ATOM NUMARASI 67≤Z≤83 ARALIĞINDAKİ BAZI ELEMENTLER İÇİN L ALT TABAKA SEVİYE GENİŞLİKLERİ ve IŞIMALI BOŞLUK GEÇİŞ İHTİMALİYETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Mehmet Fatih TURHAN

Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı
Prof. Dr. Rıdvan DURAK
2011
Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATOM NUMARASI 67≤Z≤83 ARALIĞINDAKİ BAZI ELEMENTLER İÇİN L ALT TABAKA SEVİYE GENİŞLİKLERİ ve IŞIMALI BOŞLUK GEÇİŞ İHTİMALİYETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Mehmet Fatih TURHAN

FİZİK ANABİLİM DALI

ERZURUM
2011
Her Hakkı Saklıdır

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAY FORMU

ATOM NUMARASI $67 \leq Z \leq 83$ ARALIĞINDAKİ BAZI ELEMENTLER İÇİN L ALT TABAKA SEVİYE GENİŞLİKLERİ ve IŞIMALI BOŞLUK GEÇİŞ İHTİMALİYETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Prof. Dr. Rıdvan DURAK danışmanlığında, Mehmet Fatih TURHAN tarafından hazırlanan bu çalışma 17.06.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından FİZİK Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan	:	**Prof. Dr. Rıdvan DURAK**	*İmza*	:
Üye	:	**Prof. Dr. Önder ŞİMŞEK**	*İmza*	:
Üye	:	**Doç. Dr. Yüksel ÖZDEMİR**	*İmza*	:

(imza)
Yukarıdaki sonucu onaylıyorum
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATOM NUMARASI 67≤Z≤83 ARALIĞINDAKİ BAZI ELEMENTLER İÇİN L ALT TABAKA SEVİYE GENİŞLİKLERİ ve IŞIMALI BOŞLUK GEÇİŞ İHTİMALİYETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Mehmet Fatih TURHAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Rıdvan DURAK

Bu çalışmada atom numarası 67≤ Z≤ 83 aralığında olan bazı elementler, Am-241 radyoaktif kaynaktan yayımlanan 59,54 keV'lik fotonlar kullanılarak uyarılmış ve Si(Li) dedektörde elde edilen *L* X-ışını pikleri ile *Li* (*i*= 1, 2, 3) alt tabaka seviye genişlikleri uygun geometride incelenmiştir. Seviye genişliği değerlerinin hesaplanması için *L* tabakası floresans tesir kesitleri ve *L* alt tabaka floresans verim değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen seviye genişliği değerlerinden ise *Li* alt tabakalarından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri hesaplanmıştır.

Deneysel *L* tabakası floresans tesir kesitleri, literatürdeki deneysel ve hesaplanan teorik değerlerle karşılaştırılmıştır. Deneysel *L* alt tabaka floresans verim değerleri literatürden elde edilebilen deneysel ve teorik değerlerle karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma sonucunda hata sınırları içerisinde uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Deneysel *L* alt tabaka seviye genişliği değerleri literatürden elde edilebilen teorik değerlerle karşılaştırılmış ve atom numarasının artmasıyla seviye genişliği değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

Deneysel olarak hesaplanan *L* alt tabakalarından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri, hesaplanan teorik ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyeti değerleriyle karşılaştırılmıştır. Atom numarasının artmasıyla L_2 ve L_3 alt tabakalarından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyeti değerlerinin arttığı, L_1 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyeti değerlerinin ise ilgilenilen elementler için Tungsten (W)'den sonra bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir.

2011, 104 sayfa

Anahtar Kelimeler: Seviye genişliği, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyeti, floresans verim, floresans tesir kesiti.

ABSTRACT

Ms. Thesis

MEASUREMENT OF RADIATIVE VACANCY TRANSITION PROBABILITIES AND L SUB SHELL LEVEL WIDTHS FOR SOME ELEMENTS IN THE ATOMIC RANGE 67≤Z≤83

Mehmet Fatih TURHAN

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

Supervisor: Prof. Dr. Rıdvan DURAK

In this study, some elements with atomic range 67≤Z≤83 have been excited using photons of 59,54 keV emitted from Am-241 point source and theirs *Li* (*i*= 1, 2, 3) sub shell level widths of these elements have been analyzed by means of *L* X-ray peaks obtained in Si(Li) detector using a good geometry set-up. In order to obtain level widths, fluorescence cross-sections and fluorescence yields of *L* subshell have been obtained. From the obtained level widths, radiative vacancy transition probabilities of subshell *Li* to *M, N* and *O* subshells have been measured

Experimental fluorescence cross-sections of *L* shell have been compared with calculated and experimental fluorescence cross-section available in the literature. Experimental fluorescence yields of L subshell have been compared with calculated and experimental fluorescence yields in the literature and in general it has been observed that the results are in good agreement with those in literature.

Experimental widths of *L* sub shell level have been compared with the level widths in literature and it has been observed that level widths have been increased with the increase in the atomic number.

Radiative vacancy transition probabilities from *L* subshells to *M, N* and *O* subshells which have been experimentally obtained have been compared with the radiative vacancy transition probabilities which have been calculated theoretically. it has been observed while radiative vacancy transition probabilities from L_2 and L_3 to *M, N* and *O* subshell have been increased with increase in the atomic number, radiative vacancy transition probabilities from L_1 to *M, N* and *O* subshell have been decreased for the elements whose atomic numbers are higher than atomic number of Tungsten (W).

2011, 104 page

Keywords: Level width, radiative vacancy transition probability, fluorescence yield, fluorescence cross-sections.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde yapılmıştır. Bu çalışmanın planlanması ve yürütülmesinde tecrübelerini ve kıymetli bilgilerini esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Rıdvan DURAK' a en içten şükranlarımı arz ederim.

Çalışmalarım sırasında yapmış oldukları katkılardan dolayı kıymetli hocalarım Sayın Prof. Dr. Önder ŞİMŞEK ve Sayın Doç. Dr. Yüksel ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Fen Fakültesi Fizik Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Abdülmecit TÜRÜT ve tüm Fizik Bölümü elemanlarına sağlamış oldukları kolaylıklardan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında teşvik ve desteklerinden dolayı değerli aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Fatih TURHAN

Haziran 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET..... i
ABSTRACT..... ii
TEŞEKKÜR..... iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ..... vi
ŞEKİLLER DİZİNİ..... vii
ÇİZELGELER DİZİNİ..... x
1. GİRİŞ..... 1
2. KURAMSAL TEMELLER..... 7
2.1. X-Işınlar..... 7
2.2. X-Işınlarının Üretilmesi..... 8
2.2.1. Sürekli X-ışınları..... 8
2.2.2. Karakteristik X-ışınları..... 9
2.3. Seçim Kuralları..... 13
2.4. Tesir Kesiti..... 14
2.5. Floresans Verim, Auger Olayı ve Coster-Kronig Geçişleri..... 17
2.6. Seviye Genişliği..... 23
2.7. Tabakalar Arası Boşluk Transferi..... 27
3. MATERYAL ve YÖNTEM..... 30
3.1. Yarı İletken Dedektörler..... 30
3.2. Sayma Sistemi..... 32
3.2.1. Yüksek voltaj kaynağı..... 33
3.2.2. Ön yükseltici..... 34
3.2.3. Yükseltici..... 34
3.2.4. Analog sayısal dönüştürücü 34
3.2.5. Çok kanallı analizör 35
3.3. Numunelerin Hazırlanması..... 35
3.4. Ölçme Sistemi ve Deney Geometrisi..... 36

3.5. $I_0 G\varepsilon$ Tayini ve L X-Işını Floresans Tesir Kesitlerinin Hesaplanması…..... 38
3.6. L X-Işını Floresans Tesir Kesitlerinin Teorik Olarak Hesaplanması……..... 40
3.7. L Alt Tabaka Floresans Verim, Seviye Genişlikleri ve Işımalı Boşluk Geçiş İhtimaliyetlerinin Hesaplanması…… 44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ……..…….....**.** 47
4.1. L Alt Tabaka Floresans Tesir Kesitleri ve Floresans Verimlerinin Araştırma Bulguları…… 47
4.2. L Alt Tabaka Seviye Genişlikleri Araştırma Bulguları…… 60
4.3. L Alt Tabaka Işımalı Boşluk Geçiş İhtimaliyetleri Araştırma Bulguları…… 64
5. TARTIŞMA ve SONUÇ……..…… 94
5.1. L Tabakası X-Işını Floresans Tesir Kesitleri ve L Alt Tabaka Floresans Verimleri…… 94
5.2. L Alt Tabaka Seviye Genişlikleri…… 96
5.3. L_i Alt Tabakalarından M, N ve O Alt Tabakalarına Işımalı Boşluk Geçiş İhtimaliyetleri…… 97
KAYNAKLAR…….....**.** 100
ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Γ_A	Auger Kısmi Genişliği
a	Auger Verimi
n	Baş Kuantum Sayısı
η	Boşluk Geçiş İhtimaliyeti
Γ_{CK}	Coster-Kronig Kısmi Genişliği
f	Coster-Kronig Verim
ε	Dedektör Verimi
ω	Floresans Verim
G	Geometrik Faktör
F_i	Işımalı Geçiş Hızı İhtimaliyeti
Γ_R	Işımalı Kısmi Genişlik
t	Numune Kalınlığı
θ_i	Numune Yüzeyi İle Fotonların Gelme Doğrultusu Arasındaki Açı
θ_e	Numuneden Yayımlanan Karakteristik X-Işınların Dedektöre Gelme Doğrultusu ile Numune Yüzeyi Arasındaki Açı
μ_i	Numuneye Gelen Fotanlar İçin Kütle Azaltma Katsayısı
μ_e	Numuneden Yayımlanan Fotonlar İçin Kütle Azaltma Katsayısı
π	Parite
h	Planck Sabiti
τ	Seviye Ömrü
β	Öz Soğurma Düzeltme Faktörü
σ	Tesir Kesiti
j	Toplam Yörünge Kuantum Sayısı
Γ	Toplam Seviye Genişliği
I_0	Uyarıcı Radyasyonun Şiddeti
l	Yörünge Kuantum Sayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum……. 8
Şekil 2.2. Sürekli X-ışını oluşum mekanizması……. 9
Şekil 2.3. Uyarma ve yayımlama modeli……..... 10
Şekil 2.4. Bir atomda ilgili elektron geçişler sonucunda yayımlanan karakteristik *K, L* ve *M* tabakaları X-ışınları…… 12
Şekil 2.5. Tesir kesiti ile gelen demetin şiddeti arasındaki ilişki ve tesir kesitinin geometrik yorumu……..... 15
Şekil 2.6. Floresans olayı ve Auger olayı……..... 23
Şekil 2.7. K tabakası seviye genişliğinin atom numarasıyla değişimi…..... 26
Şekil 2.8. Atom numarasının fonksiyonu olarak L_1,L_2 ve L_3 alt tabaka seviye genişlikleri……..…….....…… 27
Şekil 3.1. Si(Li) katıhal dedektörünün şematik gösterimi…….. 31
Şekil 3.2. Sayma sistemi…….....…… 33
Şekil 3.3. Deney geometrisi……..…….. 37
Şekil 3.4. Kurşun'un tipik L X-ışını spektrumu…… 37
Şekil 3.5. Enerjinin fonksiyonu olarak $I_0 G\varepsilon$'nun değişimi……..... 40
Şekil 4.1. *Ll* X-ışını floresans tesir kesitlerinin atom numarası ile değişimi……. 52
Şekil 4.2. $L\alpha$ X-ışını floresans tesir kesitlerinin atom numarası ile değişimi…… 52
Şekil 4.3. $L\beta$ X-ışını floresans tesir kesitlerinin atom numarası ile değişimi…..... 53
Şekil 4.4. $L\gamma$ X-ışını floresans tesir kesitlerinin atom numarası ile değişimi…..... 53
Şekil 4.5. ω_1, *L* alt tabaka floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi….. 57
Şekil 4.6. ω_1, L alt tabaka floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi….. 57
Şekil 4.7. ω_2, *L* alt tabaka floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi….. 58
Şekil 4.8. ω_2, *L* alt tabaka floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi….. 58
Şekil 4.9. ω_3, *L* alt tabaka floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi….. 59
Şekil 4.10. ω_3, *L* alt tabaka floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi….. 59
Şekil 4.11. Γ_1, *L* alt tabaka seviye genişliklerinin atom numarası ile değişimi…... 63
Şekil 4.12. Γ_2, *L* alt tabaka seviye genişliklerinin atom numarası ile değişimi…... 63
Şekil 4.13. Γ_3, *L* alt tabaka seviye genişliklerinin atom numarası ile değişimi… 64
Şekil 4.14. $\eta_{L_1M_2}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi…….. 70
Şekil 4.15. $\eta_{L_1M_3}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……..……. 70
Şekil 4.16. $\eta_{L_1N_2}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi…….. 71
Şekil 4.17. $\eta_{L_1N_3}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi…… 71
Şekil 4.18. $\eta_{L_1O_{2,3}}(R)$,ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……. 72
Şekil 4.19. $\eta_{L_2M_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……. 79
Şekil 4.20. $\eta_{L_2M_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……. 79
Şekil 4.21. $\eta_{L_2N_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile

değişimi……. 80
Şekil 4.22. $\eta_{L_2N_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……. 80
Şekil 4.23. $\eta_{L_2O_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……. 81
Şekil 4.24. $\eta_{L_2O_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……. 81
Şekil 4.25. $\eta_{L_3M_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……. 90
Şekil 4.26. $\eta_{L_3M_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……... 90
Şekil 4.27. $\eta_{L_3M_5}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……. 91
Şekil 4.28. $\eta_{L_3N_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi…….. 91
Şekil 4.29. $\eta_{L_3N_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi…… 92
Şekil 4.30. $\eta_{L_3N_5}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……..... 92
Şekil 4.31. $\eta_{L_3O_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……..... 93
Şekil 4.32. $\eta_{L_3O_{4,5}}(R)$,ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi……. 93

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	X-ışını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri……..	11
Çizelge 2.2.	Atomik geçişlerde seçim kuralları…….....	13
Çizelge 3.1.	Tez çalışmasında kullanılan elementler ve özellikleri……...	36
Çizelge 3.2.	L alt tabaka fotoelektrik tesir kesiti, Coster-Kronig geçiş ihtimalleri ve floresans verimleri…….	43
Çizelge 3.3.	K tabakası fotoelektrik tesir kesiti ve boşluk geçiş ihtimalleri……..	43
Çizelge 4.1.	59,54 keV'lik uyarma enerjisi için *Ll* X-ışını floresans tesir kesitleri..	48
Çizelge 4.2.	59,54 keV'lik uyarma enerjisi için $L\alpha$ X-ışını floresans tesir kesitleri.	49
Çizelge 4.3.	59,54 keV'lik uyarma enerjisi için $L\beta$ X-ışını floresans tesir kesitleri..	50
Çizelge 4.4.	59,54 keV'lik uyarma enerjisi için $L\gamma$ X-ışını floresans tesir kesitleri…	51
Çizelge 4.5.	ω_1, L alt tabaka floresans verimleri…….....	54
Çizelge 4.6.	ω_2, L alt tabaka floresans verimleri…….....	55
Çizelge 4.7.	ω_3, L alt tabaka floresans verimleri…….....	56
Çizelge 4.8.	Γ_{L_1}(eV), L alt tabaka seviye genişlikleri…….	60
Çizelge 4.9.	Γ_{L_2}(eV), L alt tabaka seviye genişlikleri……..	61
Çizelge 4.10.	Γ_{L_3} (eV), L alt tabaka seviye genişlikleri…….	62
Çizelge 4.11.	$\eta_{L_1M_2}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri…….	65
Çizelge 4.12.	$\eta_{L_1M_3}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri…….	66
Çizelge 4.13.	$\eta_{L_1N_2}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri……	67
Çizelge 4.14.	$\eta_{L_1N_3}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri……	68
Çizelge 4.15.	$\eta_{L_1O_{2,3}}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri…….....	69
Çizelge 4.16.	$\eta_{L_2M_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri……	73
Çizelge 4.17.	$\eta_{L_2M_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri…….	74
Çizelge 4.18.	$\eta_{L_2N_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri…….	75
Çizelge 4.19.	$\eta_{L_2N_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri…….	76
Çizelge 4.20.	$\eta_{L_2O_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri……	77
Çizelge 4.21.	$\eta_{L_2O_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri……	78
Çizelge 4.22.	$\eta_{L_3M_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri……	82
Çizelge 4.23.	$\eta_{L_3M_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri……	83
Çizelge 4.24.	$\eta_{L_3M_5}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri……	84
Çizelge 4.25.	$\eta_{L_3N_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri……	85
Çizelge 4.26.	$\eta_{L_3N_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri……..……	86
Çizelge 4.27.	$\eta_{L_3N_5}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri……	87
Çizelge 4.28.	$\eta_{L_3O_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri……	88
Çizelge 4.29.	$\eta_{L_3O_{4,5}}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri…….....	89

1. GİRİŞ

X-ışını floresans (XRF) tekniği, periyodik tablodaki elementlerin hemen hemen hepsinin kalitatif ve kantitatif analizlerini tahribatsız olarak yapılması imkanını sağlayan ve elementlerin miktarlarını milyonda bir oranında hassasiyetle belirlemede kullanılan metodlardan biridir. XRF tekniği yüksek hassasiyet, otomasyon kolaylığı, değişik formlarda numune hazırlayabilme, numune hazırlamak için çok az miktarda örnek gereksinimi ve analiz süresinin kısalığı gibi avantajlarından dolayı bilim ve teknolojide yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Enerji ayrımlı X-ışını floresans spektroskopi (EDXRFS) diğer spektroskopi yöntemlerine göre daha kullanışlı ve maliyeti düşük olduğundan dolayı, yaygın olarak tercih edilen XRF metodudur. EDXRF spektrometreler; boşluk geçiş ihtimaliyetleri, şiddet oranları, floresans verim, floresans tesir kesiti ve seviye genişliği gibi parametrelerin belirlenmesi için oldukça kullanışlıdır.

Atomun iç tabakalarında bir boşluk oluşturduktan sonraki temel duruma geçme (de-excitation) süreci ya ışımalı (radiative) ya da ışımasız (Auger veya Coster-Kronig) süreçlerle meydana gelir. Oluşturulan boşluğun sonlu bir τ_i yaşam süresi olduğundan dolayı sonraki de-eksitasyon süreci hemen gerçekleşmez. Bu sonlu (belirsiz) yaşam süresi uyarılmış atomda Γ_i atomun seviye genişliği ile ilgilidir. De-eksitasyon süreçlerinin bağımsız olduğu varsayılırsa toplam seviye genişliği $\Gamma_i = \Gamma(R)+\Gamma(A)+\Gamma(CK)$ şeklinde ifade edilebilir. Burada $\Gamma(R)$, $\Gamma(A)$ ve $\Gamma(CK)$ bahsedilen üç süreç için kısmı seviye genişliklerini ifade eder (Deutsch *et al*. 1995). Toplam genişlik, ilgili seviyedeki tek bir boşluk için çeşitli de-eksitasyon süreçlerinin hızları ile belirlenen doğal seviye genişliği olarak da tanımlanabilir (Rahkonen and Krause 1974). Tabaka veya alt tabakanın floresans verimi ise $\omega_i = \Gamma(R)/\Gamma_i$ şeklide ifade edilir. De-eksitasyon sürecinde başlangıçta alt tabakadaki boşluk son durumda üst tabakalara aktarılmış olur. Böylece atomun seviye genişliği Γ_i ve seviye ömrü τ_i belirlenmiş olur. Bir X-ışını emisyon çizgisinin çizgi genişliği ise $\Gamma_X = \Gamma_i+\Gamma_f$ bağıntısıyla ifade edilir.

Burada Γ_i atom uyarılmış durumda iken boşluğun bulunduğu seviyenin genişliği, Γ_f ise de-eksitasyon sürecinden sonra boşluğun bulunduğu seviyenin genişliğidir. Atomik seviye genişliği ile ilgili güvenilir veriler floresans verim, Auger verimi, Coster-Kronig verim, ışımalı ve ışımasız boşluk geçiş ihtimalleri, soğurma kıyısı ve seviye ömürleri gibi floresans parametrelerin belirlenmesi için oldukça önemlidir. Bu parametrelerin tam olarak bilinmesi nükleer fiziğin temel çalışmalarında, element analizleri, kanser terapisi, atom ve molekül fiziği, tarım, adli tıp ve radyasyon fiziği gibi pek çok alanda gerekli ve önemlidir.

Bir atomun iç veya alt tabakalarından birinde oluşan boşluk çeşitli metotlar ile meydana getirilebilir ve foto-iyonizasyon bu yollardan biridir. Işımalı süreçte üst tabakadaki bir elektron alt tabakaya geçer ve buradan bir X-ışını yayımlanır. Oluşturulan boşluk başına yayımlanan X-ışınının sayısı floresans verim olarak adlandırılır (Bennal *et al.* 2006).

X-ışını floresans tesir kesiti, uyarıcı radyasyon başına hedef atomların ilgilenilen karakteristik X-ışınlarının yayımlanması ihtimaliyetinin bir ölçüsü olup, ilgilenilen tabakanın floresans verimi ve foto-iyonizasyon tesir kesitinin çarpımı olarak tanımlanabilir. Tesir kesiti göz önüne alınan numuneye ve elemente bağlı olduğu kadar gelen radyasyonun enerjisine de bağlıdır.

Literatürde *L* tabakasına ait tesir kesiti ve alt tabaka floresans verim ifadeleri ile ilgili çalışmalara oldukça sık rastlanmaktadır. Bunun temel sebebi ise kullanılan radyoaktif kaynakların, peryodik tablodaki çoğu elementin *L* tabakasını uyarabilecek enerjiye sahip olmasıdır. Ayrıca gelişen dedektör teknolojisi de ilgili elementin *L* alt tabakalarının daha kolay ayrılabilmesine yardımcı olmaktadır.

