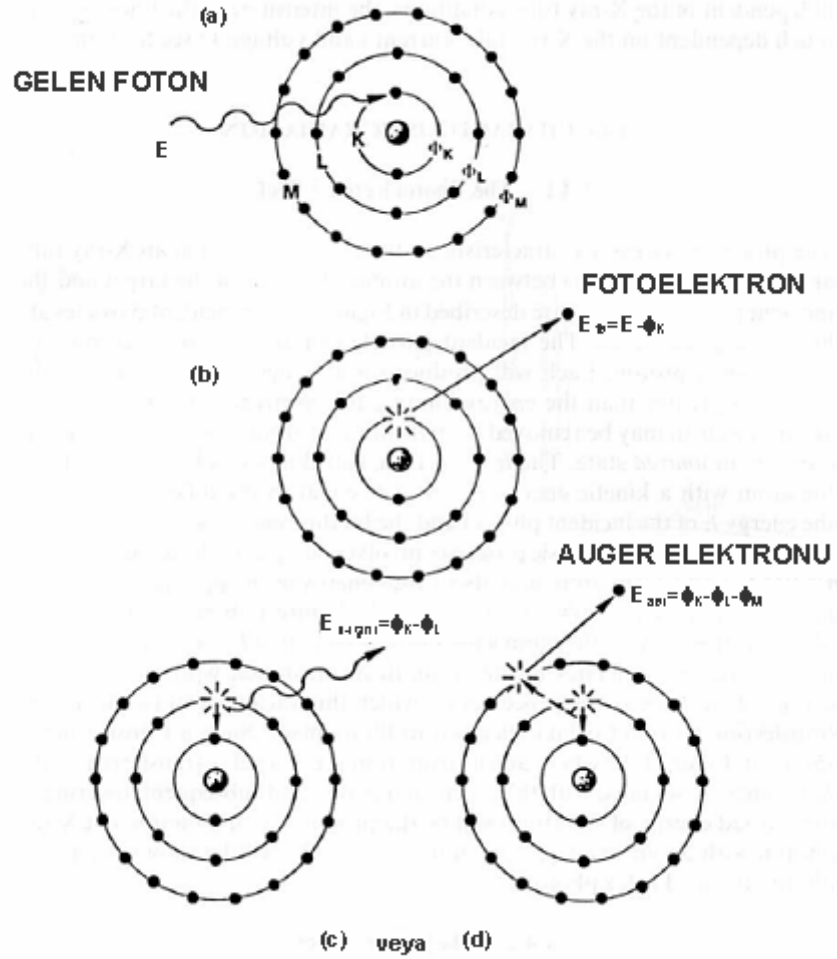
### 1.2.1. Fotoelektrik Olay

Enerjisi  $h\nu$  olan bir foton, atomun bağlı elektronlarından biri tarafından soğurularak elektronun serbest hale geçmesi olayına fotoelektrik olay, serbest hale gelen elektrona da fotoelektron denir. K tabakasındaki bir elektronun sökülmesi ile oluşan fotoelektrik olay Şekil 3’de gösterilmiştir. K tabakasından sökülen bir elektronun enerjisi

$$E_{fe} = E(h\nu) - \phi_K \quad (1.2)$$

ile verilir. Burada  $E$  gelen fotonun enerjisi ve  $\phi_K$  ise K tabakasının bağlanma enerjisidir. Eğer foton kabuktan bir elektron söküyor ve dış kabuklarda bulunan herhangi bir elektron bu boşluğu doldurur ise, iki tabakanın bağlanma enerjilerinin farkı kadar bir foton yayımlanır. Bu foton, karakteristik X-ışını olarak adlandırılır. K kabuğunda oluşan bir boşluk L kabuğundaki bir elektron tarafından doldurulursa, yayımlanan karakteristik X-ışını enerjisi  $\phi_K - \phi_L$  kadar olacaktır. Oluşan karakteristik X-ışını her zaman atomu terk etmez, bazen bu foton atomun dış kabuklarındaki elektronlardan birisini sökerek yok olur. Bu olaya Auger olayı, sökülen elektrona da Auger elektronu denir. Böylece, meydana getirilen bir boşluk için her zaman bir karakteristik X-ışını yayımlanmaz. Meydana getirilen boşluk başına X-ışını yayınlanma ihtimali floresans verim ( $\omega$ ) olarak tanımlanır. Floresans verim 0 ile 1 arasında değerler alır. Küçük atom numaralı elementler için Auger elektronu yayınlanma ihtimali, büyük atom numaralı elementlerinkine oranla daha

büyüktür. Büyük atom numaralı elementler için karakteristik X-ışını yayınlama ihtimali küçük atom numaralılarına göre daha büyüktür (Büyükkasap, 1991). Bunun sebebi, küçük numaralı atomlarda iç kabuklar arası elektron geçişinden yayımlanan foton enerjisinin, dış kabukların soğurma kıyılarına, büyük atom numaralı elementlerinkinden çok yakın olmasıdır.



Şekil 3. Fotoelektrik olay (a) Gelen X-ışını fotonu (b) Fotoelektron oluşumu (c) K kabuğunda oluşan bir boşluğun doldurması sonucu oluşan X-ışını (d) X-ışını fotonunun dış tabakadaki elektronlardan birini sökmesi sonucu oluşan Auger elektronu

### 1.2.2. Çift Oluşumu

Çift oluşumu, çekirdeğin etki alanına giren bir fotonun bir elektron ile bir pozitrona dönüşmesi olayıdır. Elektron ile pozitronun kütleleri birbirine eşit, yükleri ise eşit fakat zıt işaretlidir. Çift oluşumun meydana gelebilmesi için eşik enerjisi  $2m_0c^2$  (1,02 MeV) olmalıdır. 1,02 MeV'den daha büyük enerjili bir foton, yüksek atom numaralı bir elementin çekirdeğinin yakınından geçerken yok olur ve elektron-pozitron çifti meydana gelir. Bu olay çekirdek etrafında olduğundan hiçbir korunum ilkesi bozulmuş olmaz. Sonuçta bu olay meydana gelirken yük, çizgisel momentum ve toplam enerji korunur.

Çift oluşumu, hole teorisi ile izah edilebilir. Dirac'a göre, bir serbest elektronun enerjisi  $+m_0c^2$ 'den daha büyük veya  $-m_0c^2$ 'den daha küçüktür. Bu iki limit arasında elektronların mümkün durumları yoktur. Dirac teorisine göre,  $2m_0c^2$ 'den daha büyük bir enerjiye sahip olan bir foton, bir elektronu negatif enerjili bir durumdan pozitif enerjili bir duruma yükseltebilir. Bu, pozitif enerji durumunda gözlenebilir bir elektron ile negatif enerji durumunda Dirac deliği denilen ve pozitif yüklü bir parçacık gibi hareket eden bir boşluk (hole) meydana getirir. Bu boşluk bir pozitrona karşılık gelmektedir. Böylece bir elektron-pozitron çifti meydana gelmiş olur (Gürol, 2004).

X-ışını floresans tekniğinde uyarma için genellikle 1,02 MeV'den daha küçük enerjili fotonlar kullanıldığından çift oluşum olayı çalışmalarımızda söz konusu değildir.

### 1.2.3. Koherent Saçılma

Koherent saçılma gelen fotonun enerjisinde ve fazında bir değişiklik olmadan meydana gelen saçılma olarak adlandırılır. Bu saçılma olayında gelen ve saçılan fotonların fazları arasında bir ilişki vardır. Atom tarafından saçılan radyasyonun toplam şiddeti her bir elektron tarafından saçılan radyasyonun genliklerinin toplamından faydalanılarak bulunur. Çoğu zamanda Thomson, Delbrück, Rayleigh ve Nükleer Rezonans saçılmalar koherent saçılma olarak da bilinir. Bir atomdan saçılma için genlikler, bu dört tip saçılmadan olan katkıların bir toplamı gibi yazılabilir (Semend, vd., 1987).

$$A=A^R + A^T + A^N + A^D \quad (1.3)$$

Burada,  $A^R$  Rayleigh saçılma genliğini,  $A^T$  Thomson saçılma genliğini,  $A^N$  nükleer rezonans saçılma genliğini,  $A^D$  Delbrück saçılma genliğini temsil etmektedir.

#### 1.2.4. İnkohherent Saçılma

Gelen foton ile saçılan foton arasında enerji farkı meydana geliyorsa bu tür saçılmaya inkohherent saçılma denir. Yani gelen ve saçılan fotonların dalga boyları ve fazları birbirinden farklıdır. İnkohherent saçılmada faz ilişkisi yoktur. Bu durumda atom tarafından saçılan radyasyonun toplam şiddeti, atomun her bir elektronu tarafından saçılma şiddetleri toplanarak bulunur. Bir atoma ait inkohherent saçılma tesir kesiti,

$$\frac{d\sigma_{sc}}{d\Omega} = S(x, Z) \frac{d\sigma_{KN}}{d\Omega} \quad (1.4)$$

ile verilir. Burada  $\frac{d\sigma_{KN}}{d\Omega}$  Klein-Nishina tesir kesiti olup,

$$\frac{d\sigma_{KN}}{d\Omega} = \frac{r_e^2}{2} (1 + k(1 - \cos \theta))^2 \left( 1 + \cos^2 \theta + \frac{k^2 (1 - \cos^2 \theta)^2}{1 + k(1 - \cos \theta)} \right) \quad (1.5)$$

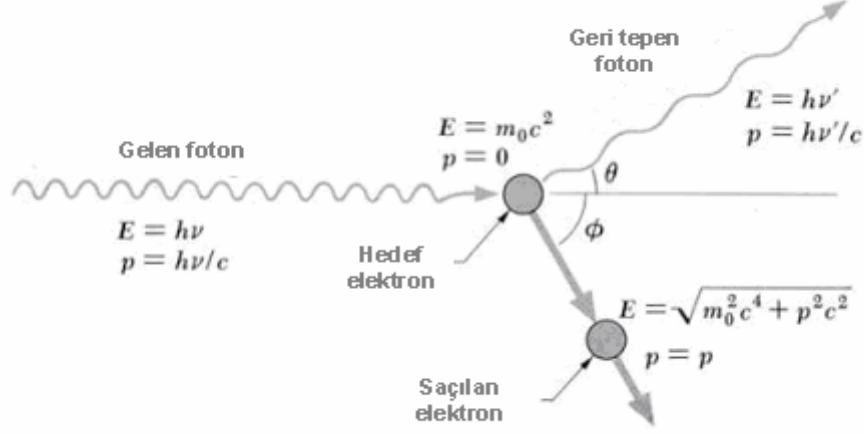
denklemleri ile verilir.  $S(x, Z)$  ise inkohherent saçılma fonksiyonudur (Shahi vd., 2001).

İnkohherent saçılma, Compton saçılması, Nükleer saçılma ve Raman saçılması olmak üzere üç gruba ayrılır. Bunların arasında en etkin olanı Compton saçılmasıdır.

##### 1.2.4.1. Compton Olayı

Compton olayı, ışığın tanecikli yapıda olduğunu gösteren önemli olaylardan biridir. Gelen foton, kendisine kıyasla çok zayıf bağlı veya serbest bir elektron ile çarpışarak enerjisinin bir kısmını kaybeder ve geliş doğrultusundan sapar. Bu sırada gelen fotonla etkileşen elektron yörüngesinden koparılabilir belli bir açıyla saçılır. Compton saçılması, elektronun bağlanma enerjisinin, gelen fotonun enerjisi yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda etkili olarak gözlenir. Şekil 4' de görüldüğü gibi  $\phi$

saçılan fotonun geliş doğrultusuyla,  $\theta$  ise geri tepen elektronun geliş doğrultusuyla yaptığı açıdır.



Şekil 4. Compton saçılması

Bu olayda  $\lambda$  gelen fotonun,  $\lambda'$  ise saçılan fotonun dalga boyu olmak üzere gelen fotonun dalga boyu,

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda' = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $m_0$  elektronun durgun kütlesi,  $\theta$  fotonun saçılma açısı,  $c$  ışık hızı,  $h$  ise Planck sabitidir. Fotoelektrik olay genellikle K ve L tabakalarına ait elektronlarda baskın olmasına rağmen, Compton olayı dış tabaka elektronlarında daha baskındır.

### 1.3. Floresans Verim ve Coster -Kronig Geçişler

Bir atomda herhangi bir yolla K tabakasında meydana getirilen bir boşluğun karakteristik X-ışını yayımlanarak doldurulması ihtimaliyetine K tabakasının floresans verimi denir ve;

$$\omega_K = \frac{I_K}{\eta_K} \quad (1.7)$$

ile verilir.  $\eta_K$ , K tabakasında meydana getirilen boşlukların sayısı,  $I_K$  yayımlanan toplam K X-ışınlarının sayısıdır. Burada  $\omega_K$ , K tabakasına ait floresans verimdir. Ayrıca  $\Gamma_R$ , ışımali kısmi genişliği (geçiş hızlarının toplamı) ve  $\Gamma$ , toplam seviye genişliği olmak üzere floresans verim

$$\omega_i = \frac{\Gamma_R(L_i, x)}{\Gamma(L_i)} \quad (x=L_j, M, N, O, j>i) \quad (1.8)$$

şeklinde de ifade edilmiştir. Daha yüksek atomik tabakalar için floresans verim tanımı iki nedenden dolayı daha karmaşıktır;

- a) K tabakası üzerindeki tabakalar birden fazla alt tabakadan meydana gelmiştir. Ortalama floresans verim bu tabakaların nasıl iyonize olduğuna bağlıdır.
- b) Ayrıca alt tabakalara sahip tabakalarda tabaka içi geçiş şeklinde tanımlayabileceğimiz Coster-Kronig geçişler de mevcuttur.

Bilindiği gibi bir atomda kabuklar arasındaki geçişler  $\Delta n \neq 0$ ,  $\Delta l = \pm 1$  ve  $\Delta J = \pm 1, 0$  şartlarına bağlı olup, bunun dışındaki geçişler yasak geçişlerdir.  $\Delta n = 0$  olduğu alt tabakalar arasındaki geçişlere ya da boşluk transferine Coster-Kronig geçişleri denir. Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetleri  $f_{ij}$  şeklinde gösterilir. Bu i. alt tabakadaki boşluğun j. alt tabakaya kayması ihtimalidir. Coster-Kronig geçişleri ışımali  $f_{ij}(A)$  ve ışımali  $f_{ij}(R)$  olmak üzere iki kısımdan ibarettir. Bu durumda

$$f_{ij} = f_{ij}(A) + f_{ij}(R) \quad (1.9)$$

yazılabilir.  $f_{ij}(R) \ll f_{ij}(A)$  dır ve  $f_{ij}(R)$ ,  $f_{ij}(A)$ ' ya göre ihmal edilirse

$$f_{ij} = \frac{\Gamma_A(L_i, L_j, x)}{\Gamma(L_i)} \quad x = M, N, O, j > i \quad (1.10)$$



şeklinde verilebilir. Burada  $\Gamma_A$ , Auger kısmi genişliği (Auger geçiş hızlarının toplamı) dir.

#### 1.4. Tesir Kesiti

Tesir kesiti verilen bir olayın meydana gelme ihtimaliyetinin ölçüsüdür. Bu nicelik deneysel olarak ölçülebilir bir nicelik olduğundan nükleer işlemlerin ayrıntılı olarak incelenmesini mümkün kılar.

A yüzeyine ve t kalınlığına sahip ince bir levhanın birim hacminde n tane atom varsa ve herhangi bir olayın meydana gelmesiyle orantılı olarak atomu kuşatan etkin alan  $\sigma$  ise, maddede işlem gören yüzey  $A.n.t.\sigma$  olur.  $n.\sigma.t=f$  etkinalan kesri adını alır ve levha üzerine düşürülen radyasyonun levhadan geçerkenki şiddetindeki değişimin kesrini temsil eder. Madde üzerine gelen N radyasyondan  $N_s$  tanesi s türündeki olayı gerçekleştiriyorsa tesir kesiti klasik olarak,

$$\sigma = \frac{N_s}{n.N.t} \quad (1.11)$$

ifadesiyle verilir (Çolak, 1992).

#### 1.5. Karakteristik X-Işımlarının Oluşumu

Bir atomdan uyarılma sonucu bir elektron sökülürse veya daha üst enerji seviyelerine çıkarılırsa atom uyarılmış olur. Uyarılan atomdan sökülen elektronun yerine  $10^{-8}$  sn içerisinde dış kabuklardan bir elektron gelir ve bu geçiş esnasında bir foton yayımlanır. Yayımlanan bu foton ya karakteristik X-ışını olarak atomu terke eder, ya da atom kararlı hale dönmek için karakteristik X-ışını yayımlamak yerine atomdan elektron uzaklaştırmak için uyarma enerjisiyle direkt olarak dış elektronlardan birini atomdan uzaklaştırır.

Karakteristik X-ışınları K, L, M ve N gibi harflerle belirtilir. Diğer bir şekilde yüksek kabuklardan elektron geçişlerinden türetilmiş X-ışınları da  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  gibi simgelerle gösterilirler. Böylece L kabuğundan K kabuğuna bir elektron geçişinden bir  $K\alpha$  X-ışını ve M kabuğundan K kabuğuna bir elektron geçişinden bir  $K\beta$  X-ışını yayımlanır. L kabuğun içinde karakteristik X-ışını çizgileri benzer şekilde meydana gelir. Eğer kabuklarda çoklu

yüksek orbitaller ve düşük bağlanma enerjili elektronlar var ise, bu orbitallerden bazı düşük enerjili kabuklara elektronların geçişlerinden  $\alpha_1, \alpha_2$  ve  $\beta_1, \beta_2$  şeklinde gösterilen geçişler mevcuttur. K ve L X-ışınlarının Siegbahn ve IUPAC gösterimleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. K ve L X- ışını geçişlerinin gösterimi

Atomik Kabuk	Klasik gösterim (Siegbahn gösterimi)	İlk-son kabukların birleştirilmesi (IUPAC gösterimi)	
<b>K</b>	$K_{\alpha 1}$	K-L <sub>3</sub>	
	$K_{\alpha 2}$	K-L <sub>2</sub>	
	$K_{\alpha 3}$	K-L <sub>1</sub>	
	$K_{\beta 1}$	K-M <sub>3</sub>	
	$K_{\beta 2}$	K-N <sub>2</sub> N <sub>3</sub>	
	$K_{\beta 3}$	K-M <sub>2</sub>	
	$K_{\beta 4}$	K-N <sub>4</sub> N <sub>5</sub>	
	$K_{\beta 5}$	K-M <sub>4</sub> M <sub>5</sub>	
	$KO_{2,3}$	K-O <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	$KP_{2,3}$	K-P <sub>2</sub> P <sub>3</sub>	
<b>L</b>	L <sub>1</sub>	L $_{\beta 3}$	L <sub>1</sub> -M <sub>3</sub>
		L $_{\beta 4}$	L <sub>1</sub> -M <sub>2</sub>
		L $_{\gamma 2}$	L <sub>1</sub> -N <sub>2</sub>
		L $_{\gamma 3}$	L <sub>1</sub> -N <sub>3</sub>
	L <sub>2</sub>	L $_{\beta 1}$	L <sub>2</sub> -M <sub>4</sub>
		L $_{\eta}$	L <sub>2</sub> -M <sub>1</sub>
		L $_{\gamma 1}$	L <sub>2</sub> -N <sub>4</sub>
		L $_{\gamma 6}$	L <sub>2</sub> -O <sub>4</sub>
	L <sub>3</sub>	L $_{\alpha 1}$	L <sub>3</sub> -M <sub>5</sub>
		L $_{\alpha 2}$	L <sub>3</sub> -M <sub>4</sub>
		L $_{\beta 2,15}$	L <sub>3</sub> -N <sub>4</sub> N <sub>5</sub>
		L $_{\beta 5}$	L <sub>3</sub> -O <sub>4</sub> O <sub>5</sub>
		L $_{\beta 6}$	L <sub>3</sub> -N <sub>1</sub>
		L $_{\iota}$	L <sub>3</sub> -M <sub>1</sub>
	<b>Grup gösterimi</b>	<b>Birleştirilmiş geçişler</b>	
$K'_{\beta 1}$	$K_{\beta 1} + K_{\beta 3} + K_{\beta 5}$		
$K'_{\beta 2}$	$K_{\beta 2} + K_{\beta 4} + \dots$		
L $_{\alpha}$	L $_{\alpha 1} + L_{\alpha 2}$		
L $_{\beta}$	L $_{\beta 1} + L_{\beta 2,15} + L_{\beta 3} + L_{\beta 4} + L_{\beta 5} + L_{\beta 6}$		
L $_{\gamma}$	L $_{\gamma 1} + L_{\gamma 2} + L_{\gamma 3} + L_{\gamma 6}$		

## 1.6. Atomun Uyarılması

Uyarma, atomdan elektron söküp, iyonlaşma meydana getiren olaylara denir. Uyarılan atom yörünge elektronlarının yeniden düzenlenmesinde genellikle bir foton salar, bu fona karakteristik X-ışını fluoresans fotonu denir ve her element için enerjileri farklıdır. Bu ışınların spektrumlarına X-ışını fluoresans spektrumu denir. Bilinmeyen bir numune içindeki elementlerin analizinde en iyi vasıta bu karakteristik ışınımlardır. Eğer bir madde X-ışınları ile bombardıman edilip uyarılıyorsa bu ışınlara primer ışınlar, atom tarafından yayınlanan fluoresans ışınlarına ise sekonder veya karakteristik X-ışınları denir. Çalışmalarımızda uyarma işlemi için  $^{57}\text{Co}$  radyoizotop kaynağı kullanılmıştır.

### 1.6.1. Radyoizotop Kaynaklar

X-ışını analizinde genellikle radyoizotop kaynaklar kullanılır. Radyoizotop kaynaklar, X-ışını spektrometrik uygulamalarında dört temel özellikleri ile karakterize edilebilirler:

- a) Radyoaktif bozunma ve yayımlanan radyasyonun tipi, ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  yayımlama, K veya L elektronu yakalama)
- b) Yayımlanan radyasyonun enerjisi,
- c) Kaynak aktivitesi,
- d) Kaynağın yarı-ömürü,

Radyoaktif bozunma, radyoaktivite özelliğine sahip olan atomların kararsız çekirdeklerinin parçalanmasıyla yeni bir çekirdek oluşması ve atom çekirdeklerindeki bu değişiklikler sonucu radyasyon yayımlanması olayıdır.

Sonuç olarak kararsız bir atom, kararlı hale gelinceye kadar bir seri dönüşüme uğrar ve böylece meydana gelen seriye bozunma zinciri denir. Bu bozunma sırasında dışarı radyoaktif parçacıklar ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) ve  $\gamma$ -ışını yayınlanır. Tablo 3'te bozunma sonucu yayımlanan radyasyon tipleri ve özellikleri verilmiştir.

Radyoizotopların aktivitesi, radyoaktif atomların bozunması (parçalanması) ile orantılıdır. Bir kaynağın aktivitesi, saniyedeki bozunma sayısı olarak tanımlanır ve bu Bekerel olarak ta isimlendirilir. Bekerel (Bq) yerine SI birim sisteminde Curie (Ci) kullanılır. Bir Curie  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq'dir.

Tablo 2. Radyasyon tip ve özellikleri

Radyasyon Tipleri	Özellikleri
Gamma Işınımı	Atom çekirdeğindeki fotonlar tarafından yayılan elektromagnetik dalgalarıdır.
Beta ışınımı	Atom çekirdeğinden yayılan ve elektron olarak da adlandırılan çok yüksek hızlı taneciklerdir.
Alfa ışınımı	Atom çekirdeğinden yayılır, iki proton ve 2 nötron içermektedir. En iyi örnek elektronsuz Helyum atomu verilebilir.
Nötronlar	Atomun çekirdeğinden kollüzyon ve fisyon tepkimeleri sonucunda yayılan nötr taneciklerdir.
X-ışınları	Elektronların enerji seviyelerindeki değişimden yayımlanan elektromagnetik dalgalarıdır. Atom çekirdeğinden yayılmazlar.

Yayımlanan ışınların sayısı zamanla azalır. Bir radyoizotop atomun  $t$  süre sonundaki bozunanlarının sayısı;

$$N = N_0 e^{-0.693t/T_{1/2}} \quad (1.12)$$

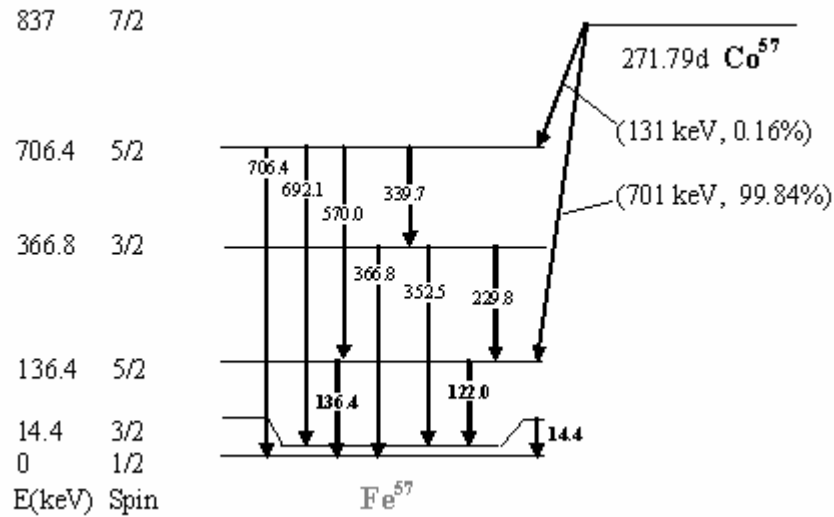
eşitliği ile bulunur. Burada  $T_{1/2}$  radyoizotop için yarı ömürdür ve bu yarı ömür süresi sonunda kaynaktaki esas yayımlanmaların sayısı yarıya iner. Radyoizotop kaynak bir, iki yarı ömürlük süreden sonra genellikle yenilenir. Radyoizotop kaynakların fiziksel boyutları küçüktür. Radyoizotopların emniyetli kullanımı için uluslar arası standartlar vardır. Birçok ülkede sağlık bakanlığı veya atom enerjisi yetkilileri bu işi yürütmektedir. Her bir organizasyonun radyoaktif maddeleri kullanabilmek için bir lisansa sahip olması gerekir. Uluslararası Radyoloji Komisyonu insanın sağlıklı yaşayabilmesi için alabileceği yıllık radyasyon dozunu  $3,6.10^{15}$  Bq olarak belirlemiştir (Ertuğral, 2004).

