

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

69 ≤ Z ≤ 92 BÖLGESİNDEKİ BAZI ELEMENTLERİN M KABUĞUNA AİT TESİR
KESİTLERİNİN, ORTALAMA FLORESANS VERİMLERİNİN VE DİFERANSİYEL
TESİR KESİTLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

127437

Fizikçi Gökhan APAYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“Yüksek Lisans (Fizik)”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tezin Enstitüye verildiği tarih : 10-06-2002

Tezin Savunma Tarihi : 10-07-2002

127437

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Engin TIRAŞOĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Selami KARSLIOĞLU

Engin Tıraşoğlu
Ali İhsan Kobya
Selami Karşlıoğlu

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

A. Kadioğlu

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmanın planlanmasında ve yürütülmesinde görüş ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Engin TIRAŞOĞLU'na en içten saygı ve teşekkürleri sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca her türlü imkanı sağlayan, ayrıca engin bilgi ve tecrübesinden yararlandığım K.T.Ü. Fizik Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA'ya teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında bir çok konuda yardımlarını gördüğüm Doç. Dr. Uğur ÇEVİK'e, Öğr. Gör. Süleyman BOLAT'a, Arş. Gör. Birol ERTUĞRAL'a ve Arş. Gör. Hasan BALTAŞ'a teşekkür ederim.

Aynı zamanda bu çalışmaya Karadeniz Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu'nun 98.111.001.4 numaralı projesinden destek sağlanmıştır.

Bugünlere gelmemde maddi ve manevi desteklerini hiçbir şekilde esirgemeyen aileme minnettarım.

Trabzon-2002

Gökhan APAYDIN

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. X-Işınlarının Oluşumu ve Üretilmesi.....	2
1.2.1. Sürekli X-Işınları.....	3
1.2.2. Karakteristik X-Işınları.....	5
1.3. Gama ve X-Işınlarının Madde ile Etkileşmesi.....	7
1.3.1. Elektromagnetik Radyasyonun Soğrulması.....	7
1.3.2. Soğurma Katsayıları ve Soğurma Kıyıları.....	9
1.3.3. Tesir Kesiti.....	11
1.3.4. Fotoelektrik Olay.....	12
1.3.5. Çift Oluşumu.....	14
1.3.6. Elektromagnetik Radyasyonun Saçılması.....	14
1.3.6.1. Koherent Saçılama.....	14
1.3.6.2. İnkohherent Saçılma.....	15
1.3.6.2.1. Compton Saçılması.....	16
1.3.7. Floresans Verim ve Coster-Croning Geçişler.....	17
1.3.8. Auger Geçişleri.....	18
1.4. Uyarma ve Radyoizotop Kaynaklar.....	21
1.4.1. Fe-55 Radyoizotop Kaynağı.....	25
1.5. M Kabuğu Tesir Kesitlerinin Teorik Olarak Hesaplanması.....	26
1.6. M Kabuğu Ortalama Floresans Verimlerinin Teorik Olarak Hesaplanması.....	27

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	29
2.1	Deney Sistemi ve Numunelerin Hazırlanması.....	29
2.1.1.	Enerji Ayrımlı X-ışını Floresans Spektroskopisi (EDXRF).....	29
2.1.2.	Yarıiletken Dedektörler ve Sayma Sistemleri.....	30
2.2.	Numunelerin Hazırlanması.....	34
2.3.	Deney Geometrisi ve Karakteristik X-ışınlarının Sayılması.....	37
2.4.	Si(Li) Dedektörünün Verimlilik Eğrisinin Tayini.....	42
2.5.	I ₀ Gε'nin Tayini.....	43
2.6.	Soğurma Düzeltmesi Faktörünün Hesabı.....	44
2.7.	M Kabuğu Tesir Kesiti ve Ortalama Floresans Verimlerinin Deneysel Hesaplamaları.....	46
2.8.	M Kabuğu Diferansiyel Tesir Kesiti Deneysel Hesabı.....	46
3.	BULGULAR ve TARTIŞMA.....	48
4.	SONUÇLAR.....	57
5.	ÖNERİLER.....	59
6.	KAYNAKLAR.....	60
7.	EKLER.....	65
	ÖZGEÇMİŞ.....	68

ÖZET

Bu çalışmada, $69 \leq Z \leq 92$ bölgesindeki bazı elementlerin M tabakasına ait tesir kesitleri, ortalama floresans verimleri ve Re, Bi, ve U elementleri için 25° ile 45° dereceler arasında 5 açıda diferansiyel tesir kesitleri hesaplanmıştır.

Numuneler enerjisi 5,96 keV olan Fe-55 radyoizotopu kullanılarak uyarıldı. Yayınlanan X-ışınları, ayırma gücü 5.89 keV'de 147 eV olan Si(Li) katıhal dedektörü ile sayıldı.

Sonuç olarak, M kabuğu tesir kesiti ve toplam floresans verimlerin atom numarası ile artışı ve diferansiyel tesir kesitlerinin gelme açısı arttıkça artışı görüldü.

Çalışmada elde edilen değerler diğer araştırmacıların teorik ve deneysel değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen değerlerin teorik değerlerle uyum içinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: M Kabuğu Tesir Kesiti, Ortalama Floresans verim, Diferansiyel Tesir Kesiti, X- ışını Floresans Spektroskopisi , Uyarma

SUMMARY

Measurement of M Shell X-Ray Production Cross- Sections, Average M Shell Fluorescence Yields and Differential Cross- Sections for the elements in atomic range $69 \leq Z \leq 92$

In this study, M- shell X- ray production cross- section, average M shell fluorescence yields have been calculated for elements in the atomic region $69 \leq Z \leq 92$ and differential cross- section for emission of M shell fluorescence X- rays from Re, Bi and U five angles ranging from 25° to 45° have been measured.

Samples were excited using 5.96 keV from an Fe-55 radioactive source, the emitted x-rays were counted using a Si(Li) dedector with resolution 147 eV at 5.89 keV.

As a result, it was found that the cross- sections and average M shell fluorescence yields are increasing with the increasing atomic number. The differential cross- sections are increasing with increasing emission angle.

The obtained values in this study have been compared with the theoretical and others experimental values. A fairly good agreement is obtained between the experimental and theoritical values.

Key Words: M shell X- rays Production Cross- Section, Average Fluorescence Yield, Differential Cross- Section, X- ray Fluorescence, Excitation

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. X-ışınlarının meydana gelmesi.....	5
Şekil 2. Atomlarda elektron geçişleri ve karakteristik x-ışınlarının şematik olarak gösterimi.....	7
Şekil 3. Kalınlığı τ olan bir maddeden x-ışınlarını soğurulması.....	8
Şekil 4. U elementi için gelen foton enerjisi olarak kütle soğurma katsayısı ve soğurma kıyıları.....	10
Şekil 5. Fotoelektrik olay.....	13
Şekil 6. Compton saçılması.....	16
Şekil 7. Auger olayı.....	19
Şekil 8. Floresans olayı ve Coster-Kronig geçişleri.....	20
Şekil 9. L_{II} alt tabakasına ait floresans verim, Coster-Kronig geçiş ihtimaliyeti ve Auger ihtimaliyetinin atom numarası ile değişimi.....	21
Şekil 10. Karakteristik x-ışınlarını uyarmak için kaynaklar.....	22
Şekil 11. Fe-55 kaynağının bozunma şeması.....	25
Şekil 12. Fe-55 radyoizotopundan yayımlanan K_{α} ve K_{β} x-ışını çizgileri.....	26
Şekil 13. X-ışını floresans sistemi.....	30
Şekil 14. ^{109}Cd radyoaktif kaynağından elde edilen Ag'nin K spektrumunun üç tip x-ışını dedektörlerindeki ayırma kapasiteleri.....	31
Şekil 15. Yarıiletken dedektörün şematik gösterimi.....	32
Şekil 16. X-ışınları floresans ölçüm sisteminin blok diyagramı.....	33
Şekil 17. Enerji ayrımlı X-ışını floresans sisteminin genel görünüşü.....	34
Şekil 18. Numune kalınlığının x-ışını şiddeti arasındaki ilişkisi.....	35
Şekil 19. X-ışınları floresans (EDXRF) ölçümleri için deney geometrisi.....	37
Şekil 20. Diferansiyel tesir kesiti ölçümleri için deney geometrisi.....	30
Şekil 21. S elementi için K x-ışını spektrumları.....	38
Şekil 22. Ca elementi için K x-ışını spektrumları.....	39
Şekil 23. Ti elementi için K x-ışını spektrumları.....	39
Şekil 24. Hg elementi için M x-ışını spektrumları.....	40
Şekil 25. Bi elementi için M x-ışını spektrumları.....	40

Şekil 26. U elementi için M x-ışını spektrumları.....	41
Şekil 27. Ti elementi için θ açısına bağlı K x- ışını spektrumları.....	41
Şekil 28. 5,96 keV için $I_0G\epsilon'$ nin enerji ile değişimi.....	45
Şekil 29. B faktörünün enerjiye göre farklı açılardaki değişimi.....	47
Şekil 30. Ölçülen toplam M kabuğu tesir kesitlerinin diğer deneysel değerlerle karşılaştırılması.....	54
Şekil 31. Ölçülen toplam M kabuğu tesir kesitlerinin diğer teorik değerlerle karşılaştırılması.....	54
Şekil 32. Ölçülen toplam M kabuğu floresans verimlerin diğer deneysel değerlerle karşılaştırılması.....	55
Şekil 33. Ölçülen toplam M kabuğu floresans verimlerin diğer teorik değerlerle karşılaştırılması.....	55
Şekil 34. Re, Bi ve U elementleri için farklı açılardaki diferansiyel tesir kesiti değerleri...	56
Ek Şekil 1. X-ışını spektrumu üreten elektron geçişleri.....	68

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Siegbahn gösterimleri.....	6
Tablo 2. XRF, XRA, ve XRS analizinde kullanılan radyoizotop kaynaklar ve özellikleri.....	24
Tablo 3. $I_0G\epsilon'$ nin ve B faktörünün hesaplanmasında kullanılan numuneler ve özellikleri.....	36
Tablo 4. M kabuğu tesir kesiti, floresans verim ve diferansiyel tesir kesiti hesaplamasında kullanılan numuneler ve özellikleri	36
Tablo 5. Dedektör verimi için Kütle Soğurma katsayısı ve Soğurma Düzeltmesi Faktörü değerleri.....	49
Tablo 6. Dedektör verimi için $I_0G\epsilon$ (efficiency) değerleri.....	50
Tablo 7. Farklı açılar için B faktörü değerleri.....	51
Tablo 8. M kabuğu floresans verim ve tesir kesiti için Kütle Soğurma katsayısı ve Soğurma Düzeltmesi Faktörü değerleri	52
Tablo 9. M kabuğu tesir kesiti ve floresans verim değerleri.....	53
Tablo 10. M kabuğu diferansiyel tesir kesiti değerleri.....	53
Ek Tablo 1. Periyodik tablodaki elementlere ait K, L, M x-ışını emisyon çizgisi enerjileri (keV).....	65
Ek Tablo 2. ^{55}Fe radyoizotopundan yayımlanan x-ışınları.....	67

SEMBOLLER DİZİNİ

a_K	: K tabakası için Auger ihtimaliyeti
c	: Işık hızı
$d\tau$: Levhanın kalınlığı
E_b	: Bağlanma enerjisi
E_{fe}	: Sökülen elektronun enerjisi
e^-	: Elektron
e^+	: Pozitron
f_i	: i deki soğurma için düzeltme faktörü
f_{ij}	: Coster-Kronig geçişleri
$G(E)$: Geometrik faktör
h	: Planck sabiti
m_0	: Elektronun durgun kütlesi
N	: Demetin içindeki parçacık sayısı
n	: Atom sayısı
Z	: Atom numarası
$\epsilon_{E(i)}$: E_i enerjili bir foton için dedektör verimi
ϵ_R	: Bağlı (sayma) verimi
κ/ρ	: Çift oluşum kütle soğurma katsayısı
λ	: Gelen fotonun dalga boyu
μ	: Lineer soğurma katsayısı
μ/ρ	: Toplam kütle soğurma katsayısı
ν	: Gelen fotonun frekansı
σ_K	: K kabuğu için fotoelektrik tesir kesiti
σ/ρ	: Saçılma kütle soğurma katsayısı
τ/ρ	: Fotoelektrik kütle soğurma katsayısı
ω_i	: i. tabakaya ait floresans verim

1.GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Çeşitli spektroskopik uygulamalar atomların yapılarını belirlemede en etkili yöntemlerin başında gelirler. Atomlar üzerine düşürülen farklı dalga boylu ışınların, atom tarafından soğurulması ve yayımlanması neticesinde elde edilen bilgiler atomun yapısını tanımamızda büyük rol oynar. Neticede atom spektrumlarının yorumlanması, tabakalar arası olaylar ve elektron dizilişleri hakkında gerekli bilgileri sağlar.

Farklı iyonlaşma enerjilerindeki çeşitli elementlerin X-ışını floresans tesir kesitinin deneysel değerlerinin sağladığı bilgiler, X-ışını floresans tekniğini kullanarak atomik, moleküler, radyasyon fiziği ve yıkıcı olmayan elementel analiz gibi geniş alanlarda kullanılması sebebiyle önemlidir.

Deneysel floresans verimleri; atom fiziği çalışmaları, X-ışını floresans yüzey kimyasal analizi, sağlık fiziği, kanser tedavisi için dozimetrik hesaplar ve endüstriyel radyasyon işlemleri gibi çeşitli uygulamalarda gerekmektedir. Özellikle floresans verim dataları foton radyasyonuna bağlı olarak depo edilmiş enerjinin hesaplamalarında, temel parametre olan kütle enerji soğurma katsayısı (μ_{en}/ρ) hesaplarında kullanılır [1-4]. Relativistik Dirac-Hatree-Slater teorisini temel alan, Coster-Kronig ve Süper Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetlerinin genişletilmiş floresans verim teorik değerleri [5,6] ve alt kabuk iyonizasyon tesir kesitleri de mevcuttur [7].

Enerjinin fonksiyonu olarak çeşitli elementler için K ve L X-ışını floresans tesir kesiti ölçümleri birçok araştırmacı tarafından yapıldı [8-11]. Ancak M X-ışını floresans tesir kesitlerinin dataları için, M kabuğu X-ışını spektrumunun birbiri içinde ve karmaşık olması sebebiyle, yeterli ve detaylı teorik analizler henüz gerçekleştirilmemiştir [12]. M kabuğu parametreleri üzerine oldukça az teorik datalar mevcuttur. M kabuğu X-ışını spektrumunun karmaşık bir duruma sahip olması nedeniyle, üst kabuklardan bir M kabuğunun boşluklarını doldurabilecek geçişlerin sayısı, K ve L kabuklarının boşluklarını doldurabilecek geçişlerin sayıdan daha fazladır. Sonuç olarak da M kabuğunu karakteristik X-ışınları K ve L kabuklarının karakteristik X-ışınlarından daha fazladır. Böylece M kabuğunun boşlukları üzerindeki yüksek enerjili dolu kabuklardan birçok geçiş mümkündür.

Bu alandaki ilk deneysel çalışmalar radyoizotop kullanılarak tek yayımlı foton enerjisiyle gerçekleştirildi. 5,96 keV'lik fotonlar (^{55}Fe izotopu) [13-16] , 59,57 keV'lik fotonlar (^{241}Am izotopu) [17] ve sonraları radyoizotop yerine bir ikincil hedefle düzenlenmiş X-ışını tüpü [18,19] kullanılarak $70 \leq Z \leq 92$ arasında atom numarasına sahip bazı elementler için floresans verim ve tesir kesitleri değerleri birçok araştırmacı tarafından deneysel olarak yapıldı. Yapılan bu çalışmaların sonuçlarının, M kabuğu floresans verimi ve tesir kesitinin teorik değerleri [5-7,12,17-21] ile karşılaştırıldıkları görüldü. Ayrıca diferansiyel tesir kesiti çalışmaları L kabuğu için 59.57 keV'lik enerjili fotonlar [22-26] ve M kabuğu için 5.96 keV'lik enerjili fotonlar [27] ile yapıldı.

Bu çalışmada filtre edilmiş ^{55}Fe radyoizotop kaynağı kullanılarak, 5,96 keV'lik fotonlarla $69 \leq Z \leq 92$ aralığındaki 11 element uyarılmıştır. M kabuğu tesir kesiti σ_M^x , floresans verim ω_M değerleri ve hedef yüzeyin normali ile saçılan ve yayımlanan fotonların yaptığı açılarının değişimi göz önüne alınarak diferansiyel tesir kesiti $\frac{d\sigma_M^{\theta}}{d\Omega}$ deneysel olarak hesaplandı. Karakteristik X-ışınlarının sayılmasında rezolüsyonu 5,89 keV'de 147 eV olan Si(Li) katihal sayacı kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar mevcut teorik değerler ile karşılaştırılmıştır.

1.2. X-ışınlarının Oluşumu ve Üretilmesi

X-ışınları Alman Fizikçi Wilhem Conrad Röntgen (1845-1923) tarafından, siyah bir kağıtla tamamen kaplı bir boşaltma tüpünün yakınında bulunan bazı baryum-platinocyanide kristallerinin boşalıp ışın yayınladığının tespit etmesiyle 1895'te keşfetmiş ve bu çalışma ona 1901'de Nobel Ödülü kazandırmıştır.

Röntgen ve diğer bilim adamları, ışıkla benzerlik göstermesinden dolayı, bu ışınlarla polarizasyon, yansıma, kırılma ve kırınım deneyleri yapmaya başladı. Ama çalışmalar sonucunda bu özelliklerin hiçbirisinin bir delili bulunamadı. Bu sebeple, bu ışınları x (bilinmeyen) ışınları olarak isimlendirildi. 1897'de Thomson, katot ışınlarının anotta durdurulmasıyla meydana gelen ışınların elektronlar olduğunu söyledi. 1906'da Barkla yaptığı saçılma deneylerinde X-ışınlarının polarize olduğunu gösteren deliller buldu ve bu ışınların dalga olması gerektiğini söyledi. Ancak Bragg'ın iyonizasyon için yapmış olduğu çalışmalar bunların parçacık nitelikli olduğunu da gösterdi. Esas itibarıyla X-ışınlarının dalga olduğu görüşü Laue, Friedrich ve Knipping tarafında tespit edildi. Bunlar

X-ışınlarının bir bakır-sülfat-pentahidrat kristalinde kırınımına uğradığını gösterdiler. Baba oğul Bragg'lar X-ışınlarının yansıma kanunlarını buldular. 1908'de Barkla ve Sadler saçılma deneyleri ile bir hedef maddenin karakteristiklerini ihtiva eden X-ışınlarının varlığını tespit ettiler ve bunlara K ve L radyasyonları dediler. Öyle ki bu radyasyonlar, 1913'de Bragg'ın kırınım deneyleri ile gösterdiği keskin tanımlanmış dalga boylarına sahiplerdi. Bu deneyler, sürekli (beyaz) bir spektrum üzerine binmiş bir çizgi spektrumunun varlığını açıkça gösteriyordu. Moseley, çizgilerin dalga boylarının, hedef maddenin karakteristikleri olduğunu ve atom numarası bakımından aynı zincire sahip olduklarını gösterdi. Böylece ilk defa atom numaralarının anlamı tayin edilmiş oldu. Karakteristik K soğurması ilk olarak De Broglie tarafında gözlemlendi, Bragg ve Siegbahn tarafında açıklandı. X-ışınlarının teorisi Sommerfeld ve arkadaşları tarafından çalışıldı. 1932 başlarında Coster ve diğer araştırmacılar X-ışını floresans spektroskopisinin özelliklerini ayrıntılı bir şekilde araştırdılar [28].

X-ışınları bölgesi, kısa dalga boylu gama ışınları ve uzun dalga boylu ultraviyole bölge arasında uzanan ve $0.1 - 100 \text{ \AA}$ 'luk elektromagnetik spektrumun bir parçası olarak düşünülür. Gerçekte X-ışınları ve ultraviyole arasındaki bağı bölge oldukça belirli değildi ve yıllardır da $50-500 \text{ \AA}$ 'lık orta bölge pratik spektroskopistler tarafından büyük ölçüde dikkate alınmıyordu. Ancak son birkaç yıldır bu dalga uzunluğu mesafesi, hem X-ışınları spektroskopistleri tarafından kısa dalga uzunluğunun sonundan hem de astrofizik ve plazma alanında çalışanlar tarafından uzun dalga uzunluğunun sonundan araştırıldı [29].

X-ışını spektrumunun kaynağı atomun Bohr modelinin terimlerinde büyük ölçüde açıklanabilir ve ayrıca bu yüzyılın ilk zamanlarında hemen hemen tüm X-ışınları ölçümlerinde bu model kabul edilmiştir.

X-ışınlarının üretilmesini iki grupta inceleyebiliriz;

- a) Sürekli (beyaz) X-ışınları
- b) Karakteristik (veya çizgi) X-ışınları

1.2.1. Sürekli X-ışınları

Sürekli X-ışınları; uyarılmış elektronların diğer bir elektrona çarparak ve hedef elementlerle etkileşerek frenlenmesi sonucu oluşur. Bu etkileşimde elektronun ıdığı enerji, sürekli spektrum veya Bremsstrahlung olarak isimlendirilir. Sürekli X-ışını spektrumları adından da anlaşıldığı gibi geniş bir frekans aralığını kapsayan bir frekans

sürekliliğine sahiptir. Sürekli X-ışını emisyonu, klasik elektromagnetik teoriyle şu şekilde açıklanabilir; ivmeli hareket yapan yükler elektromagnetik ışımda bulunurlar ve yüksek enerjili elektronlar bir hedefe çarptıkları zaman bu elektronların enerjilerinin ~%1'i sürekli X-ışınların oluşmasına yol açar. Hedefe çarpan elektronlarda çok küçük bir kısmının enerjileri bütünü ile bir defada X-ışını enerjisine dönüşmektedir. Bu elektronlar minimum dalgaboylu ışımaları oluştururlar.

Bir X-ışını tüpünde elektronlarla meydana getirilen sürekli X-ışını spektrumu, uyarıcı elektronların maksimum enerjilerine karşılık gelen, λ_{\min} kısa dalgaboyu limitiyle karakterize edilir.

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV_0} \quad (1)$$

Burada h Planck sabiti, c ışık hızı, e elektronun yükü ve V_0 ise tüpe uygulanan potansiyeldir. Kısa dalga boyu ile uygulanan potansiyel arasındaki bu ilişki Duane-Hunt kanunu olarak bilinir. Sürekli ışıma ihtimali;

$$P \propto \frac{q^2 Z^2 T}{m_0^2} \quad (2)$$

ile orantılıdır. Burada q parçacığın yükü, Z hedef maddenin atom numarası, T parçacığın kinetik enerjisi ve m_0 ise parçacığın durgun kütesidir. Protonlar ve ağır parçacıklar elektron kütesine göre daha büyük kütleyle sahip olduklarında daha az ışıma yaparlar.

Bir X-ışını tüpünde elektronlar tarafında meydana getirilen sürekli X-ışını spektrumu şu özelliklerle karakterize edilir;

- 1) Kısa dalgaboyu limiti λ_{\min} ; bu dalga boyu altında radyasyon gözlenemez.
- 2) Maksimum şiddetin dalgaboyu λ_{\max} yaklaşık $\lambda_{\min}/2$ 'dir.
- 3) Toplam şiddet, tüp voltajı ve hedef maddesinin atom numarası (Z) ile orantılıdır.