Bir grup araştırmacı tarafından yapılan çalışmaların bir kısmında 5,96-123,6 keV arasındaki değişik uyarma enerjilerinde $40 \leq Z \leq 92$ arasındaki bazı elementler için *Ll*, *Lα*, *Lβ* ve *Lγ* X-ışını tesir kesitleri σ_{Li} (*i=l, α, β, γ*) deneysel olarak bulunmuştur (Doğan *et al*. 1997; Tıraşoğlu *et al.* 2001; Ertuğrul 2001,2002a; Küçükönder *et al*. 2004; Apaydın

2006; Demir *et al.* 2008; Han *et al.* 2010a, Kaçal *et al.* 2011). Bir grup araştırmacı da 8–59,54 keV arasındaki değişik uyarma enerjilerinde atom numarası $57 \leq Z \leq 92$ arasındaki bazı elementler için *L* tabakası tesir kesitlerini ikincil uyarıcı kullanarak hesaplamışlardır (Singh *et al.* 1987; Mann *et al.* 1994; Raùl and Bonzi 2000; Baştuğ *et al*. 2004; Mandal *et al.* 2005; Santra *et al.* 2007; Baştuğ 2008).

Chen *et al.* (1980), Petrini (1981), Bhalla (1983), Karim *et al.* (1986) ve Puri *et al.* (1993a) çeşitli elementlere ait *K* tabakası, *L* tabakası ortalama ve *L* alt tabakalarına ait floresans verim ve ışımasız geçiş ihtimaliyetlerini teorik olarak hesaplamışlardır. Krause (1979) atom numarası $12 \leq Z \leq 110$ arasındaki bütün elementler için Li (i= 1, 2, 3) alt tabaka X-ışını floresans verimleri, Auger verimleri ve Coster- Kronig geçiş ihtimallerini literatürde sunmuştur. Campbell (2003) literatürden elde ettiği deneysel floresans verim ve Coster-Kronig geçiş ihtimallerini tek bir makalede toplamış ve bazı elementler için bu parametleri yeniden hesaplamıştır. Dirac-Hartree-Slater modeli ile hesaplanan bu parametreler üzerinden elde edilen grafiklerden tavsiye edilen floresans verim ve Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetlerini elde etmiş ve tablolar halinde sunmuştur. Ertuğrul (1998), Öz *et al.* (2000), Şahin *et al.* (2000), Durak and Özdemir (2001), Kaya and Ertuğrul (2003), Singh *et al.* (2003), Özdemir and Durak (2003), Han *et al.* (2007), Chauhan *et al.* (2008), Söğüt *et al.* (2009) atom numarası $55 \leq Z \leq 92$ aralığındaki bazı elementler için *L* alt tabaka floresans verim değerlerini ölçmüş, literatürde mevcut olan teorik ve deneysel değerlerle karşılaştırmışlardır. Bir grup araştırmacı tarafından yapılan çalışmaların bir kısmında atom numarası $40 \leq Z \leq 92$ arasındaki elementler için farklı uyarma enerjilerinde *L* tabakası ortalama floresans verim değerleri belirtilmiştir (N. Singh *et al.* 1983; I. Singh et al. 1985; S. Singh *et al.* 1990; Garg *et al.* 1992; Rao *et al.* 1995; Şimşek *et al.* 1999; Özdemir 1998, Durak and Özdemir 2000). Ertuğrul (2002b) atom numarası $57 \leq Z \leq 68$ aralığındaki bazı elementler için 59,5 keV'de L_3 alt tabaka floresans verimlerini ve X-ışını üretim tesir kesitlerini hesaplamıştır. Rb, Nb ve Mo *K* X-ışınları kullanılarak Pb, Th ve U için L_3 alt tabaka X-ışını üretim tesir kesitleri ve floresans verimlerini hesaplanmıştır (Şimşek 2000). Özdemir (2004) atom numarası $55 \leq Z \leq 92$ arasındaki bazı elementler için *L* alt tabaka floresans verim oranlarını (ω_1/ω_2, ω_1/ω_3, ω_2/ω_3) 100 mCi'lik Am-241 nokta kaynaktan yayımlanan 59,54 keV'lik gama

ışınlarıyla kullanılarak elde etmiştir. Puri and Singh (2006) $70 \leq Z \leq 92$ arasındaki elementler için *L* alt tabaka floresans verimlerini ve Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetlerini belirtmişlerdir. Badiger and Bonzi (2006) 7 keV'de sinkrotron radyasyonuyla Ba, La, Pr elementlerini uyararak *L* alt tabaka floresans verim değerlerini hesaplamışlardır.

Literatürde *L* tabakasına ait tesir kesitleri ve alt tabaka floresans verimleri ifadeleri ile ilgili çalışmalara oldukça sık rastlanmasına rağmen seviye genişlikleri ile ilgili deneysel çalışmalar sınırlıdır. X-ışını floresans spektroskopi yöntemlerinde gelişen dedektör teknolojisi ve kullanılan radyoizotop kaynakların peryodik tablodaki elementlerin hemen hemen hepsini uyarabilmesi bizi bu konuda araştırmaya yapmaya teşvik etmiştir.

Rahkonen and Krause (1974) *K, L, M, N* tabakaları için atom numarası $4 \leq Z \leq 120$ arasındaki elementler için kısmi ve toplam seviye genişliklerini teorik olarak hesaplayıp grafiklerini literatürde sunmuşlardır. Krause and Oliver (1979) atom numarası $10 \leq Z \leq 110$ arasındaki elementler için *K* (Γ_K) ve *L* (Γ_L) seviyeleri seviye genişliklerini yarı deneysel olarak tayin etmişlerdir. Chen *et al.* (1981) atom numarası $18 \leq Z \leq 100$ arasındaki bazı elementler için *L* tabakası floresans verimleri, Coster-Kronig verimleri, Auger genişliği ve seviye genişliklerini teorik olarak belirlemişlerdir. Deutsch *et al.* (1995) bakır için *K* tabakası çizgi ve seviye genişliklerini kullanarak $L_{2,3}$ ve $M_{2,3}$ seviye genişlikleri ve floresans verimlerini hesaplamışlardır. Raboud *et al.* (1999) geçiş-tipi ve yansıma-tipi eğri kristal spektrometreler ile Th ve U için L_1-N_5 atomik seviye genişlikleri ölçmüşlerdir. Campbell and Papp (2001) literatürden elde ettiği deneysel ve teorik, çizgi ve seviye genişliği verilerini bir makalede toplamışlardır. Ertuğrul (2002c) 59,54 keV'lik fotonlarla U ve Th elementleri için bazı atomik tabakaların floresans verim ve seviye genişliklerini hesaplamıştır. Raboud *et al.* (2002) geçiş-tipi ve yansıma-tipi eğri kristal spektrometreler ile atom numarası $62 \leq Z \leq 83$ arasındaki bazı elementler için L_1-$M_{4,5}$ atomik seviye genişlikleri ölçmüşlerdir. Demir and Şahin (2007) dış manyetik alanda Gd, Dy, Hg ve Pb elementleri için 59,54 keV'lik fotonlarla L_3 alt tabaka floresans verimleri ve seviye genişliklerini tayin etmişlerdir.

Yukarıda bahsedildiği gibi atomik seviye genişliği ile ilgili güvenilir veriler ışımalı ve ışımasız boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin hesaplanmasında oldukça önemlidir. Seviye genişliği parametreleri kullanılarak teorik ve deneysel boşluk geçiş ihtimaliyetleri hesaplanabileceği gibi literatürde mevcut olan deneysel boşluk geçiş ihtimaliyetleri şiddet oranlarından da hesaplanabilir.

Ertuğrul *et al.* (1997), Durak and Özdemir (1998), Ertuğrul (2002d), Çalışkan *et al.* (2002), Bennal and Badiger (2006), Bennal *et al.* (2010) atom numarası $41 \leq Z \leq 92$ arasındaki bazı elementler ve bu elementlerin bazı bileşikleri (Cengiz *et al.* 2011) için 59,54-123,6 keV arasındaki değişik uyarma enerjilerinde *K* tabakasından *L* alt tabakaları ve *M* tabakasına ışımalı, ışımasız ve toplam boşluk geçiş ihtimaliyetlerini deneysel olarak hesaplamış ve literatürdeki mevcut olan deneysel ve teorik değerlerle karşılaştırmışlardır. Han and Demir (2010b) Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu elementleri ve Fe_xNi_{1-x}, Fe_xCr_{1-x}, Ni_xCr_{1-x}, $Fe_xCr_yNi_{1-(x+y)}$, Ti_xNi_{1-x}, Ti_xCo_{1-x}, Co_xCu_{1-x} alaşımları için 10 mCi'lik Cd-109 radyoaktif kaynağından yayımlanan 22,69 keV'lik fotonlarla *K* tabakasından *L* tabakasına boşluk geçiş ihtimaliyetlerini (η_{KL}) hesaplamıştır. Söğüt (2006) Cr_xNi_{1-x} ve Cr_xAl_{1-x} alaşımları için Am-241 radyoaktif kaynağından yayımlanan 59.54 keV'lik fotonlarla *K* tabakasından *L* ve *M* tabakalarına (η_{KL}, η_{KM}) boşluk geçiş ihtimaliyetlerini deneysel olarak tayin etmiştir. Bir grup araştırmacı tarafından yapılan çalışmaların bir kısmında atom numarası $74 \leq Z \leq 92$ arasındaki bazı elementler için farklı uyarma enerjilerinde *L* alt tabakalarından *M* ve *N* tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri hesaplanmıştır (Şimşek 2002, Sharma *et al.* 2005, Bonzi 2006). Özdemir *et al.*(2005) 120^o ile 150^o arasında 7 farklı açıda Fe-55 radyoizotop nokta kaynağından yayımlanan 5,96 keV'lik fotonlarla ve Zn, Ga, Ge, As elementlerinin K X-ışınlarından faydalanarak atom numarası $71 \leq Z \leq 78$ arasındaki bazı elementler için L_3 alt tabakasından *M* tabakasına boşluk geçiş ihtimaliyetlerini literatürde sunmuşlardır. Doğan and Ertuğrul (2004) ve Tuzluca *et al.* (2008) atom numarası $72 \leq Z \leq 92$ arasındaki bazı elementler, Cengiz *et al.* (2010) atom numarası $73 \leq Z \leq 78$ arasındaki elementler ve bazı bileşikleri için Am-241 radyoaktif kaynağından yayımlanan 59,54 keV'lik fotonlarla L_3 alt tabakasından *M, N, O* tabakalarına ve alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerini hesaplamışlardır.

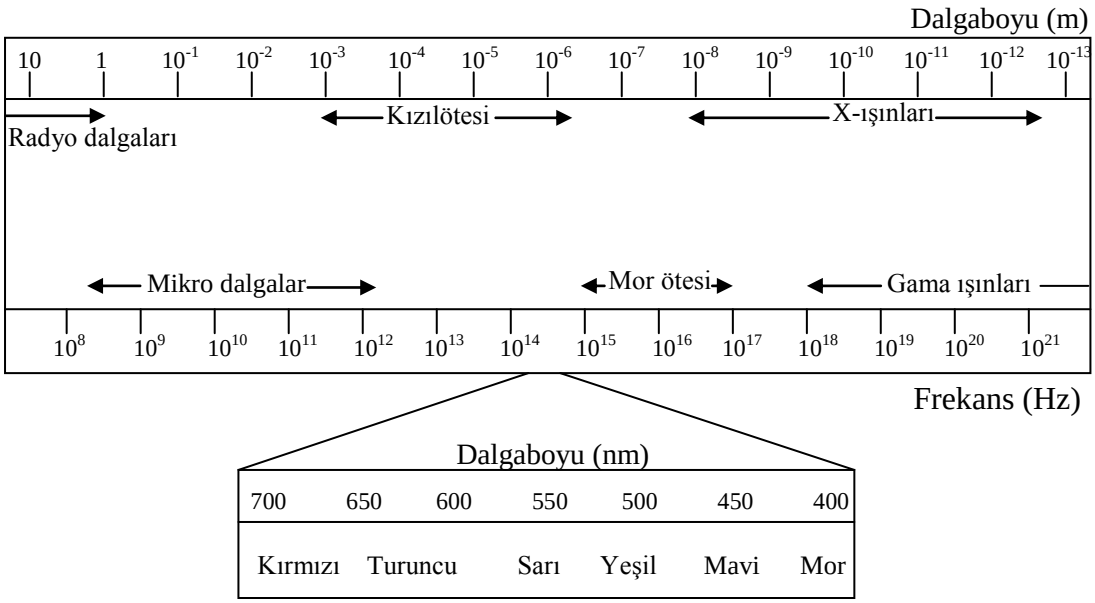
Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma, EDXRF metodu ile Am-241 radyoaktif kaynağından yayımlanan 59,54 keV'lik fotonlarla $67 \leq Z \leq 83$ arasındaki bazı elementler uyarılmış ve elde edilen karakteristik L X-ışını pikleri ile *L* alt tabaka seviye genişlikleri Γ_{Li} (i= 1, 2, 3) uygun geometride incelenmiştir. Seviye genişliği değerlerinin hesaplanması için *L* tabakası floresans tesir kesitleri σ_{Li} ($i=l, \alpha, \beta, \gamma$) ve *Li* ($i$= 1, 2, 3) alt tabaka floresans verimleri ω_i (i= 1, 2, 3) hesaplanmış, elde edilen seviye genişliği değerlerinden ise *Li* (i= 1, 2, 3) alt tabakalarından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimalleri hesaplanmıştır. Birinci bölümde konuyla ilgili genel literatür taraması, ikinci bölümde kuramsal temeller, üçüncü bölümde materyal ve yöntem, dördüncü bölümde alınan ölçüm sonuçlarının verildiği araştırma bulguları, beşinci bölümde ise alınan ölçümlerin değerlendirildiği tartışma ve sonuç bölümü yer almaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. X-Işınları

X-ışınları Roentgen tarafından 1895 yılında bulunmuştur. X-ışınlarının dalgalı yapıda oldukları 1912 yılında Laue'nin kristallerdeki kırınım deneyleri ile ortaya konulmuştur. Barkla deneyi ile X - ışınlarının polarize edilebilmesi, bunların ışık ışınları gibi enine dalgalar olduğunu ortaya koymuştur.

Elektromanyetik yayımlama kaynağına göre yapılan sınıflandırmada gama (γ) ışınlarından radyo dalgalarına kadar yayılmış sürekli ışıma dizisine elektromanyetik spektrum denir (Şekil 2.1). Elektromanyetik ışımaların fiziksel özellikleri bütün spektrumda aynıdır. Aynı hız ve aynı elektromanyetik tabiata sahip olan bu ışımalar arasındaki fark dalga boyları veya frekanslarıdır. Spektrumda dalga boyları 0,01'den 100 Å'a kadar olan elektromanyetik ışımalar X-ışınları kategorisine girer. Elektromanyetik spektrumun yüksek enerjili kısmına düşen bu kategorinin sınırları keskin değildir, kısa dalga boyu ucu gama ışınları ile uzun dalga boyu ucu ise morötesi ışıkla çakışır. Görünür ışığa kıyasla 10^{-4} kat daha küçük dalga boyuna sahip olan X-ışınları, görünür ışıktan 10^{4} kat daha enerjiktirler.



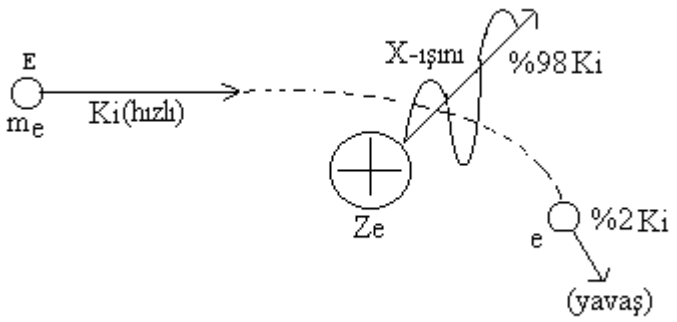
Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum.

2.2 X-Işınlarının Üretilmesi

X-ışınları, nitelik itibariyle sürekli X-ışınları ve karakteristik (veya çizgi) X-ışınları olmak üzere iki grupta incelenebilirler.

2.2.1. Sürekli X-ışınları

Sürekli X-ışınları; elektronlar, protonlar veya α parçacıkları gibi yüksek enerjili, yüklü parçacıkların ağır çekirdeklerin Coulomb alanından geçerken enerji kaybetmeleri bir başka deyişle nükleer saçılmalarla hedef içerisinde adım adım yavaşlatılmaları sonucu meydana gelirler. Sürekli X-ışınlarının oluşumu Şekil 2.2'de şematik olarak gösterilmiştir.



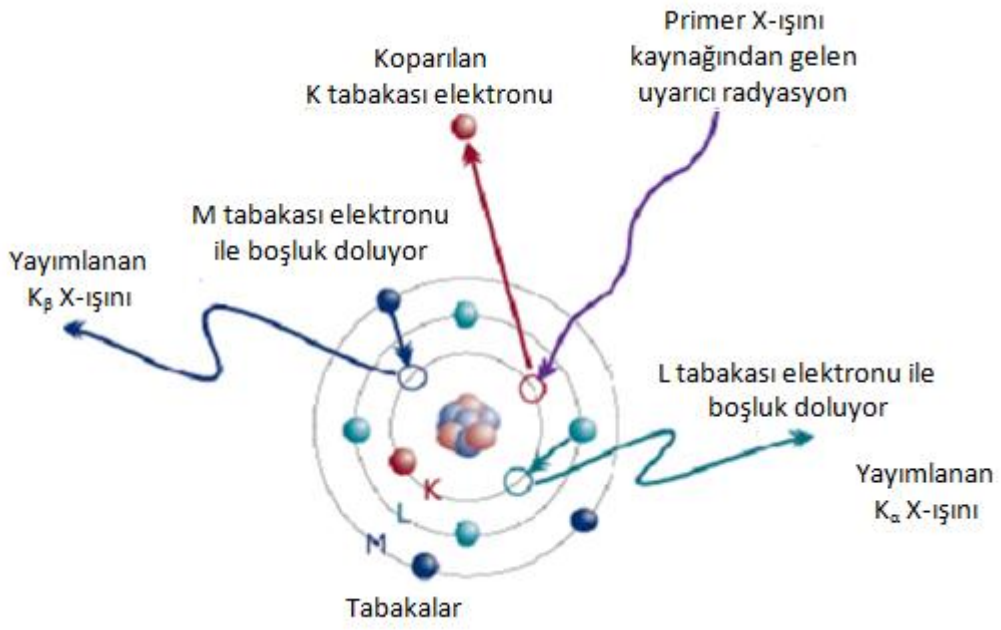
Şekil 2.2. Sürekli X-ışını oluşum mekanizması.

2.2.2. Karakteristik X-ışınları

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

Atomlar, elektron yörüngeleri arasındaki enerji farkına eşit enerjiyi soğurarak veya yayımlayarak kuantum mekaniği ile açıklanabilen izinli yörüngeler arasında geçişler yapabilirler. Atomun enerji soğurarak elektronun üst seviyelere çıkmasına uyarma (excitation), uyarılmış atomun enerji yayımlayarak temel hale geçmesi ise uyarılmışlıktan kurtulma (de-excitation) olarak adlandırılır. De-excitation tek bir

basamakta olabileceği gibi birkaç basamakta da olabilir ve her bir geçişte seviyeler arası enerji farkına eşit değerde enerji taşıyan bir foton (karakteristik X-ışını) yayımlanır. Bunlar spektrumda karakteristik çizgiler denilen $K\alpha, K\beta$, $L\ell$, $L\alpha$, $L\beta$, $L\eta$, $L\gamma$, $M\alpha$, $M\beta$... çizgilerini oluştururlar. Bir uyarma işlemi sonucunda meydana gelebilecek geçişlerin temsili gösterimi Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Uyarma ve yayımlama modeli.