### 1.6.2. Radyoizotop $^{57}\text{Co}$ Kaynağının Bozunumu

Çalışmamızda yarıömrü 271,79 gün olan 925 MBq'lık  $^{57}\text{Co}$  halka tipi radyoaktif kaynak kullanılmıştır.  $^{57}\text{Co}$  radyoaktif kaynağı elektron yakalama işlemi ile  $^{57}\text{Fe}$  seviyesine bozunur (Şekil 5). Bu durum çekirdekteki protonlardan bir tanesinin, elektron tabakalarından (büyük bir ihtimal ile K tabakası) bir elektron yakalayarak (EC) nötron haline dönüşmesiyle izah edilebilir.



Bu durumda atom numarası Z olan bir element Z-1 atom numaralı element haline bozulur. Çekirdeğin yükü elektron yakalamayla bir azaldığı için atom hala nötrdür. Bu olay  $\beta^+$  yayımlanmasının (pozitron bozunmasının) benzeridir. Bu bozunma esnasında 122,0 keV (%85), 136,4 keV (%11) ve 14,39 keV (%8,5)'lik enerjilerde  $\gamma$ - fotonları salınır. 122 keV enerjili fotonlar, 136 keV'lik fotonlara nazaran daha baskın olması ve her birine daha yakın olması sebebiyle 122 keV ve 136 keV ağırlıklı ortalamasını alarak, [(122,0×0,85+136,4×0,11)/0,96] 123,6 keV'lik enerji değeri çalışmamızda kaynaktan gelen uyarıcı enerji olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5.  $^{57}\text{Co}$  Radyoaktif kaynağının bozunma şeması (Kistner ve Sunyar, 1965)

### 1.7. K Kabuğu X-Işını Üretim Tesir Kesiti Teorik Hesabı

K tabakası soğurma kıyısında daha büyük enerjilere sahip fotonlarla uyarılan elementlerin K tabakasının fotoiyonizasyonu sonucu oluşan boşlukların doldurulması ile yayınlanan karakteristik X-ışınlarının üretim tesir kesitleri K kabuğuna ait atomik parametreler kullanılarak teorik olarak aşağıdaki denklemde hesaplanmıştır (Seven, 2002).

$$\sigma_{Ki}^x = \sigma_K^P(E) \omega_K F_{Ki} \quad (1.14)$$

burada  $\sigma_K^P(E)$  bir elementi  $E$  uyarma enerjisindeki K kabuğu iyonizasyon tesir kesiti (Scofield, 1973),  $\omega_K$  K Kabuğu floresans verimi (Hubbell vd., 1994)  $F_{Ki}$   $Ki$  X-ışını grubunun kısmi emisyon hızı olup aşağıda gösterilmiştir.

$$F_{K\alpha_1} = \frac{I_{K\alpha_1}}{I_{K\alpha} + I_{K\beta}} \quad (1.15)$$

$$F_{K\alpha_2} = \frac{I_{K\alpha_2}}{I_{K\alpha_1}} F_{K\alpha_1} \quad (1.16)$$

$$F_{K\beta_1'} = \frac{I_{K\beta_1'}}{I_{K\alpha_1}} F_{K\alpha_1} \quad (1.17)$$

$$F_{K\beta_2'} = \frac{I_{K\beta_2'}}{I_{K\alpha_1}} F_{K\alpha_1} \quad (1.18)$$

$I_{Ki}$  X-ışını şiddetidir. Bu değerler Scofield'in (1974a) Relativistik Hartree-Fock teorisini temel alarak ve yine Scofield'in (1974b) Relativistik Hartree-Slater teorisini temel alarak hesapladığı değerler kullanılmıştır. Hesaplanan emisyon hızı değerleri ile K kabuğu iyonizasyon tesir kesiti değerleri Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Atom numarasına göre  $\sigma_K^P$  ve  $F_{Ki}$  değerleri

Element	$\sigma_K^P$ (123,6keV)	$F_{K\alpha_1}$		$F_{K\alpha_2}$		$F_{K\beta'_1}$		$F_{K\beta'_2}$	
		*	**	*	**	*	**	*	**
<sup>65</sup> Tb	369,78	0,510	0,516	0,284	0,288	0,162	0,157	0,042	0,039
<sup>66</sup> Dy	391,07	--	0,514	--	0,288	--	0,158	--	0,039
<sup>67</sup> Ho	413,08	--	0,514	--	0,289	--	0,158	--	0,039
<sup>68</sup> Er	435,68	0,507	0,512	0,286	0,289	0,164	0,159	0,043	0,040
<sup>69</sup> Tm	458,93	--	0,512	--	0,289	--	0,16	--	0,040
<sup>70</sup> Yb	482,11	0,505	0,510	0,286	0,289	0,165	0,16	0,043	0,040
<sup>71</sup> Lu	507,94	--	0,509	--	0,290	--	0,16	--	0,041
<sup>72</sup> Hf	533,83	0,502	0,508	0,287	0,290	0,166	0,161	0,044	0,041
<sup>73</sup> Ta	560,12	0,501	0,506	0,287	0,291	0,166	0,161	0,045	0,042
<sup>74</sup> W	587,61	0,499	0,505	0,287	0,291	0,167	0,162	0,046	0,042
<sup>75</sup> Re	615,25	--	0,504	--	0,291	--	0,163	--	0,043
<sup>76</sup> Os	643,38	--	0,502	--	0,292	--	0,163	--	0,044
<sup>77</sup> Ir	672,33	--	0,501	--	0,292	--	0,163	--	0,044
<sup>78</sup> Pt	701,70	0,494	0,499	0,289	0,292	0,168	0,164	0,048	0,045
<sup>79</sup> Au	731,94	0,493	0,498	0,290	0,293	0,168	0,164	0,048	0,045
<sup>80</sup> Hg	762,72	0,491	0,497	0,290	0,293	0,168	0,164	0,049	0,046
<sup>81</sup> Tl	794,25	0,490	0,495	0,290	0,294	0,169	0,165	0,050	0,047
<sup>82</sup> Pb	826,88	0,488	0,494	0,290	0,294	0,169	0,165	0,051	0,047
<sup>83</sup> Bi	860,68	--	0,492	--	0,294	--	0,165	--	0,048
<sup>90</sup> Th	1088,51	0,477	0,481	0,295	0,298	0,171	0,167	0,057	0,054
<sup>92</sup> U	1176,37	0,474	0,479	0,296	0,299	0,171	0,168	0,058	0,055

\*Scofield, 1974a

\*\*Scofield, 1974b

### 1.8. L Kabuğu X-Işını Üretim Tesir Kesiti Teorik Hesabı

K kabuğunu uyaracak kadar bir enerji gönderildiği zaman [ $E (123,6 \text{ keV}) > E_K > E_{L_i}$ ] K kabuğu ile birlikte  $L_i$  alt kabukları da uyarılır. Bu durumda şiddetlendirme büyük olabilir.  $L_i$  alt kabuklarında gönderilen foton enerjisi ile boşluk oluşmasının yanı sıra K kabuğundan geçişlerle de bir boşluk oluşur. Hem ışımalı hemde ışımaz (Auger) geçişler meydana gelir (Rani vd., 1989). Bilindiği üzere ışımalı geçişler temelde bir elektron olayı ve geçiş oranları hemen hemen yüzde bir kaçlık hatalarla hesaplanabilmesine rağmen (Scofield, 1969), ışımaz geçişler en az iki elektron olayıdır ve çeşitli elektron dağılımı etkilerine maruz kalırlar. İki elektron yaklaşımında yapılabilecek en uygun durum Dirac Hartree-Slater (DHS) hesaplamalarıdır (Chen vd., 1979). Bu hesaplamalar Auger bozunma oranları için iyi yaklaşımlar verir. Ayrıca Coster-Kronig geçişlerde mevcuttur.

Bu durumlar göz önüne alınarak L alt kabuğuna ait X-ışını üretim tesir kesitleri

$$\sigma_{L3\ell}^x = A\omega_3 F_{3\ell} \quad (1.19)$$

$$\sigma_{L3\alpha_{1,2}}^x = A\omega_3 F_{3\alpha} \quad (1.20)$$

$$\sigma_{L3\beta_{2,6,15}}^x = A\omega_3 F_{3\beta} \quad (1.21)$$

$$\sigma_{L2\beta_{1,17}}^x = B\omega_2 F_{2\beta} \quad (1.22)$$

$$\sigma_{L2\gamma_{1,5}}^x = B\omega_2 F_{2\gamma} \quad (1.23)$$

$$\sigma_{L2\eta}^x = B\omega_2 F_{2\eta} \quad (1.24)$$

$$\sigma_{L1\beta_{9,10}}^x = C\omega_1 F_{1\beta} \quad (1.25)$$

$$\sigma_{L1\gamma_{2,3}}^x = C\omega_1 F_{1\gamma} \quad (1.26)$$



$$A = \left[ \left( \sigma_{L1}^P + \sigma_K^P \eta_{KL1} \right) (f_{12} f_{23} + f_{13}) + \left( \sigma_{L2}^P + \sigma_K^P \eta_{KL2} \right) f_{23} + \left( \sigma_{L3}^P + \sigma_K^P \eta_{KL3} \right) \right] \quad (1.27)$$

$$B = \left[ \left( \sigma_{L1}^P + \sigma_K^P \eta_{KL1} \right) f_{12} + \left( \sigma_{L2}^P + \sigma_K^P \eta_{KL2} \right) \right] \quad (1.28)$$

$$C = \left[ \sigma_{L1}^P + \sigma_K^P \eta_{KL1} \right] \quad (1.29)$$

denklemeleri ile bulunabilir. Burada  $\sigma_{Li}^P$  ( $i=1,2,3$ ) ilgili uyarma enerjisinde elementlerin  $L_i$  alt kabuğu fotoiyonizasyon tesir kesitleri (Scofield 1973),  $\omega_i$  ( $i=1,2,3$ )  $L_i$  alt kabuklarına ait floresans verim (Krause 1979),  $\sigma_K^P$  K kabuğu iyonizasyon tesir kesiti (Scofield, 1973),  $\eta_{KLi} = \eta_{KLi}(R) + \eta_{KLi}(A)$  ise ( $i=1,2,3$ ) K kabuğundan L kabuğuna geçen boşlukların ışımalı ve ışımasız (Auger) geçiş ihtimaliyetleri (Puri, 1993),  $f_{ij}$  ( $i \neq j=1,2,3$ ) alt tabakalar arası elektron geçiş ihtimaliyetlerini tanımlayan Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetleridir (Krause 1979).  $F_{3l}$ ,  $F_{3\alpha}$ ,  $F_{3\beta}$ ,  $F_{2\beta}$ ,  $F_{2\gamma}$ ,  $F_{2\eta}$ ,  $F_{1\beta}$  ve  $F_{1\gamma}$  ifadeleri ise L X-ışını için geçiş hızı ihtimaliyetleri olup,

$$F_{3l} = \left( \frac{\Gamma_{3l}}{\Gamma_3} \right) \quad (1.30)$$

$$F_{3\alpha} = \left( \frac{\Gamma_{3\alpha1} + \Gamma_{3\alpha2}}{\Gamma_3} \right) \quad (1.31)$$

$$F_{3\beta} = \left( \frac{\Gamma_{3\beta2} + \Gamma_{3\beta6} + \Gamma_{3\beta15}}{\Gamma_3} \right) \quad (1.32)$$

$$F_{2\beta} = \left( \frac{\Gamma_{2\beta1} + \Gamma_{2\beta17}}{\Gamma_2} \right) \quad (1.33)$$

$$F_{2\gamma} = \left( \frac{\Gamma_{2\gamma1} + \Gamma_{2\gamma5}}{\Gamma_2} \right) \quad (1.34)$$

$$F_{2\eta} = \left( \frac{\Gamma_{2\eta}}{\Gamma_2} \right) \quad (1.35)$$

$$F_{1\beta} = \left( \frac{\Gamma_{1\beta 9} + \Gamma_{1\beta 10}}{\Gamma_1} \right) \quad (1.36)$$

$$F_{1\gamma} = \left( \frac{\Gamma_{1\gamma 2} + \Gamma_{1\gamma 3}}{\Gamma_1} \right) \quad (1.37)$$

ile bulunabilir. Burada  $\Gamma_i$  ( $i=1,2,3$ ) ise  $L_i$  alt tabakalar olan toplam ışmalı geçiş ihtimaliyetidir.  $\Gamma_{3\alpha 1}$  ise  $M_5$  alt tabakalarından  $L_3$  tabakasını doldurmak için meydana gelen  $L_{\alpha 1}$  çizgilerinin ışmalı geçiş ihtimaliyetidir. Diğer geçişlerde aşağıda ki gibidir;

$$\begin{aligned} \Gamma_{3\alpha 1} &= \Gamma_3(M_5-L_3), \Gamma_{3\alpha 2} = \Gamma_3(M_4-L_3), \Gamma_{3l} = \Gamma_3(M_1-L_3), \\ \Gamma_{3\beta 2} &= \Gamma_3(N_5-L_3), \Gamma_{3\beta 15} = \Gamma_3(N_4-L_3), \Gamma_{3\beta 6} = \Gamma_3(N_1-L_3) \end{aligned} \quad (1.38)$$

$$\begin{aligned} \Gamma_{2\beta 1} &= \Gamma_2(M_4-L_2), \Gamma_{2\beta 17} = \Gamma_2(M_3-L_2), \Gamma_{2\eta} = \Gamma_2(M_1-L_2), \\ \Gamma_{2\gamma 1} &= \Gamma_2(N_4-L_2), \Gamma_{2\gamma 5} = \Gamma_2(N_1-L_2) \end{aligned} \quad (1.39)$$

$$\begin{aligned} \Gamma_{1\beta 9} &= \Gamma_1(M_5-L_1), \Gamma_{1\beta 10} = \Gamma_1(M_4-L_1), \\ \Gamma_{1\gamma 2} &= \Gamma_1(N_2-L_1), \Gamma_{1\gamma 3} = \Gamma_1(N_3-L_1) \end{aligned} \quad (1.40)$$

şeklindedir (Scofield, 1974b).  $F_{ij}$  ve  $\eta_{KLi}$ 'nin ( $i=1,2,3$  ve  $j= l, \alpha, \beta, \gamma, \eta$ ) atom numarasıyla değişimi aşağıda Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Atom numarasına göre  $F_{ij}$  ve  $\eta_{KLi}$  değerleri

Element	$F_{3l}$	$F_{3\alpha}$	$F_{3\beta}$	$F_{2\beta}$	$F_{2\gamma}$	$F_{1\beta}$	$F_{1\gamma}$	$F_{2\eta}$	$\eta_{KL1}$	$\eta_{KL2}$	$\eta_{KL3}$
<sup>75</sup> Re	0,038	0,802	0,159	0,812	0,165	0,759	0,217	0,022	0,025	0,30	0,50
<sup>76</sup> Os	0,038	0,798	0,162	0,809	0,168	0,892	0,219	0,022	0,025	0,30	0,50
<sup>77</sup> Ir	0,039	0,794	0,166	0,805	0,173	0,752	0,22	0,022	0,024	0,30	0,50
<sup>78</sup> Pt	0,039	0,791	0,168	0,802	0,175	0,749	0,221	0,022	0,024	0,30	0,50
<sup>79</sup> Au	0,040	0,787	0,171	0,798	0,179	0,747	0,223	0,022	0,024	0,30	0,49
<sup>80</sup> Hg	0,040	0,784	0,174	0,795	0,182	0,693	0,224	0,022	0,023	0,30	0,49
<sup>81</sup> Tl	0,040	0,781	0,177	0,793	0,185	0,739	0,226	0,022	0,022	0,30	0,49
<sup>82</sup> Pb	0,041	0,777	0,179	0,789	0,188	0,736	0,228	0,021	0,022	0,30	0,49
<sup>83</sup> Bi	0,041	0,774	0,182	0,787	0,191	0,732	0,230	0,021	0,022	0,30	0,49
<sup>90</sup> Th	0,045	0,754	0,198	0,767	0,209	0,701	0,242	0,021	0,021	0,30	0,48
<sup>92</sup> U	0,047	0,749	0,201	0,763	0,213	0,84	0,242	0,021	0,021	0,30	0,47

Teorik olarak karakteristik L X-ışını üretim tesir kesitleri, Coster-Kronig geçişleri ve K kabuğundan L kabuğuna geçen boşlukların ışımali ve ışımsız (Auger) geçiş ihtimaliyetleri olmadığı durumda ( $f_{ij}=0$  ve  $\eta_{KLi}=0$ )

$$\sigma_{Ll}^x = \sigma_{L3}^P \omega_3 F_{3l} \quad (1.41)$$

$$\sigma_{L\alpha}^x = \sigma_{L3}^P \omega_3 F_{3\alpha} \quad (1.42)$$

$$\sigma_{L\beta}^x = \sigma_{L1}^P \omega_1 F_{1\beta} + \sigma_{L2}^P \omega_2 F_{2\beta} + \sigma_{L3}^P \omega_3 F_{3\beta} \quad (1.43)$$

$$\sigma_{L\gamma}^x = \sigma_{L1}^P \omega_1 F_{1\gamma} + \sigma_{L2}^P \omega_2 F_{2\gamma} \quad (1.44)$$

şeklindedir. Yukarıdaki (1.19-26) ve (1.39-42) denklemlerin aynı X-ışınları dikkate alınacak şekilde taraf tarafa bölünmesi Coster-Kronig ve geçiş ihtimaliyetlerinden gelen şiddetlendirmeleri verecektir. Bu da

$$\kappa_{l,\alpha} = \frac{A}{\sigma_{L3}^P} \quad (1.45)$$

$$\kappa_{\beta} = \frac{C\omega_1 F_{1\beta} + B\omega_2 F_{2\beta} + A\omega_3 F_{3\beta}}{\sigma_{L1}^P \omega_1 F_{1\beta} + \sigma_{L2}^P \omega_2 F_{2\beta} + \sigma_{L3}^P \omega_3 F_{3\beta}} \quad (1.46)$$

$$\kappa_{\gamma} = \frac{C\omega_1 F_{1\gamma} + B\omega_2 F_{2\gamma}}{\sigma_{L1}^P \omega_1 F_{1\gamma} + \sigma_{L2}^P \omega_2 F_{2\gamma}} \quad (1.47)$$

olur. Bu değerler elementler için Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Şiddetlendirme faktörleri

Element	$\kappa_{l,\alpha}$	$\kappa_{\beta}$	$\kappa_{\gamma}$
<sup>75</sup> Re	17,962	5,868	4,237
<sup>76</sup> Os	18,611	5,824	4,490
<sup>77</sup> Ir	17,447	6,362	4,693
<sup>78</sup> Pt	17,166	6,467	4,806
<sup>79</sup> Au	16,576	6,567	4,947
<sup>80</sup> Hg	16,243	6,652	4,927
<sup>81</sup> Tl	15,863	6,477	4,917
<sup>82</sup> Pb	15,513	6,338	4,814
<sup>83</sup> Bi	15,144	6,203	4,720
<sup>90</sup> Th	12,718	5,285	4,051
<sup>92</sup> U	12,501	4,694	3,684

### 1.9. K ve L X-Işını Şiddet Oranı Teorik Hesabı

Çalışmamızda  $I(K_i)/I(K_j)$ ,  $I(L_i)/I(L_j)$  ve  $I(L)/I(K)$  şiddet oranlarını teorik ifadesi K ve L X-ışını tesir kesitlerinin oranı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu da,

$$\frac{I(K\beta)}{I(K\alpha)} = \frac{\sigma_{K\beta}^x}{\sigma_{K\alpha}^x} \quad (1.48)$$

$$\frac{I(L_i)}{I(K_j)} = \frac{\sigma_{Li}^x}{\sigma_{Kj}^x}, \quad (i=\alpha,\beta,\gamma \text{ ve } j=\alpha,\beta) \quad (1.49)$$

şeklinde verilir. Burada  $\sigma_{K\beta}^x$  ve  $\sigma_{K\alpha}^x$  üretim tesir kesitleri olup denklem (1.14)' den hesaplanmıştır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Enerji Ayrımlı X-ışını Floresans Spektroskopisi (ED-XRF)

X-ışını floresans spektroskopisi (XRF) , atom numarası  $Z >4$  büyük elementlerin kalitatif ve kantitatif miktarını milyonda bir oranında hassasiyetle belirlemede kullanılan tahripsiz analitik methodlardan biridir. XRF methodunun en önemli avantajları; geniş dinamik aralık (ppm' den % (m/m)), yüksek hassasiyet (0,1%) ve numune hazırlamak için çok az miktarda örnek gerektirmesidir. XRF ilk olarak jeoloji de demirli ve demirsiz alaşımlar, yağlar, maden cevheri, minareler gibi örneklerin rutin analiz çalışmalarında tercih edilen bir yöntemdi (Lemberge, 2000). Zaman içerisinde analitik laboratuvarlarında ED-XRF spektrometreleri yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bunun anlamı günümüzde alışılmış uygulamalar olarak bilinen AAS ve ICP' nin yerini ED-XRF' nin almasıdır. Hem endüstride hem de bilim dallarında ED-XRF' nin kullanımı düşüncesinin mevcut olduğunu söylenebilmektedir (Schramm, 2000).

Oda sıcaklıklarında radyasyonun tespiti için sayısız katıhal malzeme mevcuttur. Bu sıcaklıklarda dedektörün zayıf akımından ileri gelen gürültü seviyesi yüzünden, kullanılan malzeme geniş enerji aralıklığına sahip olmalıdır. Ayrıca bu malzemelerin yük transfer özellikleri de yüksek olmalıdır. Bu malzemeler arasında ilk ve yaygın olarak kullanılanları Galyum arsenik (GaAs), Kadmiyum tellur (CdTe) ve Civa iyodür ( $HgI_2$ ) 'dür. Bunlar içerisinde  $HgI_2$  dedektörleri, ED-XRF cihazlarında kullanımı ve ticari şeklinin olması sebebiyle en uygun olanıdır. CdTe dedektörleri yüksek dudurucu gücü sebebiyle oda sıcaklıklarında gama spektroskopisinde kullanılır. Bu dedektörlerde son yıllarda enerji rezülasyonundaki iyileşme sebebiyle ED-XRF için tercih edilmeye başlamıştır. GaAs dedektörleri 1973'lerden sonra pek fazla gelişim göstermemişlerdir.

ED-XRF spektroskopisindeki gelişmenin en önemli kısmı, 1970' lerin başında lityum sürüklenmiş silikon dedektörlerin (Si(Li)) gelişimiyle başlamıştır. Daha önceleri ED-XRF cihazlar yalnızca sınırlı rezülasyonlara sahip gaz ayrımlı veya sintilasyon sayaçlarından oluşurdu. Bu yüzden bu detektörler yalnızca üs üste binmiş 2 veya 3 elementin karakteristik sinyallerini tespit edebilirlerdi. Fakat katıhal yarıiletken dedektörleri ise çok daha iyi enerji çözünürlüğü gösterebilirlerdi. Sintilasyon ve gaz ayrımlı sayaçlarla karşılaştırıldığında üs üste binmiş pikleri ayırmada katıhal dedektörlerinde daha az

problemlerle karşılaşıldı. Yinede analitik sonuçların kesinliği için üst üste binmiş piklerin çözümleme çalışmaları hala devam etmektedir. Aşağıdaki Tablo 6’da ED-XRF alanındaki üç farklı dedektörün farklı enerjilerdeki enerji rezülasyonunun karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 6. Farklı dedektörler için farklı enerjilerde FWHM değerleri

Atom Numarası	$K_{\alpha}$ (keV)	Enerji Rezülasyonu (eV)		
		Katıhal	Gaz ayrımlı	Sintilasyon
13 (Al)	1.49	117	425	3000
26 (Fe)	6.4	160	660	6200
50 (Sn)	25.3	275	1750	12200

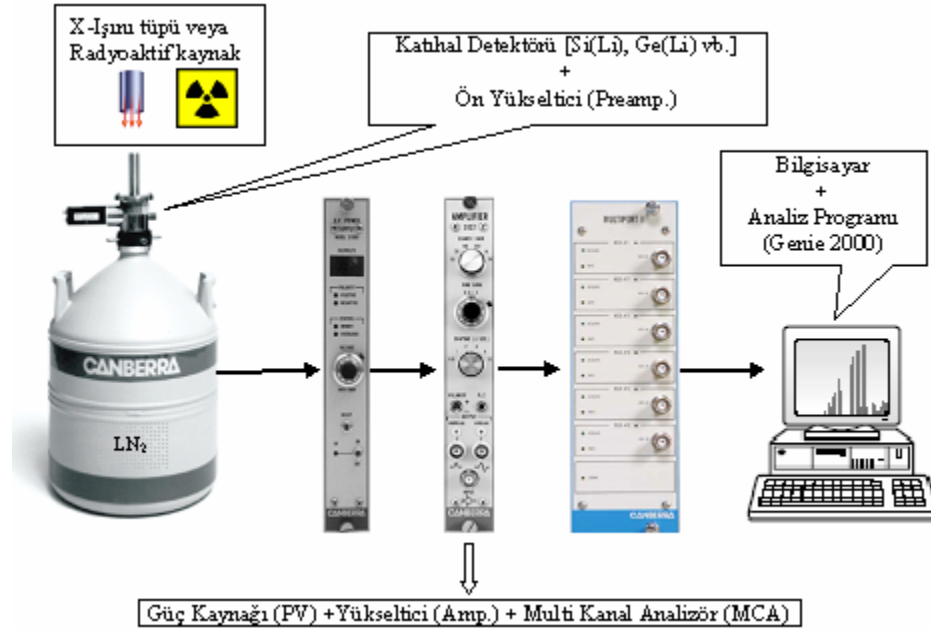
Günümüzde ED-XRF cihazlarını temel alan birçok laboratuarlarda katıhal dedektör tipi olarak Si(Li) veya yüksek saflıkta HPGe dedektörleri tercih edilmektedir. Genel olarak ED-XRF spektrometreleri;

X-ışını kaynağı (X-ışını tüpü veya radyoaktif kaynak)

Katıhal dedektörü (Si(Li), HpGe, Ge(Li), vb.)