Sürekliğin dağılımı;

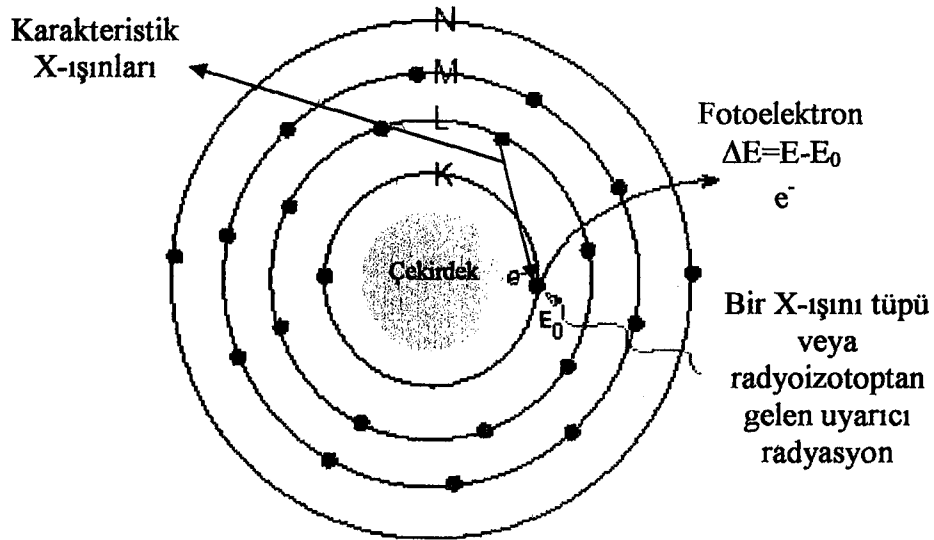
$$I(d\lambda) = KiZ \left[\frac{\lambda}{\lambda_{\min}} - 1 \right] \frac{1}{\lambda^2} d\lambda \quad (3)$$

Kramer formülü ile verilir. Bu ifadeden anlaşıldığı gibi şiddet dağılımı yük akımı (i) ve atom numarası Z ile orantılıdır. K , tüpteki i elektron akımını içeren bir sabittir. Sürekliliğin maksimum şiddeti (3) denkleminin diferansiyeli ile elde edilir.

1.2.2. Karakteristik X-Işınları

Herhangi bir yolla bir atomdan elektron sökülürse veya daha üst enerji seviyelerine çıkarılırsa atom uyarılmış olur. Bu uyarılma genellikle hızlandırılmış elektronlarla, protonlarla, nötron ve α -parçacıklarıyla, X-ışını tüpünden yayımlanan X-ışınları ile, radyoizotop kaynak tarafından yayımlanan fotonlarla ve sekonder X-ışınları ile gerçekleştirilir.

Atomun herhangi bir tabakasından sökülen elektronun yerine $10^{-12} - 10^{-14}$ saniye arasında üst tabakalardan bir elektron geçer. Bu geçişten bir foton yayımlanır. İç tabakalar arasındaki elektron geçişinden yayımlanan bu fotonu, o elementin karakteristik X-ışını fotonu veya karakteristik X-ışını denir. Şekil 1' de görüldüğü gibi atomun bağlı iç yörünge elektronlarının dış yörüngelere uyarılması neticesinde çekirdeğe yakın bir kabukta meydana gelen boşluk daha dış kabuklardaki elektronlarca doldurulur ve yayımlanan X-ışınları karakteristik X-ışınlarıdır.



Şekil 1. X-ışınlarının meydana gelmesi

Yayınlanan tüm X-ışını fotonlarının enerjileri elektronik seviyeler arasındaki enerji farkı ile doğru orantılı olduğundan verilen bir elementten elde edilen çizgiler o elementi karakterize eder. Karakteristik X-ışını fotonları ile uyarılan elementin Z atom numarası arasında ki bağıntı;

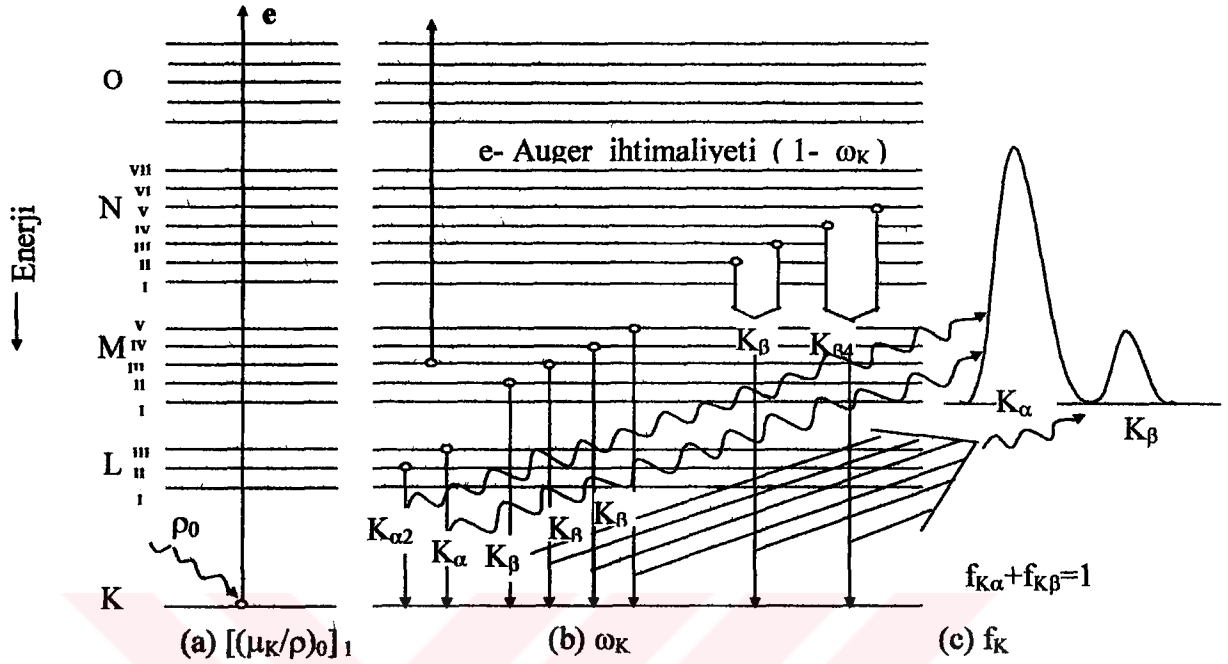
$$\frac{1}{\lambda} = K(Z - \sigma) \quad (4)$$

Moseley kanunu ile verilir. Burada, K herbir spektral seri için farklı değerler alan bir sabittir. σ perdeleme sabiti atomdaki diğer elektronlardan dolayı meydana gelen itme için bir düzeltme katsayısı olup, değeri birden küçüktür. X-ışını fotonunun dalgaboyu, diğer elektromagnetik radyasyonda olduğu gibi enerjisi ile ters orantılıdır.

Primer bir X-ışını fotonu atomun K tabakasından bir elektron sökerse K kabuğundan elektron çıkmasıyla meydana gelen boşluk, üst tabakalarda (L, M, N,...) bulunan elektronların geçmesiyle doldurulur. Bu boşluk L tabakasından doldurulursa meydana gelen karakteristik X-ışını K_{α} , diğer üst tabakalardan doldurulursa K_{β} olarak adlandırılır. L tabakasından meydana getirilen bir boşluk M, N,... tabakalarındaki elektronlar tarafından doldurulur ise L_{α} , L_{β} ,... X-ışınları meydana gelir. Bu geçişlerle ilgili Siegbahn gösterimleri Tablo 1 ve Şekil 2 ' de verilmektedir.

Tablo 1. Siegbahn gösterimleri

Siegbahn gösterimi	Tabakalar Arası geçiş	Siegbahn gösterimleri	Tabakalar Arası geçiş	Siegbahn gösterimi	Tabakalar Arası Geçiş
$K\alpha_2$	K-L _{II}	$L\gamma_4'$	L _I -O _{II}	$L\beta_6$	L _{III} -N _I
$K\alpha_1$	K-L _{III}	$L\gamma_4$	L _I -O _{III}	$L\beta_{15}$	L _{III} -N _{IV}
$K\beta_3$	K-M _{II}	$L\gamma_{13}$	L _I -P _{II,III}	$L\beta_2$	L _{III} -N _V
$K\beta_1$	K-M _{III}	L η	L _{II} -M _I	$L\beta_7$	L _{III} -O _I
$K\beta_5$	K-M _{IV,V}	$L\beta_1$	L _{II} -M _{IV}	$L\beta_5$	L _{III} -O _{IV,V}
$K\beta_2$	K-N _{II,III}	$L\gamma_5$	L _{II} -N _I		
$K\beta_5$	K-N _{III}	$L\gamma_1$	L _{II} -N _{IV}		
$K\beta_4$	K-N _{IV,V}	$L\gamma_8$	L _{II} -O _I		
$L\beta_4$	L _I -M _{II}	$L\gamma_6$	L _{II} -O _{IV}		
$L\beta_3$	L _I -M _{III}	L ζ	L _{III} -M _I		
$L\gamma_2$	L _I -N _{II}	$L\alpha_2$	L _{III} -M _{IV}		
$L\gamma_3$	L _I -N _{III}	$L\alpha_1$	L _{III} -M _V		



Şekil 2. Atomlarda elektron geçişleri ve karakteristik X-ışını yayımlanmasının şematik olarak gösterimi

1.3. Gama ve X-ışınlarının Madde ile Etkileşmesi

Gama ve X-ışınlarının madde ile etkileşimlerini;

- 1- Atomun elektronu ile,
- 2- Çekirdek ile,
- 3- Çekirdek ve elektronların etrafındaki elektrik alan ile,
- 4- Çekirdek çevresindeki mezon alanı ile,

olmak suretiyle sınıflandırılır. Gama ve X-ışınların madde ile etkileşimleri sonucunda meydana gelen olayları da soğrulma ve saçılma olarak iki grup altında toplarız.

1.3.1. Elektromagnetik Radyasyonun Soğrulması

X-ışınları yörüngedeki elektronların birbirine olan karşılıklı tesiri ve bu tesirin sürekliliği ile meydana gelir. Bu nedenle numuneyi oluşturan elementlerin yörüngedeki elektronlarının sayısına bağlıdır. Aynı zamanda, X-ışını demeti herbir karşılıklı

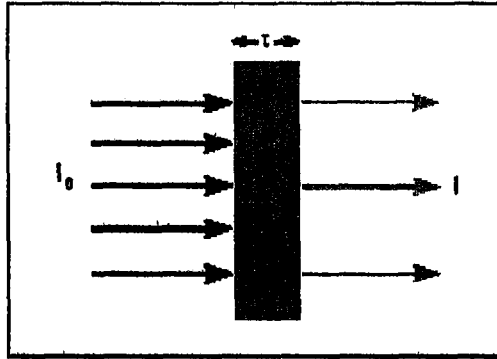
etkileşmesinde bir miktar enerji kaybeder. Eğer numune yeterince kalın ise ışın demetini hemen absorbe eder. Bu sebepten dolayı kurşun X-ışınlarına karşı koruyucu zırh olarak kullanılır.

Madde içerisine giren X-ışını fotonları, madde atomunun bağlı elektronları, serbest elektronları ve çekirdeği ile etkileşirler. Elektromagnetik radyasyonun soğurulması çeşitli olaylar sonucu gözlenmekle beraber bu olayların en baskın olanları fotoelektrik olay, saçılma (Compton, Koherent) olayı ve çift oluşumdur. Bu olayların meydana gelme ihtimaliyeti foton enerjisi ile değişmektedir. Fotoelektrik olay 0.001 MeV ile 0.5 MeV arasında daha etkindir. Çift oluşum olayı ise 1.02 MeV' den başlar ve artan foton enerjisi ile artar.

Monokromatik bir X-ışını demeti bir maddeden geçirilecek olursa (Şekil 3) X-ışını şiddetinde bir azalma olduğu gözlenir. Şiddeti $I_0(E)$ olan bir demetin, kalınlığı τ olan bir maddeyi geçtikten sonraki şiddeti;

$$I(E) = I_0(E) e^{-\mu\tau} \quad (5)$$

ile verilmektedir. Burada μ (cm^2/gr) lineer soğurma katsayısı olup, birim yüzeyde birim kalınlık başına düşen soğrulma kesri olarak tarif edilmektedir.



Şekil 3. Kalınlığı τ olan bir maddeden X-ışınının soğurulması

Gama ve X-ışınlarının soğurulması olaylarında en baskın görülen durum fotoelektrik olay ve çift oluşumdur. Bunlara bölüm 1.3.4. ve 1.3.5.' de değinilecektir.

1.3.2 Soğurma Katsayıları ve Soğurma Kısılları

τ kalınlığındaki bir maddeyi geçen X-ışını demetindeki azalmayı veren (5) bağıntısındaki μ , lineer soğurma katsayısı olarak tanımlanmıştır. Lineer soğurma katsayısından başka, maddeye ait kütle soğurma katsayısı (μ/ρ), atomik soğurma katsayısı (μ_a) ve molar soğurma katsayısı (μ_{mol}) olmak üzere üç farklı soğurma katsayısı daha vardır. Bu soğurma katsayıları, ilgili madde için toplam soğurma katsayılarıdır. Fotoelektrik, saçılma ve elektron çifti meydana gelmesi olaylarının üçü de demetin şiddetinde azalmaya neden olduklarından bu olayların tesir kesitlerinin toplamı, toplam soğurma katsayısını verir. Bu da;

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\varphi}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho} + \frac{\kappa}{\rho} \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada (φ/ρ) fotoelektrik kütle soğurma katsayısı, (σ/ρ) saçılma kütle soğurma katsayısı, (κ/ρ) ise çift oluşum kütle soğurma katsayılarıdır. Toplam fotoelektrik kütle soğurma katsayısı (φ/ρ), atomun enerji seviyelerine bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\left(\frac{\varphi}{\rho}\right)_E = \left(\frac{\varphi}{\rho}\right)_{E,K} + \left(\frac{\varphi}{\rho}\right)_{E,L_I} + \left(\frac{\varphi}{\rho}\right)_{E,L_{II}} + \left(\frac{\varphi}{\rho}\right)_{E,L_{III}} + \dots \quad (7)$$

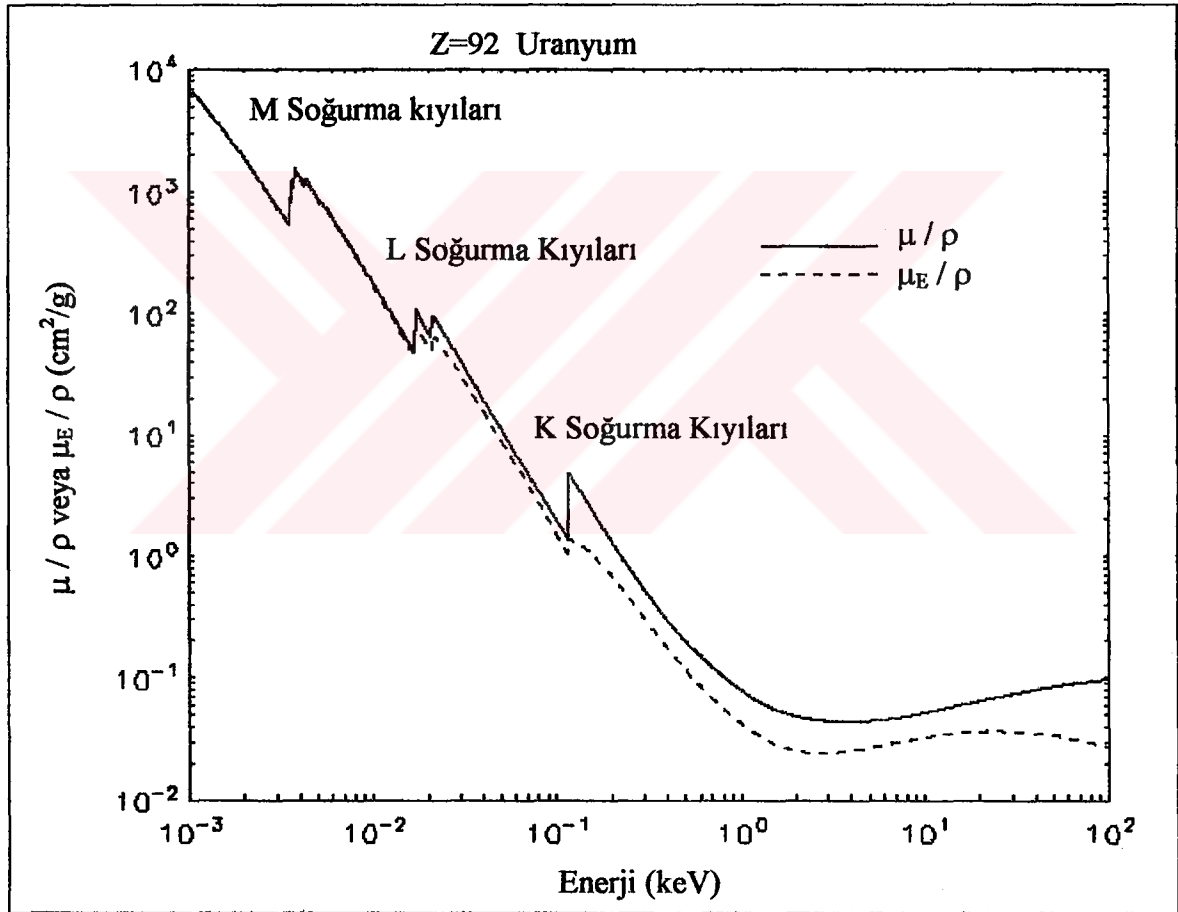
bunu daha genel olarak

$$\left(\frac{\varphi}{\rho}\right)_E = \sum_i \left(\frac{\varphi}{\rho}\right)_{E,i} \quad (8)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada (φ/ρ)_{E,i} , i. elektron seviyesinin (i =K, L_I , L_{II} , L_{III} ...) E enerjili foton için fotoelektrik kütle soğurma katsayısını göstermektedir. Fotoelektrik etkileşme ihtimaliyeti, gelen X-ışınının enerjisi, elektronun bağlanma enerjisine ne kadar çok yakın ise o derece yüksektir. Bundan dolayı bir atomda bir elektron seviyesine ait

X-ışınları soğurma ihtimaliyetinin en büyük değeri, elektronların bağlanma enerjilerine eşit X-ışınları ile bombardıman edildiği zamandır.

Bir elementin atomunun verilen bir seviyesinden bir elektron sökebilmek için gerekli minimum foton enerjisi, o element atomunun o seviyesinin soğurma kıyası olarak bilinmektedir. Her bir elementin çeşitli uyarılma enerjileri olduğu gibi çeşitli soğurma kıyıları da vardır. Bir atomun K kabuğu için bir (K_{ab}), L kabuğu için üç (L_{Iab} , L_{IIab} , L_{IIIab}), M kabuğu için beş, N kabuğu için yedi soğurma kıyası vardır. Her bir elementin soğurma kıyası enerjisi, dış yörüngelerden içteki yörüngelere doğru gittikçe artar.



Şekil 4. Uranyum elementi için gelen foton enerjisi olarak kütle soğurma katsayısı ve soğurma kıyıları [4]

Şekil 4'te görüldüğü gibi bir soğurma kıyasından sonra uyarıcı foton enerjisi devamlı düşürülecek olursa soğurma katsayısında ani bir düşme olur ve bir sonraki soğurma kıyasına doğru soğurma katsayısında yeniden düzenli bir artış görülür.

1.3.3. Tesir Kesiti

Tesir kesiti, bir numune üzerine gelen hedef parçacıkla hedef numunedeki her bir parçacığın ilgilenilen herhangi bir olayı meydana getirme ihtimalinin bir ölçüsüdür. Bu ölçü hedef parçacığı kuşatan hayali bir alanla karakterize edilir. Bir hedef parçacığın tesir kesiti, ilgili olayın tabiatına ve gelen parçacığın enerjisine bağlıdır. Bu aynı zamanda parçacığın geometrik kesitinden daha büyük veya daha küçük olabilir [30].

A yüzeyine ve dt kalınlığına sahip ince bir levha üzerine I şiddetiyle düşürülen parçacıklar demeti düşünelim. Bu parçacıklar demeti levhadan geçerken, bir miktarının madde atomları tarafından azaltılma ihtimali vardır. Eğer σ , bir atomu kuşatan ve ilgilenilen herhangi bir olayın meydana gelmesi ile ilgili etkin alan ise, gelen parçacık bu alana düştüğü zaman ilgilenilen olay gerçekleşecektir. Levhanın birim hacmi başına n tane hedef atomu düştüğü ve bu levhanın (hiçbir atomunun diğer atomu üzerine binmeyecek şekilde) ince olduğu kabul edilirse, bu durumda her bir atom gelen parçacıklarla, ilgilenilen olayı gerçekleştirmede eşit şansa sahip olacaktır. Bu durumda ndt , birim yüzey başına düşen atom sayısı ve A alanındaki toplam atom sayısı olacaktır. Her bir atom ilgilenilen olaya σ etkin alanıyla katıldığından dolayı bu olayın meydana gelmesi için mümkün olan toplam etkin alanı σA olur. Eğer bir bombardıman demetinde N parçacık varsa ve dilimdeki atomlar ile etkileşen parçacık sayısı dN için,

$$\frac{dN}{N} = \frac{\text{Toplam etkin alan}}{\text{Hedef alan}}$$

ifadesi yazılabilir. Bu durumda,

$$\frac{dN}{N} = n\sigma dt \quad (9)$$

elde edilir. Belirli bir kalınlıkta, bir dilimdeki atomlar ile etkileşerek gelen parçacıkların oranını bulmak için dN/N 'nin integralinin alınması gerekir. Eğer gelen her parçacığın

yalnız bir etkileşme oluşturduğu kabul edilirse, dilimin ilk dt kalınlığı içinden geçerken dN adet parçacığın demetten ayrılmış olduğu düşünülebilir. Böylece ifade (-) işareti alır.

$$-\frac{dN}{N} = n\sigma dt \quad (10)$$

Bunun integrali alınırsa,

$$N = N_0 e^{-n\sigma t} \quad (11)$$

elde edilir. Burada N_0 ince levhaya gelen parçacıkların sayısı ve N , levhanın t kalınlığını geçen parçacıkların sayısıdır. Tesir kesiti σ ile gösterilir ve birimi barn' dır ($1b=10^{-24} \text{cm}^2$). $n\sigma t$ yeterince küçük olduğu zaman,

$$N = N_0(1 - n\sigma t) \quad (12)$$

yazılabilir [31]. Bu durumda t kalınlığını geçerken soğurulan (ilgilenilen etkileşmeye giren) parçacıkların sayısı

$$dN = N_0 n\sigma t \quad (13)$$

ifadesi ile verilir. Buradan tesir kesiti için

$$\sigma = \frac{dN}{N_0 n t} \quad (14)$$

genel ifadesi çıkarılır.

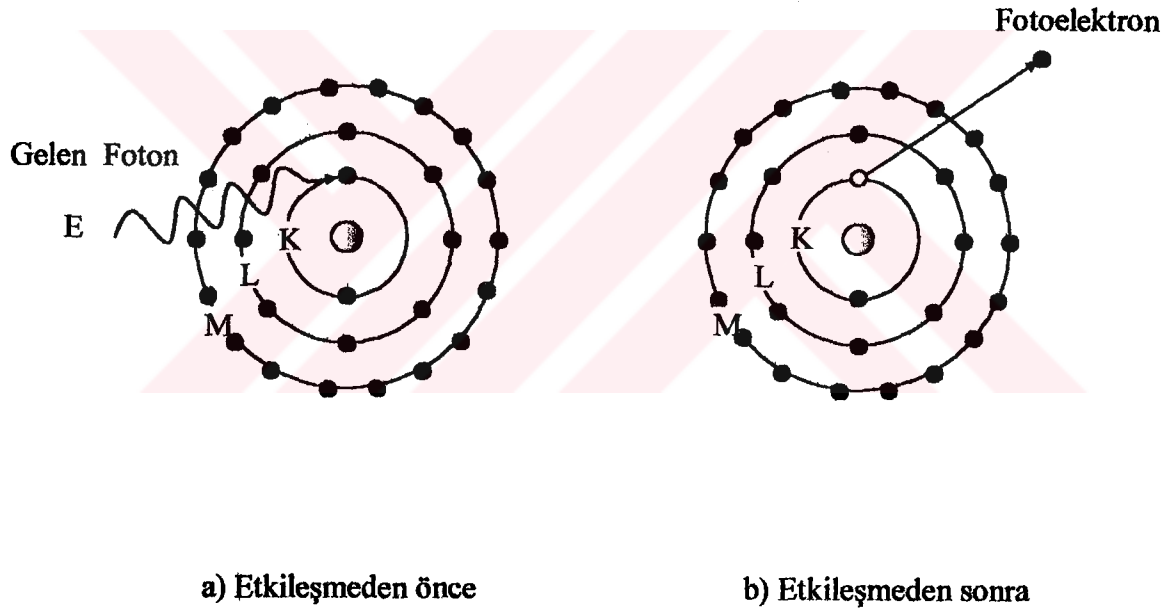
1.3.4. Fotoelektrik Olay

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. Bu işlem sırasında foton tamamen soğrulur ve bağıını koparan elektronun kinetik enerjisi,

$$E_{fe} = h\nu - E_b \quad (15)$$

ile verilir. Burada E_b yörünge elektronun bağlanma enerjisidir. Serbest bir elektronun fotoelektrik olaya sebep olması imkansızdır. Çünkü, bu durumda momentum korunmaz. Oysaki, bağlı elektronlar durumunda atom geri teper ve böylece momentum korunur. Bu işlem sırasında foton tamamen soğrulur. K kabuğu elektronlarından birinin sökülmesi ile oluşan bir fotoelektrik olay Şekil 5'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. Fotoelektrik olay

K kabuğunda oluşturulan boşluk, atomun üst tabaka elektronları tarafından doldurulur. Bu işlem sonucu, iki tabakanın bağlanma enerjileri arasındaki fark kadar enerjiye sahip bir foton yayımlanır ve bu foton karakteristik X-ışını fotonu olarak adlandırılır.