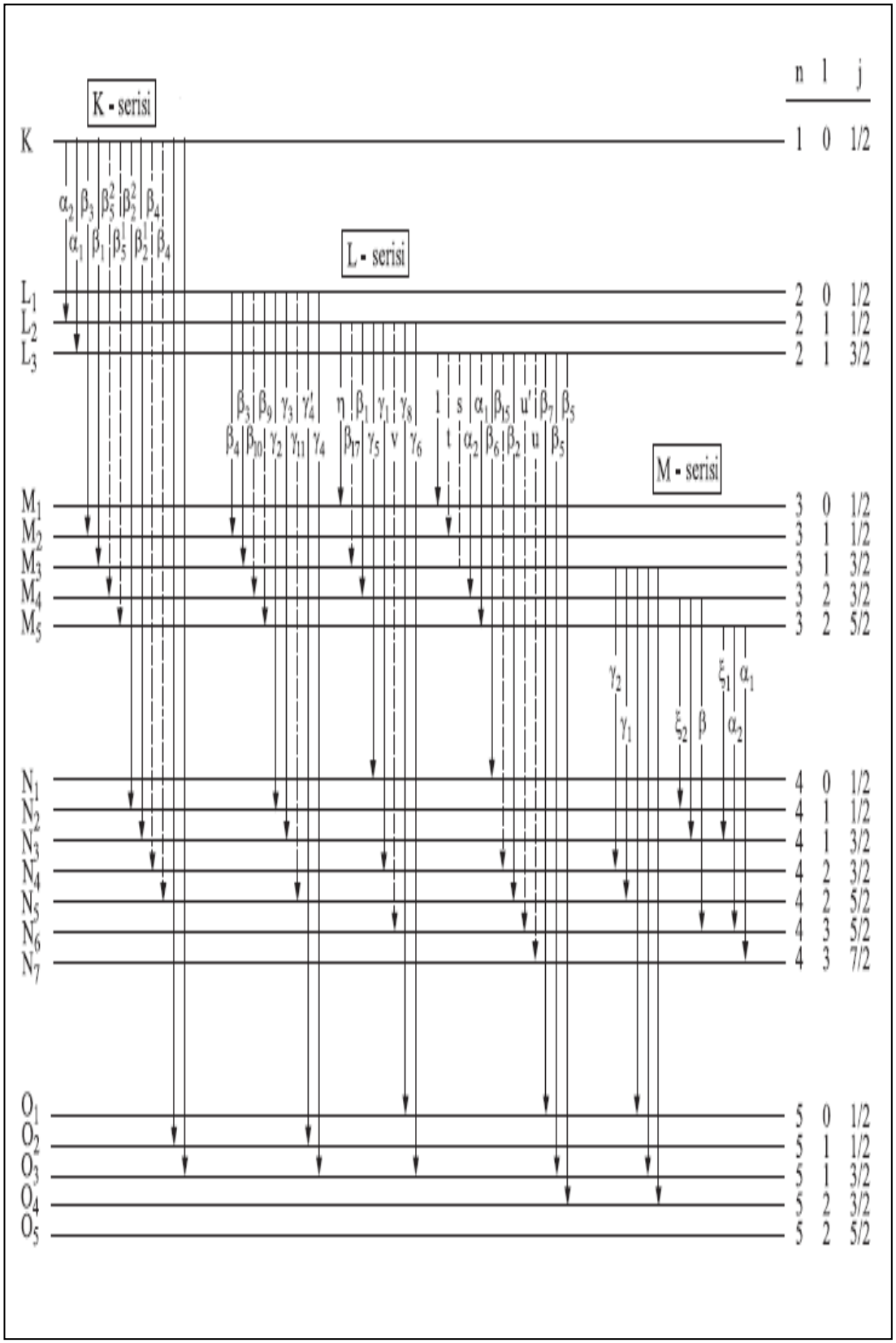
Bir atomun K tabakasında meydana getirilen elektron boşluğu şayet L tabakasında bulunan bir elektron tarafından doldurulacak olursa, böyle bir elektron geçişi sonucunda yayımlanan fotonun frekansı, karakteristik spektrumunun $K\alpha$ çizgisine karşılık gelir. K tabakasındaki boşluk M tabakasındaki bir elektron tarafından doldurulursa $K\beta$ çizgisi, N tabakasındaki elektronlardan biri tarafından doldurulursa $K\gamma$ çizgisine karşılık gelen fotonlar yayımlanır. Şayet hedef metal üzerine çarpan elektronların enerjileri K tabakasından elektron sökecek kadar büyük değilse, L, M, N,... tabakalarından birinden bir elektron sökülebilir ve bu kez K tabakasına benzer olarak L tabakasında meydana gelen boşluğun M, N,... tabakalarındaki elektronlarla doldurulması esnasında $L\ell$, $L\alpha$, $L\beta$, $L\gamma$ ışınları, M tabakası için $M\alpha$, $M\beta$, $M\gamma$,... ve N

tabakası için $N\alpha$, $N\beta$, $N\gamma$, … çizgileri kısaca L, M ve N serileri ortaya çıkmış olur. Herhangi bir tabaka veya alt tabakadaki bir boşluk üst tabakalardan bir elektron ile doldurulduğu zaman yayımlanan X-ışınlarının Siegbahn ve IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) gösterimleri Çizelge 2.1'de, ilgili elektron geçişleri sonucunda *K* ve *L, M* tabakalarından yayımlanan karakteristik X-ışınları Şekil 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. X-ışını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri.

Siegbahn	**IUPAC**	**Siegbahn**	**IUPAC**	**Siegbahn**	**IUPAC**	**Siegbahn**	**IUPAC**
$K\alpha_1$	$K\text{-}L_3$	$L\alpha_1$	$L_3\text{-}M_5$	$L\gamma_1$	$L_2\text{-}N_4$	$M\alpha_1$	$M_5\text{-}N_7$
$K\alpha_2$	$K\text{-}L_2$	$L\alpha_2$	$L_3\text{-}M_4$	$L\gamma_2$	$L_1\text{-}N_2$	$M\alpha_2$	$M_5\text{-}N_6$
* $K\alpha_3$	$K\text{-}L_1$	$L\beta_1$	$L_2\text{-}M_4$	$L\gamma_3$	$L_1\text{-}N_3$	$M\beta$	$M_4\text{-}N_6$
$K\beta_1$	$K\text{-}M_3$	$L\beta_2$	$L_3\text{-}N_5$	$L\gamma_4$	$L_1\text{-}O_3$	$M\gamma$	$M_3\text{-}N_5$
$K\beta_2'$	$K\text{-}N_3$	$L\beta_3$	$L_1\text{-}M_3$	$L\gamma_4'$	$L_1\text{-}O_2$	$M\xi_1$	$M_5\text{-}N_3$
$K\beta_2''$	$K\text{-}N_2$	$L\beta_4$	$L_1\text{-}M_2$	* $L\gamma_{2,3}'$	$L_1\text{-}N_{4,5}$	$M\xi_2$	$M_4\text{-}N_2$
$K\beta_3$	$K\text{-}M_2$	$L\beta_5$	$L_3\text{-}O_{4,5}$	* $L\gamma_{11}$	$L_1\text{-}N_5$	Mm	$M_1\text{-}N_2$
* $K\beta_4'$	$K\text{-}N_5$	$L\beta_6$	$L_3\text{-}N_1$	$L\gamma_5$	$L_2\text{-}N_1$		
* $K\beta_4''$	$K\text{-}N_4$	$L\beta_7$	$L_3\text{-}O_1$	$L\gamma_6$	$L_2\text{-}O_4$		
* $K\beta_{4x}$	$K\text{-}N_4$	$L\beta_7'$	$L_3\text{-}N_{6,7}$	$L\gamma_8$	$L_2\text{-}O_1$		
* $K\beta_5'$	$K\text{-}M_5$	* $L\beta_9$	$L_1\text{-}M_5$	$L\gamma_8'$	$L_2\text{-}N_6$		
* $K\beta_5''$	$K\text{-}M_4$	* $L\beta_{10}$	$L_1\text{-}M_4$	$L\eta$	$L_2\text{-}M_1$		
		$L\beta_{15}$	$L_3\text{-}N_4$	$L\ell$	$L_3\text{-}M_1$		
		* $L\beta_{17}$	$L_2\text{-}M_3$	* Ls	$L_3\text{-}M_3$		
				* Lt	$L_2\text{-}M_2$		
				* Lu	$L_3\text{-}N_{5,6}$		
				* Lv	$L_2\text{-}N_{6,7}$		

*Gözlenen yasaklı çizgiler.



Şekil 2.4. Bir atomda ilgili elektron geçişler sonucunda yayımlanan karakteristik *K, L* ve *M* tabakaları X-ışınları.

2.3. Seçim Kuralları

Seçim kuralları, atomik ve moleküler spektrumların izahı için oldukça önemlidir. Atomların enerji seviyeleri arasında sadece elektrik dipol geçişlere rastlanmaz. Bunların dışında manyetik dipol, elektrik kuadropol, manyetik kuadrupol ve ışımasız (çarpışmalı) geçişlere de rastlamak mümkündür. Atomik iki enerji seviyesi arasındaki geçişlerden yayımlanan radyasyonun, elektrik ya da manyetik tipte olup olmadığı açısal momentumu ve paritenin korunumundan bulabilir. Parite, bir dalga fonksiyonunun uzayda bir tersinim altındaki davranışını ifade eder. Seçim kurallarında, hangi tipte bir geçişin olduğunu anlamak için açısal momentumun korunumuna ilaveten geçişin ilk ve son enerji seviyelerine göre bağıl paritelerine bakmalıyız. Seviyelere eşlik eden pariteyi π ile gösterirsek, $\pi = (-1)^l$ değerine eşittir ve burada l yörünge açısal momentum kuantum sayısıdır. Paritede değişim olduğu durumlarda $\Delta\pi$ vardır. Seçim kuralları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Atomik geçişlerde seçim kuralları

Elektrik dipol (E1) izinli	**Manyetik dipol (M1) yasak**	**Elektrik kuadrupol (E2) yasak**	**Manyetik kuadrupol (M2) yasak**
$\Delta j=0,\pm1$ ($j=0\leftrightarrow0$ hariç)	$\Delta j=0,\pm1$ ($j=0\leftrightarrow0$ hariç)	$\Delta j=0,\pm1,\pm2$ ($j=0\leftrightarrow0,1;\frac{1}{2}\leftrightarrow\frac{1}{2}$ hariç)	$\Delta j=0,\pm1,\pm2$ ($j=0\leftrightarrow0,1;\frac{1}{2}\leftrightarrow\frac{1}{2}$ hariç)
$\Delta m_l=0,\pm1$	$\Delta m_l=0,\pm1$	$\Delta m_l=0,\pm1,\pm2$	$\Delta m_l=0,\pm1,\pm2$
Parite değişir	Parite değişmez	Parite değişmez	Parite değişir
$\pi_s=-\pi_i$	$\pi_s=\pi_i$	$\pi_s=\pi_i$	$\pi_s=-\pi_i$
$\Delta l=\pm1$, $\Delta n>0$	$\Delta l=0$, $\Delta n=0$	$\Delta l=0,\pm2$, $\Delta n>0$	$\Delta l=\pm1$, $\Delta n>0$

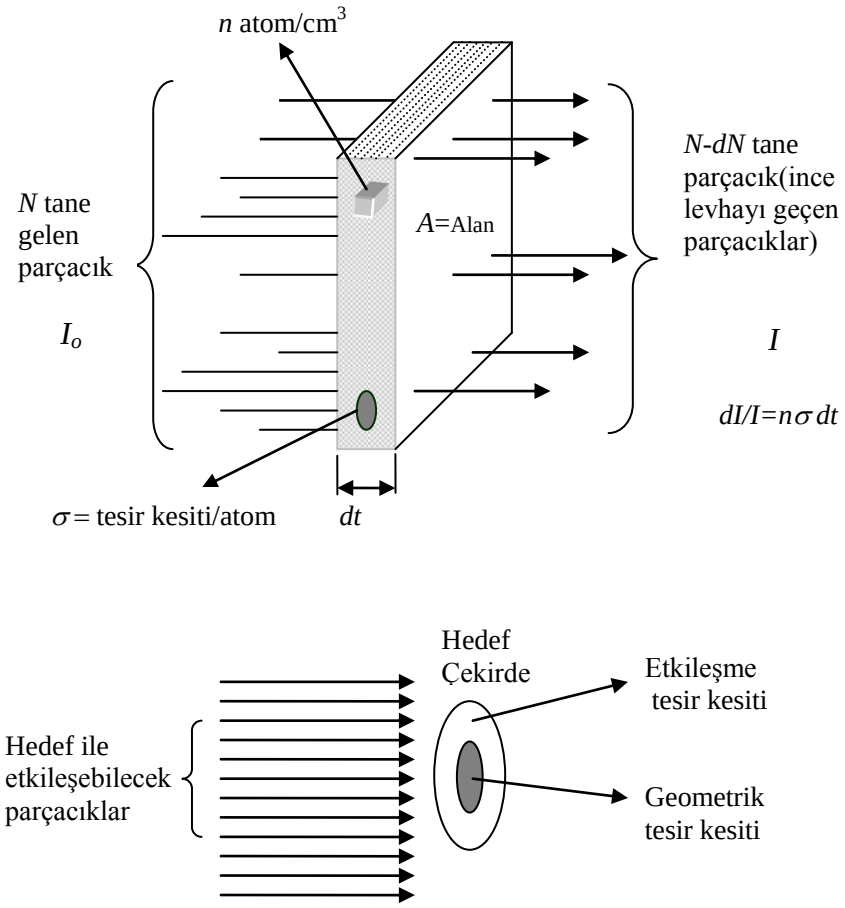
*Tabloda π parite, n baş kuantum sayısı, l yörünge kuantum sayısı, j toplam açısal momentum kuantum sayısı ve m_l manyetik kuantum sayısını belirtmektedir.

2.4. Tesir Kesiti

Bir olayın meydana gelme ihtimalini tanımlayan tesir kesiti kavramı; bir olay için deneysel olarak ölçülebilen değerleri ile onun teorik olarak hesaplanabilen değerlerinin karşılaştırılabilmesine imkân tanıması nedeniyle, atomik süreçlerin ayrıntılı olarak incelenebilmesini sağlar. Tesir kesiti, foton ile madde arasındaki etkileşmenin türüne göre isimlendirilir. Örneğin foton madde tarafından soğuruluyorsa soğurma tesir kesiti, madde tarafından saçılmaya uğratılıyorsa saçılma tesir kesiti olarak isimlendirilir.

A yüzeyine ve *dt* kalınlığına sahip ince bir levha üzerine *I* şiddetiyle gelmekte olan bir foton demetini düşünelim. Bu foton demeti ince levhadan geçerken atomlardan birine çok yaklaşmışsa, bu atom tarafından fotonun soğurulma ya da saçılma ihtimali vardır. σ'nın bir atomu kuşatan etkin alan olduğunu varsayalım. Eğer gelen foton bu alana düşerse foton bu alanla etkileşme yapacaktır. Levhanın birim hacmi başına *n* tane hedef atomu olsun (Şekil 2.5). Levha o kadar ince olsun ki, hiçbir atom öteki atom üzerine binmesin ve böylece her atomun gelen fotonla aynı ölçüde etkileşme ihtimali olsun. Eğer maddenin birim hacminde *n* tane atom varsa *Adt* hacminde *nAdt* tane atom bulunur. Birim yüzeye düşen atom sayısı ise $n \cdot dt$ olur. Bir atomun işlem gördüğü yüzey σ ise *ndt* sayıda atomun işlem gördüğü yüzey $\sigma\, ndt$ olur. Buna göre toplam etkin alan $nA\sigma\, dt$ dir.

n = birim hacimdeki atom sayısı
ndt = birim yüzey başına düşen atom sayısı
nAdt =*Adt* hacmindeki toplam atom sayısı
σ = her bir atomu kuşatan etkin alan
$An\sigma dt$ = toplam etkin alan



Şekil 2.5. Tesir kesiti ile gelen demetin şiddeti arasındaki ilişki ve tesir kesitinin geometrik yorumu.

Toplam etkin alan madde üzerine gelen fotonun maddeyle etkileşmesiyle herhangi bir olayın meydana geldiği alandır. Toplam etkin alanın toplam yüzey alanına oranına etkin alan kesri denir. Etkin alan kesri *F* ile gösterilirse,

$$F = \frac{Toplam\ etkin\ alan}{Toplam\ yüzey\ alanı} = \frac{nA\sigma dt}{A} \tag{2.1}$$

$$F = n\sigma dt \tag{2.2}$$

olur. Bu nicelik *I* şiddetindeki şuanın ince levhadan geçerken şiddetinde meydana gelen değişiklik kesrini temsil eder. Buna göre şiddetteki *dI* değişimi,

$$dI=-(n\sigma dt)I \tag{2.3}$$

ifadesi ile verilir. İfadedeki (-) işareti *t* kalınlığı arttıkça *I* şiddetinin azalacağını gösterir. Bu ifadeden hareketle

$$\frac{dI}{I} = -(n\sigma dt) \tag{2.4}$$

$$I = I_0 \exp(-n\sigma t) \tag{2.5}$$

elde edilir. Gelen şuanın başlangıçtaki şiddeti I_o, şuanın *t* kalınlığındaki malzemeyi geçtikten sonraki şiddeti ise *I* dir. Şuadaki parçacık sayısı şuanın şiddeti ile orantılı olduğundan (2.5) ifadesi parçacıkların sayısı cinsinden,

$$N = N_0 \exp(-n\sigma t) \tag{2.6}$$

şeklinde yazılabilir. Burada N_o, ince levhaya gelen parçacıkların sayısını *N* ise *t* kalınlığındaki levhayı geçen parçacıkların sayısını göstermektedir. Eğer $n\sigma t$ <<1 ise bu durum hem levhanın geometrik olarak çok ince olmasını hem de σ'nın çok küçük olmasını ifade eder. Buna göre $exp(-n\sigma t)$ <<1 ise $exp(-n\sigma t)=(1- n\sigma t)$ yazılabilir ve (2.6) ifadesi

$$N=N_o(1 - n\sigma t) \tag{2.7}$$

şeklini alır. Böylece *t* kalınlığını geçerken herhangi bir işleme uğrayan (ilgilenilen etkileşmeye giren) parçacıkların sayısı N_s için,

$$N_s=N_0-N=N_0-N_0(1-n\sigma t) \tag{2.8}$$

$$N_s = N_0 n \sigma t \tag{2.9}$$

yazılabilir. Buradan da σ için,

$$\sigma = \frac{N_S}{N_0 n t} \tag{2.10}$$

ifadesi elde edilir. Tesir kesiti diye adlandırılan ve ilgilenilen olayın meydana gelme ihtimaliyetinin bir ölçüsü olan σ'nın birimi barn'dır. 1barn 10^{-24} cm^2'dir. σ alan boyutundadır ve ilgilenilen olayın tabiatına göre hedefin birim yüzey alanından küçük veya büyük olabilir.

2.5. Floresans Verim, Auger Olayı ve Coster-Kronig Geçişleri

Bir atomdaki elektronlar, elektron yörüngeleri arasındaki enerji farkına eşit enerjiyi soğurarak veya yayımlayarak kuantum mekaniği ile izah edilebilen izinli yörüngeler arasında geçişler yapabilirler. Elektronun enerji soğurarak üst seviyelere çıkması uyarma (excitation), uyarılmış elektronun enerji yayımlayarak temel hale geçmesi ise temel hale geçme (de-excitation) olarak adlandırılır. İç tabakada oluşan elektron boşluğunun üst tabakalardan buraya elektron geçişiyle doldurulması sırasında, tabakalar arasındaki enerji farkına eşit bir foton yayımlanır. Gerçekleşen bu olaya floresans olay, yayımlanan fotona ise karakteristik X-ışını denir. Bir spektral seviyeden yayımlanan X-ışını fotonlarının sayısının aynı seviyede oluşturulan boşlukların sayısına oranı floresans verim olarak adlandırılır. Buna göre bir atomun *K* tabakasında, herhangi bir yolla meydana getirilen bir boşluğun bir karakteristik X-ışını yayımlanarak doldurulması ihtimaline *K* tabakasına ait ortalama floresans verim denir ve

$$\varpi_K = \frac{I_K}{n_K} = \frac{\sum n(K)}{n_K} = \frac{n(K\alpha_1) + n(K\alpha_2) + n(K\beta_1) + n(K\beta_2) + \cdots}{n_K} \tag{2.11}$$

ile ifade edilir. Burada I_K numuneden yayımlanan karakteristik K X-ışınlarının sayısıdır ve K tabakasına geçişlerin toplam sayısı $\sum n(K)$'ya eşittir. n_K ise K tabakasında meydana getirilen boşluk sayısıdır. Bir i tabakası için ortalama floresans verim,

$$\varpi_i = \frac{I_i}{n_i} \tag{2.12}$$

olur. Floresans verim I_i=n_i olduğu durumda maksimum olur yani ϖ'nın maksimum değeri 1'dir. Floresans verim seviye genişlikleri kullanılarak,

$$\omega_i = \frac{\Gamma_R(i)}{\Gamma(i)} \tag{2.13}$$

şeklinde de yazılabilir. Burada $\Gamma_R(i)$ verilen tabakalar arası geçişlere göre ışımalı seviye genişliği, $\Gamma(i)$, i seviyesi için toplam seviye genişliğidir.

İç tabakalarından birinde bir elektron boşluğu meydana getirilmiş bir atomda bir dış tabaka elektronunun iç tabakadaki bu boşluğa düşmesi sırasında yayımlanan foton atomu terk etmeden bir diğer dış tabaka elektronu tarafından soğurulabilir ve fotonu soğuran bu elektron atomdan dışarı atılabilir. Böylece uyarılan atomun fazla enerjisi bir X-ışını yayımlanmaksızın bir elektron yayımlanması ile serbest bırakılabilir. Dolayısıyla bu olay bir bakıma iç fotoelektrik olayı gibi düşünülebilir. Bu sürece Auger olayı ve atomdan dışarı atılan elektrona da Auger elektronu denir. Auger elektronlarının enerjisi de tıpkı karakteristik X-ışını enerjileri gibi yayımlayıcı elementin karakteristiklerindendir. Auger olayı elektronları daha zayıf bağlı ve karakteristik fotonların daha kolay soğurulabildiği küçük atom numaralı elementlerde daha yaygındır ve aynı sebepten dolayı bu olay L serisi için K serisinden daha baskındır. Atomların

çoğunda Auger süreci karakteristik X-ışını yayımlanması ile rekabet halindedir. *K* tabakası için Auger olayının meydana gelme ihtimali,

$$\bar{a}_K = \frac{I_K}{n_K} \tag{2.14}$$

olur. Burada I_K ışımasız geçişlerin sayısı, η_K ise *K* tabakasında meydana getirilen boşluk sayısıdır. Floresans verimin maksimum değeri 1 olduğuna göre (1-ϖ) değeri Auger elektronu yayımlanması ile doldurulan boşlukların kesrini verir. Buna göre aynı boşluk dağılımı için ϖ_i *i.* tabakanın ortalama floresans verimi ve $\bar{a}_i$ ortalama Auger verimi olmak üzere,

$$\bar{\omega}_i + \bar{a}_i = 1 \tag{2.15}$$

ile ifade edilir.

Aynı tabaka içerisinde elektronlar bir alt tabakadan bir diğerine X-ışını yayımlamaksızın geçebilirler. Bu geçişlere Coster-Kronig geçişler adı verilir. K tabakasının alt tabakası bulunmadığından bu tabakada Coster-Kronig geçişleri oluşmaz. Herhangi bir i tabakası için denklem 2.12'de ifade edilen ortalama floresans verim Coster-Kronig geçişlerin varlığında doğru olmaz. Çünkü bir tabakada meydana getirilen boşluk daha yüksek tabakalardan geçişlerle doldurulmadan önce Coster-Kronig geçişlerle yer değiştirebilir.

Coster-Kronig geçişlerini açıklamada kullanılan iki alternatif yaklışım gözönüne alınabilir.