Destekleyici elektronik kısım (PV, Amplifer , PC vb.,)

olmak üzere temel üç kısımdan meydana gelmektedir ( Şekil 6).



Şekil 6. ED-XRF sisteminin bölümleri

X-ışını tüpünden veya bir radyoaktif kaynaktan bir X-ışını fotonu numuneye çarptığı zaman, X-ışını ya atom tarafından soğrulur veya numune içinde saçılır. Bir X-ışını atom tarafından soğrulması sonucunda tüm enerjisini en içteki elektrona verir ve bu olay “Fotoelektrik etki” olarak adlandırılır. Bu süreçte X-ışının enerjisi yeterli ise elektronu iç kabuklardan söker ve boşluklar oluşturur. Bu boşluklar atomda kararsız bir durum meydana getirir. Atom tekrar kararlı hale dönebilmesi için dış kabuklardan iç kabuklara elektron transfer eder. Elektronun transferi sırasında kabukların bağlanma enerjilerinin arasındaki fark kadar bir enerjide karakteristik X-ışınları yayımlanır. Yayımlanmış X-ışınlarının üretimine “X-ışını floresans” veya XRF adı verilir. X-ışınları yardımıyla yapılan bulma ve analiz işlemi X-ışını floresans analiz olarak adlandırılır. Analiz işlemlerinde genellikle en içteki K ve L kabukları dikkate alınır.

XRF alanındaki analiz çalışmalarında büyük bir kısmında kimyasal yapı analizleri için “yumuşak” (soft) X-ışını spektrumları kullanılır. Yumuşak X-ışını pikleri, salınmış atomun etrafındaki elektronik yapıyı (veya kimyasal bağlanmayı) direkt belirleyen ince yapının sıkça görünümünü sağlar. Böylece pik pozisyonundaki kayma, şiddet dağılımındaki değişim veya ekstra piklerin görünümü durumları, oksidasyon durumu, koordinasyon sayısı ve kovalent bağlı ligandların doğası gibi çeşitli kimyasal faktörlerle ilişkilendirilir (Brundle vd., 1992).

### **2.1.1. Si(Li) Yarıiletken Dedektörü ve Çalışma Prensibi**

Bir Si(Li) yarıiletken dedektörü, p ve n tipi bölge arasında silisyum yarıiletken tek kristalinden oluşan ve yalnızca bir yönde akım geçiren bir diyottur. p-tipi silisyum yüksek saflıkta üretilmeye çalışılmaktadır ancak yinede yeterli yüksek saflıkta p-tipi silisyum parça elde etmek zordur. Birçok Si kristalleri tam saf olmamaları sebebiyle, gerekli besleme voltajında önemli kaçak akıma sebep olan dış boşluklar meydana gelir. Bu boşlukları ortadan kaldırmak için n-tipi lityum atomları 350–450°C sıcaklıkta bir elektrik gradyenti altında kristale sürüklenir. Böylece p-tipi silisyumlar lityum atomları ile yük alışverişinde bulunarak yüksek hassasiyette geniş bir intiristik bölge oluşur. Detektör yüzeyinin ince p-tipi tabakası aktif değildir. Dedeksiyon işlemine katkısı olmayan bu tabakaya ölü tabaka denir. Detektörün iki önemli geometrik özelliği alanı ve kalınlığıdır. Sayım için önemli bir faktör olan geometrik verimlilik, detektör alanı arttıkça artar, ancak rezülasyonu azalır. Kalınlığı arttıkça soğurma verimliliği artar, bu defa da yük toplama



zamanı fazlalaşır. İyi rezülasyon için dedektör sığası düşük olmalıdır. 25 mm<sup>2</sup> alanlı ve 3 mm kalınlığında bir dedektörün sığası 1,5 pF'tan daha küçüktür. Kullandığımız Canberra marka Si(Li) dedektörün aktif alanı 13 mm<sup>2</sup> ve kalınlığı 3mm'dir. Elektrotlar, lityum sürüklenmesiyle elde edilmiş silisyum yüzeyine yaklaşık 200 Å kalınlığında altın buharlaştırılmasıyla elde edilir. Detektör, en uygun ayırma gücü elde etmek ve gürültüyü azaltmak için sıvı azot sıcaklığında (-196 °C) tutulmalıdır. Bunun için dedektör, 30 lt sıvı azot alabilecek bir devara yerleştirilmiştir. Detektör, dış ortamdan gelebilecek yüzey kirlenmesini önlemek için 30 µm kalınlığında berilyum pencere ile koruma altına alınmıştır.

Dedektör rezülasyonu, pikin yarı maksimumdaki tam genişliğiyle ve dedekte edilen foton enerjisinin bir fonksiyonu ile belirtilebilir. Bu yüzden çeşitli dedektörlerin performansını karşılaştırmak için uygun bir enerji seçmek gereklidir. Çoğu durumda 5.96 keV'deki MnK<sub>α</sub> çizgisi referans alınır. Bizim kullandığımız Si(Li) dedektörün 5.9 keV'deki rezülasyonu FWHM 160eV dir. Enerji rezülasyonu iki bağımsız faktörün fonksiyonudur. Bunlardan birisi dedektörün enerji rezülasyonu, diğeri ise dedektör gürültüsü ve yükseltici sistemine bağlı faktörlerdir. İntiristik enerji rezülasyonu, dedektöre bir X-ışını fotonu çarptığı zaman oluşan yüklerin sayısı ile ilgilidir. Enerji rezülasyonu için intiristik dedektör katkısı,

$$FWHM= 2,35 \sqrt{F\varepsilon E} \quad (2.1)$$

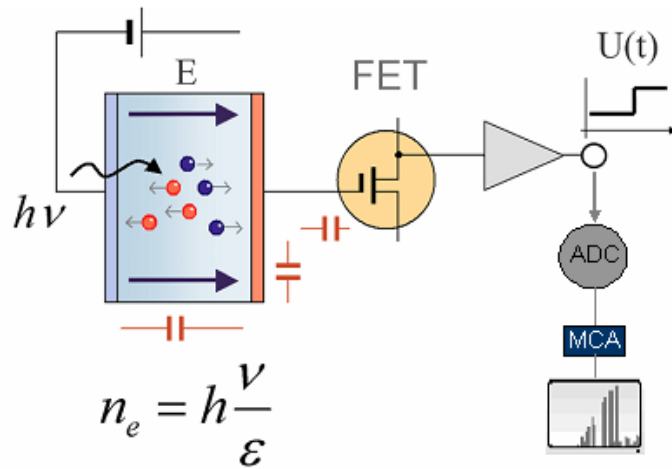
ile verilir. Burada  $E$  gelen X-ışını fotonun enerjisi,  $\varepsilon$  yük taşıyıcılarının bir çiftini oluşturmak için gerekli enerjidir.  $\varepsilon$  öncelikle yarıiletken metaryelin band-aralığı enerjisiyle belirlenir. Enerjiyi arttırarak diğer etkenler dikkate alınarak, (örneğin kristal örgüyü uyaran enerji, ısınma enerjisi vb.) bir yük taşıyıcı çifti oluşturmak için gerekli ortalama enerji band-aralık enerjisinden daha yüksektir. Mesela Si için band-aralık enerjisi 1,1 eV iken elektron boşluk çifti başına ortalama  $\varepsilon$  enerjisi 3,85 eV'dir. F fano faktörü olup, iyonlaşma sayısında gözlenen dalgalanmanın ortalamasının karesinin iyonlaşma sayısına oranı olarak tanımlanır (Fano, 1947). Bu değer Si için, 77 K' de 0,084–0,137 aralığındadır.

Bir X-ışını fotonu intiristik bölgeye girdiği zaman bu bölgedeki silisyum atomlarını iyonlaştırır (Şekil 7 ). Foton, enerjisinin tamamını fotoelektronlara verir. Fotoelektron, enerjisi bitinceye kadar yolu boyunca elektron-boşluk çifti meydana getirerek sayaç içinde hareket eder. Si(Li) dedektörde her bir iyon çifti oluşturmak için fotoelektrondan yaklaşık

3,8 eV harcanır. Akıma karşı yüksek bir voltaj uygulandığı esnada iletim bandına uyarılır. X-ışını tespiti için, gelen bir X-ışını fotonu ile ilişkili her bir akım pulsu bir ölçülmektedir. Tek bir pulsun ani akım değeri, gelen X-ışınının enerjisi ile ilgilidir. Dolayısıyla X-ışınının enerjisi, akım pulsunun dalga boyu ölçülerek bulunabilir. Silisyumun karakteristik X-ışınlarının enerjilerinin detektör içerisinde fotoelektrik yolu ile harcandığı düşünülürse, elektrik alanı tarafından toplanan Q yükünün detektöre giren karakteristik X-ışınının  $E_x$  enerjisi ile orantılı olduğu anlaşılır. Yani,

$$Q = \left( \frac{E_x}{3.85} \right) 1.6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb} \quad (2.2)$$

yazılabilir. Katıhal dedektörlerinde, detektör içi bir yükseltme olmadığından alçak gürültülü ve yüksek kazançlı ön yükselticilere ihtiyaç vardır. Gürültü seviyesi, sistem sıvı azot sıcaklığında tutularak azaltılmaktadır. Dedektörün yüksek kazançlı olması için FET (field-effect- transistör) kullanılmaktadır. FET akım pulsunu büyütürken potansiyel pulsunu dönüştürmektedir. Ön yükselticiden gelen potansiyel pulsları lineer yükselticide lineer olarak büyütüldükten sonra ADC (analog digital converter) gönderilir. ADC' de analog işlemleri yapılan bu pulslar çok kanallı analizöre (MCA) gönderilir ve orada enerjilerine karşılık gelen kanallarda sayılırlar. Bu sayımlar sonucu, dedektörün ayırma gücüyle ilgili olarak aynı enerjili karakteristik X-ışını fotonları bir pik oluştururlar. Bu tür pikler bir araya geldiğinde, enerjiye karşı şiddetin çizdiği şekiller, yani spektrumlar oluşur.



Şekil 7. Si Yarıiletken diyotunun basit görünümü ve diğer kısımlar

### 2.1.2. Sayma Sistemi

Bir sayma sistemi öncelikle bir dedektör, ön yükseltici ve yükseltici, analog sayısal dönüştürücü (ADC), yüksek voltaj kaynağı (HV), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayar sisteminden oluşur. Dedektörden alınıp bilgisayara ulaşan veriler “Genie 2000” programı yardımıyla görünür ve değerlendirilebilir hale getirilir. Programın kurulu olduğu bilgisayar ve sistemin diğer kısımları arasında interface görevi yapan bir aparattan oluşmaktadır. Bilgisayarda piklerin görünümü için kullandığımız Genie 2000 programı, aynı zamanda yüksek voltaj, ADC, yükseltici gibi sistemleride kontrol edebilmektedir.

#### 2.1.2.1. Yüksek Voltaj Kaynağı

Dedektörde meydana gelen yükleri toplamak için dedektör elemanı üzerine bir gerilim uygulanır. En uygun voltaj üretici firmanın belirttiği katalog değerine uygun olarak seçilir. Çalışmamızda kullandığımız Canberra marka dedektörün çalışma voltajı  $\approx$ -600 V olarak belirtildiği için bu değere yakın bir gerilim uygulanmıştır.

#### 2.1.2.2. Ön Yükseltici

Modern bir yarıiletken dedektör sistemi ile birlikte yüke hassas ön yükseltici kullanılır. Elektronik gürültüyü en azaltmak için, genellikle bir alan-etkili transistör (FET) olan ön yükselticinin girişi dedektörle aynı tarzda soğutulur, yani sıvı azot kaynama sıcaklığında ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) muhafaza edilir. Ön yükselticinin çalışmasını iyileştirmek için FET'in sıcaklığı oda sıcaklığında olan dedektörün dış muhafazasından içeriye biraz ısı sızmasına izin verilerek dedektörden daha sıcak tutulabilir. Ön yükseltici dedektörden gelen yük pulsunu voltaj pulsuna dönüştürür ve buradan çıkan pulsların yükseklikleri veya genlikleri dedektörde toplanan yük miktarı ile orantılı olmalıdır. Dolayısıyla eğer fotonun bütün enerjisi dedektörde soğurulmuşsa fotonun enerjisiyle orantılı olmalıdır.

#### 2.1.2.3. Yükseltici

Bir yükselticinin iki ana görevinden birincisi ön yükselticinin çıkış puls genliklerini ayırt ederek sayılma için uygun seviyelerini yükseltmek, ikincisi ise pulsları, puls genliği ve X-ışını fotonu arasındaki orantılı ilişkiyi sürdürerek işleme uygun bir forma sokmaktır.

Modern sistemler için çıkış pulsunun genliği 2 V'tan 10 V'a kadar değişir. Çoğu amplifikatör hem unipolar çıkış (yani, sinyalin pik kısmı tamamen pozitif veya tamamen negatiftir) hem de bipolar çıkış (yani, sinyal hem pozitif hem de negatif bileşene sahiptir) ile donatılmıştır. En iyi sinyal-gürültü (signal-to-noise) oranını elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı seçilir. Kullanıcının bilerek seçmesi gereken başka bir yükseltici denetimi puls genişliğini belirleyen "Shaping time" sabitidir. Bir spektrumdaki pikler için en iyi rezülasyon genellikle sistem daha uzun bir zaman üzerinden gürültünün ortalamasını alabileceği için daha uzun zaman sabitiyle elde edilebilir. Bununla birlikte, daha uzun zaman sabitleri daha fazla rasgele toplanmaya da neden olur. Bundan dolayı, eğer sistem  $2.000 \text{ s}^{-1}$ 'lik sayma hızlarında çalıştırılabilecekse daha kısa zaman sabitleri kullanılabilir.

#### **2.1.2.4. Analog Dijital Dönüştürücü (ADC)**

Analog sayısal dönüştürücü (ADC) yükselticiden gelen analog pulsu, onun genliğiyle ve dolayısıyla X-ışını fotonunun enerjisiyle orantılı bir tam sayıya çevirir. Bu işleme de analogu sayısala dönüştürme işlemi denir. Sayılmış olan her bir puls yüksekliği kadar sayı analizörün hafızasında biriktirilir. Sonuçta bu bilgi bir enerji spektrumu olarak ekrana aktarılır.

#### **2.1.2.5. Çok Kanallı Analizör (MCA)**

Çok kanallı analizör sayısal hale getirilmiş pulsları büyüklüklerine göre kanallara yerleştirir ve bilgisayar hafızasına kaydeder. Gerçekte, her bir kanal depolamak için kullanılan bir kutudur ve X-ışını spektrumunda kesin olarak kalibre edilmiş sayısal enerji aralığı olan bir enerji aralığına düşen pulsları sayar. Kalibrasyon işlemi standart kaynaklar kullanılarak ölçüme başlamadan önce yapılmalıdır.

### **2.2. Dedektör Verimi**

EDXRF sistemi ile yapılan çalışmalarda dedektör veriminin bilinmesi gerekir. Dedektör verimi, dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı ya da dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır.

Dedektör verimliliğinin tayini için kalibre edilmiş kaynaklara ihtiyaç vardır. Bu kaynakların bozunmalarında foton yayımlama ihtimali değerleri bilinmelidir. Dedektör verimliliğini etkileyen faktörleri kolimatör faktörü, dedektör maddesi, dedektörün hassas bölgesi, imalat faktörü ve kıyılarından kaçmalar şeklinde sıralayabiliriz.

### 2.2.1. Dedektör Verimliliğinin Ölçülmesi

Verim tayini için genelde nokta kaynaklar kullanılır. Kaynağın şekli farklı olduğunda, kaynak homojen olarak foton yayımlayamayacağından bu durum dedektör verimini etkiler. Bunun için kaynağın en çok fotonları yaydığı bölgesi dedektörün ortasına gelecek şekilde yerleştirilmeli ve kaynak sabitleştirilmelidir.

Bir dedektörün bir enerjideki verimi, dedektörden sabit bir uzaklıkta bulunan standart kaynaktan birim zamanda dedektöre gelen ve sayılan fotonların sayısını bilmekle tayin edilebilir. Bu şekilde elde edilen verim bütün geometri ve soğurma faktörlerini içine almaktadır. Enerjisi  $E$  olan bir foton için yarıiletken sayma verimi

$$\varepsilon = \varepsilon_I * f_g * f_{Be} * f_{Au} * f_d * f_R \quad (2.3)$$

ile verilir (Cohen, 1980). Burada  $\varepsilon_I$  tüm yükün toplanmış olduğu kabul edilen dedektörün hassas hacminin intrinsik verimidir. Ayrıca  $f_g(E)$  foton enerjisine bağlı geometrik faktör,  $f_{Be}$  dedektör yüzeyinin dışında bulunan maddelerdeki soğurma için düzeltme faktörü,  $f_{Au}$  altın elektrotlardaki soğurma için düzeltme faktörü,  $f_d$  ölü bölge düzeltme faktörü ve  $f_R$  açığa bağlı dedektör verimi için düzeltme faktörüdür. Kullanılan kaynağın verim tayini yapılırken şiddeti ( $I$ );

$$I = I_0 \exp(-\lambda t) \quad (2.4)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada  $I_0$  kaynağın ilk şiddeti,  $\lambda$  bozunma sabiti ve  $t$  ise kaynağın imalatından ölçüm alınmaya kadar geçen süredir. Eğer kaynaktan çıkan fotonlar farklı enerjilerde ise yayımlanan fotonların her enerjideki yayımlanma kesri tespit edilmelidir. Tespit edilen enerjideki yayımlanan foton sayısı ( $I_{EX}$ ),

$$I_{Ex} = [ I_0 \exp(-\lambda t) ]. W_{Ex} \quad (2.5)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada  $W_{Ex}$ , Ex enerjisinde yayınlanan fotonların kesridir. (2.5) denkleminde bulunan şiddet,  $360^\circ$ 'lik geometrik sayımda olduğundan dedektörün bu enerjideki verimi

$$E_{fEx} = \frac{I_d}{I_{Ex}} \quad (2.6)$$

ile verilir. Burada  $I_d$ , dedektörün ilgili enerjide saydığı foton sayısıdır. Deneysel olarak E enerjisindeki fotopik verimliliği,

$$\varepsilon(E) = \frac{4\pi N_E}{\Omega_0 TRP_E} \quad (2.7)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Burada  $N_E$ ,  $T$  zamanı içinde dedektörde sayılan foton sayısı,  $R$  ve  $P_E$  ise sırasıyla kaynağın bozunma hızı ve E enerjili fotonun kaynaktan yayınlanma ihtimaliyetidir. Sayma için etkin katı açı  $\Omega_0$  ise

$$\Omega_0 = \frac{\pi r^2}{(d + Z)^2} \quad (2.8)$$

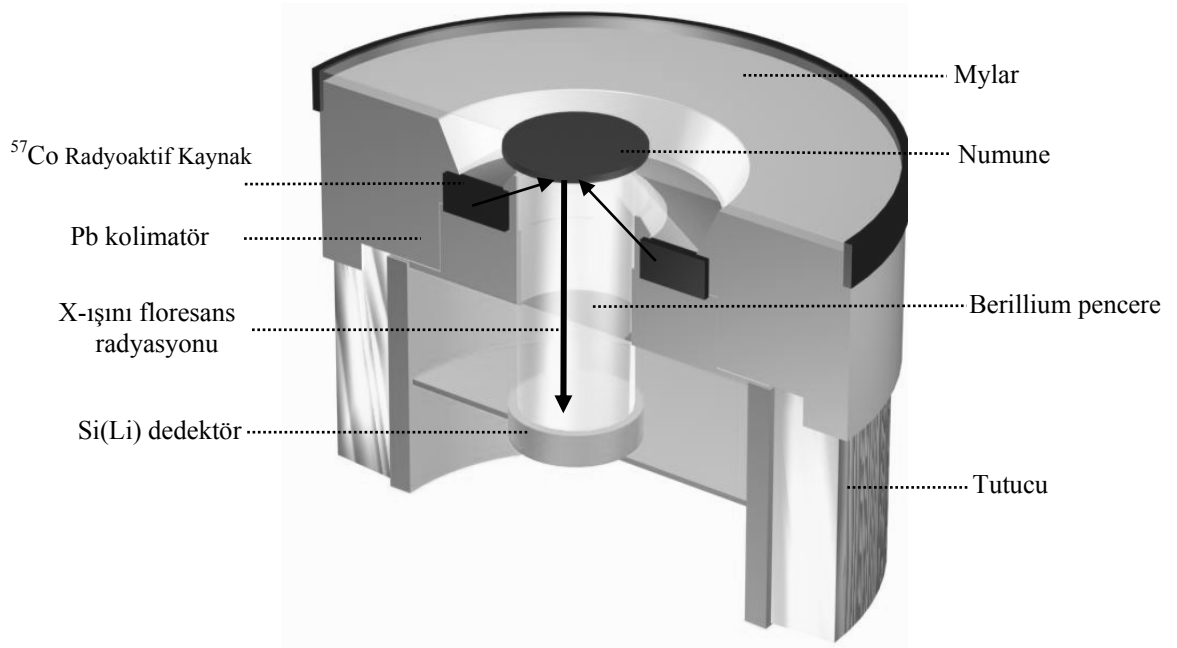
bağıntısıyla verilebilir. Mutlak verimlilik tayininde katı açı düzeltmesi yoktur. Bu nedenle mutlak verimlilik

$$\varepsilon(E) = \frac{N_E}{TRP_E} \quad (2.9)$$

şeklinde yazılabilir (Ertuğrul, 1994).

### 2.3. Deney Geometrisi

Deney geometrisi, sayma ve uyarma bakımından karakteristik X-ışınlarının şiddetlerini etkileyen faktörlerden birisidir. Karakteristik X-ışınlarının elde edilmesi için atomların uyarılması gerekmektedir. Çalışmamızda dedektör, radyoaktif kaynak ve numune arasındaki ölçüm geometrisi Şekil 8’te gösterildiği gibidir. Bu geometri uyarı radyasyonunun numune yüzeyi ile yaptığı açı  $45^\circ$  ve numunden yayımlanan X-ışını floresans radyasyonunun da numune yüzeyi ile yaptığı açı  $90^\circ$  olacak biçimde hazırlanmıştır.



Şekil 8. Deney geometrisi

## 2.4. Numunelerin Hazırlanması

Çalışmamızda dedektör verimi ile X-ışını floresans parametre ölçümü için seçilen elementler toz olarak temin edilmiştir. Bu elementlere ait özellikler Tablo 7’de verilmektedir. Elementler temin edildikten sonra mümkün olan en küçük parça büyüklüğüne ulaşmak için 400 mesh’lik elekten geçirelerek,  $10^{-4}$  hassasiyete sahip Sartorius Bp 110 s terazisi ile kütleleri tartılmıştır. Mylar film üzerine kalınlığı 20–40  $\text{mg}/\text{cm}^2$  ve çapı 13 mm olabilecek şekilde homojen olarak dağıtılarak ölçüm numuneleri hazırlanmıştır (Apaydın vd., 2005).