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 (ω) 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. Bunun sebebi, küçük numaralı atomlarda iç kabuklar arası elektron geçişinden yayımlanan foton enerjisinin, dış kabukların soğurma kıyılarına, büyük atom numaralı elementlerinkinden çok yakın olmasıdır.

1.3.5. Çift Oluşumu

Çift oluşumu, çekirdeğin etki alanına giren bir fotonun bir elektron ile bir pozitrona dönüşmesi olayıdır. Bu olay için eşik enerjisi $2m_0c^2$ dir. 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. Elektron ile pozitronun kütleleri birbirine eşit, yükleri ise eşit fakat zıt işaretlidir. Bu olay çekirdek etrafında olduğundan hiçbir korunum ilkesi bozulmuş olmaz. Sonuçta yük, çizgisel momentum ve toplam enerji korunur.

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

1.3.6. Elektromagnetik Radyasyonun Saçılması

Elektromagnetik radyasyonun madde ile etkileşmesi olaylarından biri olan saçılmayı, saçılan ışının enerjisine göre koherent ve inkoherent saçılma olarak iki gruba ayırabiliriz.

1.3.6.1. 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 koherent bir toplamı gibi yazılabilir [32].

$$A=A^R + A^T + A^N + A^D \quad (16)$$

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

1.3.6.2. 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,

$$\frac{d\sigma_{sc}}{d\Omega} = S(x, Z) \frac{d\sigma_{KN}}{d\Omega} \quad (17)$$

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

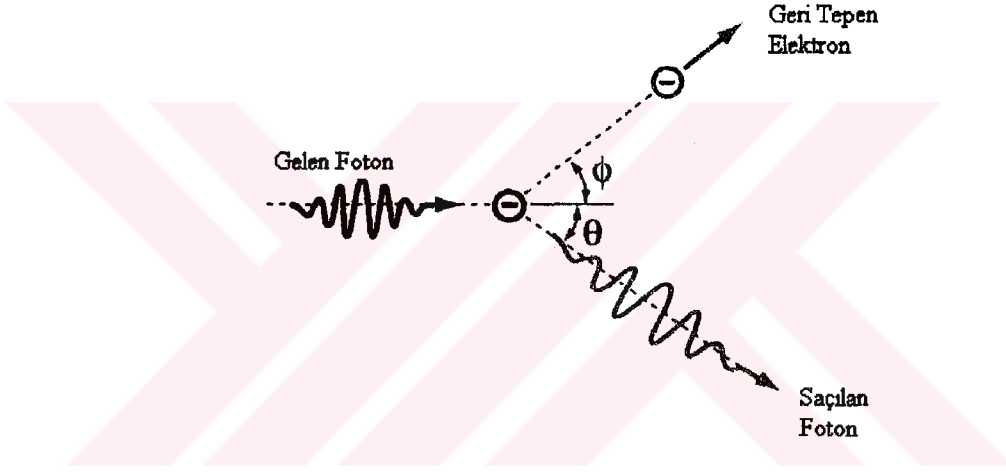
$$\frac{d\sigma_{KN}}{d\Omega} = \frac{r_e^2}{2} (1 + k(1 - \cos \theta))^2 \left(1 + \cos^2 \theta + \frac{k^2 (1 - \cos^2 \theta)^2}{1 + k(1 - \cos \theta)} \right) \quad (18)$$

denklemleri ile verilir. $S(x, Z)$ ise inkohherent saçılma fonksiyonudur [33].

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

1.3.6.2.1. Compton Saçılması

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 koparılarak belli bir açıyla saçılır. Compton saçılması, elektronun bağlanma enerjisinin, gelen fotonun enerjisi yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda etkili olarak gözlenir. Şekil 6'da görüldüğü gibi θ saçılan fotonun geliş doğrultusuyla, ϕ ise geri tepen elektronun geliş doğrultusuyla yaptığı açıdır.



Şekil 6. Compton Saçılması

Bu olayda λ gelen fotonun, λ' ise saçılan fotonun dalga boyu olmak üzere gelen fotonun dalga boyu,

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\phi) \quad (19)$$

şeklinde ifade edilir. Burada m_0 elektronun durgun kütlesi, ϕ fotonun saçılma açısı, c ışık hızı, h ise Planck sabitidir. Denklem (10)' da görüldüğü gibi dalga boyundaki değişim gelen fotonun λ dalga boyundan bağımsızdır. h/m_0c büyüklüğüne elektronun Compton dalga boyu denir ve değeri $0,024 \text{ \AA}$ 'dur. O halde dalga boyundaki en büyük değişim $\phi=180^\circ$ için $0,048 \text{ \AA}$ değerinde olacaktır.

Fotoelektrik olay genellikle K ve L tabakalarına ait elektronlarda baskın olmasına rağmen, Compton olayı dış tabaka elektronlarında daha baskındır. Compton saçılması, elektronun bağlanma enerjisinin, gelen fotonun enerjisi yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda baskın olarak meydana gelir.

1.3.7. 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;

$$\omega_K = \frac{I_K}{\eta_K} \quad (20)$$

ile verilir. η_K , K tabakasında meydana getirilen boşlukların sayısı, I_K yayımlanan toplam K X-ışınlarının sayısıdır. Burada ω_K , K tabakasına ait floresans verimdir. Ayrıca Γ_R , ışımali kısmi genişliği (geçiş hızlarının toplamı) ve Γ , toplam seviye genişliği olmak üzere floresans verim

$$\omega_i = \frac{\Gamma_R(L_i x)}{\Gamma(L_i)} \quad (x=L_j, M, N, O, j>i) \quad (21)$$

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

- K tabakası üzerindeki tabakalar birden fazla alt tabakadan meydana gelmiştir. Ortalama floresans verim bu tabakaların nasıl iyonize olduğuna daha kuvvetlice bağlıdır.
- 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 ışımsız $f_{ij}(A)$ ve ışıklı $f_{ij}(R)$ olmak üzere iki kısımdan ibarettir. Bu durumda

$$f_{ij} = f_{ij}(A) + f_{ij}(R) \quad (22)$$

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

$$f_{ij} = \frac{\Gamma_A(L_i L_j x)}{\Gamma(L_i)} \quad x = M, N, O \quad j > i \quad (23)$$

şeklinde verilebilir. Burada Γ_A , Auger kısmi genişliği (Auger geçiş hızlarının toplamı) dir.

1.3.8. Auger Geçişleri

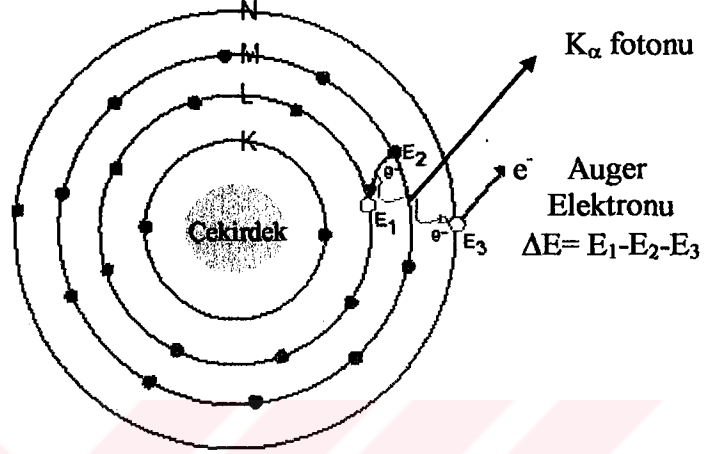
Bir atomun iç yörüngelerinden uyarma sonucu oluşan boşluk üst tabakalardan elektron geçişi ile doldurulur. Bu esnada ortaya çıkan enerji genellikle X-ışını şeklinde yayımlanır. Bununla birlikte, uyarılan atomun fazla enerjisi bir elektron yayınlanması ile de serbest bırakılabilir. Bu olay değişik adlarla ışımsız geçişler, iç dönüşüm ve Auger olayı olarak bilinmektedir. X-ışını fotonu gibi, Auger elektron enerjisi de yayımlayıcı elementin karakteristiğidir. Auger olayının meydana gelişi Şekil 7' de gösterilmiştir.

Örneğin K tabakasındaki boşluğun L tabakasındaki elektronlarca doldurulması sonucunda bir Auger olayının meydana geldiğini düşünelim;

- Atomun L' den K' ya geçişinde fazla enerjisinin bir L veya M elektronu yayımlaması ile serbest bıraktığı kabul edilir. Veya,
- L' den K' ya elektron geçişinde normal olarak bir C fotonu yayımlandığı kabul edilir. Ancak bu foton atomu terk etmeden, bir L veya M elektronu fırlatılmasına sebep olacak şekilde soğurulacaktır. Bu olay iç fotoelektrik soğurma olarak düşünülebilir. Bu her iki duruma göre de atom iki kere iyonlaşmış olmaktadır.

Auger olayı elektronları daha gevşek bağlı ve karakteristik fotonların daha kolay soğurulduğu küçük atom numaralı elementler de daha yaygın görünür. Aynı sebepten dolayı bu olay L serisi için K serisinden daha baskındır. Atomdan yayımlanan K_α fotonun

enerjisi azalan atom numarası ile L tabakasının soğurulma kıyısına yaklaşır. ve dolayısıyla soğurulma şansı artar. Auger olayı, floresans verimin ve satelite çizgilerinin temelini oluşturur [34].



Şekil 7. Auger Olayı

K tabakası için Auger olayı ihtimaliyeti a_K , ışımaz geçişlerin sayısı I_{KA} , meydana getirilen boşluk sayısı da n_K olmak üzere;

$$a_K = \frac{I_{KA}}{n_K} \quad (24)$$

şeklinde verilir. Herhangi bir tabakaya ait ortalama Auger verimi (\bar{a}_x)

$$\bar{a}_x = \sum_{i=1}^k V_i^x a_i^x \quad (25)$$

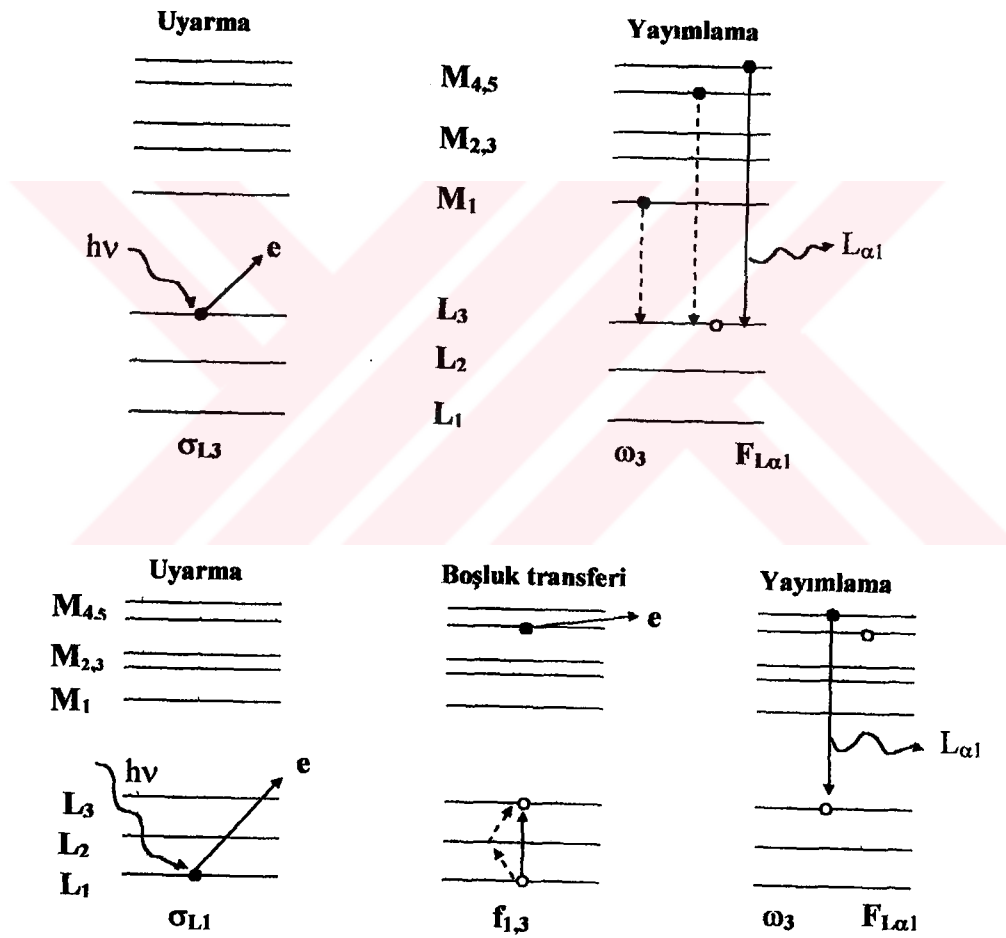
bağıntısıyla verilmektedir. Burada V_i^x değiştirilmiş relatif boşluk sayısıdır. Aynı boşluk dağılımı için tabakanın ortalama floresans verimi (\bar{w}_x) ve ortalama Auger verimi (\bar{a}_x) toplamı bire eşittir.

$$\bar{a}_x + \bar{w}_x = 1 \quad (26)$$

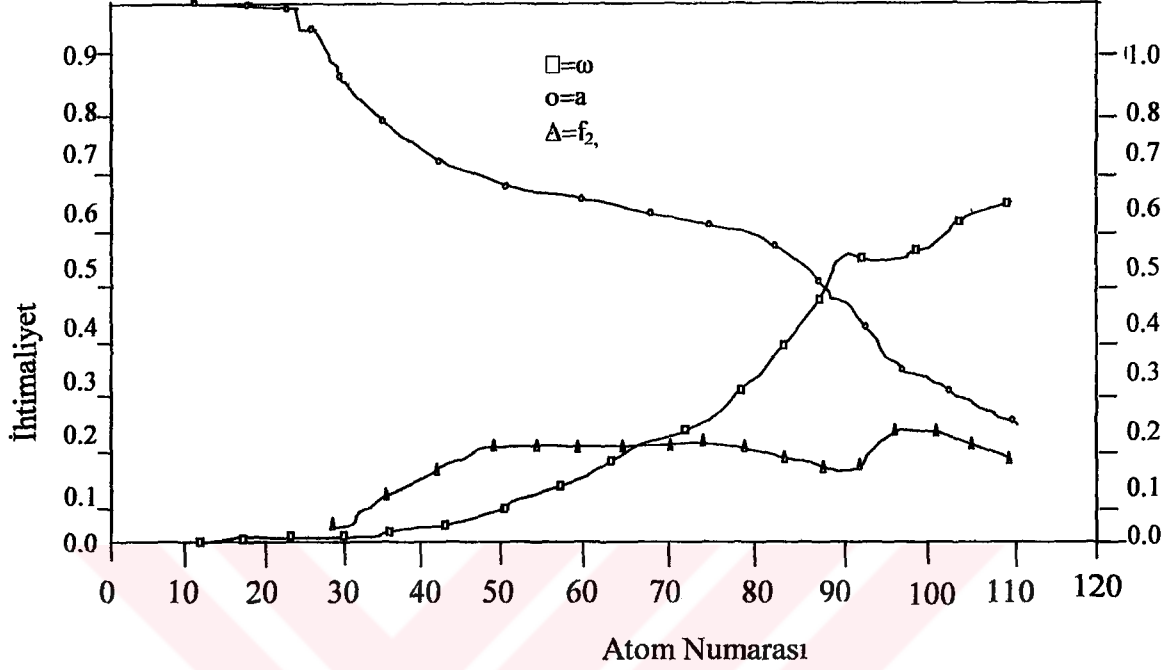
Floresans verim, Coster-Kronig geçiş ihtimaliyeti ve Auger ihtimaliyeti arasında

$$\omega_i + a_i + \sum_{j=i+1} f_{ij} = 1 \quad (27)$$

ilişkisi vardır. Bu olayların meydana gelişi şematik olarak Şekil 8’ de gösterilmiştir. L_2 alt tabakası için floresans verimin (ω_2), Coster-Kronig ihtimaliyetinin (f_{23}) ve Auger ihtimaliyetlerinin (a_2) atom numarasına karşı grafikleri Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 8. Floresans olayı ve Coster-Kronig geçişleri



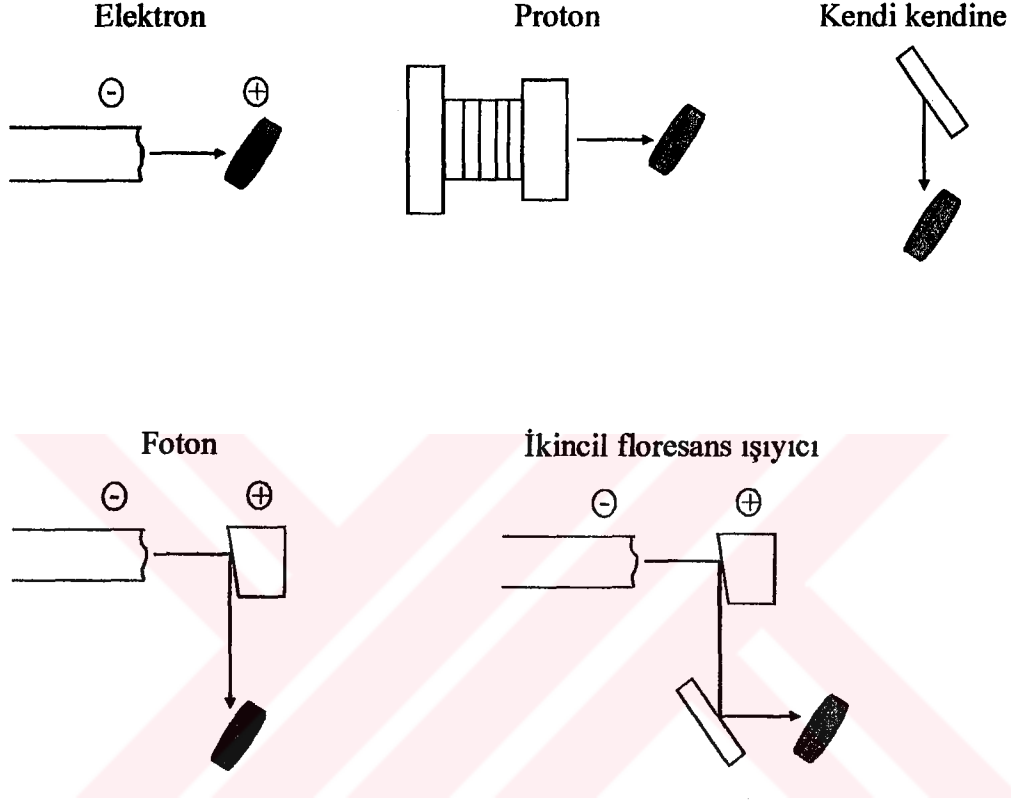
Şekil 9. L_2 alt tabakasına ait floresans verim, Coster-Kronig geçiş ihtimaliyeti ve Auger ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi

1.4. Uyarma ve Radyoizotop Kaynaklar

X-ışını spektrumları atomun iç yörüngelerinde boşluklar meydana geldiğinde ortaya çıkar. X-ışını spektral-çizgi uyarması bu boşlukların yeteri kadar sayıda meydana gelmesine bağlıdır. Bu boşlukları meydana getirebilmek ve karakteristik X-ışınları yayımlamak üzere şu şekilde uyarılabilirler:

- 1) Elektronlarla ,
- 2) Protonlar, döteronlar, α -parçacıkları ve iyonlarla,
- 3) Radyoizotop kaynaklardan yayımlanan x veya γ -ışınları ile ışınlama,
- 4) Analitin soğurma kıyısından daha kısa dalgaboylu spektral çizgiye sahip hedef elementlerden yayımlanan ikincil X-ışınları ile ışınlama. Bu ikincil hedefler, X-ışını tüpü veya radyoizotop kaynaktan yayımlanan primer fotonlarla uyarılırlar.
- 5) X-ışını tüplerinden yayımlanan primer X-ışınları ile uyarma,
- 6) Synchrotron (Sinkrotron) kaynaklarla uyarma

7) Self-uyarma veya oto-uyarma [35].
Bu yöntemler Şekil 10'da gösterilmişlerdir.



Şekil 10. Karakteristik X-ışınlarını uyarmak için kaynaklar

X-ışını spektrometresiyle yapılan ilk çalışmaların hepsinde elektronlarla uyarma yöntemi kullanılmıştır. Klasik X-ışını floresans spektrometrelerinde elektronlarla uyarmanın ısı dağılması problemleri ve yüksek vakum altında çalışma sıkıntısından dolayı kullanışlı olmadığı görülmüştür.

Bugün en çok kullanılan uyarıcı, X-ışını foton kaynaklarıdır. Bu kaynak, birincil dalga boyu ayırmalı ve birincil enerji ayırmalı sistemlerde kullanılır. İkincil floresans ışığı tarzı, ikincil hedefli enerji ayırmalı spektrometrelerde kullanılır. γ kaynağı radyoaktif bir izotoptur. X-ışını analizinde genellikle radyoizotop kaynak kullanılır. Bunlar önemli karakteristikleriyle Tablo 2'de verilmiştir. Radyoizotop kaynaklar iki tür radyasyon

yayımlarlar. Bunlardan birincisi, yüksek enerjili γ -ışınları, ikincisi de karakteristik X-ışınlarıdır.

Radyoizotopların aktivitesi, radyoaktif atomların bozunması (parçalanması) ile orantılıdır. Bir kaynağın aktivitesi, saniyedeki bozunma sayısı olarak tanımlanır. Bu Bekerele olarak ta isimlendirilir. Bekerele (Bq) yerine SI birim sisteminde Curie (Ci) kullanılır. Bir Curie $3,70.10^{10}$ Bq'dir. X-ışınları ve γ -ışınlarının her bir parçalanmadaki fotonların sayısı Tablo 2'de verilmiştir. Böylece temel olarak kaynaklar tarafından birim zamanda yayımlanan X-ışınlarının sayısı hesaplanabilir. Yayımlanan ışınların sayısı zamanla azalır. Bir radyoizotop atomun t süre sonundaki bozunanlarının sayısı;

$$N = N_0 e^{-0.693t / T_{1/2}} \quad (28)$$

eşitliği ile bulunur. Burada $T_{1/2}$ radyoizotop için yarı ömürdür. 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. Bir çok 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 $3,60.10^{15}$ Bq olarak belirlemiştir. Tablo 2'de her bir radyoizotop kaynağının bir metre uzaklıkta yayımladığı radyasyon doz oranları kaynakta ve havada hiç soğurulma olmamış kabul edilerek verilmiştir. Radyasyonun dozu kaynaktan uzaklaştıkça uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır. X-ışını ve γ -ışını aletsel kullanımında karşılaştırmalar yapılırken maksimum doz uygunluğu olmalıdır. Çünkü düşük verimli kaynaklar için işlem tekniklerine dikkat edilmesi ve ışınların kolimasyonu sonuçları önemli ölçüde etkiler [36].