1- ϖ_i ortalama floresans verimi, Coster–Kronig geçişleri tarafından değiştirilen boşluk dağılımları V_i^x ve ω_i^x alt tabaka floresans verimlerinin lineer kombinasyonları olarak yazılabilir.

$$\varpi_i = \sum_{i=1}^{k} V_i^x \omega_i^x \tag{2.16}$$

Benzer şekilde herhangi bir tabakaya ait ortalama Auger verimi de aşağıdaki gibi verilir.

$$\bar{a}_i = \sum_{i=1}^{k} V_i^x \omega_i^x \tag{2.17}$$

Burada V_i^x Coster–Kronig geçişler olduktan sonra X_i alt tabakasındaki boşlukların rölatif sayısını gösterir. Dolayısıyla

$$\sum_{i=1}^{k} V_i^x > 1 \tag{2.18}$$

dır. V_i^x lerin toplamı, X_i alt-tabakasında meydana getirilmiş boşlukların bazılarının, Coster-Kronig geçişlerle daha üst tabakalara kaydığından ve böylece bir defadan daha fazla sayıldıklarından dolayı birden büyüktür. Bir boşluğun bir X_i alt-tabakasından daha üst bir X_j alt-tabakasına kayması Coster-Kronig geçiş ihtimali f_{ij} ile gösterildiğinden V_i^x niceliği, N_i^x rölatif boşluk sayısı cinsinden

$$V_1^X = N_1^X$$
$$V_2^X = N_2^X + f_{12}^X N_1^X$$
$$V_3^X = N_3^X + f_{23}^X N_2^X + (f_{13}^X + f_{12}^X f_{23}^X) N_1^X \tag{2.19}$$

$$V_k^X = N_k^X + f_{k-1,k}^X N_{k-1}^X + \left(f_{k-2,k-1}^X f_{k-1,k}^X\right) N_{k-2}^X + \cdots + (f_{1k}^X + f_{12}^X f_{2k}^X + f_{12}^X f_{23}^X f_{3k}^X + \cdots)\ N_1^X$$

olarak yazılabilir (Bambynek *et al*. 1972).

2- ϖ_i ortalama floresans verim için bu ifade N_i^X primer boşluk dağılımı ve özel olarak tanımlanmış ν_i^X katsayılarının lineer kombinasyonu olarak yazılabilir. Bu metod, verilen bir deney için primer boşluk sayısı deneysel açıdan daha uygundur. Bu yaklışıma göre bir X tabakasının ortalama floresans verimi,

$$\varpi_i = \sum_{i=1}^{k} N_i^X \nu_i^X \tag{2.20}$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada ν_i^X katsayısı X_i alt-tabakasındaki primer boşluk başına meydana gelen *X*-tabakası karakteristik X-ışınlarının toplam sayısını temsil etmektedir. $V_i^X \omega_i^X$ ve $N_i^X \nu_i^X$ çarpımları eşit değildir. Sadece denklem (2.16) ve (2.18) de görüldüğü gibi çarpımların toplamı ϖ_i ortalama floresans verime eşittir. $V_i^X \omega_i^X$ fiziksel tanımından da görüldüğü gibi bu nicelik, bir *X* tabakasının herhangi bir alt tabakasındaki boşluk sayısı başına *i.* alt tabakaya daha üst tabakalardan ışımalı geçişlerin sayısını belirtir. Diğer taraftan $N_i^X \nu_i^X$ niceliği ise i. alt tabakadaki boşluk sayısı başına *X* tabakasının tüm alt tabakalarına geçişlerde yayımlanan X-ışınlarının sayısını belirtir. ν_i^X katsayıları (2.18), (2.19) ve (2.20) denklemlerindeki ω_i^X alt tabaka floresans verimleri arasındaki dönüşüm denklemleri

$$\nu_i^X = \omega_1^X + f_{12}^X \omega_2^X + (f_{13}^X + f_{12}^X f_{23}^X)\omega_3^X + \cdots + (f_{1k}^X + f_{12}^X f_{2k}^X + f_{13}^X f_{3k}^X + \cdots + f_{1,k-1}^X f_{k-1,k}^X + \cdots)\omega_k^X$$

$$\nu_{k-1}^X = \omega_{k-1}^X + f_{k-1,k}^X \omega_k^X \tag{2.21}$$

$$\nu_k^X = \omega_k^X$$

olarak yazılabilir (Bambynek *et al*. 1972). Yine L tabakası için ν_i^X katsayıları ve ω_i^X alt tabaka floresans verimleri arasında

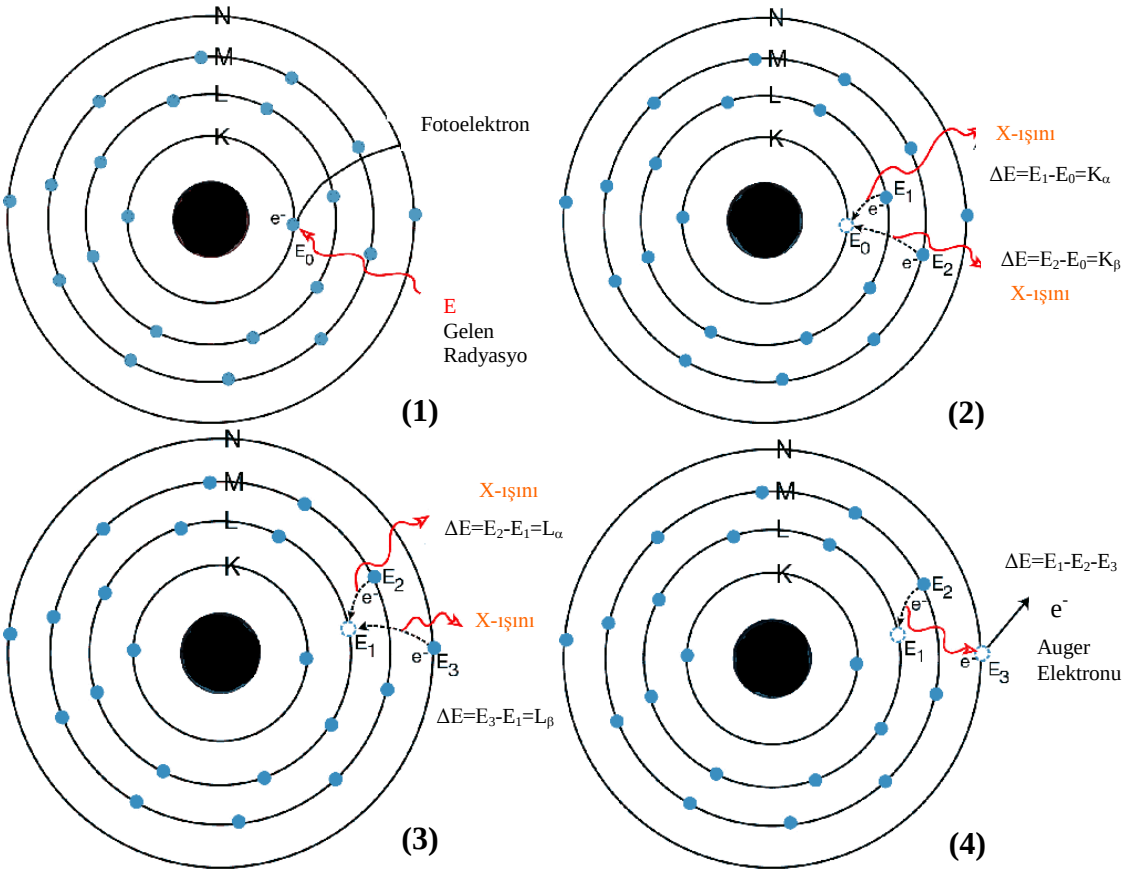
$$\nu_1^L = \omega_1^L + f_{12}^L\omega_2^L + (f_{13}^L + f_{12}^L f_{23}^L)\omega_3^L \quad (2.22)$$

$$\nu_2^L = \omega_2^L + f_{23}^L\omega_3^L \quad (2.23)$$

$$\nu_3^L = \omega_3^L \quad (2.24)$$

bağıntısı vardır.

X-ışını floresans olayı ve Auger olayı Şekil 2.6'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Floresans olayı ve Auger olayı;
***1-** Atom primer X-ışınları ile uyarıldığında, K tabakası elektronlarından birisi atomdan dışarı atılabilir, bunun sonucunda K tabakasında bir boşluk meydana gelebilir**. 2-**K çizgileri; L ya da M tabakasından bir elektron K'da oluşan boşluğa düşebilir. Bu işlemde elementin karakteristik X-ışınları yayımlanır. Bunun sonucunda L ya da M tabakasında bir boşluk üretilir. **3-** L çizgileri; L tabakasında oluşan boşluk M ya da N tabakasından elektron ile dolar bu işlem de elementin karakteristik X-ışını yayımlanır ve M yada N tabakasında bir boşluk oluşur. **4-** Auger Elektronu; Atomun iç tabakasından yayımlanan foton daha dış tabakadaki bir elektrona aktarılabilir ve elektron atomdan dışarı atılır.

2.6. Seviye Genişliği

Toplam genişlik, ilgili seviyedeki tek bir boşluk için çeşitli de-eksitasyon süreçlerinin hızları ile belirlenen doğal seviye genişliği olarak tanımlanabilir (Rahkonen and Krause 1974). Bu de-eksitasyon süreçleri ya ışımalı (Radiative) ya da ışımasız (Auger veya Coster-Kronig) süreçlerle meydana gelir. Bir atomik durumun enerji genişliği Γ, temelinde Heisenberg belirsizlik prensibi olan seviye ömrü τ ile ilişkilidir. Heisenberg belirsizlik ilkesine göre

$$\Gamma = \frac{\hbar}{\tau} \tag{2.25}$$

bağantısı yazılır.

Bir durumun birim zamandaki bozunma ihtimaliyeti,

$$\frac{1}{\tau} = \frac{\Gamma}{\hbar} \tag{2.26}$$

ile ifade edilir. Bir i durumunda ışımalı bozunma ihtimaliyeti $\Gamma_R(i)/\hbar$, ışımasız (Auger) bozuma ihtimaliyeti $\Gamma_A(i)/\hbar$ ve Coster-Kronig bozunma ihtimaliyeti de $\Gamma_{CK}(i)/\hbar$ şeklinde verilir (Bambynek *et al*. 1972). Bu durumda toplam genişlik,

$$\Gamma(i) = \Gamma_R(i) + \Gamma_A(i) + \Gamma_{CK}(i) \tag{2.27}$$

şeklinde ifade edilir. Burada Γ_R ışımalı genişlik, Γ_A Auger genişliği Γ_{CK} ise Costes-Kronig genişliktir.

i durumu için floresans verim,

$$\omega_i = \frac{\Gamma_R(i)}{\Gamma(i)} = \frac{\Gamma_R(i)}{[\Gamma_R(i) + \Gamma_A(i) + \Gamma_{CK}(i)]} \tag{2.28}$$

Auger verim,

$$a_i = \frac{\Gamma_A(i)}{\Gamma(i)} = \frac{\Gamma_A(i)}{[\Gamma_R(i) + \Gamma_A(i) + \Gamma_{CK}(i)]} \tag{2.29}$$

Coster-Kronig verim ise

$$f_i = \frac{\Gamma_{CK}(i)}{\Gamma(i)} = \frac{\Gamma_{CK}(i)}{[\Gamma_R(i) + \Gamma_A(i) + \Gamma_{CK}(i)]} \tag{2.30}$$

ile ifade edilir.

Işımalı ve ışımasız verimlerin toplamı eşitlik 2.28-30 kullanılarak

$$\omega_i + a_i + f_i = 1 \tag{2.31}$$

ifadesi elde edilir (Krause 1979).

Bir X-ışınının çizgi genişliği,

$$\Gamma(X - Y) = \Gamma(X) + \Gamma(Y) \tag{2.32}$$

ile ifade edilir. Burada X ve Y geçişleri içeren seviyelerdir.

Auger ve Coster-Kronig çizgi genişlikleri ise

$$\Gamma(X - YZ) = \Gamma(X) + \Gamma(YZ) \tag{2.33}$$

veya yaklaşık olarak

$$\Gamma(X - YZ) \approx \Gamma(X) + \Gamma(Y) + \Gamma(Z) \tag{2.34}$$

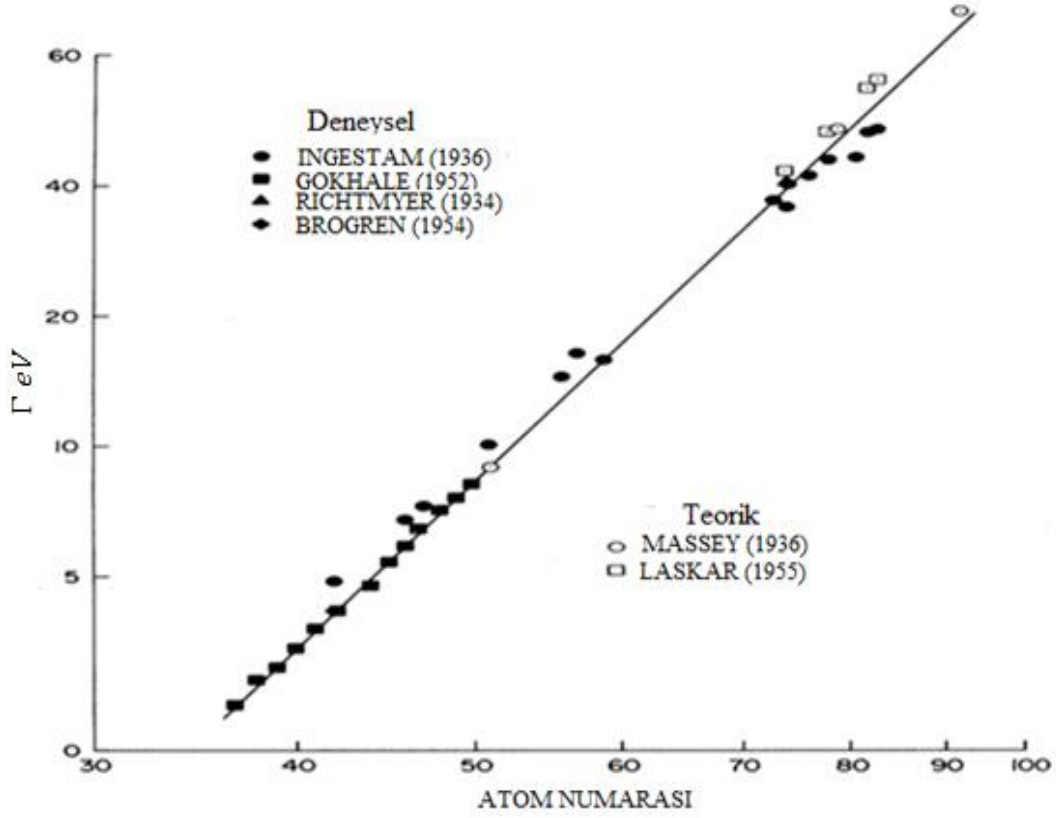
ile ifade edilir. Burada X tek boşluğun bulunduğu ilk durumun seviyesi, YZ ise yaklaşık olarak tek boşluğu ifade eden denklem 2.34'de iki boşluğun seviyesidir. Auger geçişleri için Y ve Z seviyerindeki baş kuantum sayısı (n) X'in baş kuantum sayısından farklıdır. Coster-Kronig geçişler için Y ve Z seviyelerinin en az birinin baş kuantum sayısı X ile aynı olmalıdır (Rahkonen and Krause 1974).

Birim zamandaki bozunma ihtimali elektronvolt (eV) biriminin $h/2\pi$'ye bölümüyle (eV/$h/2\pi$) veya atomik birim (a.u.) cinsinden verilir. Buna uygun olarak seviye genişliği (Γ) eV ve enerji ise atomik birim (a.u.) veya erg olarak verilir. Bu birimler arasında aşağıdaki ilişkiler vardır.

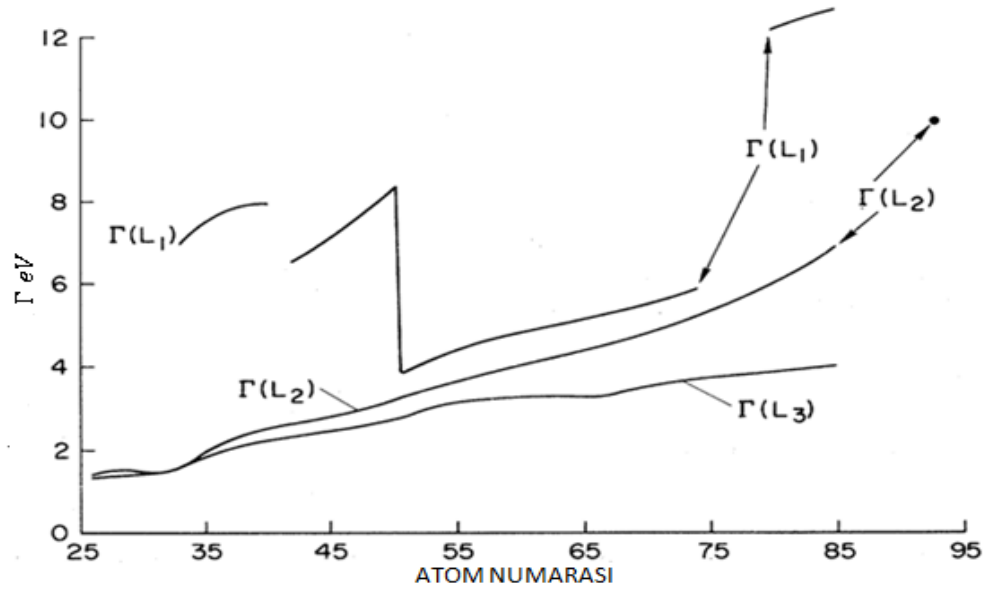
$$1a.u = 4.3598 \times 10^{-11} erg = 27.212 eV$$

Atomik seviyelerin genişliği hakkındaki bilgiler, X-ışını yayımlama çizgilerinin çizgi genişliği ölçümlerine, soğurma kıyısı ölçümlerine ve soğurma çizgilerine dayanır.

K tabakası ve *L* alt tabaka seviye genişliklerinin atom numarasının bir fonksiyonu olarak değişimi Şekil 2.7-8'de verilmiştir.



Şekil 2.7. *K* tabakası seviye genişliğinin atom numarasıyla değişimi.



Şekil 2.8. Atom numarasının fonksiyonu olarak L_1, L_2 ve L_3 alt tabaka seviye genişlikleri.

2.7. Tabakalar Arası Boşluk Transferi

K tabakasındaki boşlukların *L* tabakasının L_2 ve L_3 alt tabaka elektronları tarafından doldurulmasıyla $K_{\alpha 1}$ ve $K_{\alpha 2}$ X-ışınları yayımlanır. Bu olay sonucunda ise *K* tabakasındaki boşluklar L_2 ve L_3 alt tabakalarına transfer edilmiş olur. L_1 alt tabakasından *K* tabakasına geçişler yasak geçişler olduğundan dolayı *K* tabakasından L_1 alt tabakasına geçişlerde yasak geçişlerdir. *K* tabakasından L_1 alt tabakasına boşluk geçişlerinin yasak geçişler olmasına rağman K- L_1 geçiş ihtimaliyeti tamamen ortadan kalkmaz. Örneğin, *Z*=80'de *L* tabakasında ışımalı geçişle üretilen boşlukların yaklaşık %0,05'i L_1 alt tabakasına olmaktadır. $I(K_{\alpha 2})/I(K_{\alpha 1})$ X-ışını şiddet oranları K X-ışınlarının yayımlanması esnasında L_2 ve L_3 alt tabakalarında üretilen boşlukların oranına eşittir. $I(K_{\beta})/I(K_{\alpha})$ X-ışını şiddet oranları, K X-ışınlarının yayımlanması esnasında yüksek tabakalara (*M*,*N*,…) geçen boşlukların *L* tabakasına geçen boşlukların sayısının oranına eşittir. *K* tabakasındaki boşlukların *L* tabakasındaki elektronlar tarafından ışımasız geçişle doldurulması iki şekilde incelenir.

a) *K-LL* geçişleri; bu geçişlerde *L* iç tabakasının bir elektronu *K* tabakasında bir boşluğu doldururken yayımlanan karakteristik X-ışını yine *L* tabakasındaki bir elektronu koparır.

(L_3'deki elektron K'daki boşluğu doldururken yayımlanan karekteristik X-ışını L_2'den bir elektron koparır.)

b) *K-LX* (*X=M,N,…*) geçişleri; bu geçişlerde L iç tabakasının bir elektronu *K* tabakasında bir boşluğu doldururken yayımlanan karakteristik X-ışını üst tabakalardan elektron kopartarak atomu iki kere iyonize eder.

K tabakasındaki boşlukların L_i alt tabakası elektronları tarafından doldurulmasıyla L_i alt tabakasına boşlukların geçme itimaliyeti η_{KL_i}, *K* tabakasından L_i alt tabakasına ışımalı ve ışımasız olarak geçen boşlukların geçme ihtimaliyetlerinin toplamıdır.

$$\eta_{KL_i} = \eta_{KL_i}(R) + \eta_{KL_i}(A) \tag{2.35}$$

burada $\eta_{KL_i}(R)$ ışımalı geçiş ihtimaliyeti olup,

$$\eta_{KL_i}(R) = \frac{\Gamma_R(KL_i)}{\Gamma(K)} \tag{2.36}$$

ile ifade edilir. i=1, 2, 3 için $\Gamma_R(KL_i)$ ışımalı kısmi genişlik, $\Gamma(K)$ ise *K* tabakası seviye genişliğidir.