Tablo 7. Çalışmada kullanılan elementler ve özellikleri

	Element	Kimyasal Formülü	Cinsi	Saflığı (%)	Yoğunluğu ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Üretici Firma
1	<sup>26</sup> Fe	Fe	Toz	99,99	7.87	Aldrich
2	<sup>30</sup> Zn	Zn	Toz	99,90	7.14	Alfa Aesar
3	<sup>37</sup> Rb	Rb <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Toz	99,00	1.53	Alfa Aesar
4	<sup>42</sup> Mo	Mo	Toz	99,90	10.30	Aldrich
5	<sup>64</sup> Gd	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Toz	99,90	7.40	Alfa Aesar
6	<sup>65</sup> Tb	Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	Toz	99,99	7.30	Aldrich
7	<sup>66</sup> Dy	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Toz	99,99	7.81	Alfa Aesar
8	<sup>67</sup> Ho	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Toz	99,90	8.36	Aldrich
9	<sup>68</sup> Er	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Toz	99,90	8.64	Alfa Aesar
10	<sup>69</sup> Tm	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Toz	99,80	-	Aldrich
11	<sup>70</sup> Yb	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Toz	99,00	9.17	Aldrich
12	<sup>71</sup> Lu	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Toz	99,00	9.42	Aldrich
13	<sup>72</sup> Hf	Hf	Toz	99,60	13.3	Aldrich
14	<sup>73</sup> Ta	Ta	Toz	99,99	16.69	Alfa Aesar
15	<sup>74</sup> W	W	Toz	99,90	19.30	Alfa Aesar
16	<sup>75</sup> Re	Re	Toz	99,90	21.02	Alfa Aesar
17	<sup>76</sup> Os	OsO <sub>2</sub>	Toz	99,99	22.61	Alfa Aesar
18	<sup>77</sup> Ir	Ir	Toz	99,90	22.65	Aldrich
19	<sup>78</sup> Pt	Pt	Toz	99,98	21.45	Alfa Aesar
20	<sup>79</sup> Au	Au	Toz	99,96	19.32	Alfa Aesar
21	<sup>80</sup> Hg	HgSO <sub>4</sub>	Toz	98,00	6.47	Alfa Aesar
22	<sup>81</sup> Tl	Tl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Toz	99,90	7.11	Aldrich
23	<sup>82</sup> Pb	PbO <sub>2</sub>	Toz	95,00	9.38	Alfa Aesar
24	<sup>83</sup> Bi	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Toz	99,99	8.90	Aldrich
25	<sup>90</sup> Th	Th(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	Toz	99,90	-	Aldrich
26	<sup>92</sup> U	(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> UO <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	Toz	99,85	-	Aldrich



## 2.5. Numunelerin Uyarılması ve Sayılması

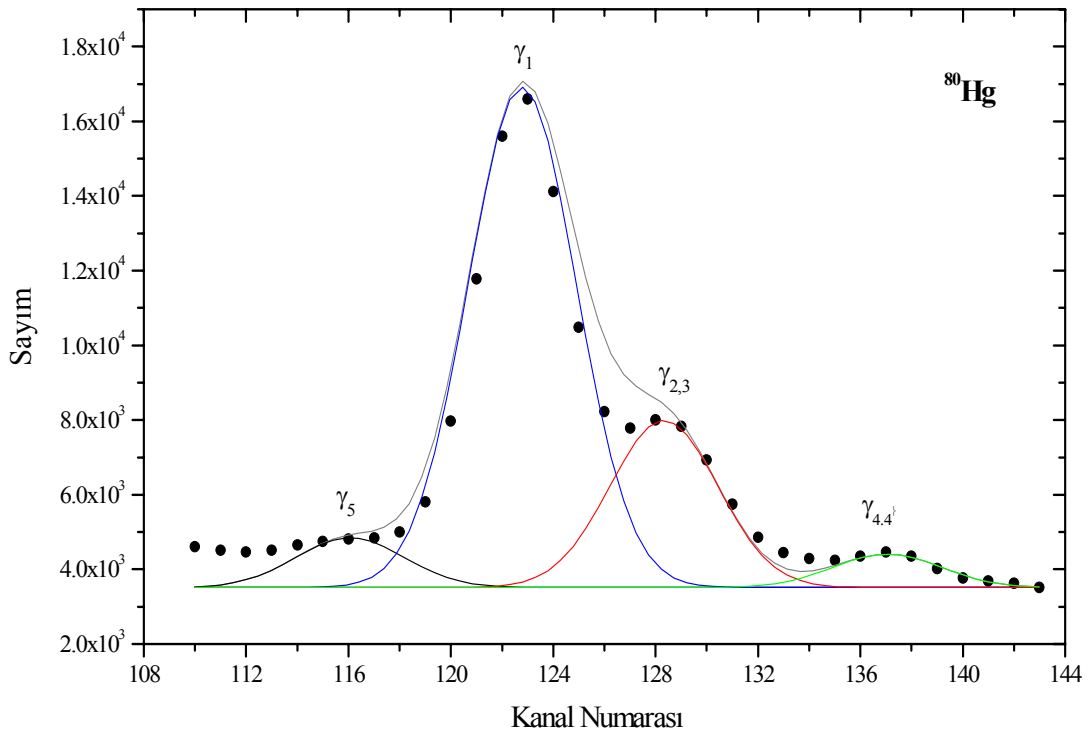
Çalışmamızda, numunelerimiz filtre edilmiş 925 MBq'lık bir  $^{57}\text{Co}$  radyoaktif kaynağından yayımlanan 123,6 keV enerjili  $\gamma$ -ışınları ile uyarılmıştır. Bu sayede elementlerin K tabakası soğurma kıyısından büyük bir enerjiyle uyarılması sağlanmıştır. Aynı zamanda numuneden yayımlanan karakteristik K X-ışınlarının, spektrumdaki temiz bölgelere düşmesine dikkat edilmiştir. Uyarma sonucunda numunelerden gelen karakteristik X-ışınları yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) 5.9 keV'de 160eV, aktif alanı 13mm<sup>2</sup>, kalınlığı 3mm ve Berilyum pencere kalınlığı 30  $\mu\text{m}$  olan Canberra marka bir Si(Li) dedektörle sayılmıştır. Sayım süresi her bir numune için 5000sn seçilmiştir. Sayımların yapıldığı dedektör, radyoaktif kaynak ve elektronik kısımdan oluşan ED-XRF sisteminin genel görünüşü Şekil 9'daki gibidir.



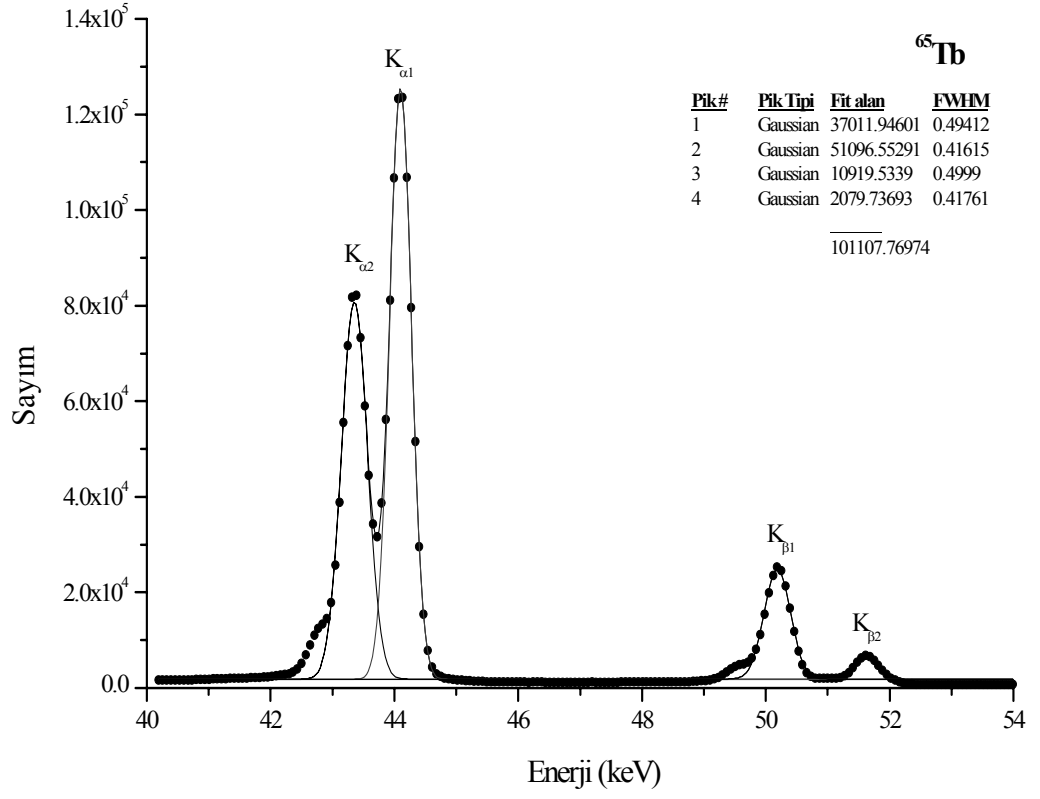
Şekil 9. ED-XRF sistemin görüntüsü

Karakteristik X-ışınları ölçümü ile ilgili çalışmalarda numunelerin uyarılması sonucu elde edilen karakteristik spektrumların, dolayısıyla da spektrumu oluşturan pik şiddetlerinin doğru ölçülmesi çok önemlidir. İncelenen elementin karakteristik piklerinden

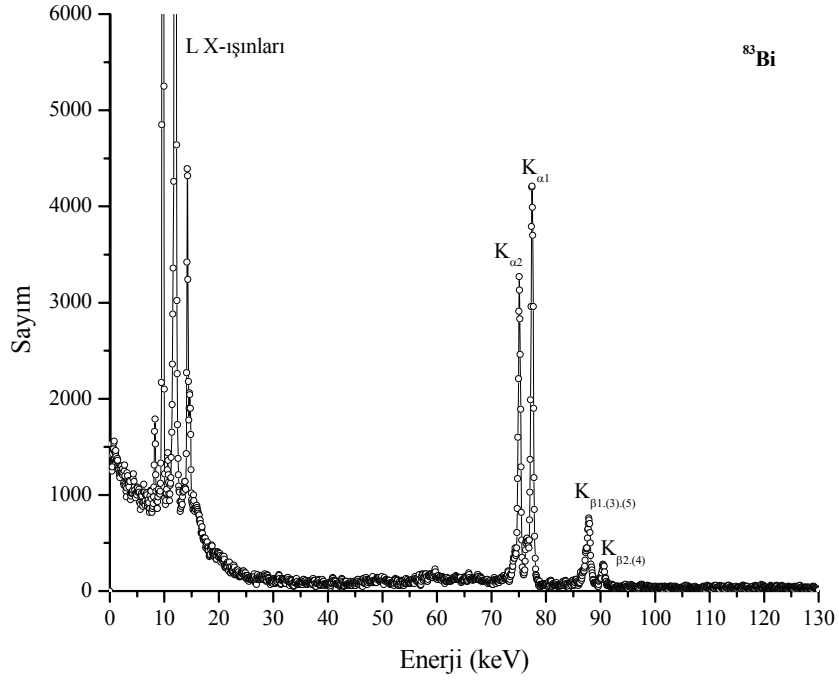
başka kaçak pikler, satallite pikleri, çoklu saçılmalardan meydana gelen kuyruklanmalar, üst üste binme pikler, sayaç atomlarının karakteristik X-ışını gibi piklerde meydana gelir. Bu piklerin analiz edilerek numuneye ait gerçek karakteristik X-ışını piklerinin elde edilmesi gerekmektedir. Çalışmamızda bu tip pikleri ayırt edebilmek için OriginPro 7.5 SR0 (Demo Version) programı ve bu program içerisinde bulunan, PFM (Peak Fitting Module) modülü yardımıyla  $K_{\alpha}$  ve  $K_{\beta}$  pikleri analiz edilmiştir. Bu programın tercih edilmesinin amacı Genie 2000 programının pikleri net olarak ayırmasıdır. İki program arasında net alanların belirlenmesinde %5-7 fark olduğu gözlenmiş ve OriginPro 7.5 programı tercih edilmiştir. Bu program yardımıyla pik alanlarını kolaylıkla ayırabildiğimizi gösteren Hg elementinin  $L_{\gamma_1}$ ,  $L_{\gamma_{2,3}}$ ,  $L_{\gamma_{4,4}^1}$  ve  $L_{\gamma_5}$  geçişleri Şekil 10'da verilmektedir. Yine program yardımıyla analiz edilmiş Tb elementine ait K X-ışını pikleri Şekil 11'deki gibidir. Ayrıca Bi elementine ait karakteristik K ve L X-ışınları Şekil 12'de ve Th elementine ait karakteristik L X-ışını alt kabukları Şekil 13'de enerjiye karşı sayım gelecek şekilde çizilmiştir.



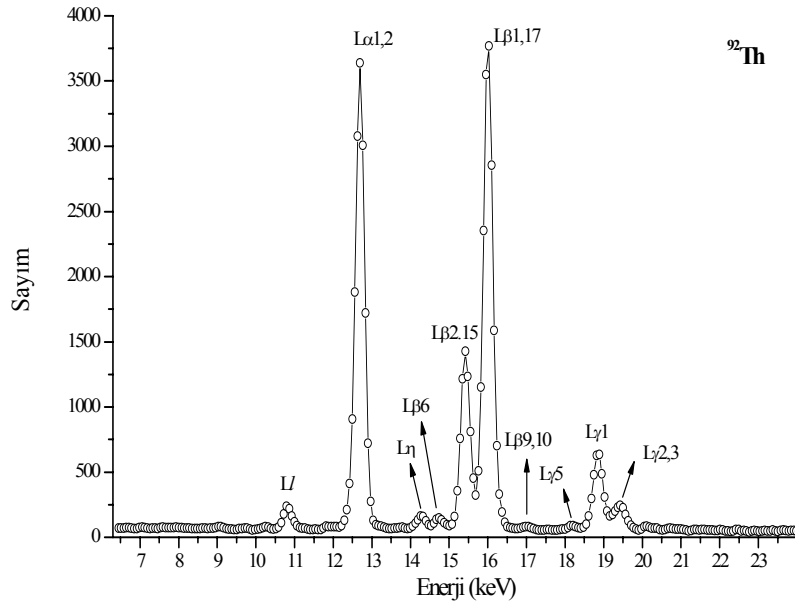
Şekil 10. Hg elementine ait  $L_{\gamma}$  pikleri



Şekil 11. Tb elementine ait  $K\alpha_{1,2}$  ve  $K\beta_{1,2}$  pikleri



Şekil 12. Bi elementine ait karakteristik K ve L X-ışınları



Şekil 13. Th elementine ait karakteristik L X-ışını alt kabukları

## 2.6. K ve L Kabuğu X-Işını Üretim Tesir Kesiti Deneysel Hesabı

Karakteristik X-ışını şiddeti, ilgili elementin tesir kesitine, uyarıcı radyasyonun şiddetine, elementin numune içindeki miktarına (konsantrasyon), geometrik faktörüne, numune içindeki soğurma faktörüne ve X-ışınlarının sayıldığı sayacın verimliliğine bağlıdır. Buna göre şiddet ifadesi,

$$N = I_0 G \varepsilon m_i \beta \sigma \quad (2.10)$$

ile verilir (Tıraşoğlu, 1994). Buradan hareketle K ve L X-ışını üretim tesir kesiti ifadesi,

$$\sigma_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{I_0 G \varepsilon_{Ki} \beta_{Ki} m_i} \quad [i = \alpha_{1,2}, \beta_{1,2}] \quad (2.11)$$

$$\sigma_{Li} = \frac{N_{Li}}{I_0 G \varepsilon_{Li} \beta_{Li} m_i} \quad [i = \alpha_{1,2}, \beta_{1,2,6,9,10,17}, l, \gamma_{1,2,3,5}, \eta] \quad (2.12)$$

olarak verilir. Burada  $N$  birim zamanda ölçülen karakteristik X-ışını şiddeti,  $I_0$  numuneye birim zamanda gelen foton şiddeti (uyarıcı radyasyon şiddeti),  $G$  kaynak numune ve numune dedektör konumuna bağlı geometrik faktör,  $\varepsilon$  X-ışınları enerjisindeki dedektör verimi,  $\beta$  soğurma düzeltme faktörü ve  $m_i$  numune içindeki analitin madde miktarı ( $\text{g/cm}^2$ ) olup  $m_i = m \cdot w_i$  bağıntısında bulunmuştur. Burada  $m$  toplam madde miktarı ve  $w_i$  ise analitin numune içindeki konsantrasyonunu göstermektedir.

### 2.6.1. Soğurma Düzeltme Faktörünün Hesabı

Numune içersinde oluşturulan karakteristik X-ışınları ve  $\gamma$ -ışınları numuneden geçerken numune atomları tarafından soğrulmaktadır. Dolayısıyla ölçülen X veya  $\gamma$ -ışını şiddeti yayımlanan X veya  $\gamma$ -ışını şiddetinden daha az olmaktadır. Bu durum floresans tesir kesiti çalışmalarında dikkate alınması gerekir. Soğurmadan kaynaklanan etkinin giderilmesi amacıyla ihtiyaç duyulan,

Soğurma düzeltmesi faktörü  $\beta$ ,

$$\beta = \frac{1 - \exp\left[-\left(\frac{\mu_p}{\cos\theta_1} + \frac{\mu_e}{\cos\theta_2}\right)\rho D\right]}{\left(\frac{\mu_p}{\cos\theta_1} + \frac{\mu_e}{\cos\theta_2}\right)\rho D} \quad (2.13)$$

olarak verilmektedir. Burada  $\mu_p$  ve  $\mu_e$  sırasıyla gelen fotonların ve yayımlanan karakteristik X-ışınlarının kütle soğurma katsayılarıdır. Bu değerler Berger ve Hubbell (1987) tarafından hazırlanan ve 1999 yılında itibaren internet ortamından da hesaplanabilir hale getirilen XCOM programı yardımıyla hesaplanmıştır.  $\theta_1$  ve  $\theta_2$  sırasıyla numune yüzeyi ile gelen fotonlar ve yayımlanan karakteristik X-ışınları arasındaki açılar ve  $\rho D$  ise numunenin kalınlığı olup tartılan numune miktarının numune alanına bölünmesiyle ( $\text{g/cm}^2$ ) bulunmuştur.

### 2.6.2. $I_0G\varepsilon$ 'nin Hesabı

Foton şiddeti, geometrik faktör ve X-ışınları enerjisindeki dedektör verimi ifadelerini içeren  $I_0G\varepsilon$  değeri çalışmamızda deneysel olarak hesaplanmıştır.  $^{57}\text{Co}$  radyoaktif kaynağı ile Fe, Zn, Rb, Mo, Nd, Gd, Dy, Er, Yb, Ta, Ir, Hg, Bi Th ve U elementlerinin uyarılması sonucunda elde edilen  $K_\alpha$  ve  $K_\beta$  X-ışınları yardımıyla (2.11) denkleminde hareketle,

$$I_0G\varepsilon = \frac{N_{Ki}}{\sigma_{Ki}\beta_{Ki}m_i} \quad [i = \alpha, \beta] \quad (2.14)$$

bağıntısından bulunmuştur.  $N_{Ki}, \sigma_{Ki}, \beta_{Ki}, m_i$  ifadeleri denklem (2.11) de izah edildiği gibidir. Bulunan  $I_0G\varepsilon$  değerlerinin karakteristik X-ışını enerjileri ile değişim grafiği Şekil 14'de çizilmiştir.  $I_0G\varepsilon$  değerinin enerjinin fonksiyonu olarak elde edilen fit denklemi,

$$I_0G\varepsilon_{Ki} = A_0 + A_1E + A_2E^2 + A_3E^3 \quad (2.15)$$

ile verilir. Burada E istenilen elementin  $K_i$  X-ışını enerjisi ve  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  ve  $A_3$  fit polinomundan elde edilen sabit değerlerdir. Bu değerler,

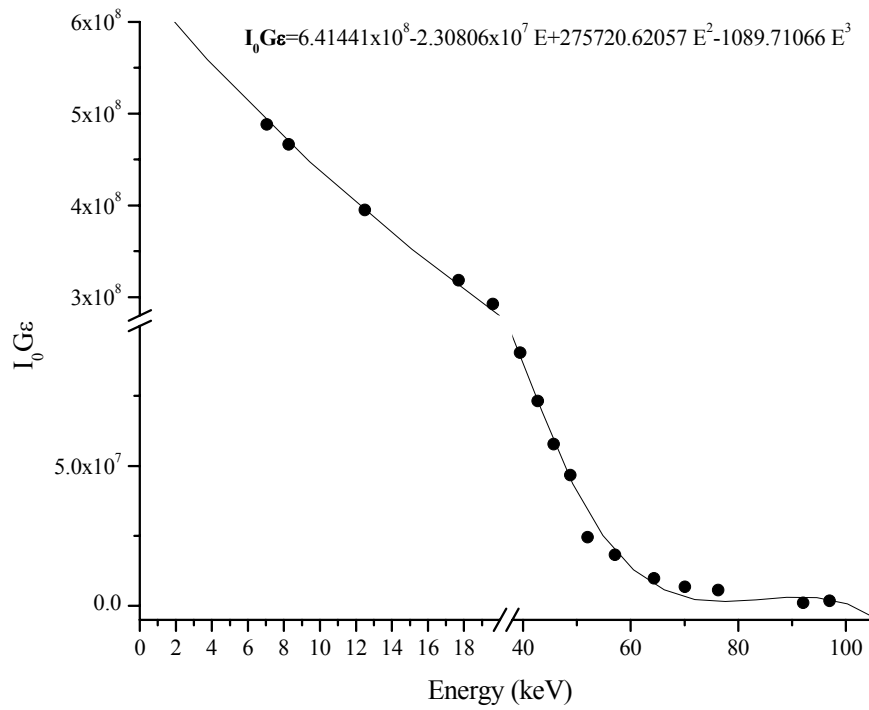
$$A_0 = 6.4144 \times 10^8$$

$$A_1 = -2.3080 \times 10^7$$

$$A_2 = 2.7572 \times 10^2$$

$$A_3 = -1089.71$$

gibidir.  $I_0 G \varepsilon$  değerini bulmak istenilen elementin X-ışını emisyon çizgisi enerjisi (Deslattes, vd., 2003) belirlenerek (2.14) denkleminde yerine koyulmak suretiyle elde edilebilir.



Şekil 14.  $I_0 G \varepsilon$  değerinin enerjiyle değişimi

## 2.7. K ve L Kabuğu Floresans Verimi Deneysel Hesabı

Herhangi bir tabakaya ait toplam iyonizasyon tesir kesiti  $\sigma_K^P(E)$  ve floresans verimi  $\omega$  olmak üzere, karakteristik X-ışını tesir kesitinin bu iki değerden çarpımından oluşacağı bilinmektedir. Bu düşünceden hareketle K kabuğuna ait floresans verim

$$\omega_K = \frac{\sigma_K^X}{\sigma_K^P(E)} \quad (2.16)$$

bağıntısıyla elde edilir. Burada  $\sigma_K^X$  elementin K kabuğuna ait toplam X-ışını tesir kesiti ve  $\sigma_K^P(E)$  ise bir elementin  $E$  uyarma enerjisindeki K kabuğu iyonizasyon tesir kesitidir (Scofield, 1973).

L kabuğuna ait ortalama verim deneysel olarak

$$\bar{\omega}_L = \frac{\sigma_{Li}^X}{(\sigma_L^P + \eta_{KL} \sigma_K^P)} \quad (2.17)$$

ile elde edilir. Burada  $\sigma_{Li}^X$   $L_{1,2,3}$  alt kabuklarına geçişleri mevcut olan ve deneysel olarak ölçebildiğimiz  $L_L$ ,  $L_{\alpha 1,2}$ ,  $L_{\beta 1,2,6,9,10,15,17}$ ,  $L_{\gamma 1,2,3,5}$  ve  $L_\eta$  üretim tesir kesitlerinin toplamı,  $\sigma_K^P$  ve  $\sigma_L^P$  K ve L kabuğunun  $E$  enerjisindeki iyonizasyon tesir kesiti (Scofield, 1973) ve  $\eta_{KL}$  K kabuğundan L kabuğuna boşluk geçiş ihtimaliyetidir (Puri, 1993).

## 2.8. K ve L X-ışını Şiddet Oranı Deneysel Hesabı

Bir elementin herhangi bir karakteristik X-ışını şiddeti

$$I = \frac{N}{\epsilon\beta} \quad (2.18)$$

ile ifade edilir. Burada  $N$  istenilen elementin karakteristik X-ışınına ait pikin net alanı,  $\epsilon$ , karakteristik X-ışını enerjisinde dedektörün verimi ve  $\beta$  soğurma düzeltme faktörüdür. Bu ifade yardımıyla elementlerin karakteristik X-ışını şiddet oranları,



$$\frac{I(K_\beta)}{I(K_\alpha)} = \frac{N(K_\beta)}{N(K_\alpha)} \times \frac{\varepsilon(K_\alpha)}{\varepsilon(K_\beta)} \times \frac{\beta(K_\alpha)}{\beta(K_\beta)} \quad (2.19)$$

$$\frac{I(K_{\alpha 2})}{I(K_{\alpha 1})} = \frac{N(K_{\alpha 2})}{N(K_{\alpha 1})} \times \frac{\varepsilon(K_{\alpha 1})}{\varepsilon(K_{\alpha 2})} \times \frac{\beta(K_{\alpha 1})}{\beta(K_{\alpha 2})} \quad (2.20)$$

$$\frac{I(K_{\beta 2})}{I(K_{\beta 1})} = \frac{N(K_{\beta 2})}{N(K_{\beta 1})} \times \frac{\varepsilon(K_{\beta 1})}{\varepsilon(K_{\beta 2})} \times \frac{\beta(K_{\beta 1})}{\beta(K_{\beta 2})} \quad (2.21)$$

$$\frac{I(L_{3l})}{I(L_{3\alpha})} = \frac{N(L_{3l})}{N(L_{3\alpha})} \times \frac{\varepsilon(L_{3\alpha})}{\varepsilon(L_{3l})} \times \frac{\beta(L_{3\alpha})}{\beta(L_{3l})} \quad (2.22)$$

$$\frac{I(L_{3\beta})}{I(L_{3\alpha})} = \frac{N(L_{3\beta})}{N(L_{3\alpha})} \times \frac{\varepsilon(L_{3\alpha})}{\varepsilon(L_{3\beta})} \times \frac{\beta(L_{3\alpha})}{\beta(L_{3\beta})} \quad (2.23)$$

$$\frac{I(L_{2\gamma})}{I(L_{2\beta})} = \frac{N(L_{2\gamma})}{N(L_{2\beta})} \times \frac{\varepsilon(L_{2\beta})}{\varepsilon(L_{2\gamma})} \times \frac{\beta(L_{2\beta})}{\beta(L_{2\gamma})} \quad (2.24)$$

$$\frac{I(L_{2\gamma})}{I(L_{2\eta})} = \frac{N(L_{2\gamma})}{N(L_{2\eta})} \times \frac{\varepsilon(L_{2\eta})}{\varepsilon(L_{2\gamma})} \times \frac{\beta(L_{2\eta})}{\beta(L_{2\gamma})} \quad (2.25)$$

$$\frac{I(L_{1\beta})}{I(L_{1\gamma})} = \frac{N(L_{1\beta})}{N(L_{1\gamma})} \times \frac{\varepsilon(L_{1\gamma})}{\varepsilon(L_{1\beta})} \times \frac{\beta(L_{1\gamma})}{\beta(L_{1\beta})} \quad (2.26)$$

$$\frac{I(L_i)}{I(K_j)} = \frac{N(L_i)}{N(K_j)} \times \frac{\varepsilon(K_j)}{\varepsilon(L_i)} \times \frac{\beta(K_j)}{\beta(L_i)}, \quad (i = \alpha, \beta, \gamma), (j = \alpha, \beta) \quad (2.27)$$

denklemleri ile hesaplanmıştır.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Tesir Kesiti İfadesi ile İlgili Bulgular

Çalışmamızda  $65 \leq Z \leq 92$  arasında atom numarasına sahip bazı elementlerin K kabuğuna ait  $K_{\alpha 1}$ ,  $K_{\alpha 2}$ ,  $K_{\beta 1}$  ve  $K_{\beta 2}$  üretim tesir kesiti ifadeleri, teorik (1.14) ve deneysel (2.11) denklemleri yardımıyla hesaplanarak Tablo 8 ve Tablo 9'da verilmiştir. Benzer biçimde L kabuğuna ait  $L_{3l}$ ,  $L_{3\alpha}$ ,  $L_{3\beta}$ ,  $L_{2\beta}$ ,  $L_{2\gamma}$ ,  $L_{2\eta}$ ,  $L_{1\beta}$  ve  $L_{1\gamma}$  üretim tesir kesiti ifadeleri teorik (1.19–26) ve deneysel (2.11) denklemleri yardımıyla hesaplanarak Tablo 10'da verilmektedir. Tablolarda ifade edilen tesir kesitlerinin atom numarasıyla değişimi şekiller üzerinde de gösterilmiştir.  $K_{\alpha 1}$ ,  $K_{\alpha 2}$ ,  $K_{\beta 1}$  ve  $K_{\beta 2}$  tesir kesiti ifadelerinin atom numarasıyla değişimi sırasıyla Şekil 15, 16, 17 ve 18'de çizilmiştir. Ayrıca  $L_I$  alt kabuğuna ait  $L_{1\beta}$  ve  $L_{1\gamma}$  tesir kesitleri Şekil 19'da,  $L_{II}$  alt kabuğuna ait  $L_{2\beta}$ ,  $L_{2\gamma}$  ve  $L_{2\eta}$  tesir kesitleri Şekil 20'de ve  $L_{II}$  alt kabuğuna ait  $L_{3l}$ ,  $L_{3\alpha}$ , ve  $L_{3\beta}$  tesir kesitleri de Şekil 21'de atom numarasıyla değişimleri gösterilmiştir.