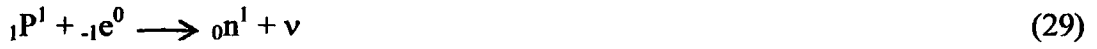
γ kaynağı ve γ -x kaynağının her ikisi de portatif sistemlerde, toplam foton akışı küçük olmasına rağmen, düşük maliyette, kullanışlı hacimde vs. sebeplerle yaygınca kullanılmaktadır. Proton ve Synchrotron kaynağının her ikisi de klasik frenleme radyasyonu kaynağından daha iyi hassasiyet sunarlar.

Tablo 2. XRF, XRA ve XRS analizinde kullanılan radyoizotop kaynaklar ve Özellikleri [37]

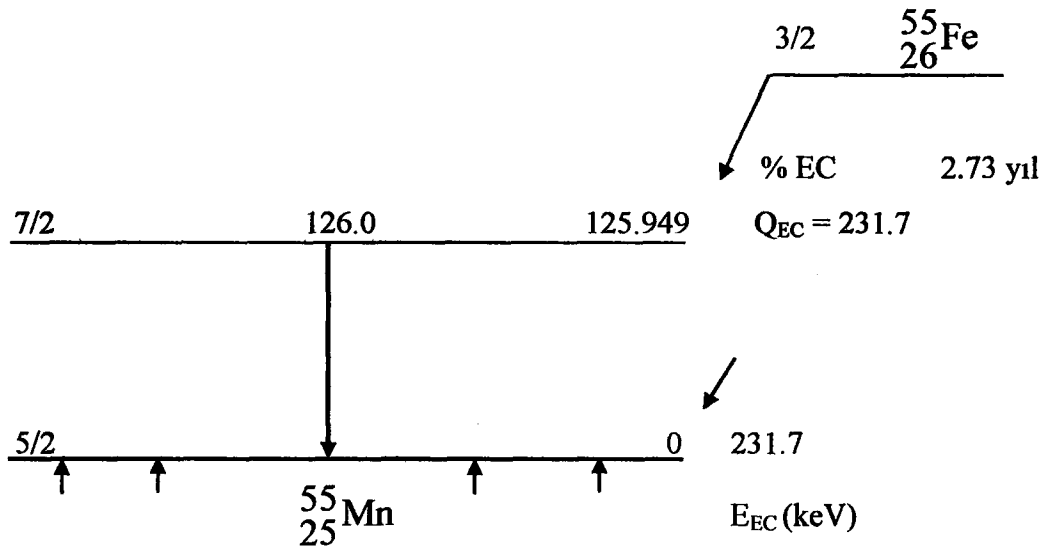
Radyoizotop Kaynaklar	Yarı ömür (yıl)	x veya γ -ışını enerjisi (keV)	Her bir parçalanmadaki foton sayısı	1 m.'de doz μSvh^{-1}	XRF,XRA XRS
Fe ⁵⁵	2.7	Mn K X-ışınları (5.9-6.5)	0.28	-	XRF
Pu ²³⁸	88	U L X-ışınları (13-20)	0.13	-	XRF
Cm ²⁴⁴	17.8	Pu L X-ışınları (14-21)	0.08	-	XRF
Cd ¹⁰⁹	1.3	Ag K X-ışınları (22-25)	1.07	-	XRF
		88	0.04		
I ¹²⁵	0.16	35 Te K X-ışınları (27-32)	0.07	2.7	XRF
			1.38		
Am ²⁴¹	433	59.5 26.3 Np L X-ışınları (20.3, 17.8, 13.9, 12.87)	0.36	3.6	XRF, XRA XRS
Gd ¹⁵³	0.66	Eu K X-ışınları (41-48)	1.1		XRA
		97	0.30	2.7	
		103	0.23		
Co ⁵⁷	0.74	122 136	0.86 0.11	24	XRF, XRA XRS
Ba ¹³³	10.3	53.155 81 276 303 356 384	0.34 0.07 0.18 0.62 0.09	65	XRA, XRS
Cs ¹³⁷	30.2	Cs K X-ışınları (35.4, 30.52) 662	0.85	83.7	

1.4.1. Fe-55 Radyoizotop Kaynağı

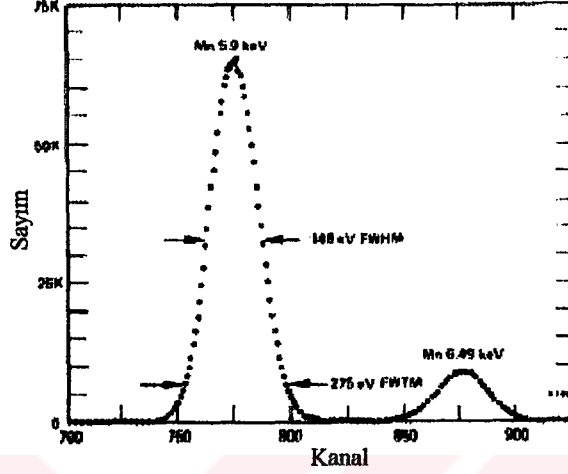
Çalışmamızda kullandığımız Fe-55 radyoizotopu elektron yakalama prensibi ile bozunuma uğramaktadır. Bu durum çekirdekdeki protonlardan bir tanesinin, elektron tabakalarından (büyük bir ihtimal ile K tabakası) bir elektron yakalayarak nötron haline dönüşmesiyle izah edilebilir.



Bu durumda atom numarası Z olan bir element $Z-1$ atom numaralı element haline bozulur. Bu olay β^+ yayımlanmasının (pozitron bozunmasının) benzeridir. Alveraz tarafından ilk defa 1938'de gözlenen bu olay meydana gelen $Z-1$ atom numaralı elementin X-ışını fotonu yayınlaması şeklinde kendini gösterir [38]. K yakalama olayı ile bozunmaya uğrayan ve reaktörlerde bol miktarda elde edilebilen bazı suni radyoizotoplardan faydalanılarak, Fe-55 gibi keskin çizgili X-ışını spektrumu kaynakları elde edilebilmektedir. Şekil 11'de Fe-55 bozunarak Mn'a dönüşüm şeması ve Şekil 12'de de yayımlanan K_α ve K_β X-ışını çizgileri verilmektedir.



Şekil 11. Fe-55 radyoizotopunun bozunma şeması



Şekil 12. Fe-55 radyoizotopundan yayımlanan K_{α} ve K_{β} X-ışını çizgileri [39]

1.5. M Kabuğu Tesir Kesitlerinin Teorik Olarak Hesaplanması

M kabuğu X-ışınlarının teorik tesir kesitleri aşağıda verilen bağıntılardan hesaplanmıştır [13].

$$\sigma_{M1}^x = \sigma_{M1} \omega_1 \quad (30)$$

$$\sigma_{M2}^x = (\sigma_{M1} S_{12} + \sigma_{M2}) \omega_2 \quad (31)$$

$$\sigma_{M3}^x = [\sigma_{M1} (S_{13} + S_{12} S_{23}) + \sigma_{M2} S_{23} + \sigma_{M3}] \omega_3 \quad (32)$$

$$\sigma_{M4}^x = [\sigma_{M1} (S_{14} + S_{12} S_{24} + S_{13} S_{34} + S_{12} S_{23} S_{34}) + \sigma_{M2} (S_{24} + S_{23} S_{34}) + \sigma_{M3} S_{34} + \sigma_{M4}] \omega_4 \quad (33)$$

$$\sigma_{M5}^x = [\sigma_{M1} (S_{15} + S_{12} S_{25} + S_{13} S_{35} + S_{14} S_{23} f_{45} + S_{12} S_{23} S_{35} + S_{12} S_{24} f_{45} + S_{13} S_{34} f_{45} + S_{12} S_{23} S_{34} f_{45} + \sigma_{M2} (S_{25} + S_{24} f_{45} + S_{23} S_{35} + S_{23} S_{34} f_{45}) + \sigma_{M3} (S_{35} + S_{34} f_{45}) + \sigma_{M4} f_{45} + \sigma_{M5}] \omega_5 \quad (34)$$

toplam tesir kesiti ifadesi de;

$$\sigma_M^x = \sum_{i=1-5} \sigma_{Mi}^x \quad (35)$$

dir. Burada σ_{Mi} ($i=1-5$) M alt kabuklarının tesir kesitleri, ω_i ($i=1-5$) floresans verimleri, S_{ij} ($i=1-3, j=2-5$) süper Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetleri ve f_{45} ise Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetidir.

Denklemden verilen σ_{Mi} değerleri Scofield'in tablosundan [40], ω_i , S_{ij} ve f_{45} değerleri ise McGuire [21] ve Chen ve arkadaşlarının [6,7] makalelerinden alınmıştır.

1.6. M Kabuğu Ortalama Floresans Verimlerinin Teorik Olarak Hesaplanması

Ortalama floresans verim ω_M teorik değerleri de tesir kesitlerinin hesaplama yöntemine benzer bir şekilde, aşağıdaki ifadelerden yararlanılarak hesaplanmıştır [13,20].

$$\begin{aligned} v_1 = & \omega_1 + \omega_2 S_{12} + \omega_3 (S_{13} + S_{12} S_{23}) + \\ & \omega_4 (S_{14} + S_{13} f_{34} + S_{12} S_{24} + S_{12} S_{23} S_{34}) + \\ & \omega_5 (S_{15} + S_{14} f_{45} + S_{13} S_{35} + S_{12} S_{25} + S_{13} S_{34} f_{45} + \\ & S_{12} S_{24} f_{45} + S_{12} S_{23} S_{35} + S_{23} S_{34} f_{45}) \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} v_2 = & \omega_2 + \omega_3 S_{23} + \omega_4 (S_{24} + S_{23} f_{34}) + \\ & \omega_5 (S_{25} + S_{24} f_{45} + S_{23} S_{35} + S_{23} S_{34} f_{45}) \end{aligned} \quad (37)$$

$$v_3 = \omega_3 + \omega_4 S_{34} + \omega_5 (S_{35} + S_{34} f_{45}) \quad (38)$$

$$v_4 = \omega_4 + \omega_5 f_{45} \quad (39)$$

$$v_5 = \omega_5 \quad (40)$$

şeklinde, toplam verim ifadesi de;

$$\bar{\omega}_M = \sum_{i=1-5} N_i v_i \quad (41)$$

şeklindedir. N_i beş M alt kabukları arasındaki birincil boşluk dağılım bağıntısı, v_i M alt kabuğu floresans verim terimi, diğer ifadeler ise bir önceki bölümde verilen tanımlamalarla aynıdır.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Deney Sistemi ve Numunelerin Hazırlanması

2.1.1. Enerji Ayrımlı X-ışını Floresans Spektroskopisi (EDXRF)

1895'de Röntgen'in X-ışınlarını keşfinden sonra, materyal karakterizasyonu tekniklerinin temelinde X-ışınları birçok bilimsel kurallar içinde yaygınlaştı. X-ışınları kullanılarak, elementel bileşiklere ait bilgilerin, kimyasal bağların elektronik yapılarının ve katıların atomik yapılarının elde edilebilmesine imkan sağlandı. Günümüze bu ilkeye dayanan enerji ayrımlı X-ışını floresans (EDXRF) tekniği, katı ve sıvı numunelerdeki elementlerin nicel ve nitel özelliklerini belirleyen bir kimyasal analiz metodudur. EDXRF sistemi periyodik cetvelde atom numarası 11 (sodyum) ve 92 (uranyum) arasındaki elementleri bulabilir. Bu yöntemle numuneler tahribata uğramadan ve çok kısa zaman içinde analiz edilebilir. Tekniğin daha geniş bir dinamik oluşum altında yeteneği daha da artırılabilir. Elementlerin konsantrasyonu milyonda birden yüzde yüze kadar miktarlarda olanlar aynı numunede eşzamanda analiz edilebilir. Ve hata payı yüzde birden daha aşağıdadır [41].

EDXRF sisteminin diğer analitik sistemlere göre avantajları;

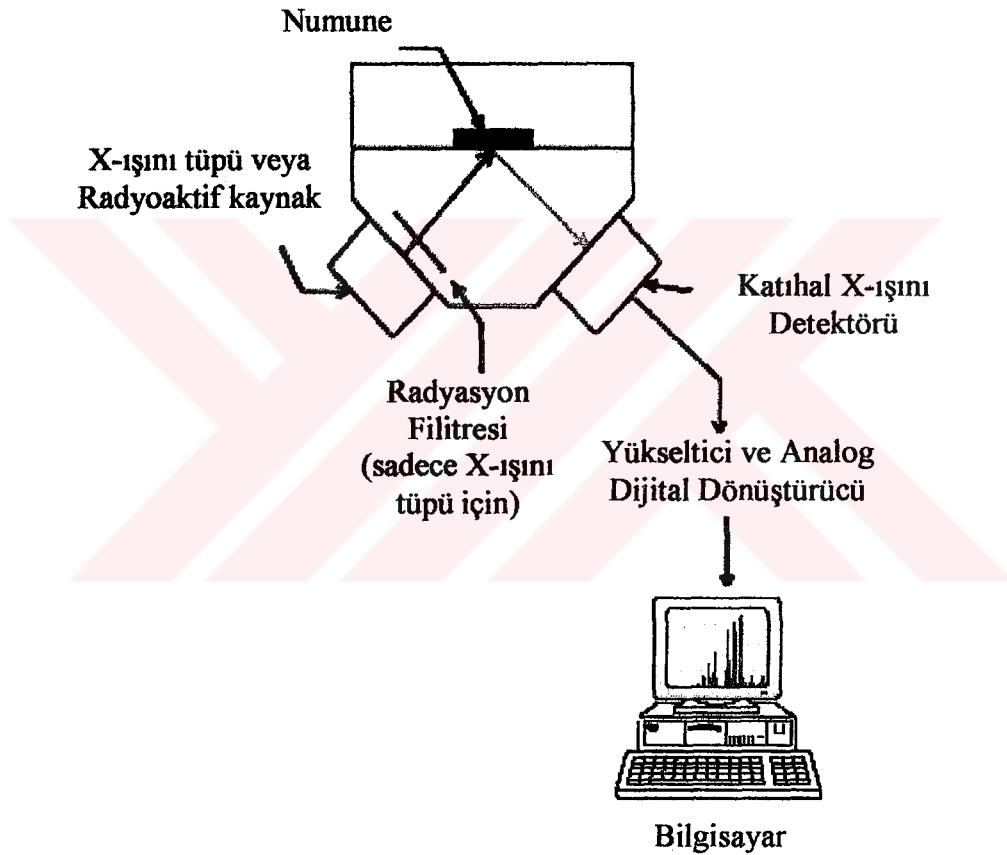
1) Tahrip edici değildir: Analiz edilmiş numunelerin durumlarının büyük çoğunluğunda, X-ışınlarının etkisiyle değişme ve tahribat oluşmamaktadır. Böylece numuneler referans olarak ve başka testler için tekrar kullanılabilir.

2-) Numunelerin kolay hazırlanması : Çoğu numune miktarının az olması veya ön hazırlık yapılması gibi durumlara gerek duyulmaksızın incelenebilir. Hatta hemen hemen bütün antik eserler bile. Diğer alternatif yöntemlerde ise asit veya diğer ayrıştırıcılara ihtiyaç duyulacağından hem zaman hem de maliyet bakımından negatif yönleri daha çoktur.

3-) Zaman bakımından hızlıdır: X-ışını spektroskopisi kimyasal bileşikleri saniyeler içinde incelenmesine imkan sağlar. Örneğin Berkeley Spectrace aletinde, Ti-Nb elementlerinin analizi numune başına 250 saniye alır.

4-) Kullanımı kolaydır: Modern aletler, elle ölçümleri yapılan ve sonuçlarının hesapları etkili yazılımlarla bulabilen bilgisayarların kontrolü altında çalışırlar. Bu sonuçlar ister bir analizin kontrolünde elle hesaplanabilir veya tamamen otomatik biçimde değerlendirilebilir.

Genelde X-ışını floresans sistemi, bir radyasyon uyarıcı kaynak (bir X-ışını tüpü veya bir radyoaktif kaynak), numuneden gelen radyasyonu bulmak için bir radyasyon detektörü, spektrum çıkışlarını düzenleyici ve görüntüleyici birimlerinden oluşur.(Şekil 13)

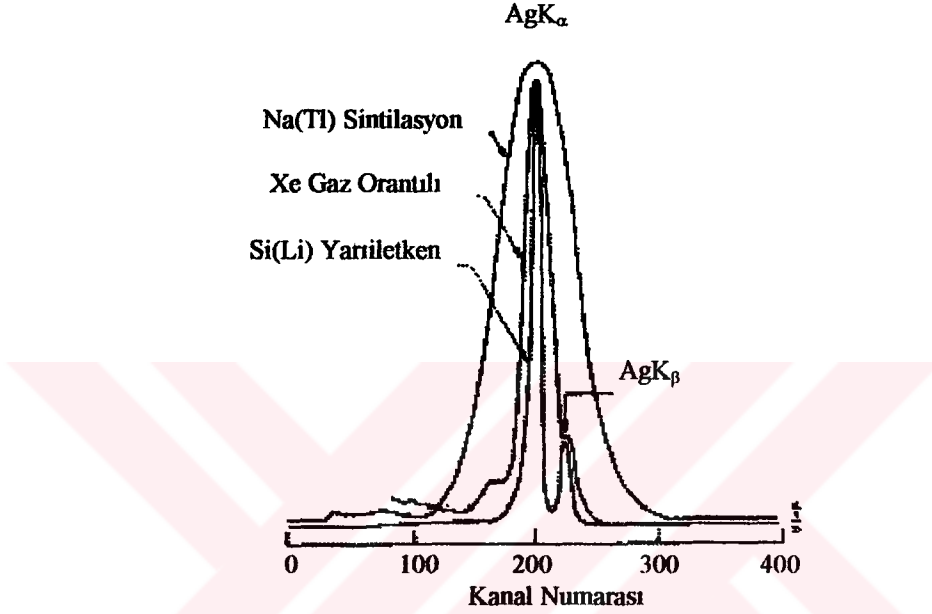


Şekil 13. X-ışını Floresans Sistemi

2.1.2. Yarıiletken Detektörler ve Sayma Sistemleri

X-ışını spektrumlarının sayılması için araştırma alanlarına bağlı olarak çeşitli detektörler kullanılmaktadır. Detektörlerin ayırma güçlerinin (rezolüsyon) yüksek olmaları, duyarlı olduğu enerji bölgeleri ve kararlı olmaları gibi özellikleri ön planda tutulur. Bu sebeple Si(Li) ve Ge(Li) yarıiletken detektörleri yaygın biçimde kullanılmaktadır.

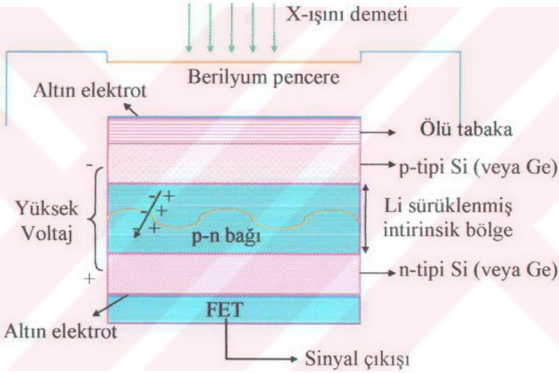
Çalışmamızda incelenen elementlerin karakteristik X-ışınlarına ait spektrumları enerji ayrımlı X-ışınları spektrometresinde analiz etmek için, Si(Li) yarıiletken detektörü ve buna bağlı elektronik sistem kullanılmıştır. Şekil 14' de görüldüğü gibi enerji ayrımlı X-ışını spektroskopisinde ayırma gücü en yüksek detektörler yarıiletken detektörlerdir.



Şekil 14. ^{109}Cd radyoaktif kaynağından elde edilen Ag'nin K spektrumunun üç tip X-ışını detektörlerindeki ayırma kapasiteleri [39]

Lityum katkılı yarıiletken detektör, bir silikon veya germanyum kristalinden ibarettir. Lityum sürüklenmiş katihal detektör pozitif ve negatif (p-tipi ve n-tipi) bölgeleri arasında intrinsik (i-tipi) bölgesine sahip bir kristalden ibarettir. Dolayısıyla böyle bir detektör p-i-n tipi bir diyottur. Sürüklenme bölgesi p-tipi silisyuma (veya germanyuma) uygun şartlar altında lityum sürüklenerek elde edilmiştir. Detektör yüzeyinin ince p-tipi tabakası aktif değildir. Dedeksiyon işlemine katkısı olmayan bu tabakaya ölü tabaka denir. Detektörün iki önemli özelliği alanı ve kalınlığıdır. Sayım için önemli bir faktör olan geometrik verimlilik, detektör alanı arttıkça artar. Kullandığımız detektörün aktif alanı 30 mm^2 ve kalınlığı 3 mm '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 ($-196\text{ }^\circ\text{C}$)

tutulmalıdır. Bunun için detektör, 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. E enerjili bir foton sayacın aktif bölgesine düştüğünde silisyum atomlarını iyonlaştırır. Foton, enerjisinin tamamını fotoelektronlara verir. Fotoelektron, enerjisi bitinceye kadar yolu boyunca elektron-boşluk çifti meydana getirerek sayaç içinde hareket eder. Şekil 15'de hole hareketi ve dedektörün şematik gösterimi görülmektedir [42].



Şekil 15. Yarıiletken dedektörün şematik gösterimi

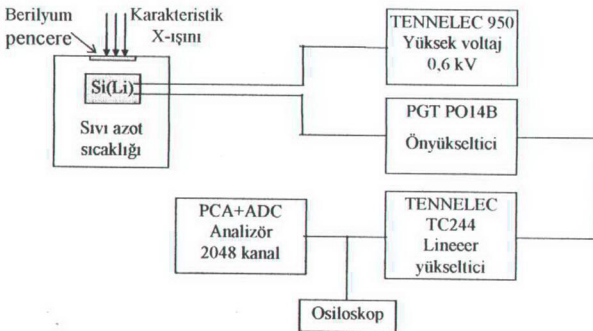
Şekilde görüldüğü gibi intiristik bölgeye girebilen iyonlaştırıcı parçacık veya foton, bu bölgede elektron ve boşluklar meydana getirir. Detektöre 300-1000 V' luk bir ters besleme potansiyeli uygulandığında meydana gelen elektrik alanı, sayaca giren radyasyonun ortaya çıkardığı bu elektron boşluk serbest yüklerini süpürür. Elektronlar n-tipi bölgeye, boşluklar ise p-tipi bölgeye sürüklenirler.

Detektörün aktif bölgesine bunun algılayabileceği enerjide bir foton gelsin. Bu foton silikon ve germanyum atomu tarafından fotoelektrik soğurulmaya maruz kalır ve enerjisini fotoelektrona aktarır. Fotoelektron, yolu boyunca ve enerjisi bitinceye kadar elektron-boşluk çifti meydana getirerek detektör içerisinde hareket eder. Si(Li) detektörde her bir iyon çifti hasil etmek için fotoelektrondan yaklaşık 3.8 eV harcanırken Ge(Li)

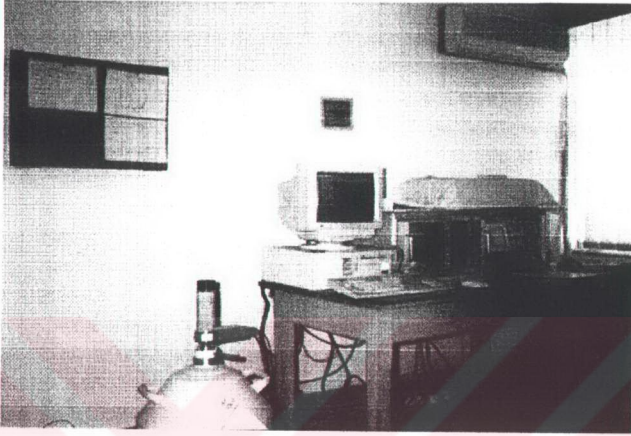
detektörde yaklaşık 2.9 eV harcanır. Fotoelektronun enerjisi, foton enerjisinden elektronun bağlanma enerjisi kadar eksiktir. Bununla beraber, germanyumun karakteristik X-ışınlarının enerjilerinin detektör içerisinde tekrar fotoelektrik yolu ile harcadığı düşünülürse, elektrik alanı tarafından toplanan Q yükünün detektöre giren karakteristik X-ışınının E_x enerjisi ile orantılı olduğu anlaşılır. Yani,

$$Q = \left(\frac{E_x}{2.9} \right) 1.6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb} \quad (29)$$

yazılabilir. Katıhal dedektörlerinde, detektör içi bir yükseltme olmadığından alçak gürültülü ve yüksek kazançlı ön yükselticilere ihtiyaç vardır. Dedektörün gürültü seviyesi, sistem sıvı azot sıcaklığında tutularak azaltılmaktadır. Dedektörün yüksek kazançlı olması için FET (field-effect- transistör) kullanılmaktadır. FET akım pulsunu büyütürken potansiyel pulsuna 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 bir karakteristik X-ışını fotonları bir pik oluştururlar. Bu tür pikler bir araya geldiğinde, enerjiye karşı şiddetin çizdiği şekiller, yani spektrumlar oluşur. Kullandığımız sistemin blok diyagramı Şekil 16' da, sistemin genel görünüşü ise Şekil 17'de verilmektedir.