Işımasız geçiş ihtimaliyeti $\eta_{KL_i}(A)$ ise,

$$\eta_{KL_1}(A) = \frac{2\Gamma_A(KL_1L_1) + \Gamma_A(KL_1L_2) + \Gamma_A(KL_1L_3) + \Gamma_A(KL_1X)}{\Gamma(K)}$$

$$\eta_{KL_2}(A) = \frac{2\Gamma_A(KL_2L_2) + \Gamma_A(KL_1L_2) + \Gamma_A(KL_2L_3) + \Gamma_A(KL_2X)}{\Gamma(K)} \tag{2.37}$$

$$\eta_{KL_3}(A) = \frac{2\Gamma_A(KL_3L_3) + \Gamma_A(KL_1L_3) + \Gamma_A(KL_2L_3) + \Gamma_A(KL_3X)}{\Gamma(K)}$$

X=(M, N,…)

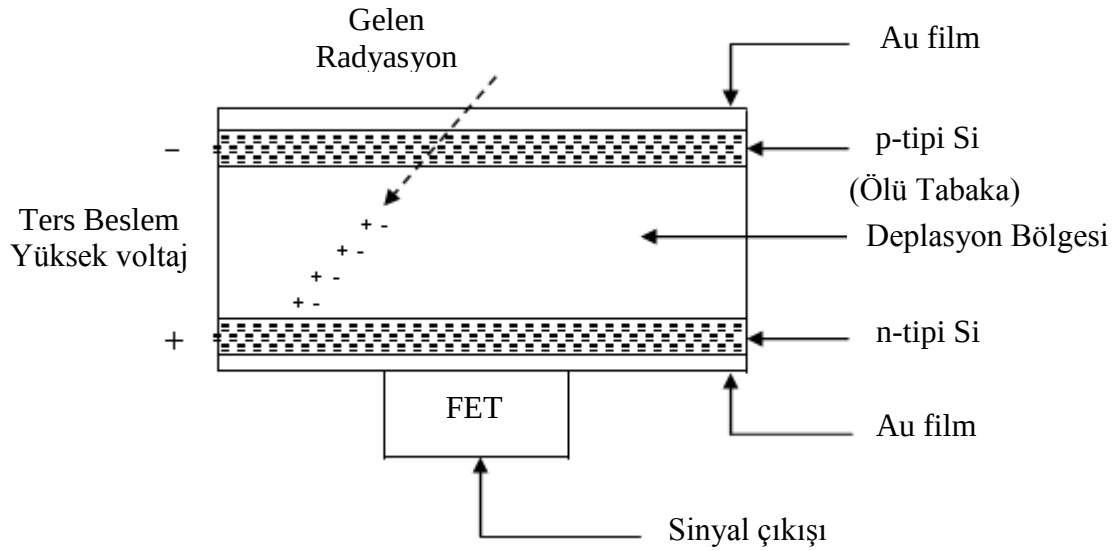
ile ifade edilir. Burada $\Gamma_A(KL_iT)$ ($i=1, 2, 3, T=L_1, L_2, L_3, M, N,...$) ışımasız kısmi Auger genişliği, $\Gamma(K)$ ise K tabakası seviye genişliğidir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Yarı İletken Dedektörler

Dedektörler, X-ışını foton enerjisini bu fotonların dedektörün aktif maddesi ile çeşitli yollarla etkileşmesi sonucu, voltaj pulsuna çeviren dönüştürücülerdir. Karekteristik X-ışınlarının şiddetlerinin ölçülmesinde, X-ışınlarının hem enerjilerinin birbirine yakın olmasından hem de düşük enerji bölgesinde yer almalarından dolayı rezolüsyonu ve dedektör verimi çok iyi olan yarı iletken katıhal dedektörleri kullanılmaktadır. Katıhal dedektörleri, yarı iletkenlerin düşük sıcaklıklarda iyi bir yalıtkan davranışı göstermelerinden istifadeyle yapılmıştır.

Si ve Ge yarı iletken dedektörler, yaklaşık olarak 1 cm çapında 3-5 mm kalınlığında p-i-n tipi diyottan ibarettir. p-tipi kristalin bir yüzeyine uygun katkı atomları katılarak n-tipi bölge oluşturulur. Silisyum ve germanyum kristalleri saf olarak elde edilmesine rağmen milyarda birkaç mertebesinde akseptör kirlilikleri de söz konusudur. Bu kirlilikleri telafi etmek üzere kristal içerisinde serbest yük taşıyıcılarında yoksun bir i-tipi (intrinsic) bölge oluşturulmalıdır. Bu bölge Si veya Ge'a uygun şartlar altında Li iyonları sürüklenerek elde edilir. Lityum kristal yapı içerisine bir donor kirliliği olarak katılır ve i-tipi bölgede meydana gelen akseptör kirliliklerini telafi eder. Böylece mevcut aktif kirlilikler telafi edilmiş olur ve p-i-n diyot yapısı elde edilir. İntrinsik bölgeye bir ters besleme potansiyeli uygulandığında bu bölge genişleyebilir ve X-ışınlarına hassas hale gelir. Sayaç yüzeyinin ince p-tipi tabakası aktif değildir. Sayma işlemine katkısı bulunmayan bu tabakaya ölü tabaka denir. Bir Si(Li) dedektörün şematik gösterimi Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Si(Li) katıhal dedektörünün şematik gösterimi.

Dedektörün iki önemli özelliği, alanı ve kalınlığıdır. Sayım için önemli faktör olan geometrik verim, dedektör alanı arttıkça artar. Ancak bu rezolüsyonu azaltır. Soğurma verimliliğide dedektör kalınlığı arttıkça artar. Kullandığımız dedektörün aktif alanı 12 mm^2 ve kalınlığı 3 mm'dir. Elektrotlar, lityum sürüklenmesiyle elde edilmiş silisyum yüzeyine yaklaşık 200 Å kalınlığında altın buharlaştırılmasıyla elde edilir. Altının iyi bir iletken olmasının yanında, K serisini uyarmak için çok yüksek enerjiye ihtiyaç duyulur. Altının düşük enerjili fotonlarla uyarılamayışı sebebiyle pratikte kontaklar altından yapılır. Dedektör, en uygun ayırma gücü elde etmek ve gürültüyü azaltmak için sıvı azot kaynama sıcaklığında (-196 ^oC) tutulmalıdır. Bunun için sayaç, 30 lt sıvı azot alabilecek bir devar kabına yerleştirilmiştir. Dedektör, dış ortamdan gelebilecek yüzey kirlenmesini önlemek için 0,025 mm kalınlığında berilyum pencere ile koruma altına alınmıştır.

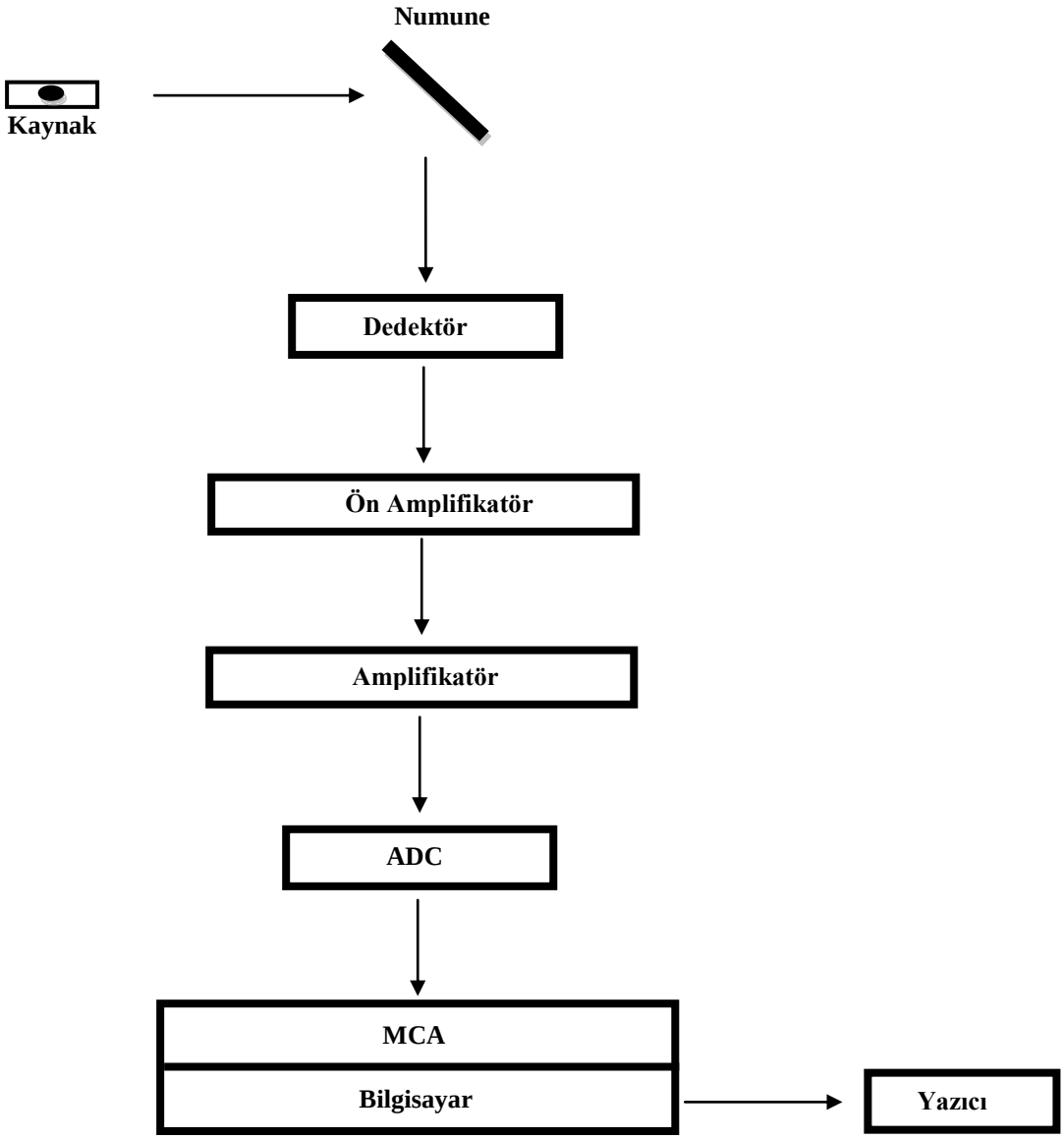
E enerjili bir foton sayacın aktif bölgesine düştüğünde silisyum atomlarını iyonlaştırır. Foton, enerjisinin tamamını elektronlara verir. Elektron, enerjisi bitinceye kadar yolu boyunca elektron-boşluk çifti meydana getirerek sayaç içinde hareket eder. Si(Li) dedektöre yaklaşık olarak 500 V'luk ters besleme potansiyeli uygulanır. Meydana gelen elektrik alan, fotonların oluşturduğu elektron-boşluk çiftlerini toplar. Ters beslenmeden

dolayı elektronlar n-tipi bölgeye, boşluklar ise p-tipi bölgeye yönelirler. p-tipi ve n-tipi bölgelerde elektrik alan vasıtasıyla toplanan yükler, akım pulsundan potansiyel pulsuna dönüştürülür. Deney sisteminde kullanılan elektronik sistem vasıtasıyla potansiyel pulsu, puls yükseklik analizöründe enerjisine karşılık gelen kanala yerleştirilir.

3.2. Sayma Sistemi

Sayma sistemi bir dedektör, ön yükseltici, yükseltici, analog sayısal dönüştürücü (ADC), yüksek voltaj kaynağı, çok kanallı analizör (MCA) sistemin tüm birimlerini yöneten spektrumları alan ve değerlendirmede kullanılan Genie-2000 programının yüklü olduğu bir bilgisayar ile sistemin diğer birimleri arasında arayüz görevi yapan bir dangıldan (software key) oluşmaktadır (Şekil 3.2). Kullandığımız DSA-1000 sayma sistemi, yüksek voltaj güç kaynağı, yükseltici, ADC ve MCA'yı ihtiva etmektedir. Yüksek voltaj güç kaynağı, amplifikatör ve ADC'nin koşulları Genie-2000 programı ile kontrol edilmektedir.

DSA-1000, gelişmiş dijital sinyal proses (DSP) teknikleriyle donanımlı çok kanallı bir analizördür. DSA-1000, sinyal prosesinin sonrasında sinyalleri sayısallaştıran dönüştürücü sistemlerden farklı olarak sinyal prosesinin öncesinde ön yükselticiden alınan sinyalleri sayısallaştırır. Analog devre sayısının azalmasıyla hassasiyet, yeniden üretilebilirlik ve kararlılığın artması sağlanmış olur. Dijital sinyal proseslerinin kullanımı pulsların daha hızlı ve hassas olarak işlenmesini sağlayarak sinyal toplama performansının ve spektrum rezolüsyonunun artmasını sağlar.



Şekil 3.2. Sayma sistemi.

3.2.1. Yüksek voltaj kaynağı

Dedektörde meydana gelen yükleri toplamak için dedektör üzerine yüksek gerilim uygulanmalıdır. En iyi çalışma gerilimi; çalışma öncesinde araştırmacı tarafından belirlenir ve bu gerilim küçük bir dedektör için birkaç yüz volt, büyük bir dedektör için beş bin volta kadar değişebilir. Bu çalışma boyunca dedektöre uygulanan gerilim -500V dur.

3.2.2. Ön yükseltici

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

3.2.3. Yükseltici

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

3.2.4. Analog sayısal dönüştürücü

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

3.2.5. Çok kanallı analizör

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

3.3. Numunelerin Hazırlanması

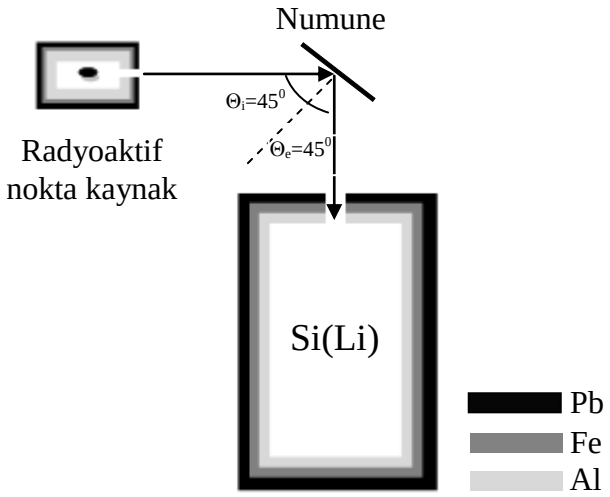
Bu çalışmada atom numarası $67 \leq Z \leq 83$ aralığındaki bazı elementlerin *L* tabakası üretim tesir kesitleri σ_{Li} ($i=l, \alpha, \beta, \gamma$), *Li* ($i= 1, 2, 3$) alt tabaka floresans verimleri ω_i ($i= 1, 2, 3$), seviye genişlikleri Γ_{Li} ($i= 1, 2, 3$) ve *L* alt tabakalarından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri ölçülmüştür. Tez çalışmasında kullanılan elementler ve özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Toz halinde bulunan elementler akik havanında öğütülüp 400 meshlik eleklerde parçacık büyüklüğünü ve soğurma etkisini en aza indirmek için elenmiştir. Bu elementler 0,65 cm yarıçaplı tabletler haline getirmek için ortalama 10 ton basınç altında preslenmiştir. Numune kütleleri yüzbindebir gram hassasiyetli Denver TB-215D terazisi ile tartılmıştır.

Çizelge 3.1. Tez çalışmasında kullanılan elementler ve özellikleri.

Element	Kimyasal Formülü	Numune Formu	Parçacık Büyüklüğü (mesh)	Saflığı (%)
Ti	-	Toz	400<	99,90
Mn	MnF_2	Toz	400<	98,00
Ni	-	Toz	400<	99,90
Zn	-	Toz	400<	99,99
Se	-	Toz	400<	99,99
Nb	-	Toz	400<	99,80
Mo	-	Toz	400<	99,90
Pd	-	Toz	400<	99,90
Cd	-	Toz	400<	99,50
Ho	-	Toz	400<	99,90
Er	-	Toz	400<	99,90
Lu	-	Toz	400<	99,90
Ta	-	Toz	400<	99,90
W	-	Toz	400<	99,90
Au	-	Foil	-	99,99
Hg	HgF_2	Toz	400<	97,00
Tl	Tl_2O_3	Toz	400<	99,00
Pb	-	Foil	-	99,99
Bi	-	Toz	400<	99,50

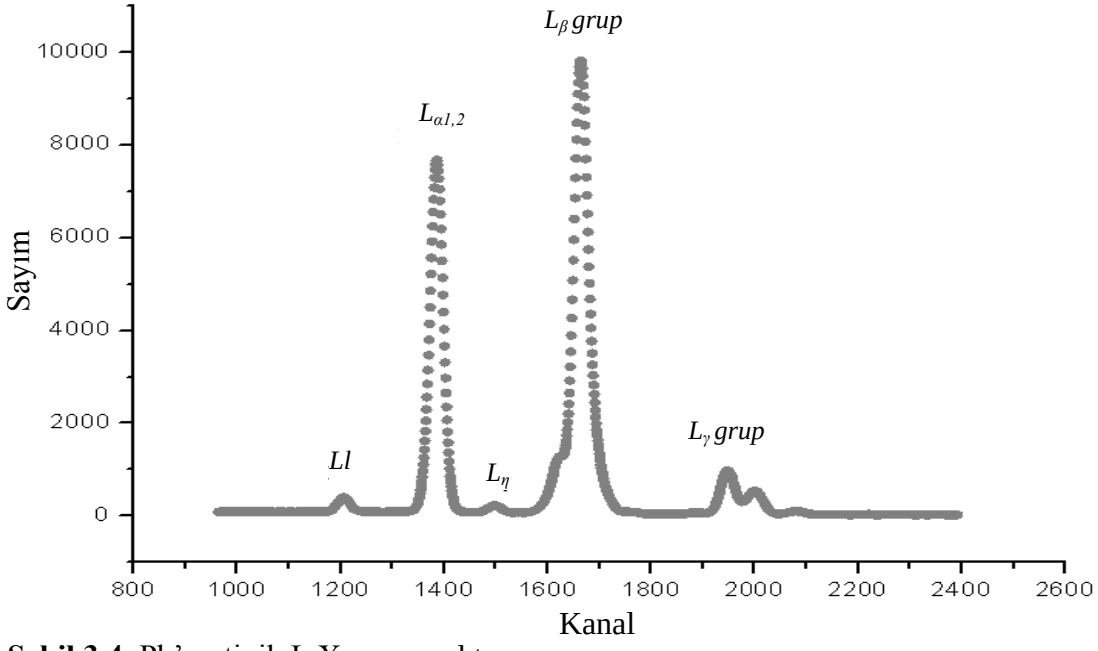
3.4. Ölçme Sistemi ve Deney Geometrisi

Bu çalışmada dedektörün aktif çapı 3,91 mm, aktif alanı 12 mm^2 ve 5,9 keV'de yarı yükseklikteki tam genişliği (FWHM) 185 eV olan bir Si(Li) dedektör kullanılmıştır. Deney süresince sayaç kristali sıvı azot kaynama sıcaklığında tutulmuştur. Ölçümler sırasında dedektör penceresinin zarar görmesini önlemek ve temel sayım etkilerini azaltmak için en içte alüminyum, ortada demir ve en dışta kurşundan oluşan bir kolimatör kullanılmıştır. Dedektörün bulunduğu ölçüm laboratuvarı kurşun kaplıdır. Numuneleri uyarmak için 100 mCi Am-241 radyoizotop nokta kaynak kullanılmıştır. Ölçümler için hazırlanan deney geometrileri Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Deney geometrisi.

MCA için Genie-2000 programında 4096 kanal seçilmiş, Am-241, Ba-133, Fe-55 kaynakları ve bazı elementlerin enerjileri bilinen K X-ışını pikleri kullanılarak kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Elde edilen spektrumlar Microcal Origin 7.5 programı kullanılarak piklerin enerjileri ve net alanları belirlenerek analizi yapılmıştır.
Bu şekilde elde edilmiş Pb için tipik L X-ışını spektrumu Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Pb'un tipik L X-ışını spektrumu.

3.5. $I_0 G\varepsilon$ Tayini ve L X-Işını Floresans Tesir Kesitlerinin Hesaplanması

Deneysel L X-ışını floresans tesir kesitleri,

$$\sigma_{Li} = \frac{N_{Li}}{I_0 G\varepsilon\beta t} \qquad (i = l, \alpha\ \beta, \gamma) \tag{3.1}$$

ifadesinden hesaplanmıştır. Bu ifadede, N_{Li}, L_i X-ışını piki altında kalan alan (L_i X-ışınlarının sayısı), I_0, uyarıcı radyasyonun şiddeti, G, kaynak-numune geometrisine bağlı geometrik faktör, ε, L_i X-ışınları için dedektör verimi, t, numunenin kalınlığı (g/cm^2) dır.

Numunelerin uyarılması sonucunda oluşan karakteristik X-ışınları numune içerisinden geçerken numune içindeki atomlar tarafından soğurulmaktadır. Bu nedenle dedektör tarafından ölçülen X-ışını şiddeti yayımlanandan farklı olacaktır. Yayımlanan X-ışını şiddeti (N_{yay}) ve ölçülen X-ışını şiddeti ($N_{ölç}$) olmak üzere,

$$N_{ölç} = N_{yay}\beta \tag{3.2}$$

olmaktadır. Burada β öz soğurma düzeltme faktörü olup enerjiye, X-ışınlarının numuneye geliş ve çıkış açılarına ve numune kalınlığına bağlıdır. β'nın değeri,

$$\beta = \frac{1 - exp[-(\mu_i/cos\theta_i + \mu_e/cos\theta_e)t]}{(\mu_i/cos\theta_i + \mu_e/cos\theta_e)t} \tag{3.3}$$

ifadesinden hesaplanmıştır. Bu ifadede μ_i ve μ_e (g/cm^2) sırasıyla numuneye gelen ve numuneden yayımlanan (L_i X-ışınları) radyasyon enerjileri için numunenin kütle soğurma katsayıları, θ_i ve θ_e sırasıyla numuneye gelen ve numuneden yayımlanan radyasyonların numune yüzeyinin normaliyle yaptığı açılardır. μ_i ve μ_e değerleri ilgili

enerjiler için Berger ve Hubbell tarafından geliştirilen XCOM bilgisayar programı kullanılmıştır (Berger ve Hubbell, 1999).