Tablo 8. Atom numarası  $65 \leq Z \leq 92$  arasındaki bazı elementlere ait  $K_{\alpha 1}$  ve  $K_{\alpha 2}$  üretim tesir kesiti deneysel ve teorik değerleri (barns/atom)

Element	$\sigma_{K \alpha 1}$			$\sigma_{K \alpha 2}$		
	Deneysel	Teorik <sup>a</sup>	Teorik <sup>b</sup>	Deneysel	Teorik <sup>a</sup>	Teorik <sup>b</sup>
<sup>65</sup> Tb	170±16	176	178	87±9	98	99
<sup>66</sup> Dy	179 ±16	--	189	96±10	--	105
<sup>67</sup> Ho	192±17	--	200	101±10	--	112
<sup>68</sup> Er	208±18	209	211	106±10	118	119
<sup>69</sup> Tm	218±20	--	222	110±11	--	125
<sup>70</sup> Yb	210±19	231	234	130±12	131	132
<sup>71</sup> Lu	223±21	--	246	138±13	--	140
<sup>72</sup> Hf	226±22	255	258	141±15	146	147
<sup>73</sup> Ta	256±24	268	271	159±16	153	156
<sup>74</sup> W	270±26	280	284	167±17	161	163
<sup>75</sup> Re	245±23	--	297	172±17	--	171
<sup>76</sup> Os	289±27	--	310	179±18	--	180
<sup>77</sup> Ir	335±30	--	324	197 ±19	--	188
<sup>78</sup> Pt	316±29	333	337	213±22	195	197
<sup>79</sup> Au	332±30	347	351	233±23	204	206
<sup>80</sup> Hg	360±33	361	365	240±23	213	215
<sup>81</sup> Tl	386±35	375	379	246±24	222	225
<sup>82</sup> Pb	435±43	390	395	263±26	231	235
<sup>83</sup> Bi	476±49	--	409	280±29	--	244
<sup>90</sup> Th	561±58	511	515	350±35	316	319
<sup>92</sup> U	596±61	541	547	389±39	338	341

<sup>a</sup> Scofield, (1974a)'in Hartree-Fock theorisini kullanarak hesaplandığı şiddet oranları kullanılarak hesaplandı.

<sup>b</sup> Scofield, (1974b)'in Hartree-Slater theorisini kullanarak hesaplandığı şiddet oranları kullanılarak hesaplandı.

Tablo 9. Atom numarası  $65 \leq Z \leq 92$  arasındaki bazı elementlere ait  $K_{\beta 1}$  ve  $K_{\beta 2}$  üretim tesir kesiti deneysel ve teorik değerleri (barns/atom)

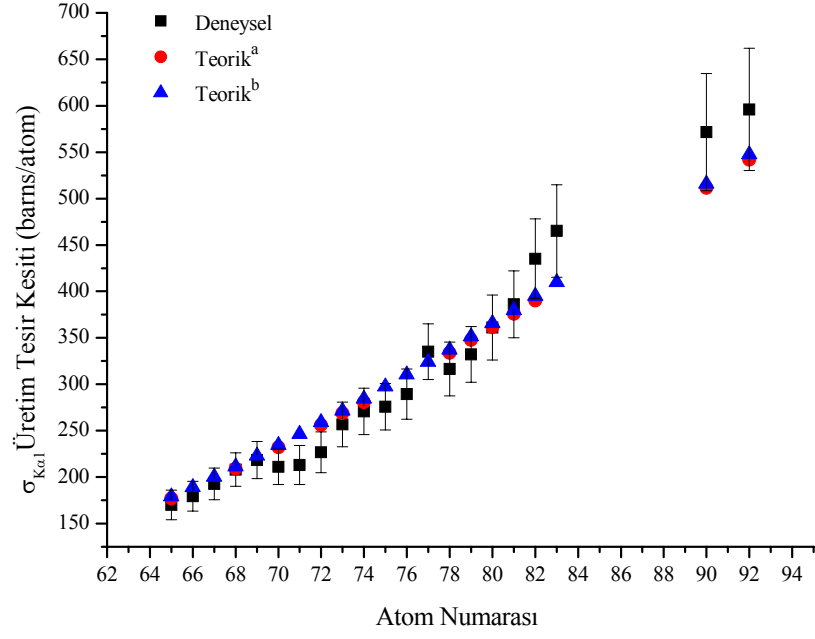
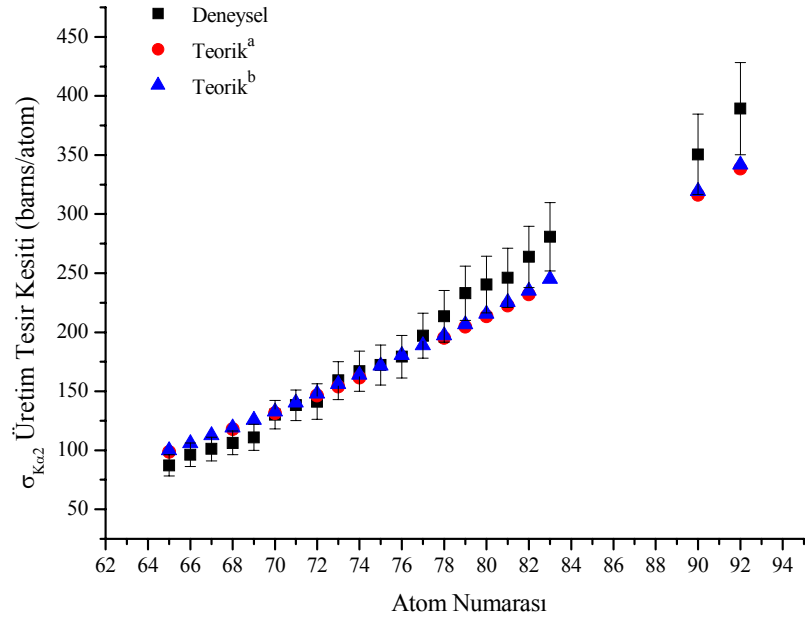
Element	$\sigma_{K \beta 1}$			$\sigma_{K \beta 2}$		
	Deneysel	Teorik <sup>a</sup>	Teorik <sup>b</sup>	Deneysel	Teorik <sup>a</sup>	Teorik <sup>b</sup>
<sup>65</sup> Tb	48 ±5	56	54	9±0,8	14	13
<sup>66</sup> Dy	51±5	--	58	11±1	--	14
<sup>67</sup> Ho	59±5	--	61	13±1	--	15
<sup>68</sup> Er	62±6	67	65	12±1	17	16
<sup>69</sup> Tm	63±6	--	69	15±1	--	17
<sup>70</sup> Yb	68±6	75	73	19±2	19	18
<sup>71</sup> Lu	69±6	--	77	19±2	--	19
<sup>72</sup> Hf	76±7	84	82	20±2	22	20
<sup>73</sup> Ta	81±7	89	86	19±2	24	22
<sup>74</sup> W	93±9	94	91	22±2	25	23
<sup>75</sup> Re	97±9	--	96	21±2	--	25
<sup>76</sup> Os	94±9	--	100	22±2	--	27
<sup>77</sup> Ir	100±10	--	105	26,±2	--	28
<sup>78</sup> Pt	103±10	113	110	26±2	32	30
<sup>79</sup> Au	112±11	118	115	30±3	33	31
<sup>80</sup> Hg	115±11	123	120	34±3	36	33
<sup>81</sup> Tl	121±11	129	126	32±3	38	36
<sup>82</sup> Pb	128±12	135	131	37±4	40	37
<sup>83</sup> Bi	123±12	--	137	36±3	--	39
<sup>90</sup> Th	163±16	183	179	50±5	61	57
<sup>92</sup> U	182±17	195	192	54±5	66	62

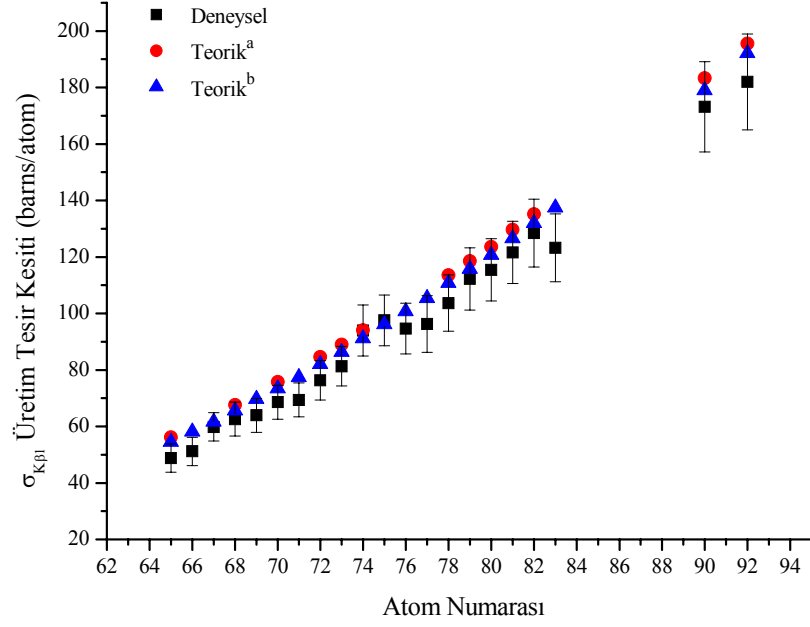
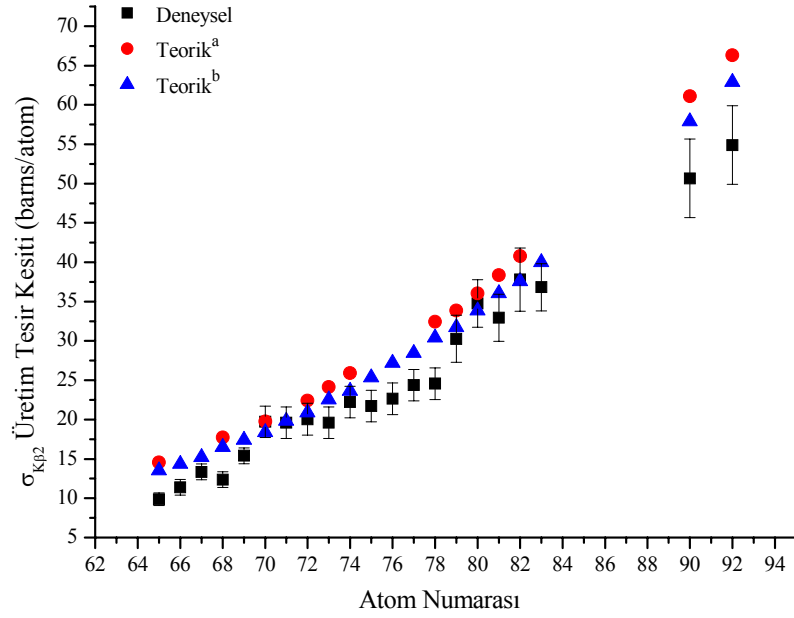
<sup>a</sup> Scofield, (1974a)'in Hartree-Fock theorisini kullanarak hesaplandığı şiddet oranları kullanılarak hesaplandı.

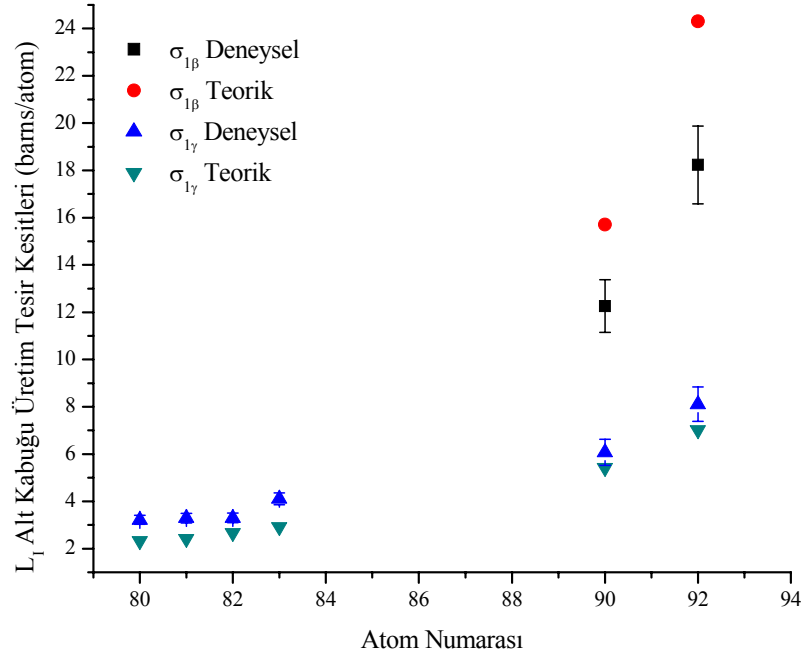
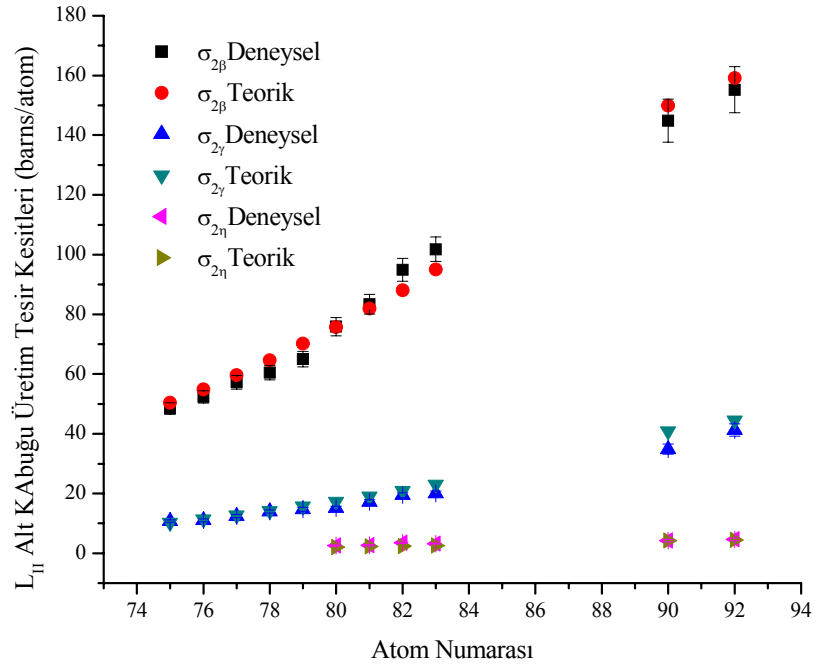
<sup>b</sup> Scofield, (1974b)'in Hartree-Slater theorisini kullanarak hesaplandığı şiddet oranları kullanılarak hesaplandı.

Tablo 10. Atom numarası  $75 \leq Z \leq 92$  arasındaki bazı elementlere ait L alt kabuğu üretim tesir kesiti deneysel ve teorik değerleri (barns/atom)

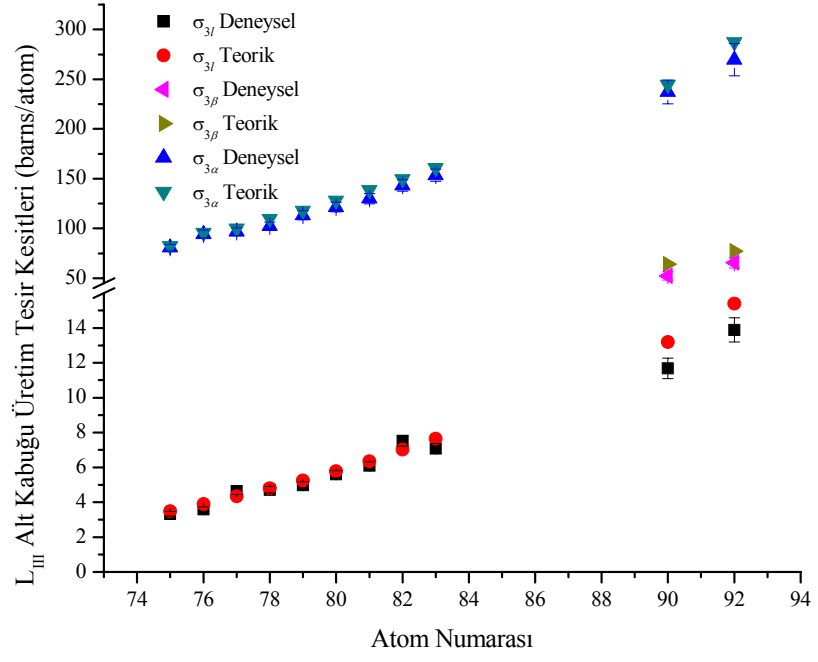
Element	$\sigma_{3l} (l)$		$\sigma_{3\alpha} (\alpha_{1,2})$		$\sigma_{3\beta} (\beta_{2,6,15})$		$\sigma_{2\beta} (\beta_{1,17})$		$\sigma_{2\gamma} (\gamma_{1,5})$		$\sigma_{1\beta} (\beta_{9,10})$		$\sigma_{1\gamma} (\gamma_{2,3})$		$\sigma_{2\eta} (\eta)$	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
<sup>75</sup> Re	3,33 ± 0,13	3,48	80,73 ±3,23	82,33	--	--	48,48 ±1,94	50,36	10,74 ±0,43	10,23	--	--	--	--	--	--
<sup>76</sup> Os	3,59 ±0,14	3,89	94,36 ±3,77	95,67	--	--	52,36 ±2,09	54,87	11,02 ±0,44	11,40	--	--	--	--	--	--
<sup>77</sup> Ir	4,64 ±0,19	4,33	96,59 ±3,86	100,25	--	--	57,21 ±2,29	59,62	12,44 ±0,54	12,77	--	--	--	--	--	--
<sup>78</sup> Pt	4,72 ±0,19	4,80	102,36 ±4,09	109,63	--	--	60,45 ±2,42	64,65	13,98 ±0,56	14,14	--	--	--	--	--	--
<sup>79</sup> Au	4,97 ±0,20	5,24	113,25 ±4,53	118,01	--	--	65,02 ±2,6	70,18	14,68 ±0,59	15,72	--	--	--	--	--	--
<sup>80</sup> Hg	5,60 ±0,22	5,77	121,37 ±4,87	128,13	--	--	75,88 ±3,04	75,75	15,13 ±0,61	17,29	--	--	3,22 ±0,19	2,32	2,60 ±0,16	2,05
<sup>81</sup> Tl	6,09 ±0,24	6,35	129,99 ±5,16	138,80	--	--	83,42 ±3,34	81,90	17,21 ±0,69	19,10	--	--	3,29 ±0,2	2,41	2,66 ±0,16	2,22
<sup>82</sup> Pb	7,52 ±0,30	7,02	143,22 ±5,75	149,69	--	--	94,91 ±3,8	88,11	19,44 ±0,78	20,95	--	--	3,30 ±0,2	2,66	3,52 ±0,21	2,39
<sup>83</sup> Bi	7,08 ±0,28	7,64	153,51 ±5,98	160,81	--	--	101,80 ±4,07	94,97	20,04 ±0,80	23,02	--	--	4,11 ±0,25	2,92	3,23 ±0,19	2,58
<sup>90</sup> Th	11,68 ±0,58	13,2	237,10 ±11,90	244,56	52,26 ±4,18	64,11	144,87 ±7,24	149,90	34,86 ±1,74	40,85	12,26 ±1,12	15,71	6,07 ±0,55	5,42	4,20 ±0,38	4,18
<sup>92</sup> U	13,88 ±0,69	15,4	269,52 ±16,25	287,19	65,44 ±5,25	77,06	155,23 ±7,76	159,11	41,25 ±2,06	44,46	18,23 ±1,64	24,30	8,11 ±0,73	7,02	4,63 ±0,42	4,47

Şekil 15.  $\sigma_{K\alpha_1}$  X-ışını üretim tesir kesitiŞekil 16.  $\sigma_{K\alpha_2}$  X-ışını üretim tesir kesiti

Şekil 17.  $\sigma_{K\beta_1}$  X-ışını üretim tesir kesitiŞekil 18.  $\sigma_{K\beta_2}$  X-ışını üretim tesir kesiti

Şekil 19. L<sub>1</sub> alt kabuğu X-ışını üretim tesir kesitleriŞekil 20. L<sub>II</sub> alt kabuğu X-ışını üretim tesir kesitleri





Şekil 21.  $L_{III}$  alt kabuğu X-ışını üretim tesir kesitleri

### 3.2. Floresans Verim İfadesi ile İlgili Bulgular

Çalışmamızda K kabuğuna ait floresans verim deneysel olarak (2.16) denklemi yardımıyla hesaplanmıştır. Bulunan ifade Tablo 11' de diğer araştırmacıların yaptığı deneysel, teorik ve yarı-deneysel değerler karşılaştırılmıştır. Atom numarası ile değişimi de Şekil 22' de gösterilmektedir.  $L_i$  ( $i=1,2,3$ ) alt kabuklarının oluşturduğu L kabuğuna ait ortalama floresans verimi deneysel ifadesi denklem (2.17) yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 12' de verilmiştir. Burada diğer araştırmacıların deneysel değerleri teorik değerleri ve fit edilmiş değerlerle karşılaştırılmıştır. Ortalama floresans verimin atom numarasıyla değişimi Şekil 23' te verilmektedir.

Tablo 11. K kabuğu floresans verimi

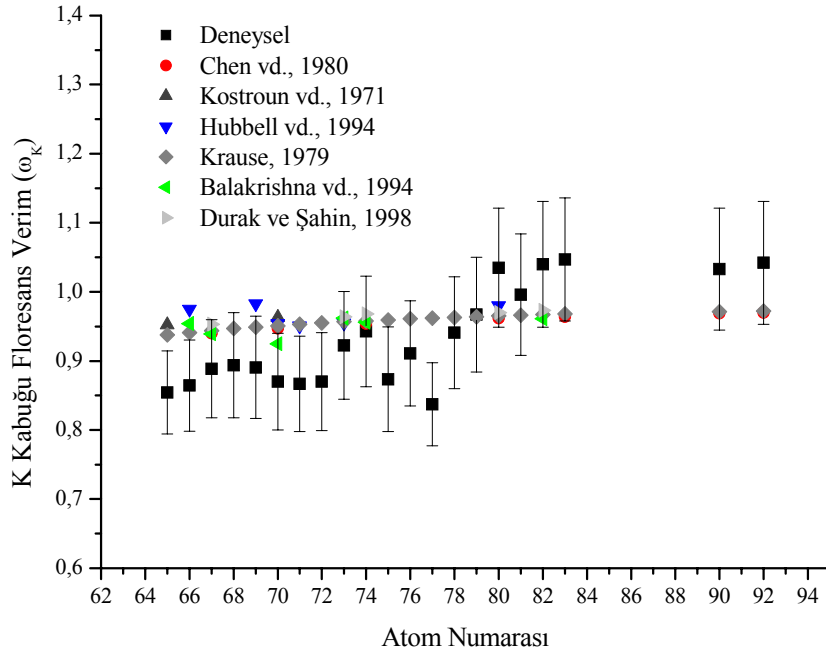
Element	$\omega_K$						
	Deneysel			Teorik		Yarı-deneysel	
	Yap. çalışma	Balakrishna vd., 1994	Durak ve Şahin, 1998	Kostroun vd., 1971	Chen vd., 1980	Krause, 1979	Hubbell vd., 1994
<sup>65</sup> Tb	0,854±0,060	--	--	0,952	--	0,938	--
<sup>66</sup> Dy	0,864±0,066	0,954±0,048	--	--	--	0,941	0,975
<sup>67</sup> Ho	0,889±0,071	0,939±0,049	0,953±0,057	--	0,940	0,944	--
<sup>68</sup> Er	0,894±0,076	--	--	--	--	0,947	--
<sup>69</sup> Tm	0,891±0,074	--	--	--	--	0,949	0,983
<sup>70</sup> Yb	0,871±0,070	0,925±0,051	--	0,963	0,947	0,951	0,954
<sup>71</sup> Lu	0,867±0,069	--	--	--	--	0,953	0,951
<sup>72</sup> Hf	0,870±0,071	--	--	--	--	0,955	--
<sup>73</sup> Ta	0,923±0,078	0,962±0,054	0,964±0,047	--	--	0,957	0,955
<sup>74</sup> W	0,943±0,080	0,956±0,054	0,968±0,054	--	0,954	0,958	--
<sup>75</sup> Re	0,874±0,076	--	--	--	--	0,959	--
<sup>76</sup> Os	0,911±0,076	--	--	--	--	0,961	--
<sup>77</sup> Ir	0,837±0,060	--	--	--	--	0,962	--
<sup>78</sup> Pt	0,941±0,081	--	--	--	--	0,963	--
<sup>79</sup> Au	0,967±0,083	--	--	--	--	0,964	--
<sup>80</sup> Hg	0,984±0,086	--	0,970±0,036	--	0,962	0,965	0,980
<sup>81</sup> Tl	0,996±0,088	--	--	--	--	0,966	--
<sup>82</sup> Pb	1,040±0,089	0,961±0,055	0,973±0,058	--	--	0,967	--
<sup>83</sup> Bi	1,047±0,090	--	--	--	0,964	0,968	--
<sup>90</sup> Th	1,033±0,088	--	--	--	0,969	0,971	--
<sup>92</sup> U	1,042±0,089	--	--	--	0,970	0,972	--