Şekil 16. X-ışınları floresans ölçüm sisteminin blok diyagramı



Şekil 17. X-ışını floresans sisteminin genel görünüşü

2.2. Numunelerin Hazırlanması

Çalışmamızda kullandığımız numuneler toz olarak temin edilmiş ve parçacık büyüklüğünü, soğurma etkisini azaltmak için, el havasında iyice öğütülmüş ve 400 mesh'lik elekten geçirilmiştir [43]. Şekil 18'de homojen ince filmin numune kalınlığının, XRF şiddetine göre teorik ilişkisi görülmektedir. Numunenin kalınlığı, şekilden de görüldüğü gibi sonsuz ince, ara ve sonsuz kalın olarak üç kategoride sınıflandırılır;

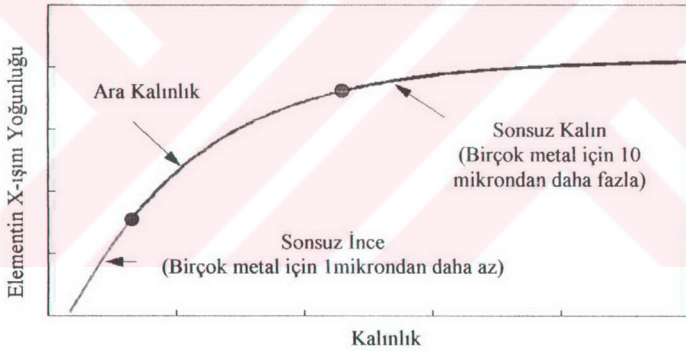
Sonsuz ince: Çok ince numuneler için kalınlıkla şiddet arasında lineer artış bulunmaktadır. Bu numunelerde kalınlık XRF ile kolaylıkla ölçülebilir. Numunenin kalınlık sınırının sonsuz ince olması elementel kompozisyona bağlıdır. Fakat bir çok alaşımlar için tipik olarak 1 mikron dur.

Ara Kalınlık: Bu kalınlık aralığındaki numune şiddetle kalınlıkla beraber logaritmik bir artış göstermektedir. Bu tip numunelerde XRF kalınlık ölçümünde kullanılır. Fakat Fundamental Parametreler (FP) denen bir programa ihtiyaç vardır. Ara sınıf takriben 10 mikron kalınlıkta biter.

Sonsuz kalın: Sonsuz kalınlıktaki numuneler kalınlığın artışı ile şiddette çok az veya hiç bir değişim göstermezler. Dolayısı ile kalınlık ölçülemez.

Bu kalınlık etkisi uygulamasının filtre kalınlıkları gibi uygulamalarda numune kalınlığının sadece sonsuz ince ve ara kalınlıklarda ölçülebilmesine imkan tanımaktadır. Aynı zamanda, kalınlıca 10 mikrondan kalın partiküller mevcutsa spektrometre numune kütlesinin yerine partikül alanlarına bağılı bir cevap gösterecektir.

Numune kalınlığının önemi dikkate alınarak, toz numuneler mylar film üzerine yaklaşık 13mm çapında bir alana mümkün olduğunca homojen olarak dağıtılmak suretiyle ince bir film biçiminde hazırlanmışlardır. Yine numune kalınlığının ve buna bağılı olarak kütlesinin önemli olması sebebiyle numuneler, 10^{-4} hassasiyete sahip Sartorius Bp 110 s marka hassas terazisi kullanılarak tartılmıştır. Deneyde kullanılan numuneler ve özellikleri Tablo 3 ve Tablo 4' te verilmiştir.



Şekil 18. Numune kalınlığının X-ışını şiddeti ile arasındaki ilişkisi

Tablo 3. I_0Ge 'nin ve B faktörünün hesaplanmasında kullanılan numuneler ve özellikleri

Z	Kimyasal Formülü	Şekli	Safılığı (%)
14	Si	Toz	99.00
15	P	Toz	99.90
16	S	Toz	99.00
17	$AlCl_3$	Toz	99.90
19	KBr	Toz	99.90
20	TiO_2	Toz	99.90
22	$CaCO_3$	Toz	99.80

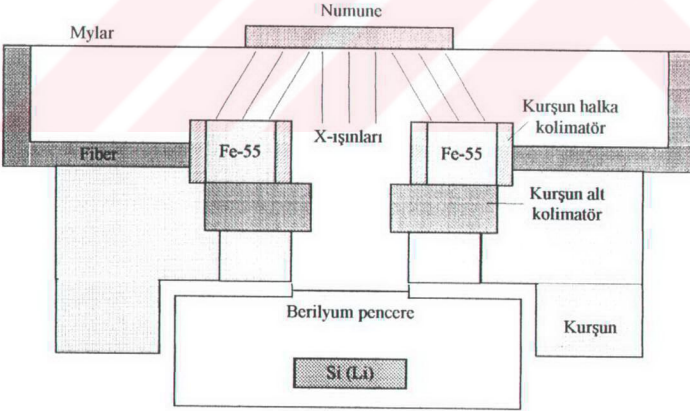
Tablo 4. M kabuğu tesir kesiti, floresans verim ve diferansiyel tesir kesiti hesaplanmasında kullanılan numuneler ve özellikleri

Z	Kimyasal Formülü	Şekli	Safılığı (%)
69	Tm_2O_3	Toz	99.8
70	Yb_2O_3	Toz	99.0
71	Lu_2O_3	Toz	99.0
74	W	Toz	99.9
75	Re	Toz	99.9
79	Au	Toz	99.9
80	HgS	Toz	99.0
81	Tl_2O_3	Toz	99.9
82	PbO	Toz	99.9
83	Bi_2O_3	Toz	99.9
92	$(CH_3COO)_2UO_2 \cdot 2H_2O$	Toz	99.0

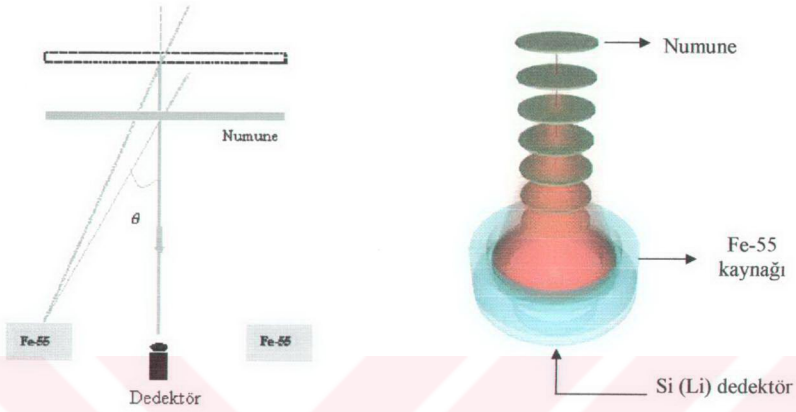
2.3. Deneysel Geometri ve Karakteristik X-ışınlarının Sayılması

Uyarma ve sayma bakımından karakteristik X-ışınlarının şiddetlerini etkileyen faktörlerden birisi deneysel geometridir. Numuneler deneye hazır hale getirildikten sonra 50 mCi şiddetindeki filtre edilmiş Fe-55 radyoizotop halka kaynağından çıkan 5.96keV'lik fotonlarla uyarılmışlardır. Numuneler 5000 saniyelik gerçek sayma zamanı süresince sayıldılar.

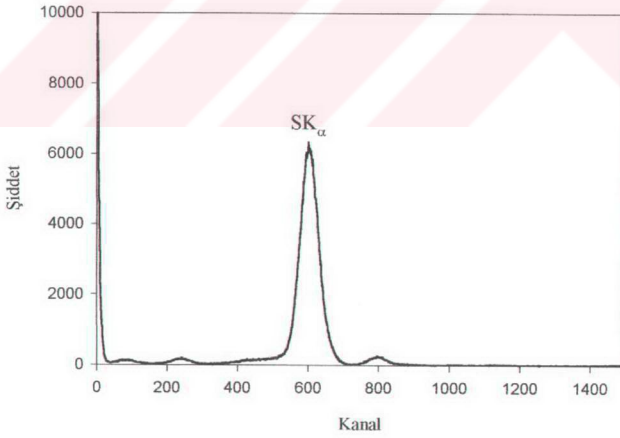
Karakteristik X-ışınlarının sayılmasında, 5.89 keV'de yarı maksimumdaki tam genişliği (rezolüsyonu) 147 eV olan Si(Li) dedektörü kullanıldı (Şekil 19). Bu geometride tesir kesiti ve floresans verim değerleri ölçümleri, Şekil 20' deki geometride de diferansiyel tesir kesiti ölçümleri gerçekleştirildi. Şekil 21, 22 ve 23 dedektör verimi, Şekil 24, 25 ve 26 M kabuğu hesapları ve Şekil 27'de B faktörü hesaplamaları için kullanılan bazı elementlere ait X-ışını spektrumlarıdır.



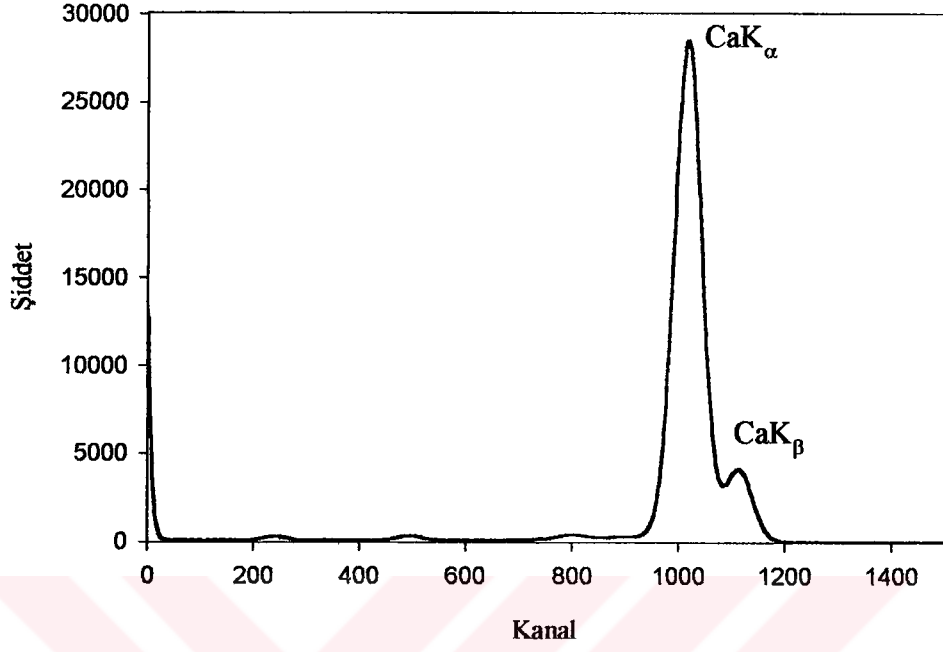
Şekil 19. X-ışınları floresans (EDXRF) ölçümleri için deneysel geometri



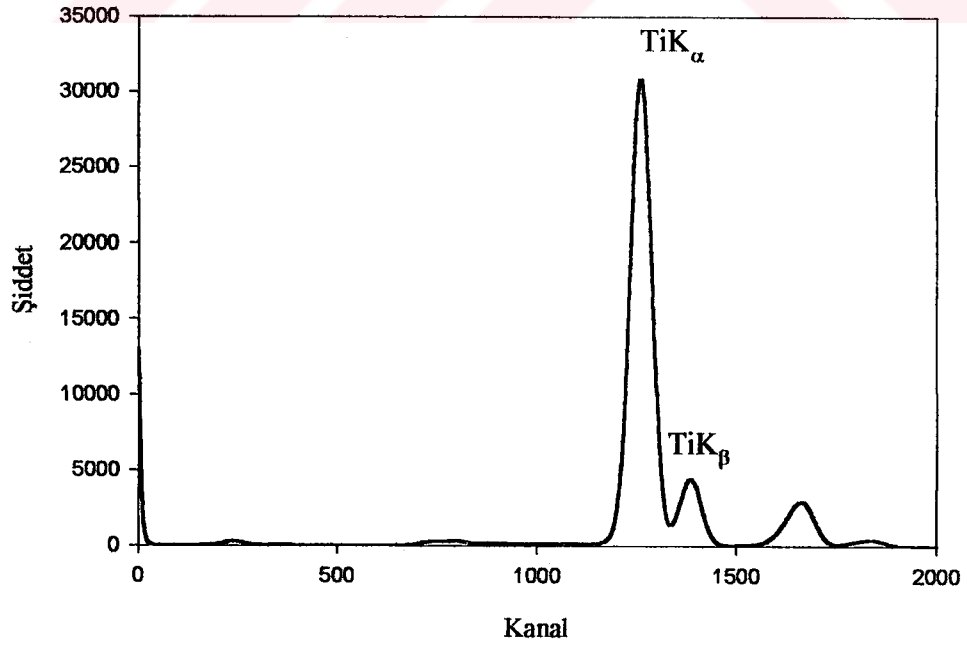
Şekil 20. Diferansiyel tesir kesiti ölçümleri için deney geometrisi



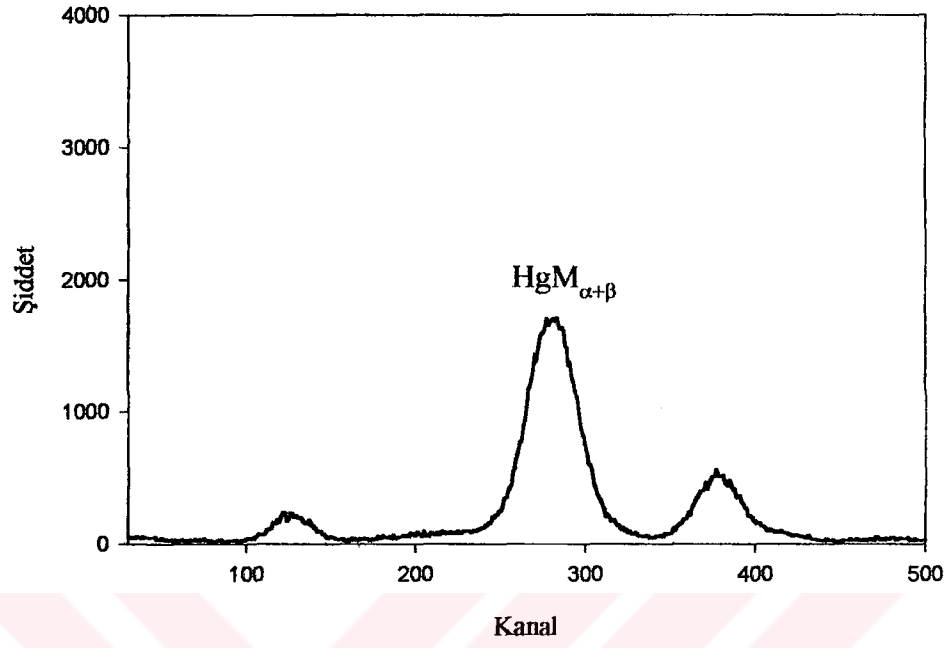
Şekil 21. S elementi için K X-ışını spektrumları



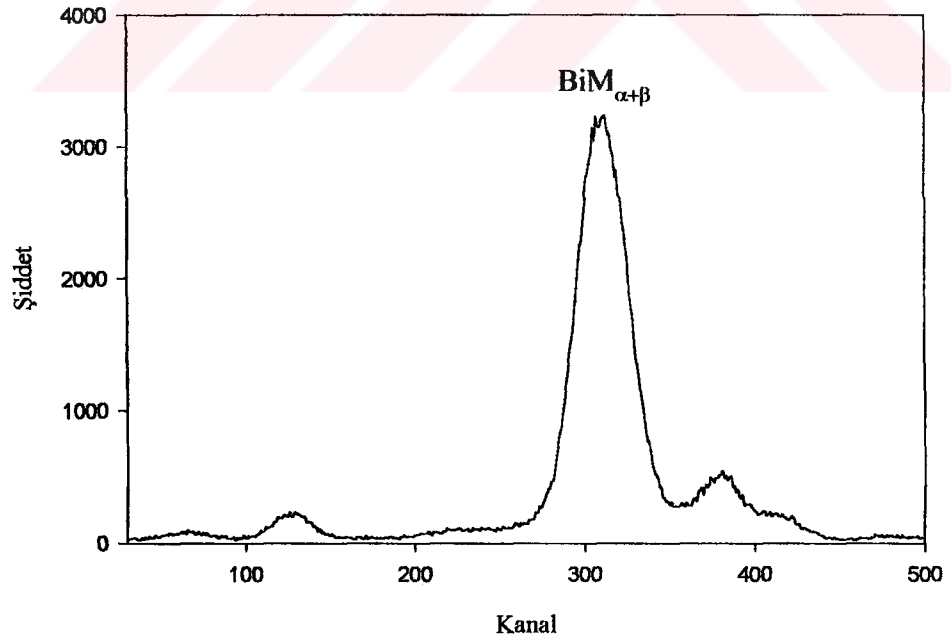
Şekil 22. Ca elementi için K X-ışını spektrumları



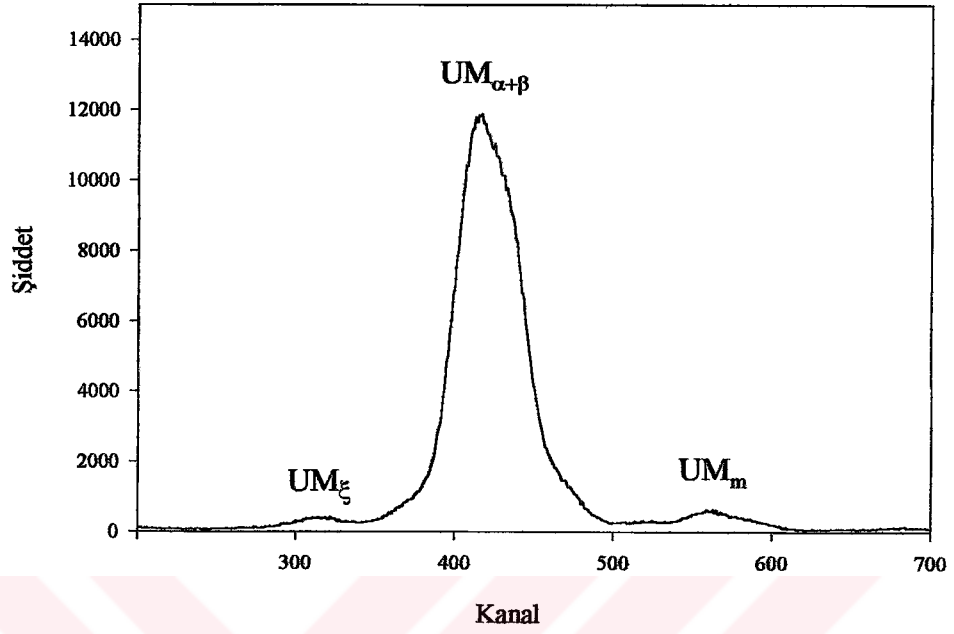
Şekil 23. Ti elementi için K X-ışını Spektrumları



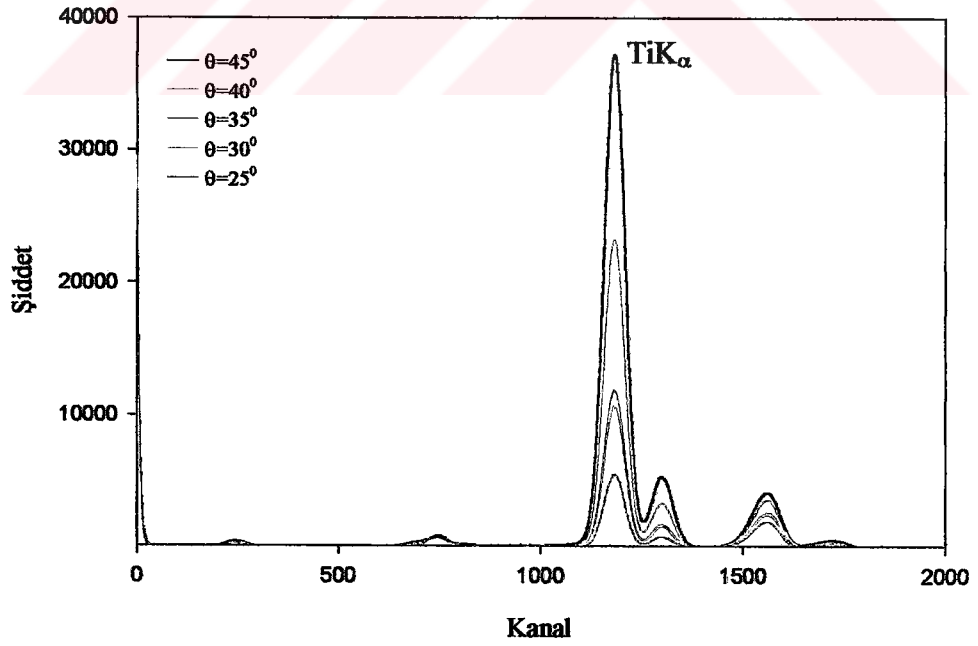
Şekil 24. Hg elementi için M X-ışını spektrumu



Şekil 25. Bi elementi için M X-ışını spektrumu



Şekil 26. U elementi için M X-ışını spektrumları



Şekil 27. Ti elementine için θ açısına bağlı K X-ışını spektrumları

2.4. Si(Li) Detektörünün Verimlilik Eğrisinin Tayini

X-ışını spektroskopik çalışmalarda, dedektör verimliliğinin bilinmesi ve verimlilik eğrisinin belirlenmesi gerekmektedir. Detektör verimi, detektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, detektör gelen fotonların sayısına oranı yada detektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi olarak tanımlanır. Detektörün verimliliğinin tayini için kalibre edilmiş kaynaklara ihtiyaç vardır. Bu kaynakların bozunmalarında foton yayımlama ihtimali değerleri bilinmelidir. Detektör verimliliğini etkileyen faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- a) Kolimatör faktörü
- b) Sayaç maddesi
- c) Sayacın hassas bölgesi
- d) İmalat faktörü
- e) Kırıyılardan kaçmalar

X-ışını spektroskopik çalışmalarında, dedektör verimliliğinin bilinmesi ve verimlilik eğrisinin belirlenmesi gerekmektedir. Si(Li) sayacının verimlilik eğrisinin tayini yapılırken aşağıdaki sınıflandırma yapılabilir [44].

- a) Mutlak verimlilik: Sayaçta sayılan fotonların, radyoizotop kaynak tarafından tüm doğrultularda yayımlanan fotonlara oranıdır ve kaynak sayaç uzaklığına bağlıdır.
- b) İntirinsik verimlilik: Sayacın intirinsik bölgesinde sayılan fotonların, bu bölgeye gelen fotonların sayısına oranıdır.
- c) Bağlı verimlilik: Herhangi bir enerjideki sayaç verimliliğinin diğer enerjilerdeki sayaç verimliliğine oranı olarak tanımlanır.
- d) Fotopik (Sayma) verimliliği: Sayaçta, ilgili enerjide sayılabilir büyüklükte puls meydana gelme ihtimaliyetidir.
- e) Radyal verimlilik: Herhangi bir enerjide sayaç verimliliğinin sayaç yarıçapına bağlı olarak değişimini ifade eder.