$I_0 G\varepsilon$ faktörünün değeri, L X-ışını tesir kesiti hesaplanmak istenen elementlerin L X-ışınları ile aynı enerji bölgesine düşen farklı elementlerin K X-ışını floresans tesir kesitleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$I_0 G\varepsilon_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{\sigma_{Ki}\beta_{Ki}t} \qquad (i = \alpha, \beta) \tag{3.4}$$

Burada N_{Ki}, K_i X-ışınlarının sayısı ve σ_{Ki}, K_i X-ışınlarının floresans tesir kesitidir. σ_{Ki}'nın değeri,

$$\sigma_{Ki} = \sigma_K(E)\omega_K F_{Ki} \tag{3.5}$$

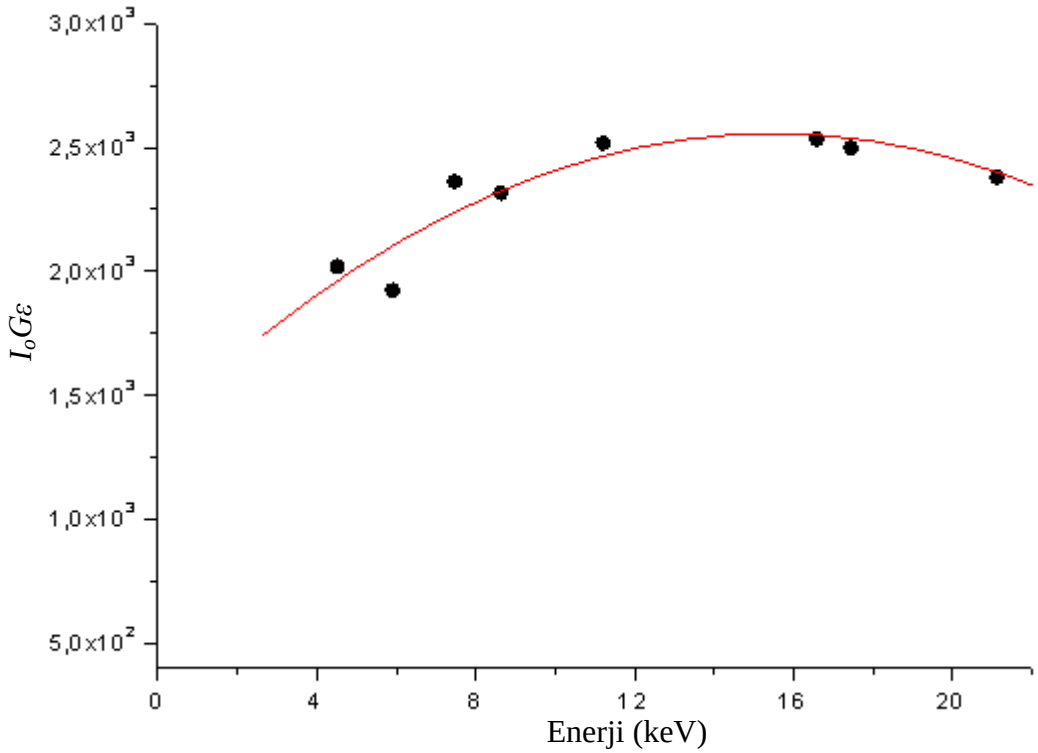
ifadesinden hesaplanmıştır. Bu ifadede $\sigma_K(E)$, E uyarma enerjisinde numunenin K tabakası fotoiyonizasyon tesir kesiti, ω_K, numunenin K tabakası floresans verimidir. $\sigma_K(E)$ değerleri Scofield'in (Scofield 1973) tablolarından hesaplanmıştır. ω_K değerleri Krause'un tablolarından (Krause 1979) alınmıştır. F_{Ki}, K_i X-ışınları için X-ışını yayımlanma oranı olup

$$F_{K\alpha} = (1 + \frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}})^{-1} \tag{3.6}$$

$$F_{K\beta} = (1 + \frac{I_{K\alpha}}{I_{K\beta}})^{-1} \tag{3.7}$$

şeklinde tanımlanır. Burada $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ ve $I_{K\alpha}/I_{K\beta}$, K_α ve K_β X-ışınlarının şiddet oranlarıdır (Scofield 1974).

Yapılan çalışmada dedektör verimini ($I_0 G \varepsilon_{Ki}$) elde etmek için ana ölçülerin alındığı deney geometrisindeki deney koşulları muhafaza edilerek Ti, Mn, Ni, Zn, Se, Nb, Mo ve Pd elementlerinin K X-ışınları sayılmıştır. $I_0 G \varepsilon_{Ki}$ faktörünün K_i X-ışını enerjisine göre çizilen grafiğinden (Şekil 3.5.) ilgilenilen numunenin L_i X-ışını enerjisine karşılık gelen $I_0 G \varepsilon_{Li}$ değeri belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak (3.1) ifadesinden L_i X-ışını floresans tesir kesitlerinin değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. Enerjinin fonksiyonu olarak $I_0 G \varepsilon$'nun değişimi.

3.6. L X-Işını Floresans Tesir Kesitlerinin Teorik Olarak Hesaplanması

Floresans tesir kesitleri teorik olarak alt tabaka fotoiyonizasyon tesir kesitleri, floresans verimler, Coster-Kronig geçiş ihtimalleri ve geçiş hızı ihtimaliyetleri kullanılarak aşağıdaki bağıntılardan hesaplanmıştır.

$$\sigma_{Ll} = \left[\left(\sigma_{L_3} + \sigma_K \eta_{KL_3}\right) + \left(\sigma_{L_2} + \sigma_K \eta_{KL_2}\right) f_{23} +\right.$$

$$\left(\sigma_{L_1} + \sigma_K \eta_{KL_1}\right)(f_{13} + f_{12} f_{23})\Big]\omega_3 F_{3l} \tag{3.8}$$

$$\sigma_{L\alpha} = \left[\left(\sigma_{L_3} + \sigma_K \eta_{KL_3}\right) + \left(\sigma_{L_2} + \sigma_K \eta_{KL_2}\right) f_{23} + \left(\sigma_{L_1} + \sigma_K \eta_{KL_1}\right)(f_{13} + f_{12} f_{23})\right]\omega_3 F_{3\alpha} \tag{3.9}$$

$$\sigma_{L\beta} = \left(\sigma_{L_1} + \sigma_K \eta_{KL_1}\right)\omega_1 F_{1\beta} + \left[\left(\sigma_{L_2} + \sigma_K \eta_{KL_2}\right) + (\sigma_{L_1} + \sigma_K \eta_{KL_1}) f_{12}\right]\omega_2 F_{2\beta} + \left[\left(\sigma_{L_3} + \sigma_K \eta_{KL_3}\right) + (\sigma_{L_2} + \sigma_K \eta_{KL_2}) f_{23} + \left(\sigma_{L_1} + \sigma_K \eta_{KL_1}\right)(f_{13} + f_{12} f_{23})\omega_3 F_{3\beta}\right] \tag{3.10}$$

$$\sigma_{L\gamma} = \left(\sigma_{L_1} + \sigma_K \eta_{KL_1}\right)\omega_1 F_{1\gamma} + \left[\left(\sigma_{L_2} + \sigma_K \eta_{KL_2}\right) + (\sigma_{L_1} + \sigma_K \eta_{KL_1}) f_{12}\right]\omega_2 F_{2\gamma} \tag{3.11}$$

Uyarıcı foton enerjisi *K* tabakasını uyaramadığı zaman σ_K sıfır olur. Er ve Ho için uyarıcı fotonun enerjisi bu elementlerin *K* tabakasını uyardığından dolayı bu elementler için yukarıdaki ifadeler kullanılmıştır. σ_K'nın sıfır olması durumunda yukarıdaki ifadeler;

$$\sigma_{Ll} = \left(\sigma_{L_1} f_{13} + \sigma_{L_1} f_{12} f_{23} + \sigma_{L_2} f_{23} + \sigma_{L_3}\right)\omega_3 F_{3l} \tag{3.12}$$

$$\sigma_{L\alpha} = \left(\sigma_{L_1} f_{13} + \sigma_{L_1} f_{12} f_{23} + \sigma_{L_2} f_{23} + \sigma_{L_3}\right)\omega_3 F_{3\alpha} \tag{3.13}$$

$$\sigma_{L\beta} = \sigma_{L_1}\omega_1 F_{1\beta} + \left(\sigma_{L_1} f_{12} + \sigma_{L_2}\right)\omega_2 F_{2\beta} + \left(\sigma_{L_1} f_{13} + \sigma_{L_1} f_{12} f_{23} + \sigma_{L_2} f_{23} + \sigma_{L_3}\right)\omega_3 F_{3\beta} \tag{3.14}$$

$$\sigma_{L\gamma} = \sigma_{L_1}\omega_1 F_{1\gamma} + \left(\sigma_{L_1} f_{12} + \sigma_{L_2}\right)\omega_2 F_{2\gamma} \tag{3.15}$$

şeklinde ifade edilir. Burada σ_K, σ_{L_1}, $\sigma_{L_2}, \sigma_{L_3}$ sırasıyla *K* tabakası ve L_1, L_2, L_3 alt tabakalarına ait fotoelektrik tesir kesiti olup Scofield' in (Scofield 1973) tablosundan hesaplanmıştır. *L* alt tabaka floresans verimleri $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ve f_{12}, f_{13}, f_{23} Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetleri Krause' nin (Krause 1979) tablolarından, $\eta_{KL_1}, \eta_{KL_2}, \eta_{KL_3}$ *K* tabakasından L_1, L_2 ve L_3 alt tabakalarına boşluk geçiş ihtimalleri Puri ve arkadaşlarının

tablolarından (Puri *et al.* 1993b) alınmıştır. Fotoelektrik tesir kesitleri, Coster-Kronig geçiş ihtimalleri, floresans verimler ve boşluk geçiş ihtimalleri Çizelge 3.2-3'de verilmiştir. F_{3l}, $F_{3\alpha}$, $F_{3\beta}$, $F_{2\alpha}$, $F_{2\beta}$, $F_{2\gamma}$, $F_{1\beta}$ ve $F_{1\gamma}$ değerleri ise ışımalı geçiş hızı kesri olup aşağıdaki bağıntılardan hesaplanmıştır.

$$F_{3\alpha} = \frac{[\Gamma_{3\alpha}(M_4 - L_3) + \Gamma_{3\alpha}(M_5 - L_3)]}{\Gamma_3} \tag{3.16}$$

$$F_{3l} = \frac{[\Gamma_{3l}(M_1 - L_3)]}{\Gamma_3} \tag{3.17}$$

$$F_{3\beta} = \big[\Gamma_{3\beta}(N_1 - L_3) + \Gamma_{3\beta}(N_4 - L_3) + \Gamma_{3\beta}(N_5 - L_3) + \Gamma_{3\beta}(O_1 - L_3) + \Gamma_{3\beta}\big(O_{4,5} - L_3\big)\big]/\Gamma_3 \tag{3.18}$$

$$F_{2\beta} = \frac{\big[\Gamma_{2\beta}(M_4 - L_2) + \Gamma_{2\beta}(M_3 - L_2)\big]}{\Gamma_2} \tag{3.19}$$

$$F_{2\gamma} = \frac{\big[\Gamma_{2\gamma}(N_1 - L_2) + \Gamma_{2\gamma}(N_4 - L_2) + \Gamma_{2\gamma}(O_{1,4} - L_2)\big]}{\Gamma_2} \tag{3.20}$$

$$F_{1\beta} = \frac{\big[\Gamma_{1\beta}\big(M_{2,3} - L_1\big) + \Gamma_{1\beta}\big(M_{4,5} - L_1\big)\big]}{\Gamma_1} \tag{3.21}$$

$$F_{1\gamma} = \big[\Gamma_{1\gamma}(N_2 - L_1) + \Gamma_{1\gamma}(N_3 - L_1) + \Gamma_{1\gamma}(O_2 - L_1) + \Gamma_{1\gamma}(O_3 - L_1) \Gamma_{1\gamma}(P_2 - L_1) + \Gamma_{1\gamma}(P_3 - L_1)\big]/\Gamma_1 \tag{3.22}$$

Burada $\Gamma_{3\alpha}$, M_4 ve M_5 alt tabakalarından L_3 alt tabakasına; Γ_{3l}, M_1 alt tabakasından L_3 alt tabakasına; $\Gamma_{2\gamma}$, (N_1, N_4, O_1, O_4) alt tabakalarından L_2 alt tabakasına; $\Gamma_{1\gamma}$, (N_2, N_3, O_2, O_3, P_2, P_3) alt tabakalarından L_1 alt tabakasına; $\Gamma_{3\beta}$, (N_1, N_4, N_5, O_1, $O_{4,5}$) alt tabakalarından L_3 alt tabakasına; $\Gamma_{2\beta}$, M_4 alt tabakasından L_2 alt tabakasına; $\Gamma_{1\beta}$, (M_2,

M_3, M_4, M_5) alt tabakalarından L_1 alt tabakasına olan ışımalı geçiş ihtimaliyetleridir ve Scofield' in tablolalarından alınmıştır (Scofield 1974).

Çizelge 3.2. L alt tabaka fotoelektrik tesir kesiti, Coster-Kronig geçiş ihtimalleri ve floresans verimleri.

	σ_{L1}	σ_{L2}	σ_{L3}	f_{12}	f_{13}	f_{23}	ω_1	ω_2	ω_3
Ho	267,21	106,31	130,36	0,19	0,30	0,140	0,094	0,189	0,182
Er	280,27	115,81	140,74	0,19	0,30	0,142	0,100	0,200	0,192
Lu	321,40	148,42	175,62	0,19	0,28	0,136	0,120	0,234	0,220
Ta	350,31	174,02	202,16	0,18	0,28	0,134	0,137	0,258	0,243
W	365,29	188,06	216,50	0,17	0,28	0,133	0,147	0,270	0,255
Au	444,05	272,65	299,72	0,14	0,53	0,122	0,107	0,334	0,320
Hg	460,66	292,69	318,81	0,13	0,56	0,120	0,107	0,347	0,333
Tl	477,46	313,89	338,81	0,13	0,57	0,118	0,107	0,360	0,347
Pb	491,30	336,37	359,70	0,12	0,58	0,116	0,112	0,373	0,360
Bi	511,37	360,15	381,51	0,11	0,58	0,113	0,117	0,387	0,373

Çizelge 3.3. K tabakası fotoelektrik tesir kesiti ve boşluk geçiş ihtimalleri.

	σ_K	η_{KL_1}	η_{KL_2}	η_{KL_3}
Ho	2884	0,031	0,296	0,516
Er	3034	0,030	0,296	0,514

Atom numarası 71≤Z≤83 aralığında bulunan elementlerin σ_{Li} (*i=l, α, β, γ*) X-ışını floresans tesir kesitlerinin hesaplanmasında, uyarıcı radyasyon bu elementlerin *K* tabakası soğurma kıyısı enerjisinden küçük olduğu için ışımalı veya ışımasız geçişlerle *K* tabakasından L_i (*i=1, 2, 3*) alt tabakasına ilave boşluk olmayacağından, $\eta_{KL} = 0$ alınmıştır.

3.7. L Alt Tabaka Floresans Verim, Seviye Genişlikleri ve Işımalı Boşluk Geçiş İhtimaliyetlerinin Hesaplanması

Deneysel *L* alt tabaka floresans verim değerleri aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\omega_1 = \frac{\sigma_{L_1}^x}{\sigma_{L_1} + \eta_{KL_1}\sigma_K} \tag{3.23}$$

$$\omega_2 = \frac{\sigma_{L_2}^x}{(\sigma_{L_2} + \eta_{KL_2}\sigma_K) + (\sigma_{L_1} + \eta_{KL_1}\sigma_K)f_{12}} \tag{3.24}$$

$$\omega_3 = \frac{\sigma_{L_3}^x}{\sigma_{L_3} + \eta_{KL_3}\sigma_K + (\sigma_{L_2} + \eta_{KL_2}\sigma_K)f_{23} + \left(\sigma_{L_1} + \eta_{KL_1}\sigma_K\right)(f_{13} + f_{12}f_{23})} \tag{3.25}$$

Am-241 radyoaktif kaynağından yayımlanan 59,54 keV'lik fotonlar atom numarası 71≤Z≤83 arasındaki elementlerin *K* tabakasını uyaramadığı için σ_K sıfır olur ve yukarıdaki ifadeler

$$\omega_1 = \frac{\sigma_{L_1}^x}{\sigma_{L_1}} \tag{3.26}$$

$$\omega_2 = \frac{\sigma_{L_2}^x}{\sigma_{L_2} + \sigma_{L_1}f_{12}} \tag{3.27}$$

$$\omega_3 = \frac{\sigma_{L_3}^x}{\sigma_{L_3} + \sigma_{L_2} f_{23} + \sigma_{L_1}(f_{13} + f_{12} f_{23})} \tag{3.28}$$

şeklinde ifade edilir. Burada σ_K, σ_{L_1}, σ_{L_2}, σ_{L_3}, f_{12}, f_{13}, f_{23} ve η_{KL_1}, η_{KL_2}, η_{KL_3} değerleri Çizelge 3.2-3' de verilmiştir. $\sigma_{L_i}^x$, L_i (*i=1, 2, 3*) alt tabaka üretim tesir kesitleri,

$$\sigma_{L_3}^x = \frac{\sigma_{L\alpha}}{F_{3\alpha}} \tag{3.29}$$

$$\sigma_{L_2}^x = \frac{(\sigma_{L\beta} F_{1\gamma} - \sigma_{L\gamma} F_{1\beta} - \sigma_{L_3}^x F_{3\beta} F_{1\gamma})}{F_{2\beta} F_{1\gamma} - F_{1\beta} F_{2\gamma}} \tag{3.30}$$

$$\sigma_{L_1}^x = \frac{(\sigma_{L\beta} - \sigma_{L_2}^x F_{2\beta} - \sigma_{L_3}^x F_{3\beta})}{F_{1\beta}} \tag{3.31}$$

bağıntılarından, *F* ise 3.16-22 denklemlerinden hesaplanmıştır.

Γ_{L_i} *i=(1, 2, 3)* alt tabaka seviye genişlikleri aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Gamma_{L_i} = \frac{\Gamma_{L_i}(\mathrm{R})}{\omega_{L_i}} \tag{3.32}$$

Γ_{L_i} (R) ilgili alt tabaka için toplam ışımalı geçiş hızıdır (Scofield 1974). ω_{L_i} ise L alt tabaka floresans verimleridir ve 3.23-28 bağıntılarından hesaplanmıştır.

$\eta_{L_i X_t}(R)$ *i=(1, 2, 3), X=(M, N, O)* ve *t=(1, 2, 3, ...)* ışımalı boşluk geçiş ihtimalleri aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_{L_i X_t}(R) = \frac{\Gamma_{L_i X_t}(R)}{\Gamma_{L_i}} \tag{3.33}$$

$\Gamma_{L_i X_t}(R)$ X_t alt tabakasından L_i alt tabakasına ışımalı geçiş hızıdır (Scofield 1974). Γ_{L_i} ise L alt tabaka seviye genişlikleridir ve 3.32 bağıntısından hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. L Alt Tabaka Floresans Tesir Kesitleri ve Floresans Verimlerinin Araştırma Bulguları

Atom numarası $67 \leq Z \leq 83$ arasındaki bazı elementler Am-241 radyoizotop kaynaktan yayımlanan 59,54 keV'lik fotonlar ile uyarılmış ve elde edilen karakteristik *L* X-ışını pikleri ile *L* alt tabaka floresans tesir kesitleri σ_{Li} (*i=l, α, β, γ*) ve *Li* (i= 1, 2, 3) alt tabaka floresans verim ω_i (*i*= 1, 2, 3) değerleri deneysel olarak ölçülmüştür. Deneysel ve teorik *L* alt tabaka floresans tesir kesitleri ve floresans verimleri Çizelge 4.1-7'de literatürden elde edilebilen diğer deneysel ve teorik değerlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca *L* alt tabaka floresans tesir kesitleri ve floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi Şekil 4.1-10'da diğer deneysel ve teorik değerlerle birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.1. 59,54 keV'lik uyarma enerjisi için *Ll* X-ışını floresans tesir kesitleri σ_{Ll} (barn/atom).

Z	Element	Deneysel				Teorik
		Mevcut	Durak and Özdemir (2000, 2001)	Küçükönder *et al.* (2004)	Han *et al.* (2007)	
67	Ho	11,61±0,85	12,30±0,70	-	-	11,88
68	Er	12,97±0,94	13,90±0,70	-	-	13,30
71	Lu	2,42±0,19	2,40±0,15	-	-	2,35
73	Ta	3,63±0,27	-	3,31±0,10	-	3,00
74	W	3,67±0,28	3,50±0,12	3,35±0,11	-	3,37
79	Au	7,44±0,45	-	7,75±0,31	7,23±0,52	7,29
80	Hg	9,10±0,54	8,20±0,34	8,02±0,40	-	8,25
81	Tl	9,54±0,54	9,00±0,39	8,75±0,45	9,45±0,68	9,20
82	Pb	10,41±0,57	10,10±0,55	9,30±0,60	9,78±0,72	10,18
83	Bi	11,67±0,68	-	9,91±0,62	10,71±0,80	11,20

Çizelge 4.2. 59,54 keV'lik uyarma enerjisi için $L\alpha$ X-ışını floresans tesir kesitleri $\sigma_{L\alpha}$ (barn/atom).