Tablo 12. L kabuğu ortalama floresans verimi

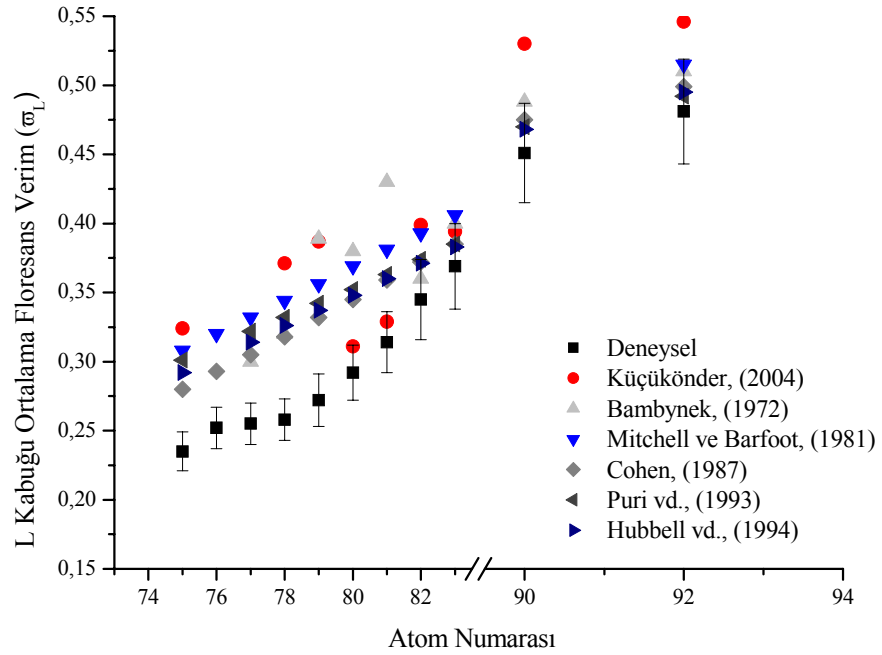
Element	$\omega_L$						
	Deneysel		Teorik				Fit Ed.
	Yapılan Çalışma	Küçükönder vd., 2004	Bambynek vd., 1972	Mitchell ve Barfoot, 1981	Cohen, 1987 (ECPSSR)*	Puri vd., 1993 (RHDS)**	Hubbell vd., 1994
<sup>75</sup> Re	0,235±0,014	0,324±0,017	--	0,308	0,280	0,301	0,292
<sup>76</sup> Os	0,252±0,015	--	--	0,320	0,293	--	--
<sup>77</sup> Ir	0,255±0,015	--	0,300	0,332	0,305	0,322	0,314
<sup>78</sup> Pt	0,258±0,015	0,371±0,020	0,320	0,344	0,318	0,332	0,326
<sup>79</sup> Au	0,272±0,019	0,387±0,022	0,389	0,356	0,332	0,342	0,337
<sup>80</sup> Hg	0,292±0,020	0,311±0,020	0,380	0,369	0,345	0,352	0,348
<sup>81</sup> Tl	0,314±0,022	0,329±0,024	0,430	0,381	0,359	0,363	0,360
<sup>82</sup> Pb	0,345±0,029	0,399±0,024	0,360	0,393	0,372	0,374	0,371
<sup>83</sup> Bi	0,369±0,031	0,394±0,020	0,400	0,406	0,385	0,385	0,383
<sup>90</sup> Th	0,451±0,036	0,530±0,033	0,488	--	0,475	0,470	0,468
<sup>92</sup> U	0,481±0,038	0,546±0,033	0,510	0,515	0,499	0,492	0,495

\*Energy-Loss Coulomb-Repulsion Perturbed-Stationary-State Relativistic

\*\*Relativistic Hartree Dirac Slater



Şekil 22. K kabuğu floresans verimi



Şekil 23. L kabuğu ortalama floresans verimi

### 3.3. Şiddet Oranı İfadesi ile İlgili Bulgular

K ve L kabuğuna ait X-ışını şiddet oranları  $K_{\alpha}/K_{\beta}$ ,  $K_{\alpha 2}/K_{\alpha 1}$ ,  $K_{\beta 2}/K_{\beta 1}$ ,  $L_{3l}/L_{3\alpha}$ ,  $L_{3\beta}/L_{3\alpha}$ ,  $L_{2\gamma}/L_{2\beta}$ ,  $L_{2\gamma}/L_{2\eta}$ ,  $L_{1\beta}/L_{1\gamma}$  ve  $L_i/K_j$  ( $i=\alpha, \beta, \gamma$ ) ve ( $j=\alpha, \beta$ ), teorik (1.31) ve deneysel (2.18–26) denklemleri kullanılarak hesaplandı.  $K_{\alpha}/K_{\beta}$  ve  $K_{\alpha 2}/K_{\alpha 1}$ ,  $K_{\beta 2}/K_{\beta 1}$  şiddet oranının değerleri diğer teorik ve deneysel çalışma sonuçları ile birlikte sırasıyla Tablo 13 ve Tablo 14’de verilmiştir.  $L_{3l}/L_{3\alpha}$ ,  $L_{3\beta}/L_{3\alpha}$ ,  $L_{2\gamma}/L_{2\beta}$ ,  $L_{2\gamma}/L_{2\eta}$ ,  $L_{1\beta}/L_{1\gamma}$  ve  $L_i/K_j$  ( $i=\alpha, \beta, \gamma$ ), ( $j=\alpha, \beta$ ) şiddet oranları değerlerinin deneysel ve hesaplanan teorik değerleri Tablo 15 ve Tablo 16’da verilmiştir.  $K_{\alpha}/K_{\beta}$  şiddet oranı değerlerinin atom numarasıyla değişimi ve diğer araştırmacılarla karşılaştırılması Şekil 24’te verilmektedir.  $K_{\alpha 2}/K_{\alpha 1}$  ve  $K_{\beta 2}/K_{\beta 1}$  şiddet oranlarının değişimi Şekil 25 ve Şekil 26’da verilmiştir.  $L_{3l}/L_{3\alpha}$  ve  $L_{2\gamma}/L_{2\beta}$  Şekil 27’de,  $L_{3\beta}/L_{3\alpha}$ ,  $L_{2\gamma}/L_{2\eta}$  ve  $L_{1\gamma}/L_{1\beta}$  Şekil 28’te verilmiştir. K ve L tabakalarının aynı anda görülebildiği elementler için şiddet ifadeleri  $L_{\alpha}/K_{\alpha}$  ve  $L_{\beta}/K_{\beta}$  Şekil 29’da,  $L_{\beta}/K_{\alpha}$  ve  $L_{\alpha}/K_{\beta}$  Şekil 30’da ve  $L_{\gamma}/K_{\alpha}$  ve  $L_{\gamma}/K_{\beta}$  Şekil 31’de gösterilmiştir.

Tablo 13.  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  şiddet oranı

Element	$I(K_{\beta})/I(K_{\alpha})$						
	Deneysel	Teorik			Diğer deneysel çalışmalar		
		Scofield (1974a)	Scofield (1974b)	Manson ve Kennedy (1974)	McCrary vd., (1971)	Salem vd., (1974)	Ertuğrul vd., (2001b)
<sup>65</sup> Tb	0,238±0,011	0,257	0,243	0,2389	--	---	0,259 ± 0,021
<sup>66</sup> Dy	0,240±0,012	--	0,244	0,2402	--	0,257	0,260 ± 0,021
<sup>67</sup> Ho	0,249±0,012	--	0,246	0,2413	0,260	--	0,262 ± 0,021
<sup>68</sup> Er	0,238±0,012	0,261	0,247	0,2424	--	0,260	0,264 ± 0,020
<sup>69</sup> Tm	0,241±0,012	--	0,248	0,2435	--	--	0,251 ± 0,019
<sup>70</sup> Yb	0,259±0,013	0,264	0,250	0,2445	0,265	0,264	--
<sup>71</sup> Lu	0,246±0,012	--	0,251	0,2460	--	--	--
<sup>72</sup> Hf	0,262±0,013	0,266	0,253	0,2476	--	0,267	--
<sup>73</sup> Ta	0,243±0,012	0,262	0,255	0,2491	0,264	--	--
<sup>74</sup> W	0,265±0,016	0,268	0,256	0,2506	--	0,269	--
<sup>75</sup> Re	0,275±0,017	--	0,258	0,2521	--	--	--
<sup>76</sup> Os	0,250±0,015	--	0,260	0,2650	--	0,273	--
<sup>77</sup> Ir	0,258±0,014	--	0,261	0,2550	0,273	--	--
<sup>78</sup> Pt	0,250±0,015	0,272	0,263	0,2563	--	0,275	--
<sup>79</sup> Au	0,252±0,018	0,272	0,264	0,2548	0,272	--	--
<sup>80</sup> Hg	0,260±0,018	0,278	0,266	0,2592	--	0,278	--
<sup>81</sup> Tl	0,264±0,016	0,284	0,267	0,2608	--	--	--
<sup>82</sup> Pb	0,268±0,017	0,281	0,269	0,2624	0,274	0,280	--
<sup>83</sup> Bi	0,265±0,016	--	0,271	0,2640	0,274	--	--
<sup>90</sup> Th	0,274±0,019	0,292	0,283	0,2755	0,285	0,288	--
<sup>92</sup> U	0,281±0,020	0,295	0,285	0,2778	0,276	0,289	--

Tablo 14.  $K_{\alpha 2}/K_{\alpha 1}$  ve  $K_{\beta 2}/K_{\beta 1}$  şiddet oranları

Element	$I(K_{\alpha 2})/I(K_{\alpha 1})$			$I(K_{\beta 2})/I(K_{\beta 1})$			
	Deneyssel	Teorik		Deneyssel		Teorik	
	Yapılan Çalışma	Scofield, (1974a)	Scofield, (1974b)	Yapılan Çalışma	Ertuğrul ve Şimşek (2002)	Scofield, (1974a)	Scofield, (1974b)
<sup>65</sup> Tb	0,543±0,026	0,5577	0,558	0,242±0,010	-	0,259	0,248
<sup>66</sup> Dy	0,557±0,027	-	0,560	0,253±0,011	-	-	0,247
<sup>67</sup> Ho	0,565±0,026	-	0,562	0,243±0,011	-	-	0,247
<sup>68</sup> Er	0,551±0,026	0,5634	0,564	0,248±0,011	-	0,262	0,252
<sup>69</sup> Tm	0,558±0,025	-	0,564	0,241±0,012	0,249±0,015	-	0,250
<sup>70</sup> Yb	0,608±0,031	0,5673	0,567	0,258±0,013	0,257±0,012	0,261	0,25
<sup>71</sup> Lu	0,602±0,031	-	0,570	0,265±0,013	0,264±0,013	-	0,256
<sup>72</sup> Hf	0,589±0,026	0,5714	0,571	0,263±0,013	-	0,265	0,255
<sup>73</sup> Ta	0,601±0,031	0,5736	0,575	0,261±0,012	0,264±0,013	0,271	0,261
<sup>74</sup> W	0,617±0,033	0,5757	0,576	0,267±0,014	0,276±0,017	0,275	0,259
<sup>75</sup> Re	0,599±0,033	-	0,577	0,253±0,013	-	-	0,264
<sup>76</sup> Os	0,619±0,037	-	0,582	0,269±0,014	-	-	0,27
<sup>77</sup> Ir	0,588±0,035	-	0,583	0,263±0,016	-	-	0,27
<sup>78</sup> Pt	0,574±0,026	0,5850	0,585	0,256±0,015	-	0,286	0,274
<sup>79</sup> Au	0,591±0,032	0,5874	0,588	0,273±0,019	0,289±0,017	0,286	0,274
<sup>80</sup> Hg	0,665±0,041	0,5899	0,590	0,301±0,021	0,291±0,018	0,292	0,28
<sup>81</sup> Tl	0,637±0,032	0,5924	0,594	0,271±0,019	0,295±0,018	0,296	0,285
<sup>82</sup> Pb	0,606±0,042	0,5950	0,595	0,294±0,021	0,315±0,021	0,302	0,285
<sup>83</sup> Bi	0,590±0,041	-	0,598	0,299±0,021	0,324±0,026	-	0,291
<sup>90</sup> Th	0,624±0,044	0,6182	0,621	0,309±0,022	0,327±0,028	0,333	0,323
<sup>92</sup> U	0,653±0,046	0,6247	0,624	0,312±0,021	0,347±0,032	0,339	0,327

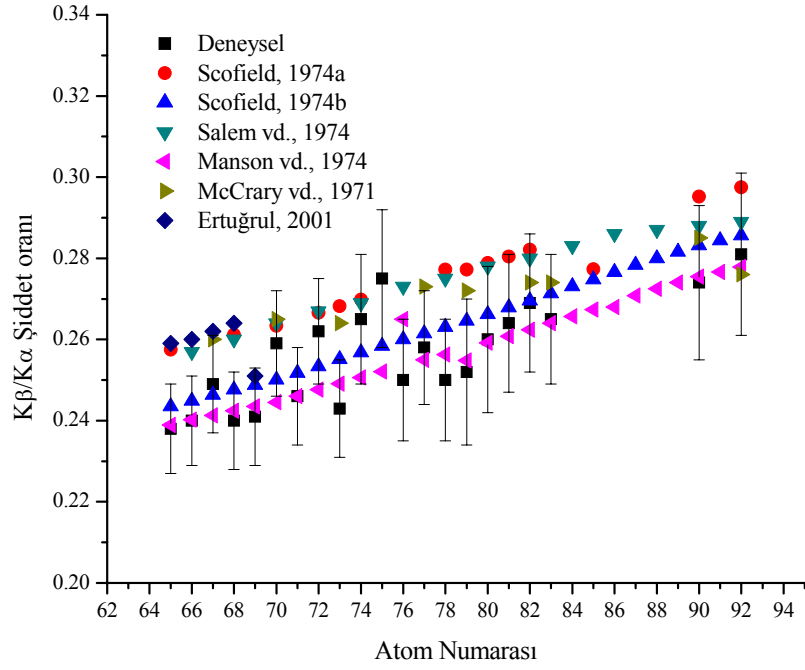


Tablo 15.  $L_{3\beta}/L_{3\alpha}$ ,  $L_{3\beta}/L_{3\alpha}$ ,  $L_{2\gamma}/L_{2\beta}$ ,  $L_{2\gamma}/L_{2\alpha}$  ve  $L_{1\gamma}/L_{1\beta}$  şiddet oranları

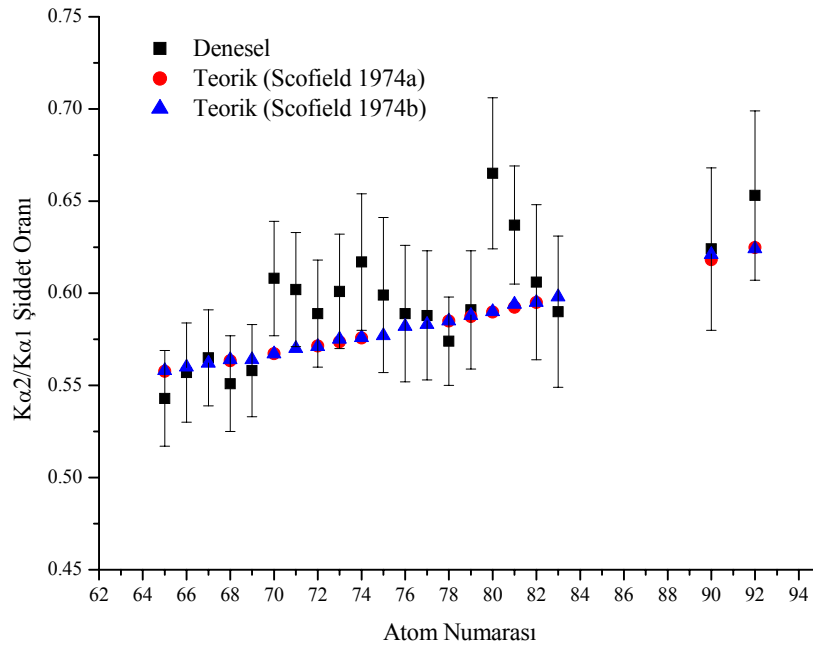
Element	$I(L_{3\beta})/I(L_{3\alpha})$		$I(L_{3\beta})/I(L_{3\alpha})$		$I(L_{2\gamma})/I(L_{2\beta})$		$I(L_{2\gamma})/I(L_{2\alpha})$		$I(L_{1\gamma})/I(L_{1\beta})$	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
$^{75}\text{Re}$	0,041		--	--	0,222		--	--	--	--
	$\pm 0,003$	0,047			$\pm 0,016$	0,203				
$^{76}\text{Os}$	0,038		--	--	0,210		--	--	--	--
	$\pm 0,003$	0,048			$\pm 0,017$	0,208				
$^{77}\text{Ir}$	0,048		--	--	0,217		--	--	--	--
	$\pm 0,004$	0,049			$\pm 0,017$	0,214				
$^{78}\text{Pt}$	0,046		--	--	0,231		--	--	--	--
	$\pm 0,004$	0,050			$\pm 0,019$	0,219				
$^{79}\text{Au}$	0,044		--	--	0,226		--	--	--	--
	$\pm 0,004$	0,050			$\pm 0,018$	0,224				
$^{80}\text{Hg}$	0,047		--	--	0,199		5,82		--	--
	$\pm 0,004$	0,051			$\pm 0,016$	0,228	$\pm 0,35$	8,45		
$^{81}\text{Tl}$	0,047		--	--	0,206		6,47		--	--
	$\pm 0,004$	0,052			$\pm 0,017$	0,233	$\pm 0,39$	8,62		
$^{82}\text{Pb}$	0,053		--	--	0,215		5,52		--	--
	$\pm 0,004$	0,053			$\pm 0,018$	0,238	$\pm 0,33$	8,75		
$^{83}\text{Bi}$	0,048		--	--	0,197		6,21		--	--
	$\pm 0,004$	0,053			$\pm 0,018$	0,242	$\pm 0,37$	8,91		
$^{90}\text{Th}$	0,049		0,262		0,241		8,30		2,02	
	$\pm 0,004$	0,059	$\pm 0,024$	0,221	$\pm 0,022$	0,273	$\pm 0,58$	9,75	$\pm 0,16$	2,90
$^{92}\text{U}$	0,051		0,268		0,266		8,91		2,25	
	$\pm 0,005$	0,062	$\pm 0,024$	0,243	$\pm 0,024$	0,280	$\pm 0,62$	9,94	$\pm 0,18$	3,46

Tablo 16.  $L_{\alpha}/K_{\alpha}$ ,  $L_{\beta}/K_{\beta}$ ,  $L_{\beta}/K_{\alpha}$ ,  $L_{\alpha}/K_{\beta}$ ,  $L_{\gamma}/K_{\alpha}$  ve  $L_{\gamma}/K_{\beta}$  şiddet oranları

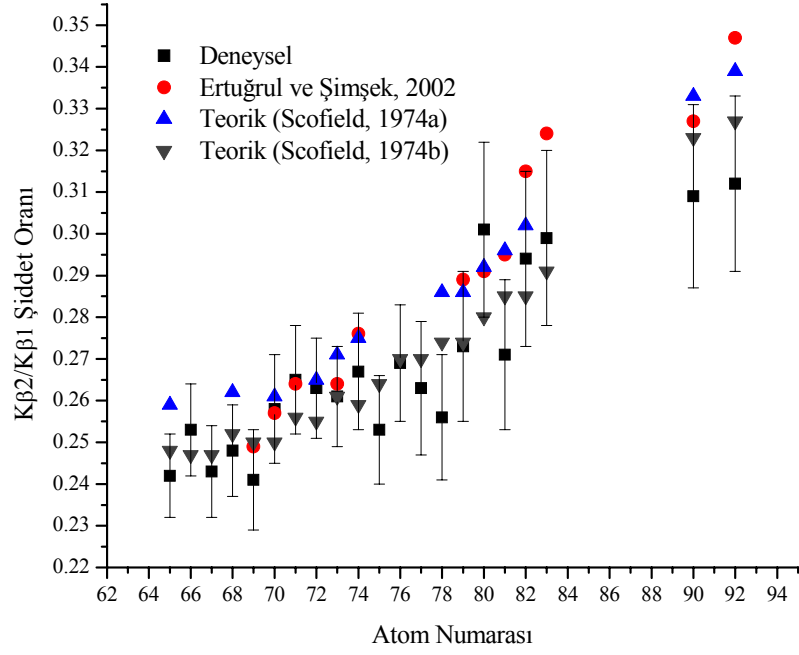
Element	$I(L_{\alpha})/I(K_{\alpha})$		$I(L_{\beta})/I(K_{\beta})$		$I(L_{\beta})/I(K_{\alpha})$		$I(L_{\alpha})/I(K_{\beta})$		$I(L_{\gamma})/I(K_{\alpha})$		$I(L_{\gamma})/I(K_{\beta})$	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
<sup>75</sup> Re	0,193 ±0,014	0,176	0,406 ±0,028	0,619	0,116 ±0,008	0,161	0,677 ±0,047	0,677	0,026 ±0,002	0,027	0,091 ±0,006	0,104
<sup>76</sup> Os	0,201 ±0,016	0,195	0,446 ±0,036	0,655	0,112 ±0,009	0,171	0,805 ±0,064	0,748	0,024 ±0,002	0,028	0,094 ±0,008	0,107
<sup>77</sup> Ir	0,182 ±0,015	0,195	0,452 ±0,036	0,659	0,108 ±0,009	0,172	0,763 ±0,061	0,749	0,023 ±0,002	0,029	0,098 ±0,008	0,112
<sup>78</sup> Pt	0,193 ±0,015	0,205	0,464 ±0,037	0,677	0,114 ±0,009	0,179	0,786 ±0,063	0,776	0,026 ±0,002	0,031	0,107 ±0,009	0,116
<sup>79</sup> Au	0,202 ±0,016	0,211	0,456 ±0,037	0,701	0,115 ±0,009	0,185	0,795 ±0,064	0,800	0,026 ±0,002	0,032	0,103 ±0,008	0,122
<sup>80</sup> Hg	0,199 ±0,016	0,220	0,505 ±0,04	0,721	0,126 ±0,01	0,192	0,795 ±0,064	0,829	0,031 ±0,002	0,034	0,122 ±0,01	0,127
<sup>81</sup> Tl	0,204 ±0,016	0,229	0,54 ±0,043	0,745	0,132 ±0,011	0,201	0,834 ±0,067	0,853	0,032 ±0,003	0,036	0,133 ±0,011	0,132
<sup>82</sup> Pb	0,202 ±0,016	0,238	0,571 ±0,046	0,774	0,136 ±0,011	0,208	0,85 ±0,068	0,883	0,033 ±0,003	0,037	0,137 ±0,011	0,139
<sup>83</sup> Bi	0,196 ±0,018	0,246	0,636 ±0,057	0,801	0,135 ±0,012	0,217	0,928 ±0,084	0,906	0,032 ±0,003	0,04	0,151 ±0,014	0,146
<sup>90</sup> Th	0,263 ±0,023	0,293	0,979 ±0,088	0,969	0,234 ±0,021	0,275	1,109 ±0,092	1,032	0,045 ±0,004	0,055	0,191 ±0,017	0,195
<sup>92</sup> U	0,274 ±0,025	0,323	1,008 ±0,091	1,021	0,242 ±0,022	0,292	1,138 ±0,102	1,126	0,051 ±0,005	0,058	0,208 ±0,019	0,202



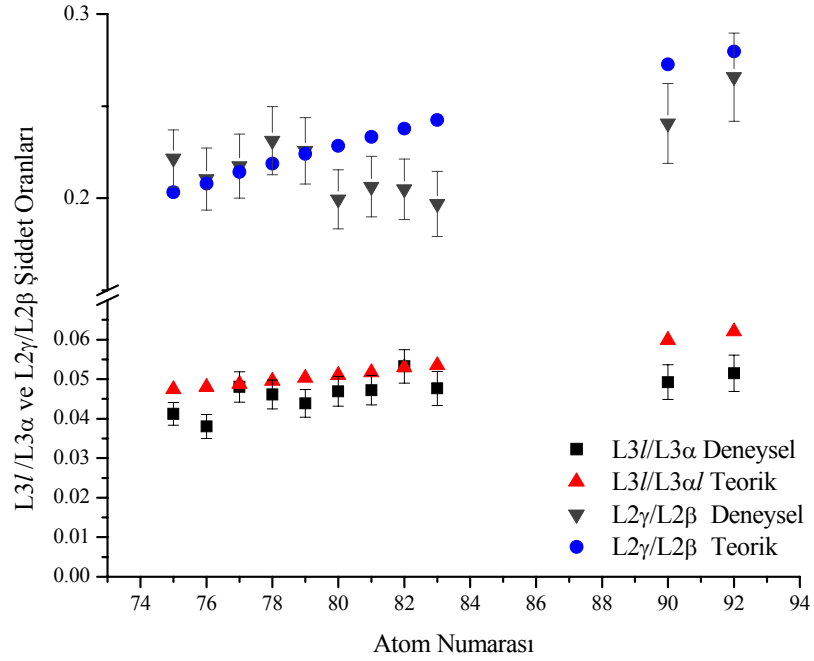
Şekil 24.  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  X-ışını şiddet oranının atom numarasıyla değişimi



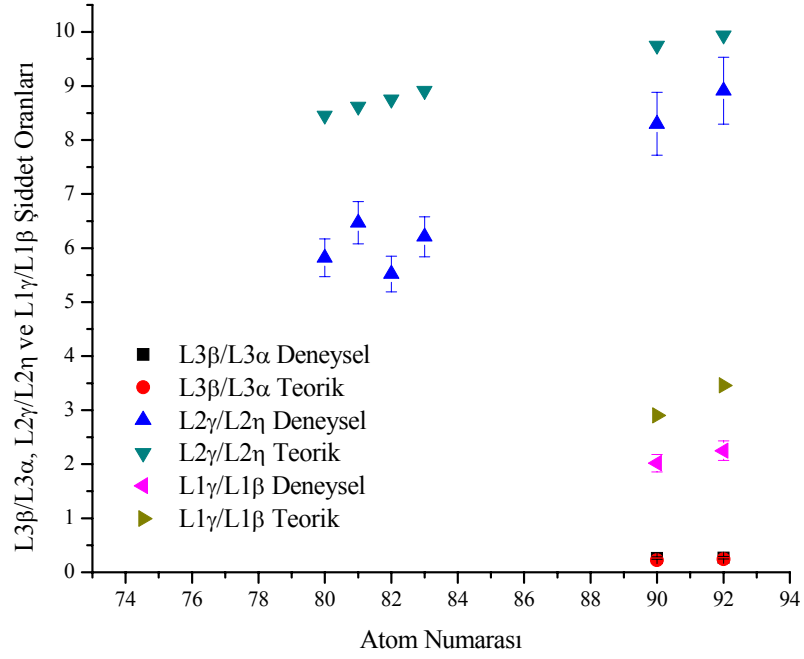
Şekil 25.  $K_{\alpha 2}/K_{\alpha 1}$  X-ışını şiddet oranının atom numarasıyla değişimi