Enerjisi E olan bir foton için yarıiletken dedektörün sayma verimi

$$\epsilon_E = \epsilon_R \cdot G(E)$$

(30)

ile verilir. Burada $G(E)$, geometri faktörüdür. ε_R ise (bağıl) sayma verimidir ve gerçek verim ile çeşitli düzeltme faktörlerinin çarpımı olarak,

$$\varepsilon_R = \varepsilon_A \cdot f_a \cdot f_{Au} \cdot f_d \cdot f_e \cdot f_c \cdot \varepsilon_s \quad (31)$$

şeklinde verilir. Burada ε_A tüm yükün toplanmış olduğu kabul edilen dedektörün hassas hacminin intrinsik verimidir. Ayrıca f_a dedektör yüzeyinin dışında bulunan maddelerdeki soğurma için düzeltme faktörü, f_{Au} altın elektrotlardaki soğurma için düzeltme faktörü, f_d altın ve hassas hacim arasında bulunan ölü tabakadaki soğurma için düzeltme faktörü, f_c kolimasyon etkileri için düzeltme faktörü ve f_e de hassas hacimden kaçan silisyuma ait karakteristik X-ışınları için düzeltme faktörüdür. ε_s ise toplam yük toplanmasının verimidir.

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.

$$\varepsilon_E = \frac{C_E}{(N_E \cdot D)} \quad (32)$$

Burada C_E , E enerjisinde birim zamanda kaynaktan gelip dedektörde sayılan fotonların sayısı, N_E ise kaynaktan bozunma başına E enerjisinde yayımlanmış fotonların kesri (yayımlanma ihtimali) ve D , standart kaynağın parçalanma hızıdır [45].

2.5. $I_0G\varepsilon$ ' nin Tayini

Karakteristik X-ışını şiddeti, ilgili elementin floresans tesir kesitine, uyarıcı radyasyonun şiddetine, elementin numune içindeki miktarına, geometrik faktöre, numune ve hava içerisindeki soğurma faktörüne ve X-ışınlarının sayıldığı dedektörün verimliliğine bağlıdır:

$$N = I_0 \cdot G \cdot \varepsilon \cdot m_i \cdot \beta \cdot \sigma \quad (33)$$

yazılabilir. Burada N , birim zamanda ölçülen karakteristik X-ışınlarının şiddeti, I_0 numuneye birim zamanda gelen foton şiddeti (uyarıcı radyasyon şiddeti), G kaynak-numune ve numune-dedektör kompozisyonuna bağlı geometrik faktör, ϵ X-ışınları enerjisindeki dedektörün verimi, m_i birim alana düşen madde miktarı, β soğurma düzeltmesi faktörü ve σ fotoelektrik tesir kesitidir.

Çalışmamızda $I_0G\epsilon$ değeri Fe-55 halka kaynağı için Si, P, S, Cl, K, Ca ve Ti elementlerinin uyarılması sonucu elde edilen bu elementlere ait K X-ışınları yardımıyla (34) bağıntısından ölçülmüştür (Şekil 28).

$$I_0G\epsilon_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{\beta_{Ki} \cdot m_i \cdot \sigma_{Ki}} \quad (34)$$

ifadesinden faydalanılmıştır [46]. Bu ifadede i , α ve β 'ya karşılık gelmektedir.

σ_{Ki} tesir kesiti ise,

$$\sigma_{Ki} = \sigma_K \cdot \omega_K \cdot f_{Ki} \quad (35)$$

bağıntısına göre teorik olarak hesaplanmıştır. Burada σ_{Ki} , K tabakasına ait fotoelektrik tesir kesiti olup Scofield'in tablosundan [40] alınmıştır. ω_{Ki} , K tabakası için floresans verim olup Krause'nin tablosundan [47] ve f_{Ki} ($i=\alpha, \beta$) ise K tabakasından yayımlanan K_α veya K_β X-ışını ihtimaliyeti olup Broll'un makalesinden alınmıştır [48].

2.6. Soğurma Düzeltmesi Faktörünün Hesabı

Numune içerisinde oluşturulan karakteristik X-ışınları ve saçılan γ -ışınları numuneden geçerken numune atomları tarafından soğurulmaktadır. Dolayısıyla ölçülen ışığın şiddeti yayımlanan ışığın şiddetinden daha az olmaktadır. Bu sebeple tesir kesiti çalışmalarında dikkate alınmalıdır. Yayımlanan X-ışını şiddeti N_{yay} . ve ölçülen X-ışını şiddeti $N_{ölç}$. olmak üzere,

$$N_{ölç} = N_{yay} \cdot \beta \quad (36)$$

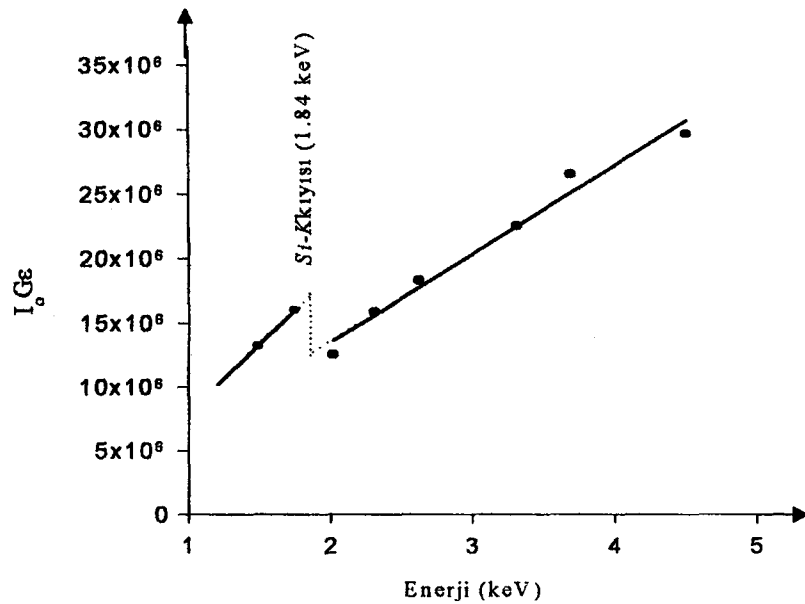
olmaktadır. Buradaki β , enerjiye, numune atomlarına, X-ışınlarının numuneye geliş ve çıkış açılarına ve numune kalınlığına bağlı olmak üzere soğurma faktörüdür. O halde numuneden yayımlanan karakteristik X-ışınlarını bulmak için ölçülen X-ışını şiddeti β faktörüne bölünmelidir. Bu yüzden β' ya soğurma düzeltmesi faktörü de denir. β faktörü;

$$\beta = \frac{1 - \exp\left[-\left(\frac{\mu_p}{\cos\theta_1} + \frac{\mu_e}{\cos\theta_2}\right)\rho D\right]}{\left(\frac{\mu_p}{\cos\theta_1} + \frac{\mu_e}{\cos\theta_2}\right)\rho D} \quad (37)$$

bağıntısı ile verilmektedir [49]. Burada μ_p ve μ_e sırasıyla, primer ve emiter foton enerjileri için kütle soğurma katsayıları olup,

$$\mu_{p,e} = \sum_i w_i \mu_i \quad (38)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Burada w_i i. elementin konsantrasyonu, μ_i ise ilgili enerjideki i. elementin kütle soğurma katsayısını göstermektedir. μ_i değerleri Hubbell ve Seltzer' in tablosundan [4] alınmıştır. θ_1 ve θ_2 sırasıyla, gelen ve yayımlanan radyasyonun numune normali ile yaptığı açılardır. ρD ise birim alan başına düşen madde miktarıdır.



Şekil 28. 5,96 keV için I_0Ge ' nin enerji ile değişimi

2.7. M Kabuğu Tesir Kesiti ve Ortalama Floresans Verim Deneysel Hesaplamaları

Çalışmamızda kullandığımız M kabuğu tesir kesiti ve floresans verim formüllerini giriş bölümünde ifade ettiğimiz birçok çalışmacı tarafında farklı elementler, farklı radyoaktif kaynaklar ve farklı açılar kullanılarak yapılan çalışmalarda değişik parametreler ekleyerek veya çıkararak kullanmışlardır.

Deneysel olarak tesir kesiti ifadesi;

$$\sigma_{M^x} = \frac{N_{M_{\alpha,\beta}}}{I_0 G \epsilon \beta_{M^x} m} \quad (39)$$

ifadesinden hesaplanmıştır. Burada $N_{M_{\alpha,\beta}}$ elementin M X-ışınına karşılık gelen fotopikin alanın sayım sayısı, $I_0 G \epsilon$ detektör verimi, β_{M^x} soğurma düzeltmesi faktörüdür.

Floresans verim ifadesi de;

$$\bar{w}_M = \sigma_{M^x} / \sigma_{M^p} \quad (40)$$

dir. Buradaki σ_{M^p} M kabuğu fotoiyonizasyon tesir kesitidir ve Scofield' in tablosundan [40] alınmıştır.

2.8. M Kabuğu Diferansiyel Tesir Kesiti Deneysel Hesabı

X-ışınının θ açısındaki diferansiyel tesir kesiti ifadesi, daha önce L tabakalarının hesaplanmasında kullanan Kahlon ve arkadaşlarının çalışmalarından alınmıştır [24]. Bundan faydalanarak M kabuğu için denklem yeniden düzenlemiş ve;

$$\frac{d\sigma_M^\theta}{d\Omega} = N_M^\theta \frac{A}{N} \frac{1}{t} \frac{1}{\beta_M^\theta} \left[\frac{4\pi}{S_\gamma \alpha_\gamma w_1 w_2^\theta \epsilon_M^\theta} \right] \quad (41)$$

şekline getirilmiştir. Burada N_M^θ θ açısındaki M kabuğu X-ışını şiddeti, A atomik ağırlık, N avagadro sayısı, t numune kalınlığı, β_M^θ soğurma düzeltmesi faktörü, S_γ birim zamanda Fe-55 kaynağından yayımlanan fotonların sayısı, w_1 ve w_2^θ kaynak-numune ve numune-dedektör katı açıları, α_γ dedektör ile numune arasındaki havanın soğurma faktörü ve ϵ_M^θ ise dedektör verimliliğidir.

$$\text{Denklemde } B = \left[\frac{4\pi}{S_\gamma \alpha_\gamma w_1 w_2^\theta \epsilon_M^\theta} \right] \text{ faktörü Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti elementlerinin K}$$

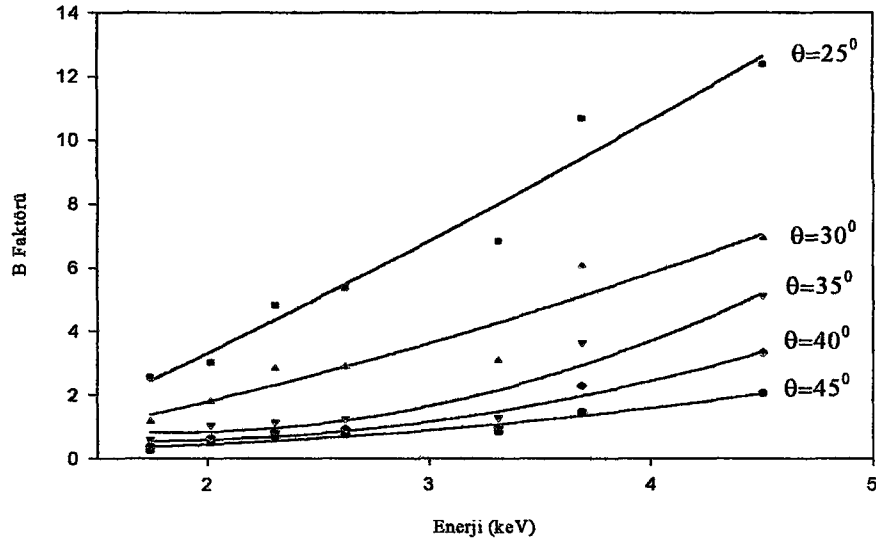
X-ışınlarının şiddetlerinden faydalanılarak bulunabilir.

$$\frac{\sigma_K}{4\pi} = N_K^\theta \frac{A}{N} \frac{1}{t_K} \frac{1}{\beta_K^\theta} \frac{4\pi}{S_\gamma \alpha_\gamma w_1 w_2^\theta \epsilon_M^\theta} \quad (42)$$

olduğundan B faktörü için,

$$B = \frac{4\pi}{S_\gamma \alpha_\gamma w_1 w_2^\theta \epsilon_M^\theta} = \frac{\sigma_K}{4\pi} \frac{1}{N_K^\theta} \frac{N}{A} t_K \beta_K^\theta \quad (43)$$

bulunur [44]. Şekil 29'da B değerinin enerji ile olan değişimi görülmektedir. Denklem 41'de bulunan değer yerine koyulmak suretiyle diferansiyel tesir kesiti hesaplamaları gerçekleştirilebilir.



Şekil 29. B faktörünün enerjiye göre farklı açılardaki değişimi

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmamızda floresans verim ve tesir kesiti hesaplanırken deney geometrisi sürekli aynı kalıştır. Ama diferansiyel tesir kesiti hesaplamasında açının değişimini göz önüne almamız münasebetiyle, önceden bulduğumuz soğurma düzeltme faktörlerinin (β), dedektör verimi ($I_0G\epsilon$) değerleri kullanılmamıştır. Dedektör verimini ve B faktörünü tayin etmek için Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti elementlerinin K_α ve K_β x-ışınlarından yararlanılmıştır.

Dedektör verimi için kullanılan elementlerin kütle soğurma katsayıları (μ_e ve μ_p) ve soğurma düzeltmesi faktörü (β) değerleri Tablo 5'te, $I_0G\epsilon$ değerleri de Tablo 6'da ve B faktörünün değerleri için farklı açılardaki soğurma düzeltmeleri ve fotoelektrik tesir kesiti verileri Tablo 7'de verilmiştir.

M kabuğu tesir kesiti ve floresans verimi hesapları için Tm, Yb, Lu, W, Re, Au, Hg, Tl, Pb, Bi ve U elementleri, diferansiyel tesir kesiti hesapları içinde Re, Bi ve U elementleri kullanılmıştır. Tablo 8'de bu elementlerin kütle soğurma katsayıları ve soğurma düzeltmesi faktörü, Tablo 9'da tesir kesiti ve floresans verim değerleri, Tablo 10'da da diferansiyel tesir kesiti değerleri verilmiştir.

Deneysel sonuçlarda hesaplanan tesir kesitinin değerleri, diğer deneysel verilerle Şekil 30'da, teorik değerlerle Şekil 31'de karşılaştırılmıştır. Hesaplanan floresans verim değerleri de benzer şekilde Şekil 33 ve Şekil 34'de karşılaştırılmıştır. Şekil 34'de ise diferansiyel tesir kesitinin farklı açılardaki değişimi çizilmiştir.

Tablo 5. Dedektör Verimi için Kütle Soğ. Kat. (μ) ve Soğurma Düzeltmesi Fak. (β) Değerleri

Z	Numuneler	w	$E_0=0.00596\text{MeV}$ için $\Sigma\mu_p$			$E_{K\alpha}$ için $\Sigma\mu_e$				pd	$\beta_{K\alpha}$
			μ (Barns/atom)	μ Con Fak. w	$\Sigma\mu_p$ (gr/cm ²)	$E_{K\alpha}$ (MeV)	μ (Barns/atom)	μ Con Fak. w	$\Sigma\mu_e$ (gr/cm ²)		
14	Si	1.000	6868.997	147.271	147.271	0.001740	16635.840	356.671	0.00159	0.659	
15	P	1.000	8933.280	173.663	173.663	0.002015	15184.430	295.185	0.00104	0.764	
16	S	1.000	11405.860	214.202	214.202	0.002305	138.95.573	260.958	0.00188	0.377	
17	AlCl ₃	Al	8711.407	39.276	232.546	0.002623	50355.290	227.033	0.00437	0.323	
		Cl	14255.040	193.270	12704.794	172.252	399.284				
19	KBr	K	21171.510	107.267	238.668	0.003813	68494.130	347.032	0.00438	0.200	
		Br	25982.400	131.401	87778.240	443.923	790.955				
20	CaCO ₃	Ca	25241.090	151.749	166.623	0.003691	10045.710	60.394	0.00208	0.709	
		C	220.523	1.326	957.321	5.760	116.666				
22	TiO ₂	O	749.897	13.548	3127.896	50.512	91.228				
		Ti	35009.010	263.597	8642.604	65.073	0.00069				
		O	749.897	11.318	1732.891	26.155					

Tablo 6. Dedektör Verimi için I_0Ge (Efficiency) Değerleri

Z	Numuneler	Anal. Mad. Mik. (m)	σ_K (5,96 keV) fotoelektrik tesir kesiti	ω_K Floresans Verim	$f_{K\alpha}$ ($K\alpha$ x-ışını yay. iht.)	σ_{Ki} (cm^2/gr)	I_0Ge
14	Si	0.00159	137.395	0.050	0.990	6.801	16050223
15	P	0.00104	160.632	0.063	0.975	9.866	12564253
16	S	0.00188	196.169	0.078	0.955	14.612	15896328
17	$AlCl_3$	0.00088	220.147	0.097	0.937	20.008	18324562
19	KBr	0.00143	292.855	0.140	0.910	37.309	22569854
20	$CaCO_3$	0.00106	339.183	0.163	0.904	49.979	26523254
22	TiO_2	0.00047	388.668	0.214	0.898	74.671	29653389

Tablo 7. Farklı açılar için B Faktörü değerleri

Numune	$\beta_{K\alpha} (\theta)$					σ_K	t	M	B				
	45°	40°	35°	30°	25°				45°	40°	35°	30°	25°
Si	0.659	0.667	0.672	0.677	0.680	137.395	0.00159	28.085	0.2647	0.4084	0.6033	1.1836	2.5854
P	0.764	0.771	0.777	0.781	0.784	160.632	0.00104	30.973	0.5018	0.6573	1.0595	1.8292	3.0385
S	0.377	0.389	0.399	0.407	0.413	196.169	0.00188	32.060	0.6925	0.8714	1.1761	2.8547	4.8163
AlCl ₃	0.324	0.334	0.343	0.350	0.355	220.147	0.00191	35.453	0.7490	0.9534	1.2609	2.9105	5.3887
KBr	0.200	0.205	0.209	0.212	0.214	292.355	0.00438	39.098	0.8470	1.0109	1.3153	3.1136	6.8410
CaCO ₃	0.709	0.721	0.730	0.738	0.743	339.183	0.00208	40.080	1.4617	2.3002	3.6414	6.0633	10.6805
TiO ₂	0.851	0.859	0.866	0.871	0.875	388.668	0.00069	47.880	2.0727	3.3482	5.1215	6.9543	12.3814

Tablo 8. M Kabuğu Flouresans Verim(ω) ve Tesir Kesiti(σ) için Kütle Soğurma Katsayısı(μ) ve Soğurma Düzeltmesi Faktörü (β) değerleri