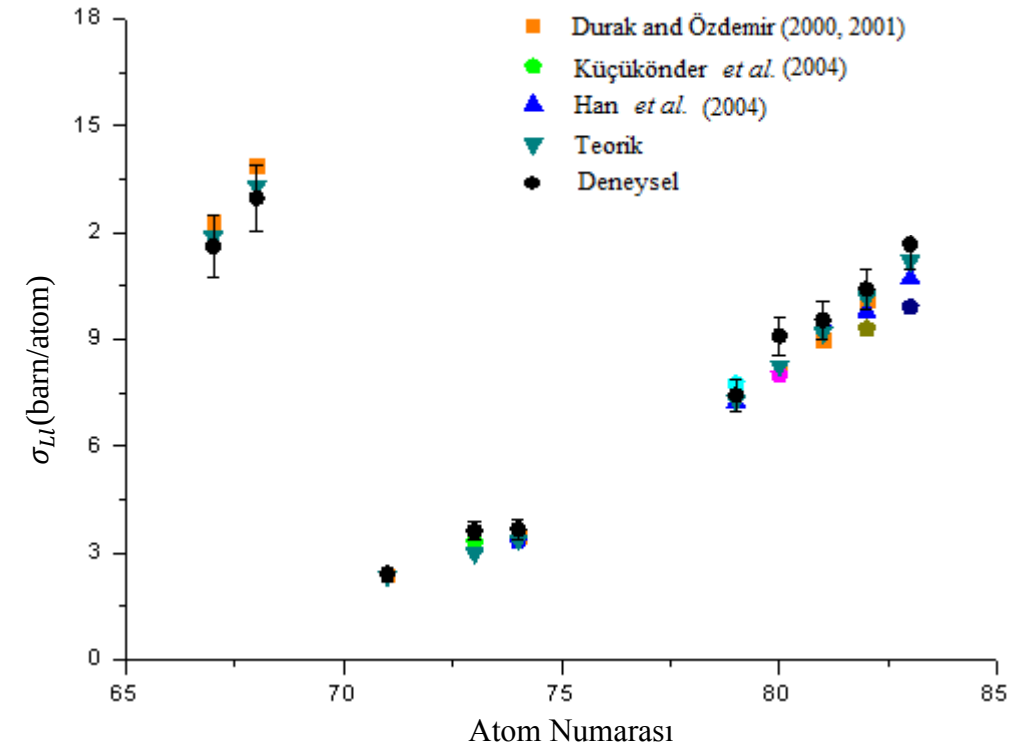
Z	Element	Deneysel				Teorik
		Mevcut	Durak and Özdemir (2000, 2001)	Küçükönder *et al.* (2004)	Han *et al.* (2007)	
67	Ho	262,77±15,99	283,70±15,90	-	274,22±19,22	277,83
68	Er	307,25±17,87	315,80±17,00	-	308,68±22,14	307,60
71	Lu	57,51±3,78	-	-	-	52,58
73	Ta	74,22±4,63	-	74,89±3,00	-	65,10
74	W	78,17±4,55	-	88,31±4,10	-	72,15
79	Au	146,80±8,12	-	169,49±8,20	144,56±12,55	145,08
80	Hg	167,31±9,20	-	144,48±9,60	-	161,55
81	Tl	181,98±9,93	-	179,22±9,10	180,10±16,21	177,51
82	Pb	192,57±10,51	-	207,14±10,30	192,35±17,55	193,23
83	Bi	209,76±11,60	-	212,01±10,20	209,84±19,32	209,40

Çizelge 4.3. 59,54 keV'lik uyarma enerjisi için $L\beta$ X-ışını floresans tesir kesitleri $\sigma_{L\beta}$ (barn/atom).

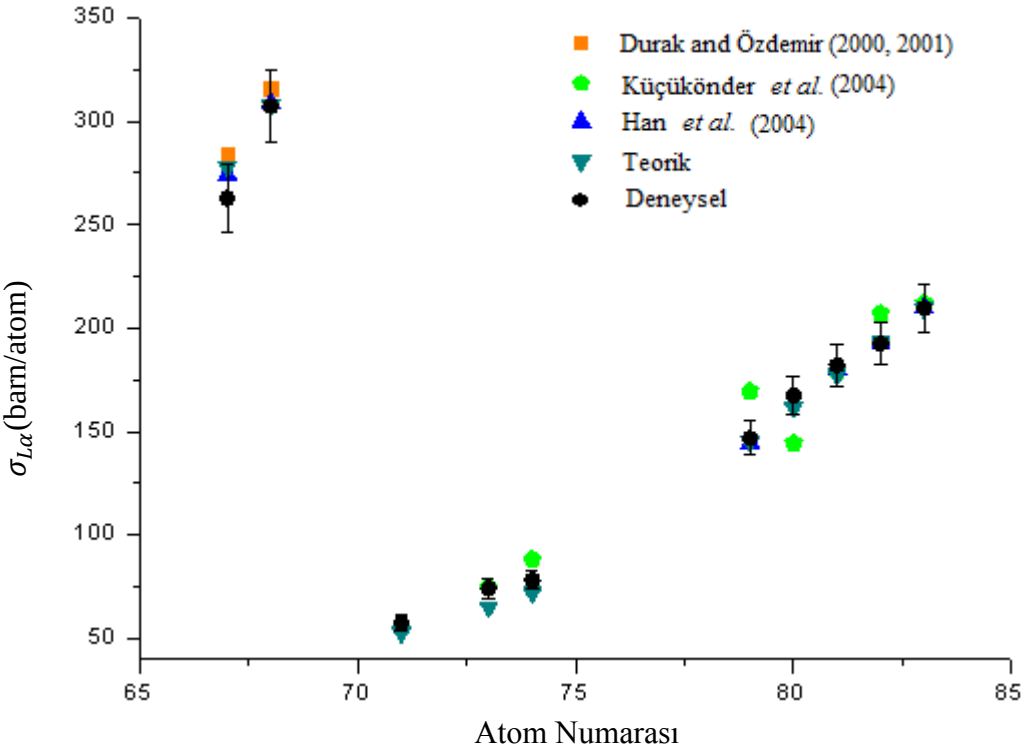
Z	Element	Deneysel				Teorik
		Mevcut	Durak and Özdemir (2000, 2001)	Küçükönder *et al.* (2004)	Han *et al.* (2007)	
67	Ho	238,94±15,40	243,70±13,70	-	234,75±18,49	236,81
68	Er	258,01±16,00	256,80±14,30	-	263,12±21,08	263,65
71	Lu	82,15±5,16	81,30±4,80	-	-	79,72
73	Ta	108,09±6,52	-	105,63±5,20	-	99,16
74	W	112,88±6,70	115,00±4,32	130,37±6,10	-	109,99
79	Au	152,44±8,94	-	188,23±11,20	157,00±14,14	156,35
80	Hg	169,82±9,98	169,80±8,23	153,37±10,10	-	169,85
81	Tl	184,24±10,80	183,30±8,81	148,95±11,20	187,74±17,27	185,21
82	Pb	196,04±11,50	199,90±9,95	223,08±11,10	203,21±19,21	201,39
83	Bi	215,97±13,28	-	226,65±13,60	213,27±20,42	219,76

Çizelge 4.4. 59,54 keV'lik uyarma enerjisi için $L\gamma$ X-ışını floresans tesir kesitleri $\sigma_{L\gamma}$ (barn/atom).

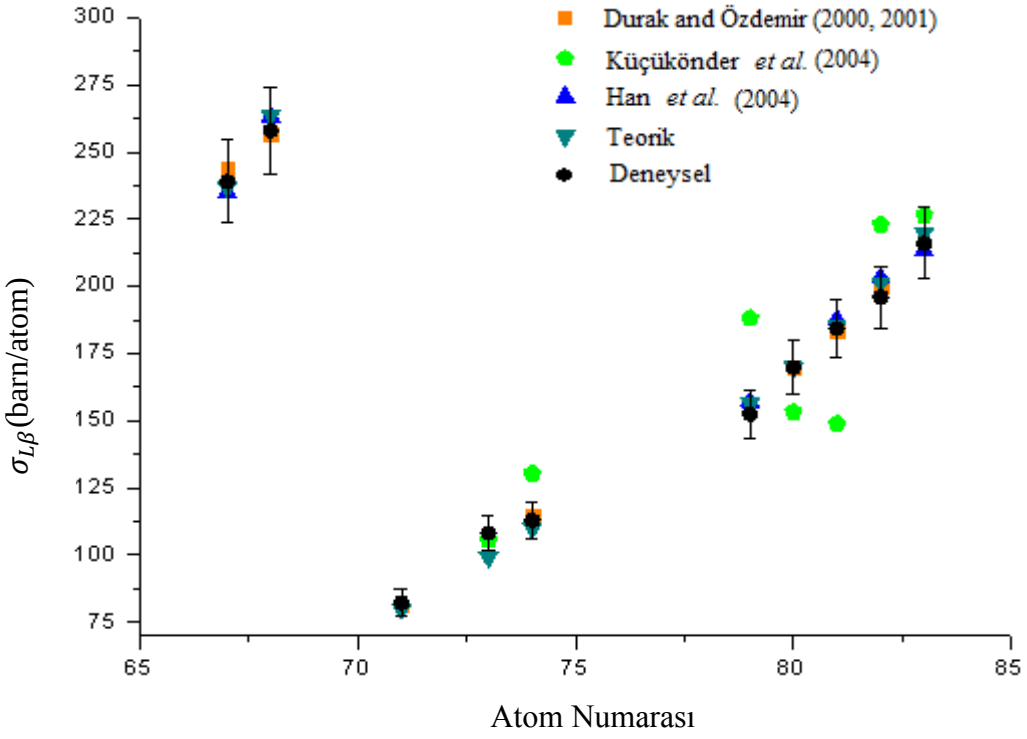
Z	Element	Deneysel				Teorik
		Mevcut	Durak and Özdemir (2000,2001)	Küçükönder *et al.* (2004)	Han *et al.* (2007)	
67	Ho	37,10±2,41	38,40±2,20	-	36,41±2,34	36,46
68	Er	39,29±2,99	41,20±2,30	-	40,96±2,69	40,75
71	Lu	15,81±0,97	16,00±0,92	-	-	15,70
73	Ta	19,59±1,13	-	17,99±0,90	-	20,01
74	W	23,24±1,36	23,30±0,88	21,38±0,90	-	22,52
79	Au	29,34±1,58	-	29,09±1,50	28,02±2,49	30,58
80	Hg	33,10±1,76	33,20±1,62	27,27±1,90	-	33,28
81	Tl	36,35±1,91	36,40±1,75	35,59±2,10	36,11±3,33	36,56
82	Pb	38,72±2,07	39,70±1,98	36,60±2,10	38,44±3,65	40,21
83	Bi	43,65±2,37	-	42,13±2,20	43,11±4,21	44,49



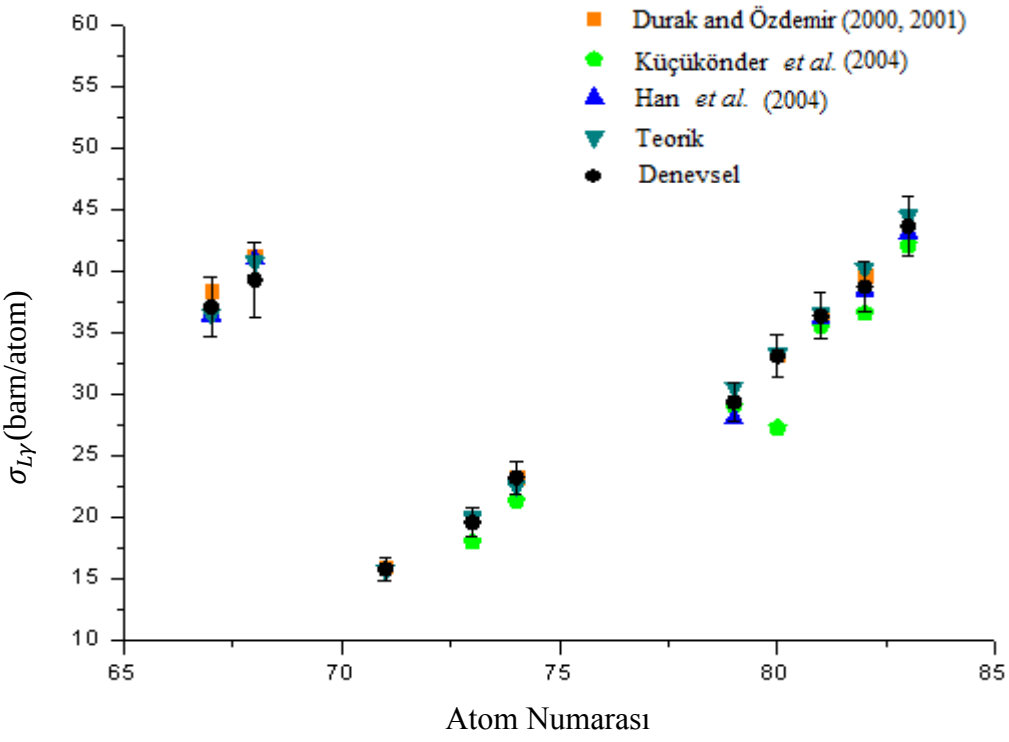
Şekil 4.1. *Ll* X-ışını floresans tesir kesitlerinin atom numarası ile değişimi.



Şekil 4.2. *Lα* X-ışını floresans tesir kesitlerinin atom numarası ile değişimi.



Şekil 4.3. *Lβ* X-ışını floresans tesir kesitlerinin atom numarası ile değişimi.



Şekil 4.4. *Lγ* X-ışını floresans tesir kesitlerinin atom numarası ile değişimi.

Çizelge 4.5. ω_1, L alt tabaka floresans verimleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	Deneysel	* Ref.	Krause (1979) Teorik	Puri *et al.* (1993a) Teorik	Campbell (2003) Tavsiye Edilen Değ.
67	Ho	0,081±0,009	0,104±0,008	c	0,094	0,095	0,110
			0,114±0,009	d			
68	Er	0,082±0,009	0,095±0,010	e	0,100	0,105	0,120
			0,113±0,009	c			
			0,135±0,010	d			
71	Lu	0,111±0,012	0,122±0,010	a	0,120	0,120	0,140
73	Ta	0,117±0,012	0,119±0,020	e	0,137	0,131	0,145
			0,137±0,010	b			
74	W	0,164±0,017	0,121±0,02	e	0,147	0,136	0,150
			0,141±0,010	b			
			0,142±0,008	a			
79	Au	0,099±0,010	0,098±0,008	b	0,107	0,078	0,130
			0,114±0,010	c			
			0,128±0,010	e			
			0,151±0,012	d			
80	Hg	0,115±0,011	0,059±0,010	e	0,107	0,082	0,130
			0,103±0,005	a			
			0,109±0,008	b			
81	Tl	0,122±0,012	0,075±0,010	e	0,107	0,088	0,100
			0,106±0,007	a			
			0,113±0,008	b			
			0,119±0,011	c			
			0,277±0,022	d			
82	Pb	0,106±0,010	0,093±0,020	e	0,112	0,093	0,100
			0,110±0,008	a			
			0,118±0,008	b			
			0,120±0,011	c			
83	Bi	0,125±0,012	0,096±0,020	e	0,117	0,098	0,110
			0,120±0,007	b			
			0,121±0,012	c			

*** a:** Durak and Özdemir (2001), **b:** Ertuğrul (1998), **c:** Han *et al*. (2007), **d:** Kaya and Ertuğrul (2003), **e:** Şahin *et al.* (2000).

Çizelge 4.6. ω_2, L alt tabaka floresans verimleri.

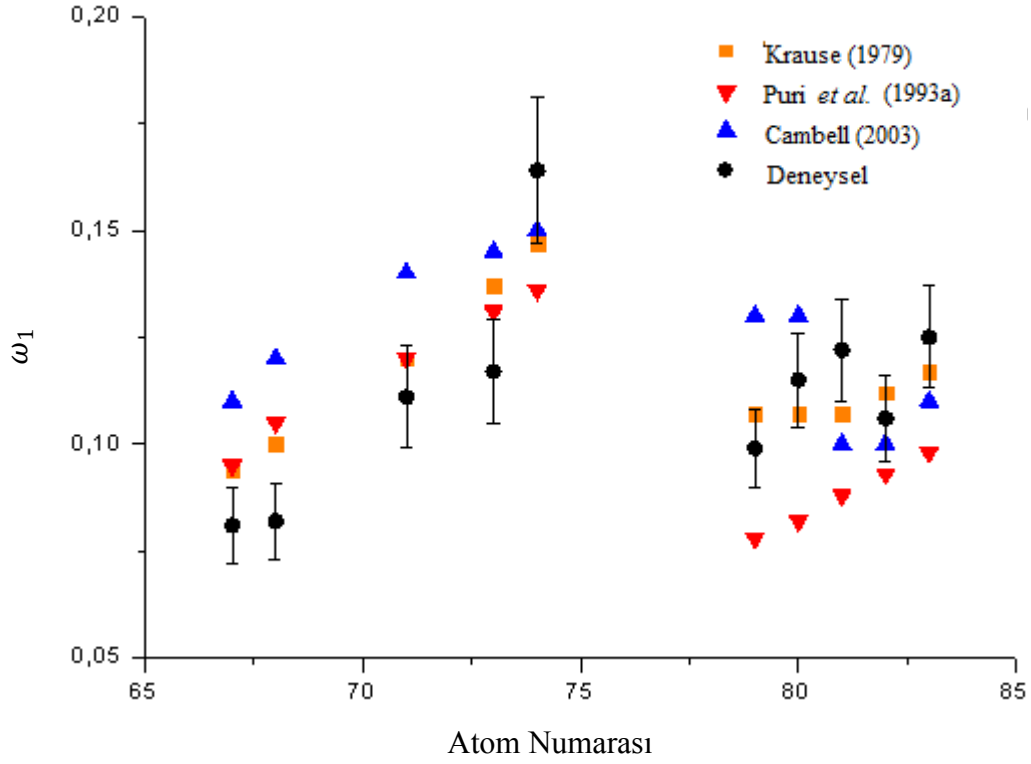
Z	Element	Mevcut Deneysel	Deneysel	* Ref.	Krause (1979) Teorik	Puri *et al.* (1993a) Teorik	Campbell (2003) Tavsiye Edilen Değ.
67	Ho	0,199±0,021	0,153±0,012	d	0,189	0,208	0,208
			0,185±0,015	c			
68	Er	0,199±0,022	0,164±0,013	d	0,200	0,219	0,219
			0,198±0,016	c			
			0,209±0,040	e			
71	Lu	0,255±0,028	0,238±0,025	a	0,234	0,256	0,256
73	Ta	0,310±0,032	0,255±0,020	b	0,258	0,280	0,280
			0,275±0,050	e			
74	W	0,255±0,026	0,259±0,018	b	0,270	0,291	0,291
			0,298±0,019	a			
			0,321±0,050	e			
79	Au	0,328±0,032	0,294±0,017	b	0,334	0,358	0,358
			0,329±0,030	c			
			0,394±0,060	e			
			0,401±0,032	d			
80	Hg	0,332±0,032	0,337±0,021	b	0,347	0,370	0,370
			0,352±0,025	a			
			0,423±0,050	e			
81	Tl	0,334±0,032	0,243±0,019	d	0,360	0,384	0,384
			0,333±0,025	b			
			0,353±0,032	c			
			0,358±0,029	a			
			0,420±0,070	e			
82	Pb	0,362±0,035	0,366±0,008	a	0,373	0,397	0,397
			0,367±0,035	c			
			0,385±0,023	b			
			0,422±0,070	e			
83	Bi	0,365±0,036	0,362±0,035	c	0,387	0,411	0,411
			0,396±0,029	b			
			0,398±0,050	e			

*** a:** Durak and Özdemir (2001), **b:** Ertuğrul (1998), **c:** Han *et al*. (2007), **d:** Kaya and Ertuğrul (2003), **e:** Şahin *et al.* (2000).