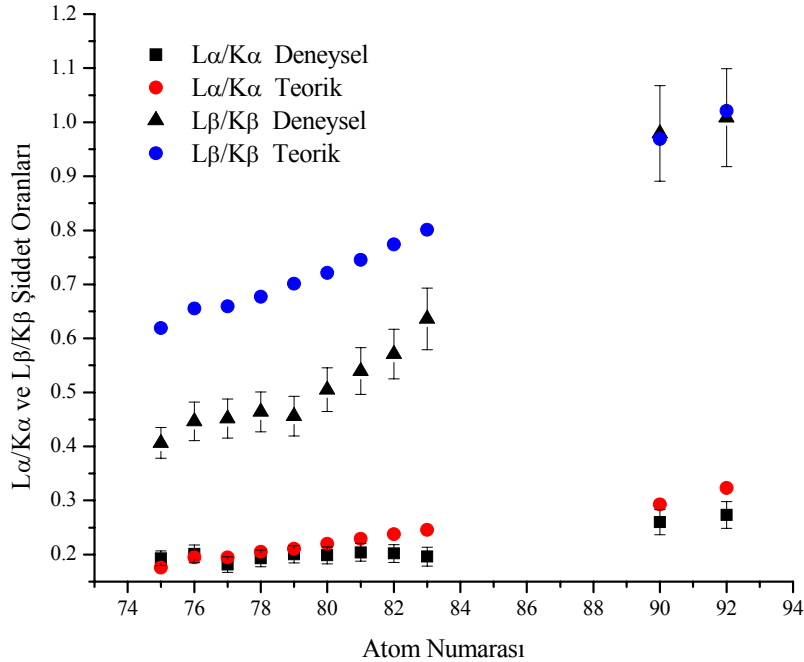
Şekil 26.  $K_{\beta 2}/K_{\beta 1}$  X-ışını şiddet oranının atom numarasıyla değişimi



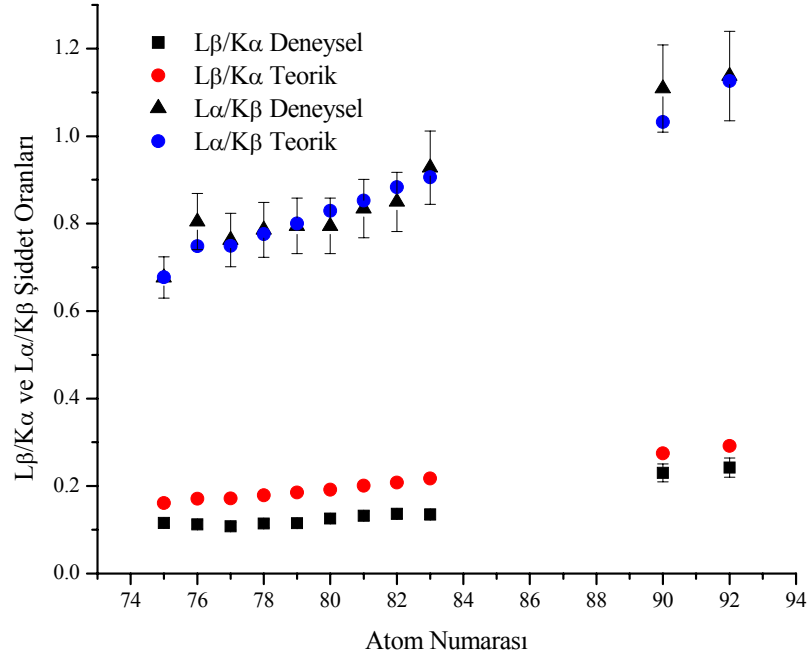
Şekil 27.  $L_{3\gamma}/L_{3\alpha}$  ve  $L_{2\gamma}/L_{2\beta}$  X-ışını şiddet oranlarının atom numarasıyla değişimi



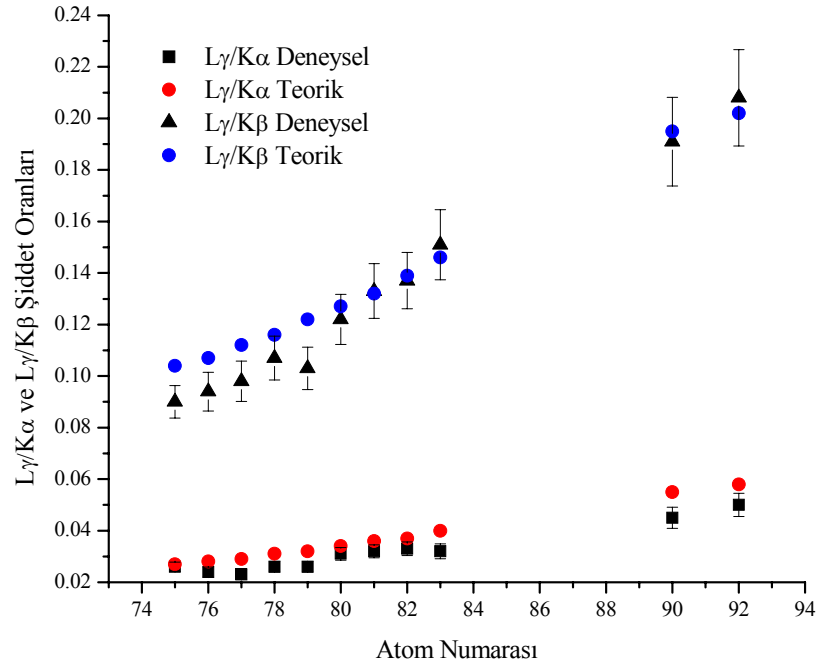
Şekil 28.  $L_{3\beta}/L_{3\alpha}$ ,  $L_{2\gamma}/L_{2\eta}$  ve  $L_{1\gamma}/L_{1\beta}$  X-ışını şiddet oranları atom numarasıyla değişimi



Şekil 29.  $L_{\alpha}/K_{\alpha}$  ve  $L_{\beta}/K_{\beta}$  X-ışını şiddet oranlarının atom numarasıyla değişimi



Şekil 30.  $L_{\beta}/K_{\alpha}$  ve  $L_{\alpha}/K_{\beta}$  X-ışını şiddet oranlarının atom numarasıyla değişimi



Şekil 31.  $L_{\gamma}/K_{\alpha}$  ve  $L_{\gamma}/K_{\beta}$  X-ışını şiddet oranlarının atom numarasıyla değişimi

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma da  $65 \leq Z \leq 92$  arasında atom numarasına sahip bazı elementlerin K ve L kabuğuna ait floresans parametreleri ölçülmüştür. Elde edilen deneysel değerler, hesapladığımız teorik değerler ve literatürde mevcut diğer teorik ve deneysel değerler ile karşılaştırılmıştır.

K kabuğuna ait X-ışını üretim tesir kesitleri deneysel ve teorik sonuçları Tablo 8-9' da ve Şekil 15-18'de görülmektedir. Deneysel olarak elde edilen sonuçların doğruluğunu tesbit etmek amacıyla teorik olarak da hesaplamalar yapılmıştır. Teorik hesaplarda Scofield'in iki farklı teoremi kullanarak hesapladığı  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  şiddet oranı değerleri kullanılmıştır. Scofield hesaplamaların birinde, Hartree'nin çok elektronlu atomları incelemede tek elektron dalga fonksiyonlarının çarpımından oluşmuş dalga fonksiyonunu dikkate alarak, atom elektronlarını merkezci potansiyel içindeki tek parçacıklar olarak kabul ettiği rölativistik Hartree-Slater teorisinden yararlanmıştır. Diğerinde ise değiştokuş etkileşmelerinin dikkate alındığı Hartree-Fock teorisinden yararlanmıştır. Hesapladığımız teorik değerler ile deneysel değerlerimiz arasında Scofield (1974a) ve Scofield(1974b)'e göre sırasıyla,  $K_{\alpha 1}$  için (%0,1–11,5) ve (%1,3–17),  $K_{\alpha 2}$  için, (%0,8–15) ve (%0,3–15),  $K_{\beta 1}$  için, (%0,06–13) ve (%3–10) ve  $K_{\beta 2}$  için ise, (%0,1–32) ve (%1,2–27) değerleri kadar hata farklar bulunmuştur.  $K_{\alpha 1}$  ve  $K_{\alpha 2}$  üretim tesir kesitlerinin deneysel değerlerinin Hartree-Fock teorisine göre hesaplanan teoriklerle daha fazla uyum sağlar iken,  $K_{\beta 1}$  ve  $K_{\beta 2}$  üretim tesir kesiti deneysel değerleri Hartree-Slater teorisine göre hesaplanan teoriklerle uyum sağladı gözlenmiştir.

K kabuğu floresans verim değerleri Tablo 11'de ve Şekil 22' de verilmiştir. Deneysel değerler, diğer araştırmacıların yaptığı deneysel, yarı-deneysel ve teorik değerlere karşılaştırılmıştır. Deneysel değerlerimizin, Krause (1979)' nin yarı-deneysel değerleri ile %0,3-9 arasında ve Chen vd., (1980)'in teorik değerleri ile %1,1-8,6 arasında farklılıklar gözlenmiştir. Ayrıca atom numarası  $Z \geq 80$  elementler hariç diğer elementlerin deneysel değerleri diğer araştırmacıların deneysel değerlerinden daha küçük çıkmıştır. Bunun nedeni K X-ışını enerjisi artarken dedektör verimin (Şekil 14) azalacağı düşünölmektedir.

$65 \leq Z \leq 92$  bölgesinde bazı elementler için, K kabuğuna ait tesir kesiti ve floresans verim deneysel değerleri uluslar arası bir dergide yayınlanmıştır [Apaydın, G. ve Tıraşoğlu E., 2006. Measurements of K Shell X-ray Production Cross Sections and

Fluorescence Yields in the Atomic Number Range  $65 \leq Z \leq 92$  at 123,6 keV, **NIMB**, 246,303–308].

Yine K kabuğuna ait X-ışını şiddet oranlarının deneysel değerleri başka araştırmacıların deneysel ve teorik değerleriyle birlikte Tablo 13’ de verilmiştir. Bunların atom numarasıyla değişimi Şekil 24-26’da çizilmiştir. Deneysel değerlerimiz Scofield (1974a,b)’in relativistik Hartree-Fock ve Hartree-Slater teorisine göre yaptığı hesaplamalarla sırasıyla (%1,1–8,8) ve (%0,3–6,5) hata fark bulundu. Manson ve Kennedy (1974)’in relativistik olmayan Hartree-Slater teorisine göre yaptıkları hesaplamalarla (%0,3–7,8) hata fark bulundu. Deneysel olarak ölçen McCrary vd., (1971)’in değerleri ile (%2,1–8) ve Salem vd., (1974)’in değerleri (%1,4–9) fark bulundu.

L kabuğuna ait X-ışını üretim tesir kesitleri  $75 \leq Z \leq 92$  aralığındaki elementler için deneysel ve teorik olarak Tablo 10’da verilmiştir. Bilindiği gibi 123,6 keV enerjili fotonlar elementlerin K tabakaları rahatlıkla uyardığı görülmüş ve bu uyarılma sonucunda K tabakasından Li ( $i=1,2,3$ ) alt tabakalarına boşluk transferi olabileceği düşünülmüştür. Bu durumda Li alt tabakalarında oluşan boşluk sayısı K tabakası tarafından şiddetlendirilecektir. İlaveten bu boşlukların Coster-Kronig geçişleriyle daha yukarıdaki alt tabakalara geçme ihtimali vardır. İşte bu sebeplerden dolayı L kabuğuna ait teorik ifadeler hesaplanırken bu durum dikkate alınmıştır. Şiddetlendirmenin  $L_I$  ve  $L_\alpha$  X-ışınları için en fazla, daha sonra sırasıyla  $L_\beta$  ve  $L_\gamma$  X-ışınları için olduğu Tablo 5’te görülmektedir. Çalışılan elementler için şiddetlendirme faktörü  $L_I$  ve  $L_\alpha$  X-ışınları için 18,611–12,501 arasında,  $L_\beta$  X-ışınları için 6,652–4,694 arasında ve  $L_\gamma$  X-ışınları için ise 4,947–3,684 arasında değiştiği bulunmuştur. Bu sonuç  $L_I$  ve  $L_\alpha$  X-ışınlarının şiddetlendirmesi  $L_\beta$  ve  $L_\gamma$  X-ışınlarının şiddetlendirmesinden fazladır. Bunun nedeni de  $L_3$  alt tabakasına,  $L_1$  ve  $L_2$  alt tabakalarından daha fazla boşluk transferi olmasıdır. Ayrıca X-ışını üretim tesir kesiti ifadeleri için önemli bir etkiye sahip olan ve bir tabakaya ya da alt tabakaya ait herhangi bir X-ışınının meydana gelme ihtimaliyetini ifade eden F değerleri de Tablo 4’te verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi  $F_{3I}$ ,  $F_{3\beta}$ ,  $F_{2\gamma}$  ve  $F_{1\gamma}$  değerleri atom numarasıyla artarken  $F_{3\alpha}$ ,  $F_{2\beta}$  ve  $F_{1\beta}$  değerleri atom numarası ile azalmaktadır. Ayrıca atom numarası artarken K tabakasından Li ( $i=1,2,3$ ) alt tabakalarına boşluk geçiş ihtimaliyetinin azaldığı tabloda görülmektedir. Bunun nedeni atom numarası arttıkça atomun dolu kabuk sayısının artması ve bu kabuklardaki elektronların K tabakasındaki boşluğu doldurmasıdır. L alt kabuklarına ait hesapladığımız teorik değerler ile deneysel değerlerimiz arasında,  $L_{3I}$  için (%2,5–9,8),



$L_{3\alpha}$  için (%1,3–6,6),  $L_{3\beta}$  için (%15–18),  $L_{2\beta}$  için (%0,1–7,7),  $L_{2\gamma}$  için (%1,1–13),  $L_{2\eta}$  için (%3,5–26,8),  $L_{1\beta}$  için (%22–25) ve  $L_{1\gamma}$  için (%15,5–40) değerler aralığında hata farklılıklar gözlenmiştir.  $L_{3l}$ ,  $L_{3\alpha}$ ,  $L_{2\beta}$  ve  $L_{2\gamma}$  geçişleri çalışılan tüm elementler için gözlenebilirken,  $L_{3\beta}$ ,  $L_{2\eta}$ ,  $L_{1\beta}$  ve  $L_{1\gamma}$  geçişleri dedektör özelliği sebebiyle bazı elementler için tam gözlenememiştir.

L kabuğuna ait ortalama floresans verim Tablo 12’ de diğer deneysel ve teorik değerlerle birlikte verilmiştir. Verim değerlerinin, diğer çalışmalarla farklılıklarını daha iyi görebilmek için atom numarasıyla değişimi de Şekil 23’ de çizilmiştir. Küçükönder vd., (2004)’nin ortalama floresans verim ile ilgili deneysel değerleri ile bizim deneysel değerlerimiz arasında (%4–30) fark bulunmuştur. Teorik çalışmalara bakıldığında, Bambeynek vd., (1972)’nin teorik değerleri ile (%4–30) ve Mitchell ve Barfoot, (1981)’un teorik değerleri ile (%6,6–23,5) hata fark bulunmuştur. Cohen, (1987)’nin hedef alt kabuk elektronların yapısı üzerine perturbe kararlı hal durumu ve relativistik etkinin yanı sıra, uyarıcı iyonun Coulomb sapmasını ve enerji kaybı etkisinden hesaba katan teoriyi (ECPSSR) kullanarak hesapladığı teorikler arasında (%3,6–18,8) hata fark bulunmuştur. Puri vd., (1993)’nin relativistik Hartree Dirac Slater teorisini (RHDS) kullanarak hesapladığı teorikler arasında (%2,2–22,3) hata fark bulunmuştur. Hubbell vd., (1994)’nin bazı teorik sonuçları fit ederek elde ettiği değerler arasında (%2,8–20,8) hata fark görülmüştür. Ortalama floresans verim değerleri, ( $Z \geq 82$  hariç) teorik değerlerden düşük çıkmıştır (Şekil 23). Bunun başlıca nedeninin bazı geçişlerin tam gözlenememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yine L kabuğuna ait X-ışını şiddet oranları deneysel ve teorik olarak Tablo 15’te verilmiştir.  $L_{3l}/L_{3\alpha}$  ve  $L_{2\gamma}/L_{2\beta}$  Şekil 27’de,  $L_{3\beta}/L_{3\alpha}$ ,  $L_{2\gamma}/L_{2\eta}$  ve  $L_{1\gamma}/L_{1\beta}$  Şekil 28’te gösterilmiştir.  $L_{3l}/L_{3\alpha}$  şiddet oranları artan atom numarasıyla artmaktadır.  $L_{3l}$  ve  $L_{3\alpha}$  X-ışınları  $L_3$  alt tabakasına geçişlerden oluştuğu için bunların oranları  $F_{3l}/F_{3\alpha}$  oranına eşit olacaktır. Bu oranda  $L_3$  tabakasına üst tabaklardan geçen  $l$  ve  $\alpha$  X-ışınları için geçiş hızları olduklarından enerjiye bağlı değildirler. Fakat diğerleri  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  ve  $\sigma_3$  tesir kesitlerine, Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetlerine,  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  ve  $\omega_3$  floresans verimlerine,  $\eta_{KL1}$ ,  $\eta_{KL2}$  ve  $\eta_{KL3}$  boşluk geçiş ihtimaliyetlerine bağlıdır. Bu nedenle oranlar enerjiye bağlı olarak değişmesi beklenir. Çalışmamızda uyarıcı radyasyon enerjisi bir tane olması nedeniyle değişimler gözlenememiştir. Ayrıca  $\eta_{KL1}$ ,  $\eta_{KL2}$  ve  $\eta_{KL3}$  boşluk geçiş ihtimaliyetlerinden kaynaklanan şiddetlendirme  $L_\alpha$  ve  $L_l$  X-ışını geçişlerinde  $L_\beta$  ve  $L_\gamma$  X-ışınlarına nazaran

daha fazla olması beklenir. Deneysel ve teorik sonuçlarımıza bakıldığında,  $L_{3\beta}/L_{3\alpha}$  değerleri için (%2–20,8),  $L_{3\beta}/L_{3\alpha}$  değerleri için (%10,2–18,5),  $L_{2\gamma}/L_{2\beta}$  değerleri için (%0,96–12,7),  $L_{2\gamma}/L_{2\eta}$  değerleri için (%11,5–36,9) ve  $L_{1\gamma}/L_{1\beta}$  değerleri için (%30,3–35) hata farklılıkları bulunmuştur.

K ve L piklerinin aynı anda gözlenebildiği durumlar için,  $L_{\alpha}/K_{\alpha}$ ,  $L_{\beta}/K_{\beta}$ ,  $L_{\beta}/K_{\alpha}$ ,  $L_{\alpha}/K_{\beta}$ ,  $L_{\gamma}/K_{\alpha}$  ve  $L_{\gamma}/K_{\beta}$  X-ışını şiddet oranlarının deneysel ve teorik sonuçları Tablo 16’da gösterilmiştir. Atom numarasıyla değişimleri de Şekil 29–31’ çizilmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlar arasında,  $L_{\alpha}/K_{\alpha}$  ifadesinde (%3–20,3),  $L_{\beta}/K_{\beta}$  ifadesinde (%1–34,4),  $L_{\beta}/K_{\alpha}$  ifadesinde (%17,1–60,7),  $L_{\alpha}/K_{\beta}$  ifadesinde (%1,3–7,6),  $L_{\gamma}/K_{\alpha}$  ifadesinde (%3,7–20,6),  $L_{\gamma}/K_{\beta}$  ifadesinde (%0,8–12,5) kadarlık hata fark bulunmuştur.

Çalışmamızda deneysel ölçümlerde tüm hatanın %5–9 arasında olduğunu öngörmekteyiz. Bu hataların K ve L X-ışını parametrelerinin ölçülen değerlerinde farklılıklar meydana getirdiği düşünülmektedir. Bu hata parametrelerinin nereden geldiği ve miktarları Tablo 17’de verilmiştir. Bu sistematik hataları minimuma indirebilmek için çalışılan elementlerin sayımları tekrarlanmıştır.

Tablo 17. Deneysel hata kaynağı ve miktarları

Nicelik	Hatanın kaynağı	Hata %
$N_{K_i,L_i} \quad i = \alpha_{1,2}, \beta_{1,2,6,9,10,17}, \gamma_{1,2,3,5}, \eta$	Pik sayımı	$\leq 4$
$I_0 G \varepsilon_{K_i,L_i}$	İfadede bulunan parametrelerden gelen hatalar	$\leq 4$
$\beta$	Saçılan ve soğrulan foton enerjilerinde soğurma düzeltmesi hatası	$\leq 3$
$m_i$	Numune ağırlığı ve kalınlığından kaynaklanan hatalar	$\leq 2$

Ayrıca, karakteristik X-ışını floresans parametre ifadelerine, uyarıcı foton enerjisinin ve bu enerjinin soğurma kıyısının, tabii çizgi genişliğinin, atom numarasının, atomun kimyasal yapısının, elektronların bağ yapma durumlarının vb. etkileri vardır. Bu etkiler çalışmamızda belirlenmemiştir.

Doktora çalışmamız sonucunda elde edilen sonuçların, gerek bizim hesapladığımız teorik değerlerle gerekse literatürde mevcut deneysel ve teorik değerlerle uyum içinde olduğu görülmüştür.

## 5. ÖNERİLER

Çalışmamıza ilaveten K kabuğu üretim tesir kesiti hesapları için elementlerin K kabuğu soğurma kıyısına yakın birkaç enerjide uyarılıp ölçümler tekrarlanabilir. K X-ışını floresans parametrelerinin enerjiye ve uyarıcı radyasyonun gelme açısına bağlı değişimleri gözlemlenebilir.

L kabuğu X-ışını floresans parametreleri için çalışmamızda kullandığımız 123,6 keV'lik uyarma enerjisi büyük olması nedeniyle L X-ışınları fazla şiddetlendirilmiştir. Bunu aza indirmek için elementlerin  $L_i$  ( $i=1,2,3$ ) alt kabuklarının bağlanma enerjileri civarında bir enerjile uyararak suretiyle Coster-Kronig ve boşluk transferinden meydana gelen etkiler kaldırılabilir veya minimuma indirilebilir. Ayrıca enerjiye bağlı tesir kesiti ile açığa bağlı diferansiyel tesir kesiti deneysel olarak ölçülebilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Allawadhi, K.L. ve Sood, B.S., 1975. K- Shell Photoelectric Cross Sections for Intermediate Z elements at 37 and 73 keV, Phys. Rev. A, 11, 1928-1932.
- Al-Saleh, K.A. ve Saleh, N.S., 1999. L X-ray Fluorescence Cross Sections of Heavy Elements Excited by 16.04, 16.90 and 17.78 keV Photons, Radiat. Phys. Chem., 54, 117-124.
- Apaydın, G. ve Tıraşoğlu E., 2006. Measurements of K Shell X-ray Production Cross Sections and Fluorescence Yields in the Atomic Number Range  $65 \leq Z \leq 92$  at 123,6 keV, Nucl. Inst and Meth. B, 246, 303–308.
- Apaydın, G., 2002.  $69 \leq Z \leq 92$  Bölgesindeki Bazı Elementlerin ve M Kabuğuna Ait Tesir Kesitlerinin, Ortalama Floresans Verimlerinin ve Diferansiyel Tesir Kesitlerinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üni., Fen Bil. Enst., Trabzon
- Apaydın, G., Tıraşoğlu, E., Çevik, U., Ertuğral, B., Baltaş, H., Ertuğrul, M. ve Kobya, A.İ., 2005. Total M shell X-ray production cross sections and average fluorescence yields in 11 elements from Tm to U at photon energy of 5.96 keV. Radiat. Phys. Chem., 72, 549-554.
- Arora, S.K., Allawadhi, K.L. ve Sood, B.S., 1981. L shell Photoelectric Cross Section Measurements, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 14, 1423-1432.
- Balakrishna K.M., Nayak, N.G., Lingappa, N. ve Siddappa, K., 1994. K Fluorescence Yield Measurements in Rare Earth and Heavy Elements, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 27, 715-720.
- Baraldi, C., Casnati, E., Tartari, A. ve Di Domenico, G., 2000. Measurement of x-ray Emission from Gd, Dy, and Er Stimulated by 59.54 keV photons, Phys. Rev. A, 61, 032714.
- Baydaş, E., Söğüt, Ö., Büyükkasap E. ve Şahin, Y., 2001. L X-Ray Intensity Ratios of Some Elements in The Region of  $56 \leq Z \leq 83$ , J. Radio. Nucl. Chem., 247, 487-489.
- Bennal, A.S., Shidling, P.D., Badiger, N.M., Thontadarya, S. R. ve Hanumaiah, B., 2005. Measurements of K X-ray fluorescence parameters, Am. J. Phys., 73, 883.
- Berger, M.J., ve Hubbell, J.H., 1987/1999. XCOM: Photon cross-sections on a personnel computer (version 1.2), NBSIR85-3597, National Bureau of Standarts, Gaithersburg, MD, USA, Web Version 1.2., available at <http://physics.nist.gov/xcom>.