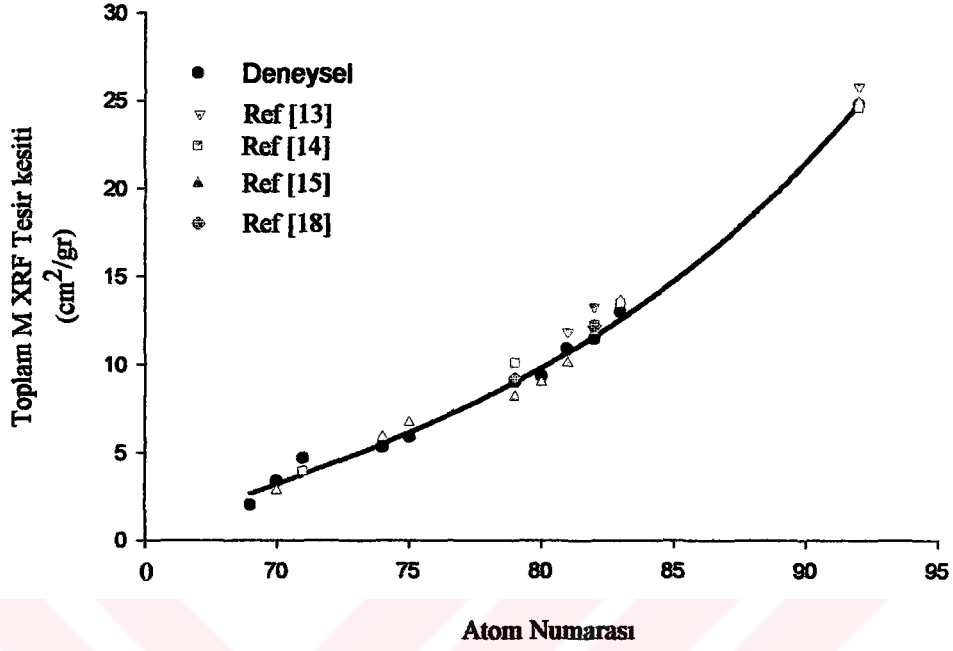
Z	Numune	w Konsantrasyon	E ₀ = 0.00596 Mev için $\Sigma\mu_p$			E _{Mα-β} (Mev)	E _{Mα-β} için $\Sigma\mu_e$			pd kalmılık (gr/cm ²)	$\beta_{M\alpha-\beta}$																																																																																																																																																														
			μ (Barns/atom)	μ Con Fak.w	$\Sigma\mu_p$ (gr/cm ²)		μ (Barns/atom)	μ Con Fak.w	$\Sigma\mu_e$ (gr/cm ²)																																																																																																																																																																
69	Tm ₂ O ₃	Tm	82226	256.49	260.02	0.00147	1228084	3830.85	4033.50	0.00408	0.055																																																																																																																																																														
		O	749.89	3.53			43070	202.65				70	Yb ₂ O ₃	Yb	87191	266.41	269.85	0.00155	1162441	3551.77	3722.76	0.00678	0.036	O	749.89	3.44	37236	170.99	71	Lu ₂ O ₃	Lu	92450	279.71	283.13	0.00161	116596	3378.28	3530.83	0.00653	0.039	O	749.89	3.42	33496	152.55	74	W	1.000	107759	353.02	353.02	0.00179	340602	1115.81	1115.81	0.01180	0.052	75	Re	1.000	113829	368.11	368.11	0.00186	334641	1082.22	1082.22	0.00589	0.105	79	Au	1.000	139284	425.93	425.93	0.00219	303584	928.35	928.35	0.01580	0.041	80	HgS	Hg	146401	378.85	408.41	0.00226	299671	775.46	820.58	0.01805	0.036	S	11405	29.56	17410	45.12	81	Tl ₂ O ₃	Tl	153494	404.85	407.81	0.00232	299423	789.74	837.08	0.00608	0.091	O	749.89	2.96	11978	47.34	82	PbO	Pb	161614	435.99	438.02	0.00242	288915	779.4	808.17	0.00642	0.105	O	749.89	2.03	10618	28.77	83	Bi ₂ O ₃	Bi	168731	436.20	439.11	0.00251	280597	725.38	762.47	0.00152	0.417	O	749.89	2.91	9567	37.09	92	(CH ₃ COO) ₂ UO ₂ 2H ₂ O	U	250062	353.92	364.70	0.00326	247641	351.48	410.46	0.00176	0.496	C	220.52	1.25	1392	7.89	O	749.89	8.52
70	Yb ₂ O ₃	Yb	87191	266.41	269.85	0.00155	1162441	3551.77	3722.76	0.00678	0.036																																																																																																																																																														
		O	749.89	3.44			37236	170.99				71	Lu ₂ O ₃	Lu	92450	279.71	283.13	0.00161	116596	3378.28	3530.83	0.00653	0.039	O	749.89	3.42	33496	152.55	74	W	1.000	107759	353.02	353.02	0.00179	340602	1115.81	1115.81	0.01180	0.052	75	Re	1.000	113829	368.11	368.11	0.00186	334641	1082.22	1082.22	0.00589	0.105	79	Au	1.000	139284	425.93	425.93	0.00219	303584	928.35	928.35	0.01580	0.041	80	HgS	Hg	146401	378.85	408.41	0.00226	299671	775.46	820.58	0.01805	0.036	S	11405	29.56	17410	45.12	81	Tl ₂ O ₃	Tl	153494	404.85	407.81	0.00232	299423	789.74	837.08	0.00608	0.091	O	749.89	2.96	11978	47.34	82	PbO	Pb	161614	435.99	438.02	0.00242	288915	779.4	808.17	0.00642	0.105	O	749.89	2.03	10618	28.77	83	Bi ₂ O ₃	Bi	168731	436.20	439.11	0.00251	280597	725.38	762.47	0.00152	0.417	O	749.89	2.91	9567	37.09	92	(CH ₃ COO) ₂ UO ₂ 2H ₂ O	U	250062	353.92	364.70	0.00326	247641	351.48	410.46	0.00176	0.496	C	220.52	1.25	1392	7.89			O	749.89	8.52			4493	51.08				H	0.675	0.009	0.88	0.01			
71	Lu ₂ O ₃	Lu	92450	279.71	283.13	0.00161	116596	3378.28	3530.83	0.00653	0.039																																																																																																																																																														
		O	749.89	3.42			33496	152.55				74	W	1.000	107759	353.02	353.02	0.00179	340602	1115.81	1115.81	0.01180	0.052	75	Re	1.000	113829	368.11	368.11	0.00186	334641	1082.22	1082.22	0.00589	0.105	79	Au	1.000	139284	425.93	425.93	0.00219	303584	928.35	928.35	0.01580	0.041	80	HgS	Hg	146401	378.85	408.41	0.00226	299671	775.46	820.58	0.01805	0.036	S	11405	29.56	17410	45.12	81	Tl ₂ O ₃	Tl	153494	404.85	407.81	0.00232	299423	789.74	837.08	0.00608	0.091	O	749.89	2.96	11978	47.34	82	PbO	Pb	161614	435.99	438.02	0.00242	288915	779.4	808.17	0.00642	0.105	O	749.89	2.03	10618	28.77	83	Bi ₂ O ₃	Bi	168731	436.20	439.11	0.00251	280597	725.38	762.47	0.00152	0.417	O	749.89	2.91	9567	37.09	92	(CH ₃ COO) ₂ UO ₂ 2H ₂ O	U	250062	353.92	364.70	0.00326	247641	351.48	410.46	0.00176	0.496	C	220.52	1.25	1392	7.89			O	749.89	8.52			4493	51.08				H	0.675	0.009	0.88	0.01																				
74	W	1.000	107759	353.02	353.02	0.00179	340602	1115.81	1115.81	0.01180	0.052																																																																																																																																																														
75	Re	1.000	113829	368.11	368.11	0.00186	334641	1082.22	1082.22	0.00589	0.105																																																																																																																																																														
79	Au	1.000	139284	425.93	425.93	0.00219	303584	928.35	928.35	0.01580	0.041																																																																																																																																																														
80	HgS	Hg	146401	378.85	408.41	0.00226	299671	775.46	820.58	0.01805	0.036																																																																																																																																																														
		S	11405	29.56			17410	45.12				81	Tl ₂ O ₃	Tl	153494	404.85	407.81	0.00232	299423	789.74	837.08	0.00608	0.091	O	749.89	2.96	11978	47.34	82	PbO	Pb	161614	435.99	438.02	0.00242	288915	779.4	808.17	0.00642	0.105	O	749.89	2.03	10618	28.77	83	Bi ₂ O ₃	Bi	168731	436.20	439.11	0.00251	280597	725.38	762.47	0.00152	0.417	O	749.89	2.91	9567	37.09	92	(CH ₃ COO) ₂ UO ₂ 2H ₂ O	U	250062	353.92	364.70	0.00326	247641	351.48	410.46	0.00176	0.496	C	220.52	1.25	1392	7.89	O	749.89	8.52	4493	51.08	H	0.675	0.009	0.88	0.01																																																																																
81	Tl ₂ O ₃	Tl	153494	404.85	407.81	0.00232	299423	789.74	837.08	0.00608	0.091																																																																																																																																																														
		O	749.89	2.96			11978	47.34				82	PbO	Pb	161614	435.99	438.02	0.00242	288915	779.4	808.17	0.00642	0.105	O	749.89	2.03	10618	28.77	83	Bi ₂ O ₃	Bi	168731	436.20	439.11	0.00251	280597	725.38	762.47	0.00152	0.417	O	749.89	2.91	9567	37.09	92	(CH ₃ COO) ₂ UO ₂ 2H ₂ O	U	250062	353.92	364.70	0.00326	247641	351.48	410.46	0.00176	0.496	C	220.52	1.25	1392	7.89			O	749.89	8.52			4493	51.08				H	0.675	0.009	0.88	0.01																																																																																										
82	PbO	Pb	161614	435.99	438.02	0.00242	288915	779.4	808.17	0.00642	0.105																																																																																																																																																														
		O	749.89	2.03			10618	28.77				83	Bi ₂ O ₃	Bi	168731	436.20	439.11	0.00251	280597	725.38	762.47	0.00152	0.417	O	749.89	2.91	9567	37.09	92	(CH ₃ COO) ₂ UO ₂ 2H ₂ O	U	250062	353.92	364.70	0.00326	247641	351.48	410.46	0.00176	0.496	C	220.52	1.25	1392	7.89			O	749.89	8.52			4493	51.08				H	0.675	0.009	0.88	0.01																																																																																																											
83	Bi ₂ O ₃	Bi	168731	436.20	439.11	0.00251	280597	725.38	762.47	0.00152	0.417																																																																																																																																																														
		O	749.89	2.91			9567	37.09				92	(CH ₃ COO) ₂ UO ₂ 2H ₂ O	U	250062	353.92	364.70	0.00326	247641	351.48	410.46	0.00176	0.496	C	220.52	1.25	1392	7.89			O	749.89	8.52			4493	51.08				H	0.675	0.009	0.88	0.01																																																																																																																												
92	(CH ₃ COO) ₂ UO ₂ 2H ₂ O	U	250062	353.92	364.70	0.00326	247641	351.48	410.46	0.00176	0.496																																																																																																																																																														
		C	220.52	1.25			1392	7.89																																																																																																																																																																	
		O	749.89	8.52			4493	51.08																																																																																																																																																																	
		H	0.675	0.009			0.88	0.01																																																																																																																																																																	

Tablo 9. M Kabuğu Tesir Kesiti ve Floresans Verim Değerleri

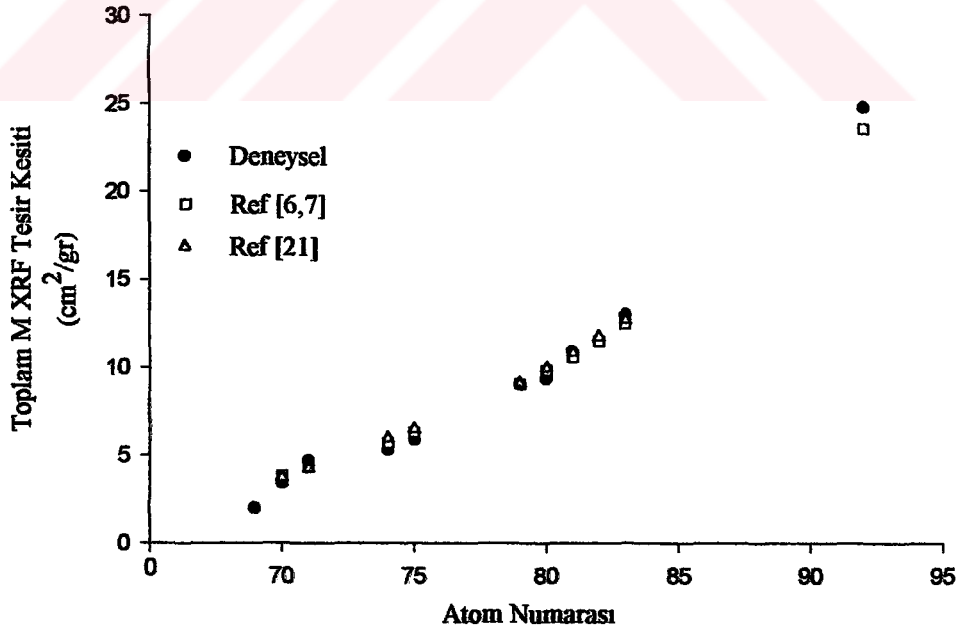
Element	IoGε	σ_M	σ_M^p	ω_M
Tm	13068801	2.0134	452.73	0.004447345
Yb	13510493	3.4019	241.58	0.014081806
Lu	14614723	4.8598	252.59	0.019239975
W	16602337	5.3233	282.12	0.018869087
Re	12575045	5.8773	293.03	0.020056092
Au	15040863	9.0204	338.54	0.026645083
Hg	15322253	9.3351	346.56	0.026936192
Tl	15734331	10.8876	355.89	0.030589783
Pb	16421129	11.4637	366.93	0.031239157
Bi	17039249	12.9842	380.04	0.034165308
U	22190227	24.7711	479.71	0.051637683

Tablo 10. M Kabuğu Diferansiyel Tesir Kesiti Değerleri

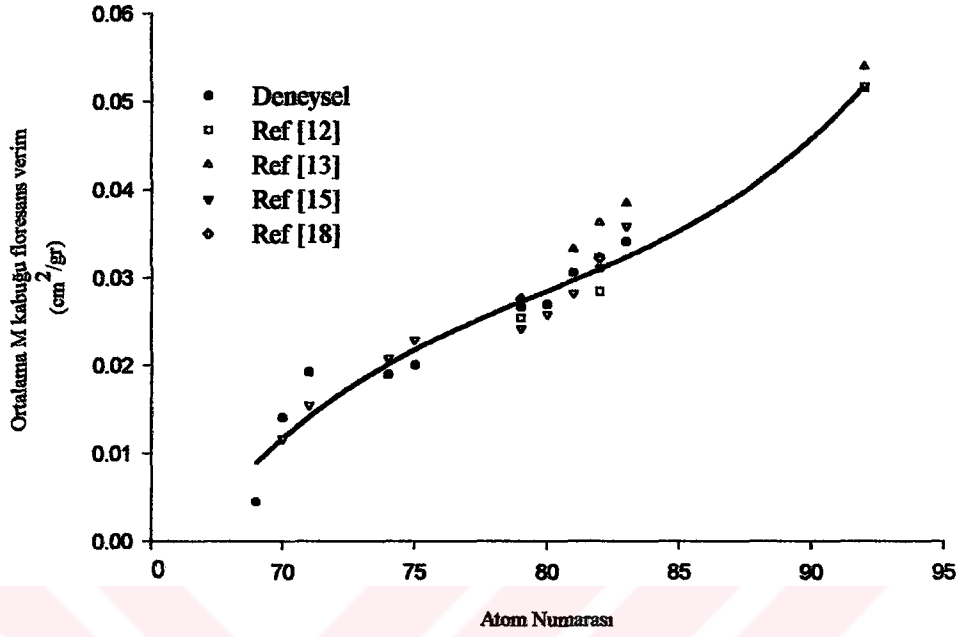
Element	$\frac{d\sigma_M^\theta}{d\Omega}$				
	25°	30°	35°	40°	45°
Re	0.52	0.82	1.01	1.29	1.43
Bi	1.15	1.53	1.95	2.84	4.16
U	15.31	16.56	18.36	22.62	30.98



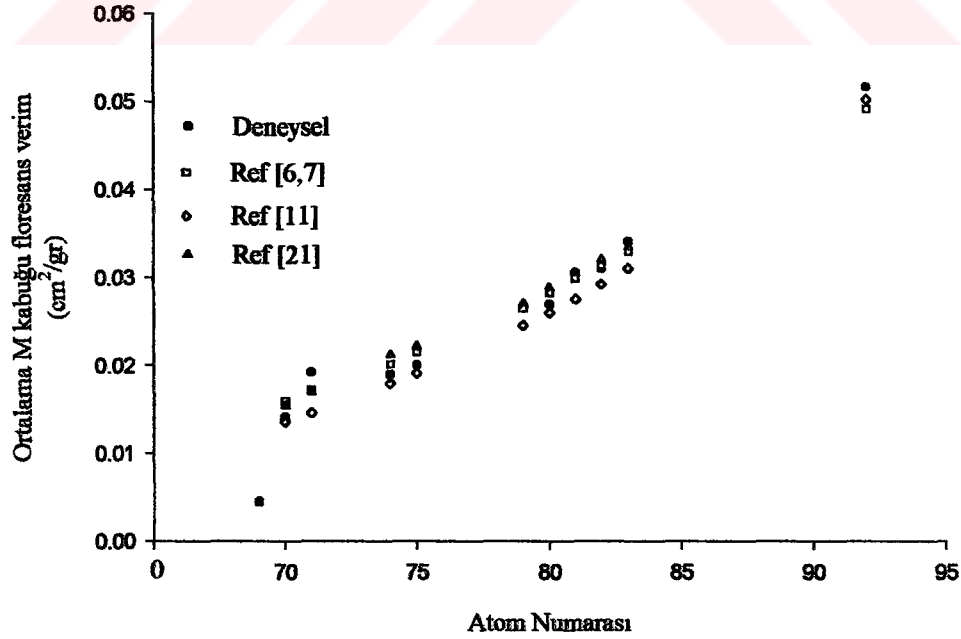
Şekil 30. Ölçülen Toplam M kabuğu tesir kesitlerinin diğer deneysel değerlerle karşılaştırılması



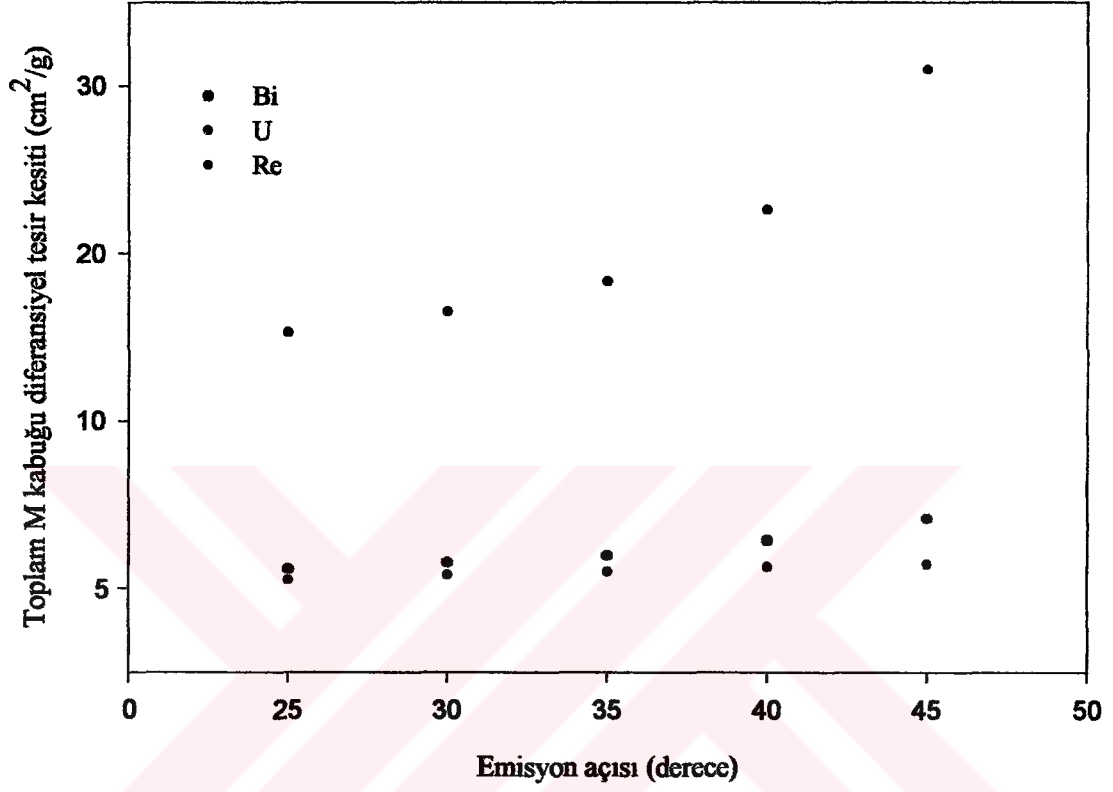
Şekil 31. Ölçülen M kabuğu toplam tesir kesitlerinin teorik değerlerle karşılaştırılması



Şekil 32. Ölçülen ortalama M kabuğu floresans verimlerin diğer deneysel değerlerle karşılaştırılması



Şekil 33. Ölçülen ortalama M kabuğu floresans verimlerinin teorik değerlerle karşılaştırılması



Şekil 34. Re, Bi ve U elementleri için farklı açılardaki diferansiyel tesir kesiti değerleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı, $69 \leq Z \leq 92$ aralığındaki elementlerin M kabuğuna ait tesir kesiti, floresans verim ve diferansiyel tesir kesiti değerlerini hesaplamaktır. Elde edilen sonuçlar bunu büyük bir ihtimal ile gerçekleştirmiş olduğumuzu gösterdi.

Tezin başlangıcında sistemimizde sonuç alabileceğimiz ve temin edebileceğimiz numuneler tercih edildi. Yine ilk olarak, Si(Li) dedektörüne ait fotopik ve mutlak verimlilik eğrileri tespit edilmiştir. Dedektörün verimlilik eğrilerinin teorik olarak bulunamamasından dolayı deneysel sonuçları teorik sonuçlar ile karşılaştırmak mümkün olmamıştı. Dedektör verimi Si, P, S, Al, K, Ca ve Ti elementlerinin 5.96 keV enerjili Fe-55 radyoizotopu ile uyarılması sonucu elde edilen K x-ışını çizgilerinin verileriyle hesaplandı.

Deney geometrimiz diferansiyel tesir kesiti ölçümleri ile değişeceğinden dolayı hesaplamalar daha karmaşık bir hal aldı. Bu sebeple 25° , 30° , 35° , 40° ve 45° 'lik kaynaktan gelme açıları için farklı soğurma düzeltmesi değerleri elde edildi ve Tablo 7'de bu sonuçlar gösterildi. Tablodan da görüldüğü gibi küçük açılardaki soğurmalar büyük açılardaki soğurmalara nazaran daha büyük olmaktadır.

M x-ışını tesir kesitleri ve M tabakasına ait ortalama floresans verimler, Tm, Yb, Lu, W, Re, Au, Hg, Tl, Pb, Bi ve U için (39) ve (40) bağıntılarıyla hesaplandı ve Tablo 10' da sunuldu. Deneysel olarak bulunan bu değerler diğer deneysel ve teorik çalışmalardaki değerle ile mukayese edildi. sonuçların diğer ölçümlerle uyum gösterdiği Şekil 30, 31, 32 ve 33' de kolayca görülmektedir.

M x-ışınlarının açısal dağılımlarını hesaplamak için (41) denklemi kullanılmıştır. (43) denkleminde bulunan B faktörü (41) denkleminde yerine konularak diferansiyel tesir kesitleri hesaplandı. B faktörü ifadesini kullanmamızın amacı literatürde başka bir metoda rastlanamamasıdır. Bu metodun bir dezavantajı ise σ_K tesir kesiti yerine teorik değerlerin kullanılmasıdır. Bu durumda alınan teorik değerlerin ilgili element için doğru olduğu kabul edilmidi. Yine bu metodun kullanılmasıyla gelen foton sayısı, geometrik faktör ve havanın soğurması direk olarak hesaba katılmıştı.

Re, Bi ve U elementleri için denklem (41)' den hesaplanan diferansiyel tesir kesitleri Tablo 10' da ve Şekil 34' de verilmişti. Elde edilen sonuçlara bakıldığında küçük

açılardaki soğurmaların daha büyük olduğu ve bu sebeple, gelme açısı küçüldükçe diferansiyel tesir kesiti değerlerinin azaldığı görüldü.

Sonuç olarak; dedektör penceresi, ölü tabaka, istatistiki ve ölçme hataları gibi etkiler minimum olduğu kabul edilirse, %1-5 arası yaklaşıklıklarla amaçlanan çalışmada istenilen sonuçlar elde edilmiştir.



5. ÖNERİLER

Çalışmamızda yalnız bir radyoaktif kaynak kullanılmak suretiyle $69 \leq Z \leq 92$ elementler bölgesinde M tabakasına ait bazı ölçümler yapıldı. Çalışma, elimizde mevcut numunelerle bunlar gerçekleştirildi. Daha fazla numunelerle benzer çalışma yapılabilir. Ayrıca farklı radyoizotop kaynaklar kullanılarak farklı enerjiler elde edilmiş olunacağından, enerjinin değişimiyle farklı sonuçlar elde edilebilir mi incelenebilir. Gelme açısının daha farklı değerleri için açısal dağılım gözlenebilir.

Ayrıca L tabakasına ait diferansiyel tesir kesitleri, M tabakasına ait Coster- Kronig geçişleri ve K, L, M tabakalarına ait çizgi genişlikleri deneysel ve teorik olarak hesaplanabilir. X- ışınlarının polarizasyonuna bağlı olarak benzer çalışmalar yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Berger, R.T., The X or Gama-Ray Energy Absorption or Transfer Coefficient: Tabulations and Discussion, Radiation Research, 15 (1961) 1.
2. Hubbell, J.H., Photon Mass Attenuation and Mass-Energy Absorption Coefficients for H, C, N, O, Ar and Seven Mixtures from 0.1 keV to 20 Mev., Radiation Research, 70 (1977) 58.
3. Seltzer, S.M., Calculation of Photon Mass Energy Transfer and Mass Energy Absorption Coefficients, Radiation Research, 136 (1993) 147.
4. Hubbell, J.H., Seltzer, S.M., Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy Absorption Coefficients 1keV to 20 Mev for Elements Z=1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest, NISTIR Report 5632, National Institute of Standards and Technology, U.S.A (1995).
5. Bambynek, W., Crasemann, B., Fink, R.W., Freund, H.U, Mark, H., Swift, C.D., Price, R.E ,Rao, P.V., X-Ray Fluorescence Yields Auger and Coster-Kronig Transition Probabilities, Reviews of Modern Physics, 44 (1972) 716.
6. Chen, M.H., Crasemann, B., Mark, H. Relativistic M-shell Radiationless Transitions, Physics Reviews A, 21 (1980) 449.
7. Chen, M.H., Crasemann, B., Mark, H. Radiationless Transitions to Atomic M-shell. Result of Relativistic theory, Physics Reviews A, 27 (1983) 2989.
8. Krause, M.O., Nestor, C.W., Sparks, C.J., Ricci, E., X-ray Fluorescence Cross-Sections for K and L X -Rays of The Elements, Oak Ridge National Laboratory (ORNL) 5399 (1978).
9. Krause, M.O., Ricci, E., Sparks, C.J., Nestor, C.W., Calculation of X-Ray Fluorescence Cross-Sections for K and L Shells, Adv. X-Ray Anal.,21 (1978) 119-127.
10. Hubbell, J.H., Trehan, P.N., Singh, N., Chand, B., Mehta, D., Garg, M.L., Garg, R.R., Singh, S., Puri, S., A Review, Bibliography and Tabulation of K, L and Higher Atomic Shell X-Ray Fluorescence Yields. Journal of Physical and Chemical Reference Data 23 (1994) 339.