- Bhan, C., Chaturvedi, S.N. ve Nath, N., 1981. Measurement of K X-ray Fluorescence Cross-Sections, X-Ray Spectrom, 10, 128-130.
- Brundle, C.R., Evens, C.A. ve Wilson Jr. S., Encyclopedia of Materials Characterization, Butterworth-Heineman, New York, 1992.
- Budak, G., Karbulut, A., Demir, L. ve Şahin, Y., 1999. Measurement of  $K\alpha$  and  $K\beta$  Fluorescence Cross Sections for Elements in the range  $44 \leq Z \leq 68$  at 59.5 keV, Phys. Rev. A, 60, 2015-2017.
- Büyükkasap, E., 1991.  $55 \leq Z \leq 67$  Elementler Bölgesinde Karakteristik X-ışını Şiddet Oranları Üzerine Bir Çalışma. Doktora Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enst., Erzurum.
- Chen, M.H., Crasemann, B. ve Mark, H., 1980. Relativistic K-Shell Auger Rates, Level Widths and Fluorescence Yields, Phys. Rev. A, 21, 436-441.
- Chen, M.H., Crasemann, B., Aoyagi, M. ve Mark, H., 1979. L Shell Auger and Coster-Kronig Spectra from Relativistic Theory. Phys. Rev. A 20, 385-393.
- Cipolla, S.J., 1999. K X-Ray Production Cross Sections  $K\beta/K\alpha$  Ratios, and Radiative Auger Ratios for Protons Impacting Low Z Elements, Nucl. Instr. and Meth. A, 422, 546-550.
- Close, D.A., Bearnse, R.C., Malanify, J.J. ve Umbarger, C.J., 1973. Yield Ratios  $K\alpha/K\beta$ ,  $L\alpha/L\beta$ ,  $L\alpha/L\gamma$  and  $L\alpha/L_1$  for X- Rays Produced by Protons of 1.0 to 3.7 MeV, Phys. Rev. A, 8, 1873-1879.
- Cohen, D.D., 1980. A Radially Dependent Photopeak Efficiency Model for Si(Li) Detectors, Nucl. Instr. and Meth., 178, 481-490.
- Çolak, S., 1992. Zr ve Nb'a ait K Tabakası Floresans Tesir Kesitlerinin Enerji ile Değişiminin Araştırılması, Y. Lisans Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enst., Erzurum.
- Deslattes, R.D., Kessler, E.G., Indelicato, P., Billy, L., Lindroth E. ve Anton, J., 2003. X-Ray Transition Energies: New Approach to a Comprehensive Evaluation, Rev. Mod. Phys., 75, 35-97.
- Dhal, B.B. ve Pahdi, H.C., 1994. Relative L Shell X-ray Intensities of Pt, Pb and Bi Following Ionization by 59.54 keV Gamma Rays, Nucl. Instr. and Meth. B, 94, 373-376.
- Doğan, O., Şimşek, Ö., Turgut, Ü. ve Ertuğrul, M., 1997. Measurement of  $L_l$ ,  $L\alpha$ ,  $L\beta$  and  $L\gamma$  X-ray Fluorescence Cross Sections in Heavy Elements Excited by 59.5 and 123.6 keV Photons, Physica Scripta, 56, 580-583.
- Doğan, O., Şimşek, Ö., Turgut, Ü. ve Ertuğrul, M., 1998. L X-Ray Intensity Ratios in Heavy Elements at 59.5 and 122 keV Photons, J. Radio. Nucl. Chem., 232, 143-146.

- Durak, R. ve Özdemir, Y., 2000.  $L_L$ ,  $L_\alpha$ ,  $L_\beta$  and  $L_\gamma$  X-ray Production Cross Sections and Yields of Some Selected Elements Between Cesium and Erbium Following Ionization by 59.54 keV  $\gamma$  Rays, Spectrochim. Acta B, 55, 177-184.
- Durak, R. ve Özdemir, Y., 2001a. Measurement of K Shell Fluorescence Cross Sections and Yields of 14 Elements in the Atomic Number range  $25 \leq Z \leq 47$  Using Photoionization, Radiat. Phys. Chem., 61, 19-25.
- Durak, R. ve Özdemir, Y., 2001b. Experimental Determination of L Subshell Fluorescence Yields for Heavy Elements at 59.54 keV, J. Anal. At. Spectrom., 16, 1167-1171.
- Durak, R. ve Özdemir, Y., 2001c. Measurement of  $L_\alpha/L_L$ ,  $L_\alpha/L_\beta$ , and  $L_\alpha/L_\gamma$  Intensity Ratios for Elements in the Atomic Range  $57 \leq Z \leq 92$  Using Radioisotope X-Ray Fluorescence, Phys. Lett. A, 284, 43-48.
- Durak, R. ve Şahin, Y., 1998. Measurement of K shell fluorescence yields of selected elements from Cs to Pb using radioisotope X-ray fluorescence, Phys. Rev. A, 57, 2578-2582.
- Durak, R., Özdemir, Y. ve Şahin, Y., 2001. Measurements of  $K\alpha$  to  $L\beta$  and  $K\beta$  to  $L\beta$  Intensity Ratios of Seven Elements in the Atomic Number  $56 \leq Z \leq 66$  using Photoionization at 59.54 keV, J. Quant. Spectrosc. RA, 70, 33-340.
- Ertuğral, B., 2004. K Tabakasında L Tabakasına Boşluk Geçiş İhtimaliyetinin Ölçülmesi ve Hesaplanması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üni., Fen Bil. Enst., Trabzon.
- Ertuğrul, M. ve Şimşek, Ö., 2002. Measurement of  $K\beta_2/K\beta_1$  and  $K\beta_2/K\alpha_1$  Relative Intensities with  $^{57}\text{Co}$  for Heavy Elements, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 35, 601-604.
- Ertuğrul, M., Söğüt, Ö., Şimşek, Ö. ve Büyükkasap, E., 2001b. Measurement of  $K\beta/K\alpha$  intensity ratios for elements in the range  $22 \leq Z \leq 69$  at 59.5 keV. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 34, 909-914.
- Ertuğrul, M., 1994. Si (Li) Dedektörü ile Karakteristik X-ışınlarının Açısız Dağılımlarının, Polarizasyonlarının, Tesir Kesitlerinin ve Şiddet Oranlarının Ölçülmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üni., Fen Bil. Enst., Erzurum.
- Ertuğrul, M., 1995. Measurements of  $K\alpha$  to  $L\beta$ , Intensity Ratios of Lanthanides following Photoionization at 59.5 keV, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 28, 4037-4040.
- Ertuğrul, M., 1996. Measurement of Cross Sections and Coster-Kronig Transition Effect on L Subshell X-Rays of Some Heavy Elements in the Atomic Range  $79 \leq Z \leq 92$  at 59.5 keV, Nucl. Instr. and Meth. B, 119, 345-351.
- Ertuğrul, M., 1997. Measurements of  $L_I/L_\alpha$ , Intensity Ratios for Elements in the Region  $57 \leq Z \leq 92$  by a Si(Li) detector. Spectrochim. Acta B, 52, 201-204.

- Ertuğrul, M., 2001a. Measurements of  $L3\alpha$ ,  $L3\beta$ ,  $L2\beta$ ,  $L2\gamma$ ,  $L1\beta$ ,  $L1\gamma$ ,  $L1x$ ,  $L2x$  and  $L3x$  X-Ray Production Cross Sections and L Subshell Fluorescence Yields for Re, W and Ta at 59.5 keV, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 34, 2081-2088.
- Ertuğrul, M., 2003. Measurement of K, L and Higher Shell Photoionisation Cross-Sections at 59.5 keV, Anal. Chim. Acta, 491, 239-244.
- Ertuğrul, M., Kaya, A., Doğan, O., Turgut, Ü., Şimşek, Ö., Söğüt, Ö. ve Karagöz, D., 2002. Measurement of L Subshell X-ray Production Cross Sections at Energy 31.635 keV and L Subshell Fluorescence Yields for Elements  $74 \leq Z \leq 92$ , X-Ray Spectrom., 31, 53-56.
- Fano, U., 1947. Ionization Yield of Radiations II. The Fluctuations of The Number Ions, Phys. Rev., 72, 26-29.
- Fast, S., Flinner, J.L., Glick, A., Inman, F.W., Oolman, L., Pearson, C. ve Wickelgren, D., 1982. L X-Ray Production Cross Sections for (120-400) keV Proton Bombardment of Indium, Phys. Rev. A, 26, 2417-2420.
- Fazinic, S., Tadic, T., Bogdanovic, I., Jaksic, M., Orlic, I. ve Valkovic, V., 1996. K shell Ionization of V, Cr, Mn, Co, Ni and Cu by 5-12 Mev, Nucl. Instr. and Meth. B, 114, 232-236.
- Garg, R.R., Puri, S., Singh, S., Mehta, D., Shahi, J.S., Garg, M.L., Singh, N., Mangal, P.C. ve Trehan, P.N., 1992. Measurement of L X-ray Fluorescence Cross Sections and Yields for Elements in the Atomic Range  $41 \leq Z \leq 52$  at 5.96 keV, Nucl. Instr. and Meth. B, 72, 147-152.
- Gowda, R. ve Sanjeevaiah, B., 1973. K- Shell Photoelectric Cross Sections for 145 keV Gamma Rays, Phys. Rev. A, 8, 2425-2428.
- Gowda, R. ve Sanjeevaiah, B., 1974. K- Shell Photoelectric Cross Sections of Cu, Zr, Ag, Sn, Ta, Au, and Pb for 279.1 and 411.8 keV gamma rays, Phys. Rev. A, 10, 1188-1191.
- Gudennavar, S.B., Badiger, N.M., Thontadarya, S.R. ve Hanumaiah, B., 2003a. K- Shell Fluorescence Parameters of Medium Z Elements, Radiat. Phys. Chem., 68, 721-726.
- Gudennavar, S.B., Badiger, N.M., Thontadarya, S.R. ve Hanumaiah, B., 2003b. A Method for Measuring K- Shell Fluorescence Parameters in a  $2\pi$  Geometrical Configuration, Radiat. Phys. Chem., 68, 745-750.
- Gürol, A., 2004. Bazı Ferromanyetik Elementler ve Bileşiklerinde X-ışını Floresans Tesir Kesitlerine Manyetik Alanın Etkisi, Doktora Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enst., Erzurum.

- Hajivaliei, M., Puri, S., Garg, M.L., Mehta, D., Kumar, A., Chamoli, S.K., Avasthi, D.K., Mandal, A., Nandi, T.K., Singh, K.P., Singh, N. ve Govil, I.M., 2000. K and L X-ray production cross sections and intensity ratios of rare earth elements for proton impact in the energy range 20-25 MeV, Nucl. Instr. and Meth. B, 160, 203-215.
- Horakeri, L.D., Hanumaiah B. ve Thontadarya S.R., 1997. Method for the Determination of K Shell Fluorescence Yields, X Ray Spectrom., 26, 69-74.
- Horakeri, L.D., Hanumaiah B. ve Thontadarya S.R., 1998. K Shell Fluorescence Yields of Medium and Heavy Elements Using a Simple Method, X Ray Spectrom., 27, 344-348.
- Hubbell, J.H., Trehan, P.N., Singh, N., Chand, B., Mehta, D., Garg, M.L., Garg, R.R., Singh, S. ve Puri, S., 1994. A review, bibliography, and tabulation of K, L, and higher atomic shell X-ray fluorescence yields. J. Phys. Chem. Ref. Data, 23, 339-363.
- Ismail, Adnan M. ve Malhi, Nabil B., 2000. L Shell X-ray Relative Intensity of Some Heavy Elements Excited by 20.48 keV X-rays, X- Ray Spectrom., 29, 317-319.
- Karabulut, A., Budak, G., Demir, L. ve Şahin, Y., 1999.  $K\alpha$  and  $K\beta$  X-ray Fluorescence Cross Sections in the Atomic Region  $26 \leq Z \leq 42$  Excited by 59.5 keV Photons, Nucl. Instr. and Meth. B, 155, 369-372.
- Karabulut, A., Gürol, A., Budak, G. ve Polat, R., 2002. Measurement of L Subshell and Total L Shell Photoeffect Cross Sections for Some Elements in the  $72 \leq Z \leq 92$ , Eur. Phys. J. D., 21, 27-61.
- Kaya, A. ve Ertuğrul, M., 2003. Measurement of L X-Ray Production Cross Sections and Li Subshell Fluorescence Yields, J. Electron Spectrosc., 130, 111-118.
- Kennedy, V. J., Augusthy, A., Varier, K.M., Magudapathy, P., Nair, K.G.M., Dhal, B.B. ve Padhi, H.C., 2000. L-subshell ionisation studies of Ta, W and Pt with protons, Nucl. Instr. and Meth. B, (161-163), 196-201.
- Kistner, O.C. ve Sunyar, A.W., 1965. Excited States of Fe<sup>57</sup> Populated in Co<sup>57</sup> Decay, Phys. Rev., 139, 296-299.
- Kostroun, V.O., Chen, M.H. ve Crasemann, B., 1971. Atomic Radiation Transition Probabilities to 1s state and Theoretical K Sshell Fluorescence Yields. Phys. Rev. A., 3, 533-545.
- Krause, M. O., 1979. Atomic Radiative and Radiationless Yield for K and L Shell, Phy. And Chem. Ref. Data, 8, 307-327.
- Krause, M. O., 1979. Atomic Radiative and Radiationless Yield for K and L Shell, Phys. and Chem. Ref. Data, 8, 307-327.



- Kumar, S., Singh, N., Allawadhi, K.L. ve Sood, B.S., 1986. K- Shell Photoelectric Cross Sections for Intermediate Z Elements at 26 keV, Phys. Rev. A., 34, 1571.
- Küçükönder, A., Durdu, B.G., Söğüt, Ö. ve Büyükkasp, E., 2004. L X-ray Production Cross Sections, Average L Shell Fluorescence Yield and Intensity Ratios in Heavy Elements, J. Radio. Nucl. Chem., 260, 89-97.
- Lemberge, P., 2000. Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis Using Partial Least Squares and Monte Carlo Simulations, Universiteit Antwerpen, Faculteit Wetenschappen, Departement Scheikunde, Phd Thesis.
- Mann, K.S., Kahlon, K.S., Aulakh, H.S., Sinhg, N., Mittal, R., Allawadhi, K.L. ve Sood, B.S., 1991, Determination of L Shell X-Ray Production Cross Sections in Holmium by 10-40 keV Photons, Pramana, 37, 293-302.
- Manson, S.T. ve Kennedy, D.J., 1974. X-ray emission rates in the Hartree- Slater approximation. At. Data Nucl. Data Tables 14, 111-120.
- McCrary, J.H., Singman, L.V. ve Ziegler, L.H., 1971. K Fluorescent X-ray Relative Intensity Measurements. Phys. Rev. A 4, 1745-1750.
- Öz, E., Baydaş, E., Ertuğrul, M. ve Şahin Y., 2004. Measurement of L Shell X-Ray Fluorescence Intensity Ratios for Some Elements in the Atomic Number Range  $66 \leq Z \leq 90$  by Photoionization of Consecutive L Subshells, J. Radio. Nucl. Chem., 260, 75-79.
- Özdemir, Y., Durak, R. ve Öz, E., 2002. K Shell X-ray Production Cross- Sections and Fluorescence Yields in Some Medium Z Elements, Radiat. Phys. Chem., 65, 199-204.
- Özdemir, Y., 2004. Measurement of L Subshell Fluorescence Yield Ratios of Some Elements Between Cesium and Uranium, J. Quant. Spectrosc. RA, 83, 295-301.
- Pious, J.K., Balakrishna K.M., Lingappa, N. ve Siddappa, K., 1992. Total K Fluorescence Yields for Fe, Cu, Zn, Ge and Mo, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 25, 1155-11160.
- Prakhya, R.S., Prathasaradhi, K., Lakshminarayana, V. ve Narasimham, K.L., 1986. Measurement of K- Shell Photoelectric Cross Sections by the Indirect method, Phys. Rev. A., 33, 2440-2443.
- Puri, A., Mehta, D., Singh, N. ve Trehan, P.N., 1996. The L $\gamma$ <sub>1,5</sub>, L $\gamma$ <sub>2,3(6)</sub>, L $\gamma$ <sub>4</sub> and L $\alpha$  X-ray Fluorescence Cross sections for the Elements with  $71 \leq Z \leq 83$ , Phys. Rev. A, 54, 617-623.
- Puri, S., Mehta, D., Chand, B., Singh, N., Hubbell, J.H. ve Trehan, P.N., 1993. Production of Li Subshell and M Shell Vacancies Following Inner-Shell Vacancy Production, Nucl. Instr. and Meth. B, 83, 21-30.

- Ramakrishna, Y., Ramachandra Rao, K., Naga Raju, G.J., Bhaskara Rao, K., Seshagiri Rao, V., Venkateswarlu, P. ve Bhuloka Reddy, S., 2002. L X-ray Energy Shifts and Intensity Ratios in Tantalum with C and N Ions- Multiple Vacancies in M, N and O Shells, Pramana, 59, 685-691.
- Ranganathaiah, C., Gowda, R. ve Sanjeevaiah, B., 1979. K-shell Photoionisation Cross Sections for 514, 661.6, 765.8 and 1115.5 keV Gamma Rays, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 12, 1965-1971.
- Rani, A., Nath, N. ve Chaturvedi, S.N., 1989. Effect of Coster-Kronig Transitions on L3 Sub-shell X-Ray Fluorescence Cross Sections, X-Ray Spectrom., 18, 77-80.
- Rao, D.V., Cesareo, R. ve Gigante, G.E., 1993a. Measurement of  $Ll$ ,  $L\alpha$ ,  $L\beta$  and  $L\gamma$  X-ray Fluorescence Cross Sections in Heavy Elements Excited by 36.62, 43.69, 48.30, 50.20 and 53.50 keV Photons, X-Ray Spectrom., 22, 401-405.
- Salah, W., 2002. L-shell fluorescence cross-sections and relative intensities for La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm, Yb, and Lu at 16.9 keV, Eur. Phys. J. AP, 19, 69-74.
- Saleh, N.S. ve Abu El-Haija, A.J., 1988. Measurement of photon-induced K X-ray cross sections for elements with  $73 \leq Z \leq 82$ , J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 21, 3077-3081.
- Saleh, N.S. ve Al Saleh, K.A., 1987. Measurement of Photon-Induced  $K_{\alpha 1}$  and  $K_{\beta 1}$  X-ray Fluorescence Cross Sections for Some Elements with  $73 \leq Z \leq 82$ , Appl. Radiat. Isot., 38, 975-977.
- Salem, S.I., Panossian, S.L. ve Krause, R.A., 1974. Experimental K and L relative X-ray emission rates. At. Data Nucl. Data Tables 14, 91-109.
- Schramm, R., 2000. Why Using XRF for Analysis?, Spectro Analytical Instruments.
- Scofield J.H., 1969. Radiative Decay Rates of Vacancies in the K and L Shells, Phys. Rev., 179, 9-16.
- Scofield, J. H., 1973. Theoretical Photoionization Cross Sections from 1 to 1500 keV, Lawrence Livermore Laboratory (UCRL), No: 513626.
- Scofield, J.H., 1974a. Exchange corrections of K X-ray emission rates. Phys. Rev. A ,9, 1041-1047.
- Scofield, J.H., 1974b. Relativistic Hartree-Slater values for K and L X-ray emission rates. At. Data Nucl. Data Tables, 14, 121-137.
- Semaniak, J., Braziewicz, J., Pajek, M., Czyzewski, T., Glowacka, T., Jaskola, M., Haller, M., Karschnick, R., Kretschmer, Halabuka, Z. ve Trautmann, D., 1995. L Subshell Ionization of Heavy elements by Carbon and Nitrogen Ions of Energy 0.4-1.8 MeV/amu, Phys. Rev. A, 52, 1125-1136.

- Semend, F., Schaupp, D., Czerwinski, H. ve Schumacher, M., 1987. Large angle Rayleigh Scattering of Lineary Polarized, Hard Synchrotron X-Rays by Kr and Xe, Phys. Rev. A, 36, 5189-5199.
- Seven, S., 2002. Measurement of photon induced K X-rays production cross sections for elements with  $62 \leq Z \leq 74$ , Turk. J. Phys. 26, 483-489.
- Shahi, J.S., Kumar, A., Mehta, D., Puri, S., Garg, M.L. ve Sing, N., 2001. Inelastic Scattering of 59.5 keV Photons by Elements with  $13 \leq Z \leq 82$ , Nucl. Instr. and Meth. B, 179, 15-23.
- Shatendra, K., Allawadhi, K.L. ve Sood, B.S., 1985. Measurement of,  $L_I$ ,  $L_{\alpha}$ ,  $L_{\beta}$ , and  $L_{\gamma}$  X-ray Production Cross Sections in Some High Z Elements by 60 keV Photons, Phys. Rev. A, 31, 2918-2921.
- Singh, D., Verma, H.R. ve Khurana, C.S., 1991. Measurements of K shell Ionization Cross Sections of Br, Rb Y Using Low Energy Protons, Pramana J. Phys., 37, 437-444.
- Singh, N., Mittal, R., Allawadhi, K.L. ve Sood, B.S., 1987. Measurement of  $L_{I+\alpha}$ ,  $L_{\beta}$  and  $L_{\gamma}$  X-ray Production Cross Sections in Some Rare-Earth Elements by 10, 18, 26 and 33 keV Photons, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 20, 5639-5645.
- Söğüt, Ö., Küçükönder, A., Büyükkasap, E., Küçükönder, E., Durdu, B.G. ve Çam, H., 2003. Measurement of K Shell Florescence Yields for Br and I Compounds Using Radioisotope XRF, J. Quant. Spectrosc. RA, 76, 17-21.
- Şahin M., Demir, L., Söğüt, Ö., Ertuğrul, M. ve İçelli, O., 2000. L Subshell Florescence Cross Sections and L Shell Florescence Yields in elements  $68 \leq Z \leq 92$  by 59.5 keV Photons, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 33, 93-98.
- Şimşek, Ö., Yılmaz, S., Karagöz, D. ve Ertuğrul, M., 2002b. Measurement of K shell florescence cross sections and K shell florescence yields for the atomic region  $22 \leq Z \leq 64$  by 59.5 keV photons, J. Radio. Nucl. Chem., 253, 143-147.
- Şimşek, Ö., 2000. Determination of L3 Subshell X-ray Production Cross Sections and Florescence Yields of Pb, Th and U. Nucl. Instr. and Meth. B, 170, 293-298.
- Şimşek, Ö., Doğan, O., Turgut, Ü. ve Ertuğrul, M., 1998. Measurement of L Shell Florescence Yields of Some Elements in the Atomic Range  $64 \leq Z \leq 74$  Using Photoionisation, Phys. Rev. A, 58, 1040-1042.
- Şimşek, Ö., Doğan, O., Turgut, Ü. ve Ertuğrul, M., 1999. Measurement of L Shell Florescence Yields of Some Elements in the Atomic Range  $56 \leq Z \leq 64$  Using Photoionisation, Radiat. Phys. Chem., 54, 229-233.
- Şimşek, Ö., Ertuğrul, M., Karagöz, D., Budak, G., Karabulut, A., Yılmaz, S., Doğan, O., Turgut, Ü., Söğüt, Ö., Polat, R. ve Gürol, A., 2002a. K Shell Florescence Yields for Elements with  $33 \leq Z \leq 53$  Using 59.5 keV photons, Radiat. Phys. Chem., 65, 27-31.

- Şimşek, Ö., Yılmaz, S., Karagöz, D. ve Ertugrul, M., 2002b. Measurement of K shell fluorescence cross sections and K shell fluorescence yields for the atomic region  $22 \leq Z \leq 64$  by 59.5 keV photons, J. Radio. Nucl. Chem., 253, 143-147.
- Tıraşoğlu, E., 1994. Enerji Dispersiv X-ışını Floresans Analizinde Şiddetlendirme Etkisi, Doktora Tezi, Atatürk Üni., Fen Bil., Enst., Erzurum.
- Tıraşoğlu, E., Çevik, U., Ertuğral, B., Atalay, Y. ve Kobya, A.İ., 2001. Measurements of  $L_I, L_{II}, L_{III}, L_{IV}$  ve  $L_{V}$  X-ray Fluorescence Cross Sections in  $70 \leq Z \leq 92$  Elements Excited by 59.543 keV Photons, Radiat. Phys. Chem., 60, 11-16.
- Yashoda, T., Krishnaveni, S. ve Gowda, R., 2005. Measurement of K-shell fluorescence yield yields for the elements in the range  $22 \leq Z \leq 52$  excited by 14.4 and 122 keV photons, Nucl. Instr. and Meth. B, 240, 607-611.
- Yu, Y.C., Azordegan, A.R., Sun, H.L., Duggan, J.L., McDaniel, F.D., Lin, E.K., Wang, C.W. ve Lapicki, G., 1999. Charge State Dependence of L- Shell X-ray Production Cross Sections of Ni, Cu, Zn, Ga and Ge by 12 MeV O<sup>+</sup> Ions, Nucl. Instr. and Meth. B, 150, 27-32.

## ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Isparta'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Isparta'da tamamladı. 1995 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde başladığı Lisans eğitimini 1999 yılında tamamladı.

1999 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. İlk yıl İngilizce hazırlık programına katıldı. 2000 yılında Fen Bilimleri Enstitüsünün 50/d Araştırma görevliliği kadrosuna atandı. Prof. Dr Engin TIRAŞOĞLU yönetiminde hazırladığı “ $69 \leq Z \leq 92$  Bölgesindeki Bazı Elementlerin ve M Kabuğuna Ait Tesir Kesitlerinin, Ortalama Floresans Verimlerinin ve Diferansiyel Tesir Kesitlerinin Ölçülmesi” isimli teziyle 2002 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 2002 yılında aynı Ana Bilim Dalında Doktora eğitimine başladı. Aynı yıl K.T.Ü. Giresun Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümüne Öğretim Görevlisi olarak atandı. SCI kapsamında yer alan uluslar arası dergilerde 13 makalesi mevcuttur. Ayrıca 1 yurt içi makalesi ile ulusal ve uluslararası sempozyumlarda sunulmuş 13 bildirisi vardır.

Evli ve bir çocuk babası olan Gökhan APAYDIN halen 13/B maddesine göre bulunduğu K.T.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümündeki görevine devam etmektedir ve İngilizce bilmektedir.