11. Hubbell, J.H., Bibliography and Current Status of K,L and Higher Shell Fluorescence Yields for Computations of Photon Energy Absorption Coefficients, NISTIR Report 89-4144, National Institute of Standards and Technology, U.S.A (1989).
12. Shatendra, K., Allawadhi, K.L., Sood, B.S., Measurement of Average M-Shell Fluorescence Yields in Some High Z Elements, Physica C, 124 (1984) 279-281.
13. Garg, R.R., Singh S., Shahi, J.S., Metha, D., Singh N., Trehan, P.N., Kumar, S., Garg, M.L., Mangal P.C., Measurement of M-Shell X-Ray Production Cross-Section Using 5.96 keV Photons, X-Ray Spectrometry, 20 (1991) 91-95.
14. Puri, S., Metha, D., Chand B., Singh N., Mangal P.C., Trehan P.N., M Shell X-Ray Production Cross-Section and Fluorescence Yields for The Elements with $71 \leq Z \leq 92$ Using 5.96 keV Photons, Nucl. Instr. Meth., B 73 (1993) 319-323.
15. Ertuğrul, M., Traşoğlu E., Kurucu, Y. Erzeneoğlu, S., Durak, R., Şahin, Y. Measurement of M Shell X-Ray Production Cross-Sections and Fluorescence Yield for The Elements in Atomic Range $70 \leq Z \leq 92$ at 5.96 keV, Nucl. Instr. Meth. B, 108 (1996)18-22 .
16. Durak, R., Özdemir, Y., Photon-induced M Shell X-ray Production Cross-Sections and Fluorescence Yield in Heavy Elements at 5.96 keV, Spectrochimica Acta Part B, 56 (2001) 455-464.
17. Allawadhi, K.L., Sood, B.S., Raj Mittal, Sing, N., Mann, K.S, Production of M X – Rays on Decay of L_3 Subshell Vacancies to M Shell in Pb, Th and U, J. Phys. B ; At. Mol. Opt. Phys., 27 (1994)15-18.
18. Rao, D.V., Cesareo, R., Gigante, G.E., Total M X-Ray Fluorescence Cross-Sections and Fluorescence Yields for Pt, Au and Pb in The Energy Region $5.47 \leq E \leq 9.39$ keV, Nucl. Instr. Meth. B, 108 (1997) 227-232.
19. Rao, D.V., Cesareo, R., Gigante, G.E., Average M-Shell Fluorescence Yields (\bar{w}_M) for Pt, Au and Pb, Radiat. Phys. Chem., 49 (1997) 503-504.
20. Öz, E., Erdoğan, H., Ertuğrul, M., Calculation of Average M Shell Fluorescence Yield for Elements with $29 \leq Z \leq 100$, X-Ray Spectrometry, 28 (1999)198-202.
21. McGuire, E.J., Atomic M-Shell Coster-Kronig , Auger and Radiative Rates and Fluorescence Yields for Ca-Th, Physics Reviews A, 5 (1975) 1043.
22. Kumar, A., Garg, M.L., Puri, S., Mehta, D., Sing, N., Angular Dependence of L_3 X-Ray Emission Following L_3 Sub-Shell Photoionization in Pb, X-Ray Spectrometry, 30 (2001) 287-291.

23. Mehta, D., Puri, S., Sing, N., Garg, M.L., Trehan, P.N., Angular Dependence of L X-Ray Production Cross Section in Uranium at 22.6 and 59.5 keV Photon Energies, Physical Review A, 59 (1999) 2723.
24. Kahlon, K.S., Aulakh, H.S., Singh, N., Mittal, R., Allawadhi, K.L., Sood, B.S., Measurement of Angular Distribution and Polarization of Photon-Induced Fluorescent X Rays in Thorium and Uranium, Physical Review A, 43 (1991) 1455.
25. Kahlon, K.S., Singh, N., Mittal, R., Allawadhi, K.L., Sood, B.S., L_3 –Subshell Vacancy Alignment in Photon-Atom Collisions, Physical Review A, 44 (1991) 4379.
26. Seven, S., Koçak, K., Angular Dependence of L X-Ray Production Cross Section in Seven Elements from Yb to Pt at Photon Energy of 59.5 keV, Journal of Physics B: At., Mol. Opt. Phys., 34 (2001) 2021-2030.
27. Demir, L., Şahin, M., Söğüt, Ö., Şahin, Y., Measurement of Angular Dependence of Photon-Induced Differential Cross-Sections of M X-Rays from Pt, Au and Hg at 5.96 keV, Rad. Phys. Chem., 59 (2000) 355-359.
28. Ekinci, N., X-Işını Spektrometresi ile Mukayeseli Kalınlık Tayini, Doktora Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enst., Erzurum (Yayımlanmamış), 2000.
29. Jenkins, R., De Vries, J.L., Practical X-ray spectrometry, Philips Technical Library, Springer-Verlag New York Inc., 1969.
30. Çetin, M., Yıldırım, H., Gülsüm, Z., Çağdaş Fiziğin Kavramları, Çeviri, 432, 1989.
31. Şahin, Y., Çekirdek Fiziğinin Esasları, Çeviri, Atatürk Üni. Fen-Edebiyat Fak. Yay., Erzurum, s 117, 1989.
32. Semend, F., Schaupp, D., Czerwinski, H., Schumacher, M., Large angle Rayleigh Scattering of Lineary Polarized, Hard Synchrotron X-Rays by Kr and Xe, Physical Review A, 36 (1987) 5189-5199.
33. Shahi, J.S., Kumar, A., Mehta, D., Puri, S., Garg, M.L., Sing, N., Inelastic Scattering of 59.5 keV Photons by Elements with $13 \leq Z \leq 82$, Nucl. Instr. Meth. B, 179 (2001) 15-23.
34. Garg, M. L., Singh, J., Sing, G., Sharma, A. K., H.R., Singh, N., Mangal, P. C., Trehan, P. N., Measurement of Relative Intensities of K and L-Shell X-Rays of Some Elements by Photoionisation Method, Indian J. Phys., A 58 (1984), 242-251.
35. Öz, E., Atom Numarası $59 \leq Z \leq 92$ Arasında Olan Bazı Elementler için L Tabakasına ait Coster-Kronig Şiddetlendirme Faktörlerinin Ölçülmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enst., Erzurum (Yayımlanmamış), 2000.

36. Baştuğ, A., Si(Li) Dedektörü ile Ölçülen Karakteristik L X-Işınlarının Flüoresans Üretim Tesir Kesitlerinin Uyarma Enerjisine Bağlı Olarak Değişimi, Doktora Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enst. Erzurum (Yayımlanmamış), 1998.
37. Ertuğral, B., $52 \leq Z \leq 68$ Bölgesinde Bazı Elementlerin K tabakasından L tabakasına Boşluk Geçiş İhtimaliyetlerinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üni., Fen Bil. Enst. Trabzon (Yayımlanmamış), 1999.
38. Yalçın, P., Radyoaktif Bozunma Sonucu Meydana Gelen Gama K ve L X- Işınları İçin Emisyon İhtimaliyetlerinin Ölçülmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enst. Erzurum (Yayımlanmamış), 2002.
39. Ortec Analytical Systems Inc., Experiment 8: High-Resolution X-ray Spectroscopy, (<http://www.ortec-online.com>).
40. Scofield, J. H., Theoretical Photoionization Cross Sections from 1 to 1500 keV, Lawrence Livermore Laboratory (UCRL) (1973), No: 513626.
41. Espen, P.V., A Generalized Approach to Quantitative Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence Analysis Using Fundamental Parameters, Antwerpen, 1991.
42. Çevik, U., Doğu Karadeniz Dip Tortularının X-Işını Floresans Yöntemiyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üni., Trabzon (Yayımlanmamış), 1994.
43. Tıraşoğlu, E., Toz Halindeki Numunelerde XRF tekniği ile Konsantrasyon Tayininde Parçacık Büyüklüğünün Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enst., Erzurum (Yayımlanmamış), 1990.
44. Ertuğrul, M., Si(Li) Dedektörü ile Karakteristik X-ışınlarının Açısız Dağılımlarının, Polarizasyonlarının, Tesir Kesitlerinin ve Şiddet Oranlarının Ölçülmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enst., Erzurum (Yayımlanmamış), 1994.
45. Büyükkasap, E., $55 \leq Z \leq 67$ Elementler Bölgesinde Karakteristik X-ışını Şiddet Oranları Üzerine Bir Çalışma. Doktora Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enst., Erzurum (Yayımlanmamış), 1991.
46. Tıraşoğlu, E., Enerji Dispersiv x-ışını Flüoresans Analizinde Şiddetlendirme Etkisi, Doktora Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enst., Erzurum (Yayımlanmamış), 1994.
47. Krause, M. O., Atomic Radiative and Radiationless Yield for K and L Shell, *Phy. And Chem. Ref. Data*, 8 (1979), 307-32746.
48. Broll, N., Quantitative x-Ray Fluorescence Analysis, *X-Ray Spekt.* 15 (1986), 271-285.

49. Dođan, Ođuz., Si(Li) Dedektörü ile Karakteristik X-Işınlarının Floresans Tesir Kesitlerinin ve Boşluk Geçişi İhtimaliyetlerinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üni. Fen Bil. Enst., Erzurum (Yayımlanmamış), 1995.
50. Thompson, A.C., Vaughan, D., X- Ray Data Booklet, Lawrence Berkeley National Laboratory University of California, Berkeley CA 94720, Jan., 2001.



7. EKLER

Ek 1.

Ek Tablo 1. Periyodik tablodaki elementlere ait K, L, M x-ışını emisyon çizgisi enerjileri (keV) [50]

Element	$K\alpha_1$	$K\alpha_2$	$K\beta_1$	$L\alpha_1$	$L\alpha_2$	$L\beta_1$	$L\beta_2$	$L\gamma_1$	$M\alpha_1$
3 Li	54.3								
4 Be	108.5								
5 B	183.3								
6 C	277								
7 N	392.4								
8 O	524.9								
9 F	676.8								
10 Ne	848.6	848.6							
11 Na	1,040.98	1,040.98	1,071.1						
12 Mg	1,253.60	1,253.60	1,302.2						
13 Al	1,486.70	1,486.27	1,557.45						
14 Si	1,739.98	1,739.38	1,835.94						
15 P	2,013.7	2,012.7	2,139.1						
16 S	2,307.84	2,306.64	2,464.04						
17 Cl	2,622.39	2,620.78	2,815.6						
18 Ar	2,957.70	2,955.63	3,190.5						
19 K	3,313.8	3,311.1	3,589.6						
20 Ca	3,691.68	3,688.09	4,012.7	341.3	341.3	344.9			
21 Sc	4,090.6	4,086.1	4,460.5	395.4	395.4	399.6			
22 Ti	4,510.84	4,504.86	4,931.81	452.2	452.2	458.4			
23 V	4,952.20	4,944.64	5,427.29	511.3	511.3	519.2			
24 Cr	5,414.72	5,405.509	5,946.71	572.8	572.8	582.8			
25 Mn	5,898.75	5,887.65	6,490.45	637.4	637.4	648.8			
26 Fe	6,403.84	6,390.84	7,057.98	705.0	705.0	718.5			
27 Co	6,930.32	6,915.30	7,649.43	776.2	776.2	791.4			
28 Ni	7,478.15	7,460.89	8,264.66	851.5	851.5	868.8			
29 Cu	8,047.78	8,027.83	8,905.29	929.7	929.7	949.8			
30 Zn	8,638.86	8,615.78	9,572.0	1,011.7	1,011.7	1,034.7			
31 Ga	9,251.74	9,224.82	10,264.2	1,097.92	1,097.92	1,124.8			
32 Ge	9,886.42	9,855.32	10,982.1	1,188.00	1,188.00	1,218.5			
33 As	10,543.72	10,507.99	11,726.2	1,282.0	1,282.0	1,317.0			
34 Se	11,222.4	11,181.4	12,495.9	1,379.10	1,379.10	1,419.23			
35 Br	11,924.2	11,877.6	13,291.4	1,480.43	1,480.43	1,525.90			
36 Kr	12,649	12,598	14,112	1,586.0	1,586.0	1,636.6			
37 Rb	13,395.3	13,335.8	14,961.3	1,694.13	1,692.56	1,752.17			
38 Sr	14,165	14,097.9	15,835.7	1,806.56	1,804.74	1,871.72			
39 Y	14,958.4	14,882.9	16,737.8	1,922.56	1,920.47	1,995.84			
40 Zr	15,775.1	15,690.9	17,667.8	2,042.36	2,039.9	2,124.4	2,219.4	2,302.7	

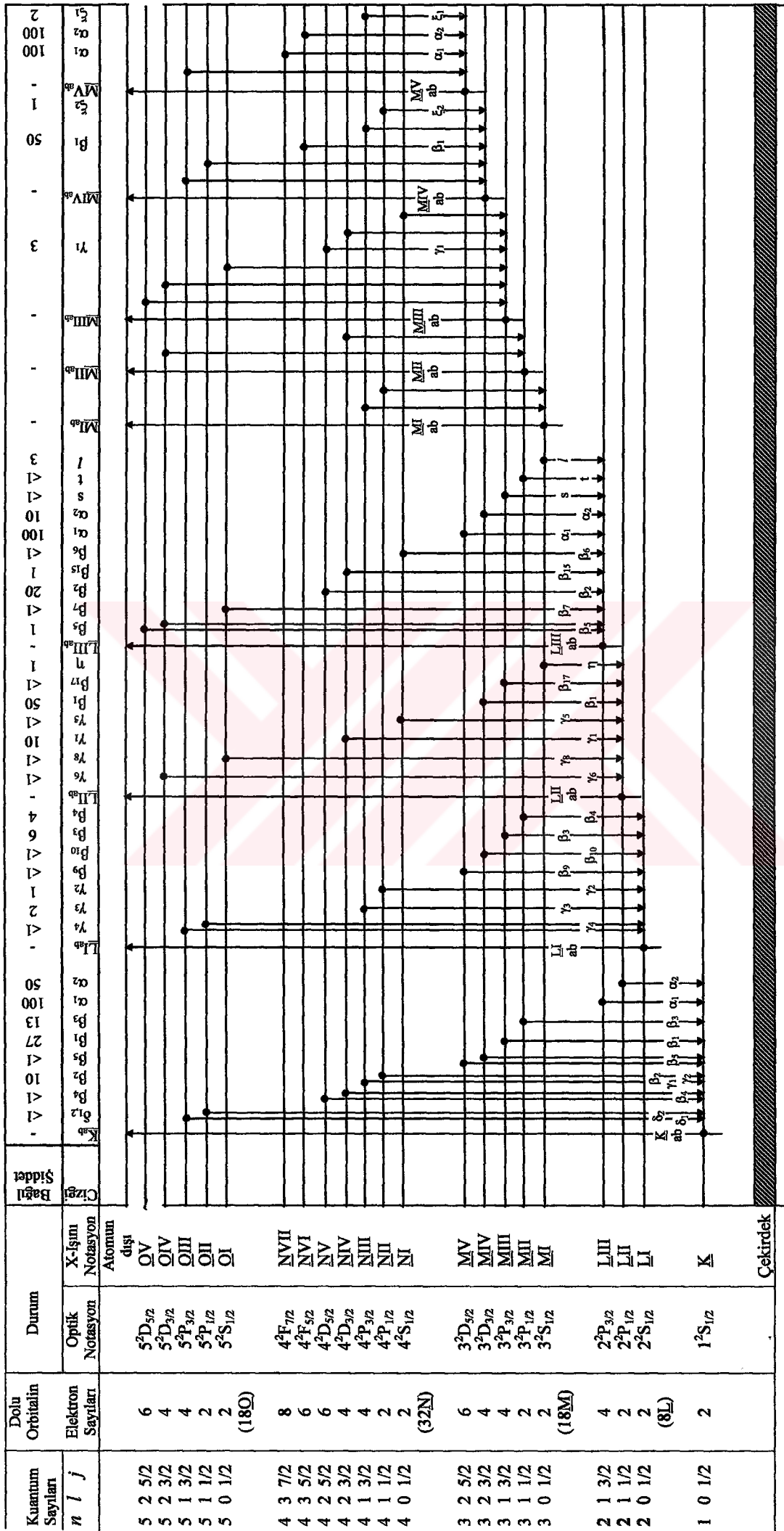
Element	K α_1	K α_2	K β_1	L α_1	L α_2	L β_1	L β_2	L γ	M α_1
41 Nb	16,615.1	16,521.0	18,622.5	2,165.89	2,163.0	2,257.4	2,367.0	2,461.8	
42 Mo	17,479.34	17,374.3	19,608.3	2,293.16	2,289.85	2,394.81	2,518.3	2,623.5	
43 Tc	18,367.1	18,250.8	20,619	2,424	2,420	2,538	2,674	2,792	
44 Ru	19,279.2	19,150.4	21,656.8	2,558.55	2,554.31	2,683.23	2,836.0	2,964.5	
45 Rh	20,216.1	20,073.7	22,723.6	2,696.74	2,692.05	2,834.41	3,004.3	3,143.8	
46 Pd	21,177.1	21,020.1	23,818.7	2,838.61	2,833.29	2,990.22	3,171.79	3,328.7	
47 Ag	22,162.92	21,990.3	24,942.4	2,984.31	2,978.21	3,150.94	3,347.81	3,519.59	
48 Cd	23,173.6	22,984.1	26,095.5	3,133.73	3,126.91	3,316.57	3,528.12	3,716.86	
49 In	24,209.7	24,002.0	27,275.9	3,286.94	3,279.29	3,487.21	3,713.81	3,920.81	
50 Sn	25,271.3	25,044.0	28,486.0	3,443.98	3,435.42	3,662.80	3,904.86	4,131.12	
51 Sb	26,359.1	26,110.8	29,725.6	3,604.72	3,595.32	3,843.57	4,100.78	4,347.79	
52 Te	27,472.3	27,201.7	30,995.7	3,769.33	3,758.8	4,029.58	4,301.7	4,570.9	
53 I	28,612.0	28,317.2	32,294.7	3,937.65	3,926.04	4,220.72	4,507.5	4,800.9	
54 Xe	29,779	29,458	33,624	4,109.9	—	—	—	—	
55 Cs	30,972.8	30,625.1	34,986.9	4,286.5	4,272.2	4,619.8	4,935.9	5,280.4	
56 Ba	32,193.6	31,817.1	36,378.2	4,466.26	4,450.90	4,827.53	5,156.5	5,531.1	
57 La	33,441.8	33,034.1	37,801.0	4,650.97	4,634.23	5,042.1	5,383.5	5,788.5	833
58 Ce	34,719.7	34,278.9	39,257.3	4,840.2	4,823.0	5,262.2	5,613.4	6,052	883
59 Pr	36,026.3	35,550.2	40,748.2	5,033.7	5,013.5	5,488.9	5,850	6,322.1	929
60 Nd	37,361.0	36,847.4	42,271.3	5,230.4	5,207.7	5,721.6	6,089.4	6,602.1	978
61 Pm	38,724.7	38,171.2	43,826	5,432.5	5,407.8	5,961	6,339	6,892	—
62 Sm	40,118.1	39,522.4	45,413	5,636.1	5,609.0	6,205.1	6,586	7,178	1,081
63 Eu	41,542.2	40,901.9	47,037.9	5,845.7	5,816.6	6,456.4	6,843.2	7,480.3	1,131
64 Gd	42,996.2	42,308.9	48,697	6,057.2	6,025.0	6,713.2	7,102.8	7,785.8	1,185
65 Tb	44,481.6	43,744.1	50,382	6,272.8	6,238.0	6,978	7,366.7	8,102	1,240
66 Dy	45,998.4	45,207.8	52,119	6,495.2	6,457.7	7,247.7	7,635.7	8,418.8	1,293
67 Ho	47,546.7	46,699.7	53,877	6,719.8	6,679.5	7,525.3	7,911	8,747	1,348
68 Er	49,127.7	48,221.1	55,681	6,948.7	6,905.0	7,810.9	8,189.0	9,089	1,406
69 Tm	50,741.6	49,772.6	57,517	7,179.9	7,133.1	8,101	8,468	9,426	1,462
70 Yb	52,388.9	51,354.0	59,370	7,415.6	7,367.3	8,401.8	8,758.8	9,780.1	1,521.4
71 Lu	54,069.8	52,965.0	61,283	7,655.5	7,604.9	8,709.0	9,048.9	10,143.4	1,581.3
72 Hf	55,790.2	54,611.4	63,234	7,899.0	7,844.6	9,022.7	9,347.3	10,515.8	1,644.6
73 Ta	57,532	56,277	65,223	8,146.1	8,087.9	9,343.1	9,651.8	10,895.2	1,710
74 W	59,318.24	57,981.7	67,244.3	8,397.6	8,335.2	9,672.35	9,961.5	11,285.9	1,775.4
75 Re	61,140.3	59,717.9	69,310	8,652.5	8,586.2	10,010.0	10,275.2	11,685.4	1,842.5
76 Os	63,000.5	61,486.7	71,413	8,911.7	8,841.0	10,355.3	10,598.5	12,095.3	1,910.2
77 Ir	64,893.6	63,286.7	73,560.8	9,175.1	9,099.5	10,708.3	10,920.3	12,512.6	1,979.9
78 Pt	66,832	65,112	75,748	9,442.3	9,361.8	11,070.7	11,250.5	12,942.0	2,050.5
79 Au	68,803.7	66,989.5	77,984	9,713.3	9,628.0	11,442.3	11,584.7	13,381.7	2,122.9
80 Hg	70,819	68,895	80,253	9,988.8	9,897.6	11,822.6	11,924.1	13,830.1	2,195.3
81 Tl	72,871.5	70,831.9	82,576	10,268.5	10,172.8	12,213.3	12,271.5	14,291.5	2,270.6
82 Pb	74,969.4	72,804.2	84,936	10,551.5	10,449.5	12,613.7	12,622.6	14,764.4	2,345.5
83 Bi	77,107.9	74,814.8	87,343	10,838.8	10,730.91	13,023.5	12,979.9	15,247.7	2,422.6
84 Po	79,290	76,862	89,800	11,130.8	11,015.8	13,447	13,340.4	15,744	—
85 At	81,520	78,950	92,300	11,426.8	11,304.8	13,876	—	16,251	—
86 Rn	83,780	81,070	94,870	11,727.0	11,597.9	14,316	—	16,770	—
87 Fr	86,100	83,230	97,470	12,031.3	11,895.0	14,770	14,450	17,303	—
88 Rn	88,470	85,430	100,130	12,339.7	12,196.2	15,235.8	14,841.4	17,849	—
89 Ac	90,884	87,670	102,850	12,652.0	12,500.8	15,713	—	18,408	—
90 Th	93,350	89,953	105,609	12,968.7	12,809.6	16,202.2	15,623.7	18,982.5	2,996.1
91 Pa	95,868	92,287	108,427	13,290.7	13,122.2	16,702	16,024	19,568	3,082.3
92 U	98,439	94,665	111,300	13,614.7	13,438.8	17,220.0	16,428.3	20,167.1	3,170.8
93 Np	—	—	—	13,944.1	13,759.7	17,750.2	16,840.0	20,784.8	—
94 Pu	—	—	—	14,278.6	14,084.2	18,293.7	17,255.3	21,417.3	—
95 Am	—	—	—	14,617.2	14,411.9	18,852.0	17,676.5	22,065.2	—

Ek 2.

⁵⁵Fe radyoizotop kaynağının yarı ömrü 2.73 yıldır. Bu sürede yayımladığı x-ışını çizgileri, enerjileri ve yüzdeleri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Ek Tablo 2. ⁵⁵Fe radyoizotopundan yayımlanan x-ışınları

E (keV)	I (%)	X-ışını Çizgisi
0,556	0.037 10	Mn L _l
0,568	0.025 6	Mn L _η
0,637	0.028 7	Mn L _{α2}
0,637	0.25 6	Mn L _{α1}
0,640	0.0022 6	Mn L _{β6}
0,648	0.19 5	Mn L _{β1}
0,720	0.011 3	Mn L _{β4}
0,720	0.017 5	Mn L _{β3}
5,770	6.9E-06 4	Mn K _{α3}
5,888	8.5 4	Mn K _{α2}
5,899	16.9 8	Mn K _{α1}
6,490	1.01 5	Mn K _{β3}
6,490	1.98 10	Mn K _{β1}
6,536	0.00089 5	Mn K _{β5}
6,539	8.5E-08 5	Mn K _{β4}



ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Isparta' da doğdu. İlkokulu Nazmi Toker, ortaokulu Gülken ve liseyi de Şehit Ali İhsan Kalmaz' da tamamladı. 1995 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı. 1999 yılında başarıyla mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. İlk yıl İngilizce hazırlık programına katıldı. 2000 yılında Fen Bilimleri Enstitüsünün 50/d Araştırma Görevlisi kadrosuna atandı. Halen Yüksek Lisans çalışmalarına devam etmektedir.



**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**