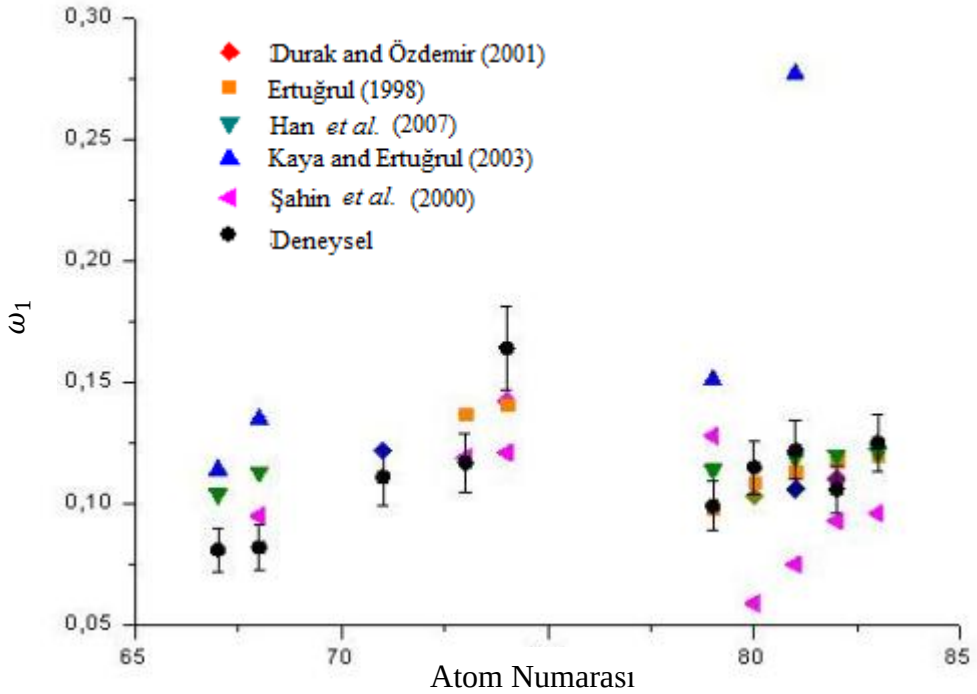
Çizelge 4.7. ω_3, L alt tabaka floresans verimleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	Deneysel	* Ref.	Krause (1979) Teorik	Puri *et al.* (1993a) Teorik	Campbell (2003) Tavsiye Edilen Değ.
67	Ho	0,172±0,010	0,160±0,012	d	0,182	0,193	0,193
			0,180±0,013	c			
68	Er	0,192±0,011	0,162±0,012	d	0,192	0,203	0,203
			0,192±0,030	e			
			0,193±0,014	c			
71	Lu	0,240±0,016	0,224±0,013	a	0,220	0,231	0,231
73	Ta	0,277±0,017	0,243±0,016	b	0,243	0,251	0,251
			0,250±0,040	e			
74	W	0,276±0,016	0,253±0,017	b	0,255	0,261	0,261
			0,264±0,010	a			
			0,282±0,050	e			
79	Au	0,323±0,018	0,319±0,028	c	0,320	0,313	0,313
			0,324±0,022	b			
			0,339±0,020	d			
			0,344±0,060	e			
80	Hg	0,345±0,019	0,326±0,022	b	0,333	0,322	0,322
			0,331±0,016	a			
			0,345±0,060	e			
81	Tl	0,356±0,019	0,340±0,016	a	0,347	0,332	0,332
			0,342±0,020	b			
			0,352±0,032	c			
			0,393±0,070	e			
			0,412±0,032	d			
82	Pb	0,358±0,020	0,349±0,023	b	0,360	0,343	0,343
			0,358±0,033	c			
			0,364±0,018	a			
			0,379±0,050	e			
83	Bi	0,373±0,021	0,359±0,027	b	0,373	0,353	0,353
			0,362±0,060	e			
			0,374±0,034	c			

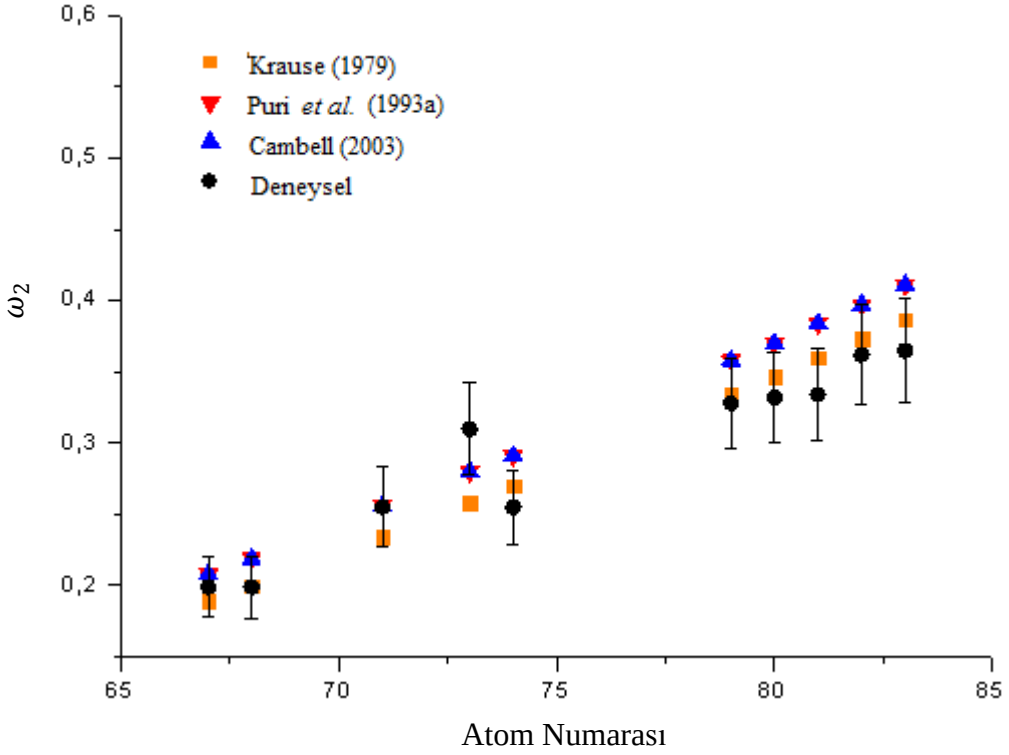
*** a:** Durak and Özdemir (2001), **b:** Ertuğrul (1998), **c:** Han *et al*. (2007), **d:** Kaya and Ertuğrul (2003), **e:** Şahin *et al.* (2000).



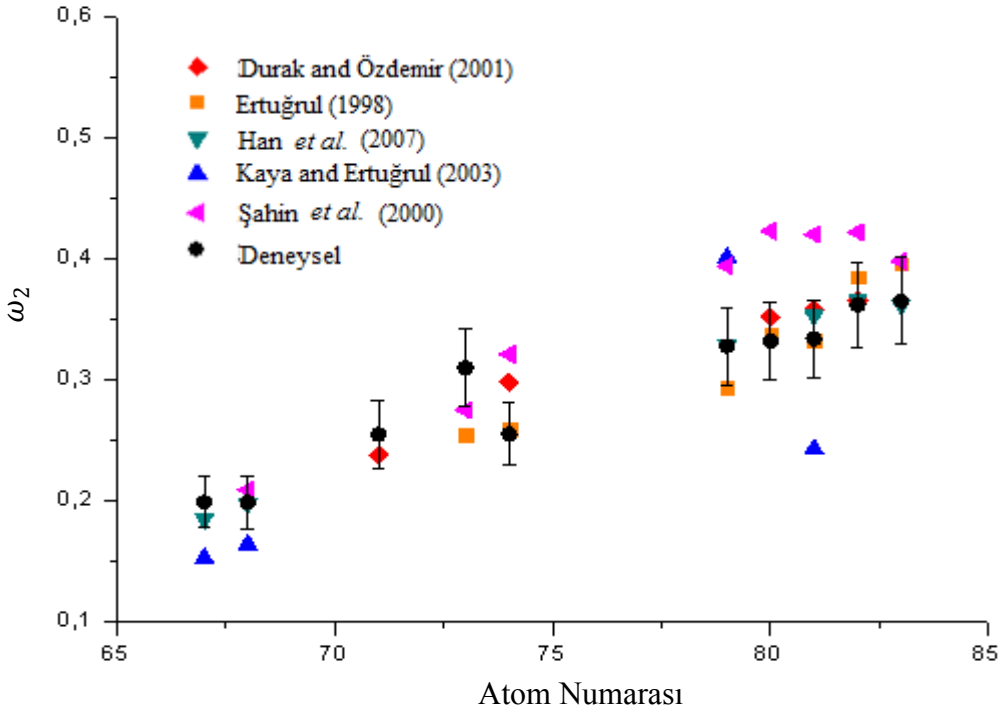
Şekil 4.5. ω_1, L alt tabaka floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi.



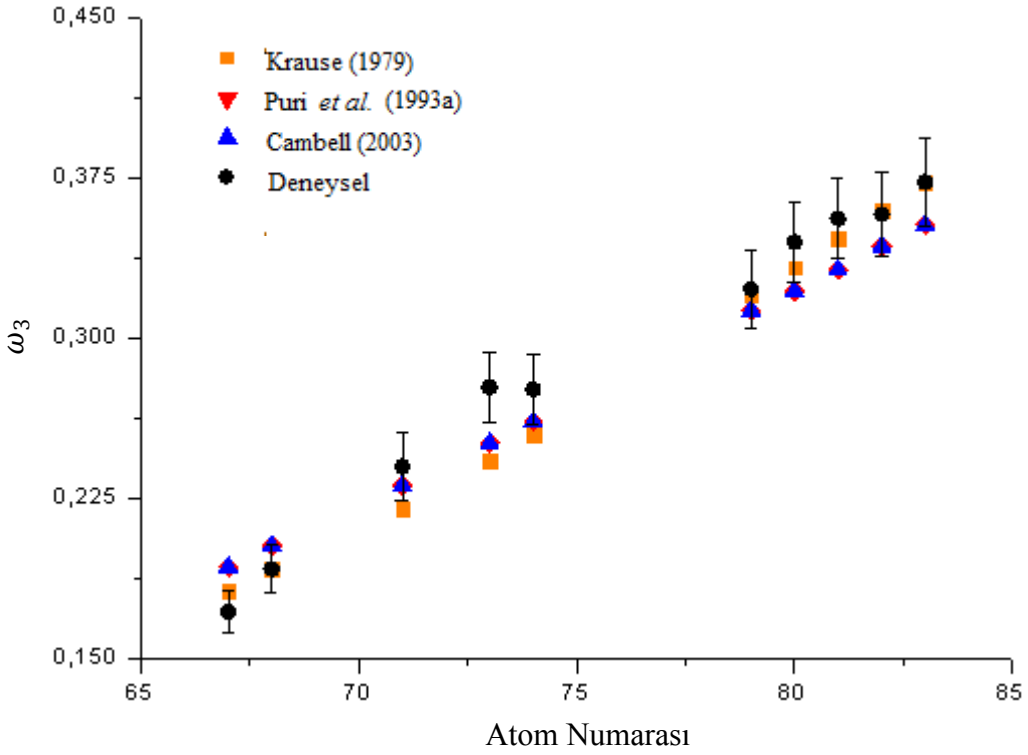
Şekil 4.6. ω_1, L alt tabaka floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi.



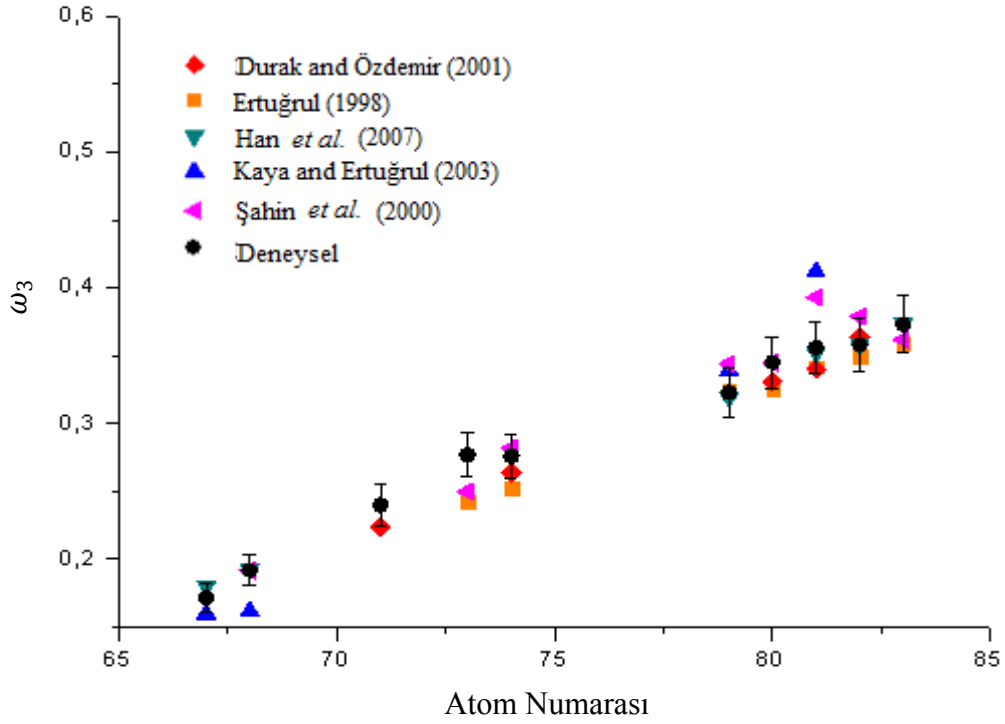
Şekil 4.7. ω_2, L alt tabaka floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi.



Şekil 4.8. ω_2, L alt tabaka floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi.



Şekil 4.9. ω_3, L alt tabaka floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi.



Şekil 4.10. ω_3, L alt tabaka floresans verimlerinin atom numarası ile değişimi.

4.2. L Alt Tabaka Seviye Genişlikleri Araştırma Bulguları

Atom numarası 67≤Z≤83 arasındaki bazı elementlerin deneysel ve literatürden elde edilebilen teorik seviye genişlikleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.8-10'da verilmilştir. Ayrıca *L* alt tabaka seviye genişliklerinin atom numarası ile değişimi Şekil 4.11-13'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Γ_{L_1} (eV), *L* alt tabaka seviye genişlikleri.

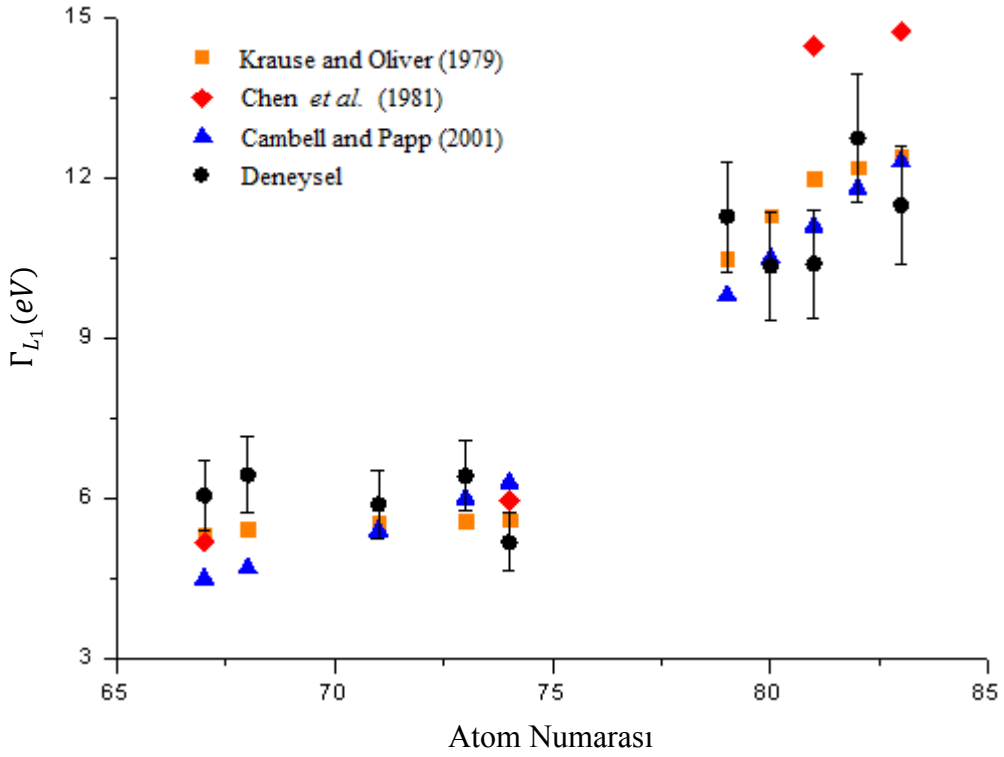
		Mevcut	**Krause and Oliver (1979)**	**Chen *et al.* (1981)**	**Campbell and Papp (2001)**
Z	**Element**	**Deneysel**	**Teorik**	**Teorik**	**Tavsiye Edilen Değerler**
67	Ho	6,06±0,67	5,33	5,19	4,50
68	Er	6,44±0,71	5,43	-	4,70
71	Lu	5,89±0,64	5,54	-	5,40
73	Ta	6,42±0,66	5,58	-	6,00
74	W	5,18±0,54	5,61	5,96	6,30
79	Au	11,28±1,03	10,50	-	9,80
80	Hg	10,35±1,00	11,30	14,47	10,50
81	Tl	10,39±1,02	12,00	-	11,10
82	Pb	12,74±1,20	12,20	-	11,80
83	Bi	11,49±1,10	12,40	14,74	12,30

Çizelge 4.9. Γ_{L_2}(eV), *L* alt tabaka seviye genişlikleri.

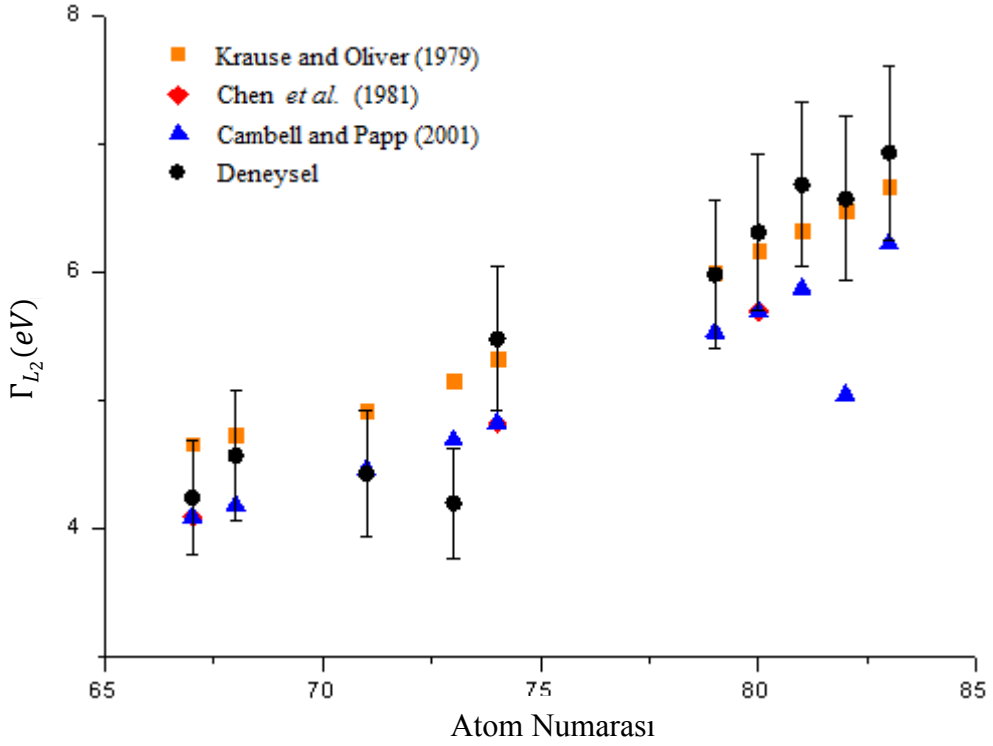
Z	Element	Mevcut Deneysel	Krause and Oliver (1979) Teorik	Chen *et al.* (1981) Teorik	Campbell and Papp (2001) Tavsiye Edilen Değerler
67	Ho	4,24±0,45	4,66	4,09	4,09
68	Er	4,57±0,50	4,73	-	4,18
71	Lu	4,43±0,49	4,92	-	4,46
73	Ta	4,20±0,43	5,15	-	4,69
74	W	5,48±0,56	5,33	4,82	4,82
79	Au	5,98±0,58	6,00	-	5,53
80	Hg	6,31±0,61	6,17	5,70	5,69
81	Tl	6,68±0,64	6,32	-	5,87
82	Pb	6,57±0,64	6,48	-	5,04
83	Bi	6,93±0,68	6,67	-	6,22

Çizelge 4.10. Γ_{L_3} (eV), *L* alt tabaka seviye genişlikleri.

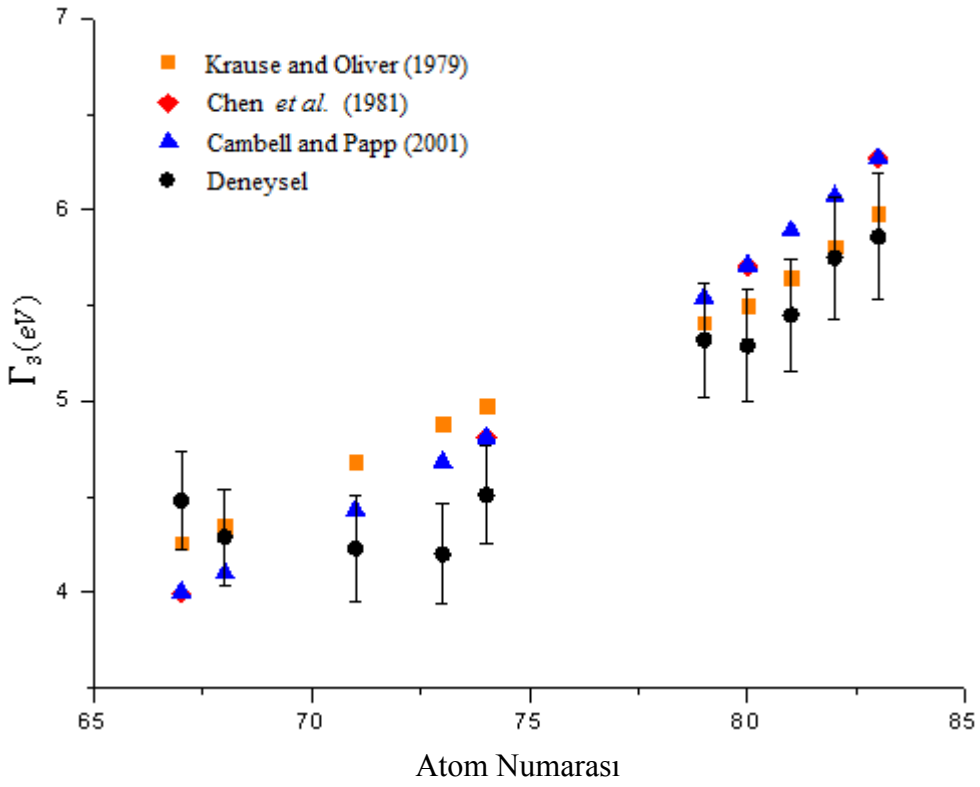
Z	Element	Mevcut Deneysel	Krause and Oliver (1979) Teorik	Chen *et al.* (1981) Teorik	Campbell and Papp (2001) Tavsiye Edilen Değerler
67	Ho	4,48±0,26	4,26	3,99	4,00
68	Er	4,29±0,25	4,35	-	4,10
71	Lu	4,23±0,28	4,68	-	4,43
73	Ta	4,20±0,26	4,88	-	4,68
74	W	4,51±0,26	4,98	4,81	4,81
79	Au	5,32±0,30	5,41	-	5,54
80	Hg	5,29±0,29	5,50	5,70	5,71
81	Tl	5,45±0,29	5,65	-	5,89
82	Pb	5,75±0,32	5,81	-	6,07
83	Bi	5,86±0,33	5,98	6,27	6,27



Şekil 4.11. Γ_{L_1}, L alt tabaka seviye genişliklerinin atom numarası ile değişimi.



Şekil 4.12. Γ_{L_2}, L alt tabaka seviye genişliklerinin atom numarası ile değişimi.



Şekil 4.13. Γ_{L_3}, *L* alt tabaka seviye genişliklerinin atom numarası ile değişimi.

4.3. L Alt Tabaka Işımalı Boşluk Geçiş İhtimaliyetleri Araştırma Bulguları

Atom numarası 67≤Z≤83 aralığındaki bazı elementler için *L* alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin deneysel ve teorik değerleri, *L* alt tabaka seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. L_1 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri Çizelge 4.11-15'de verilmilştir. Ayrıca L_1 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi Şekil 4.14-18'de verilmiştir. L_2 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına boşluk geçiş ihtimaliyetleri Çizelge 4.16-21'de verilmiştir. L_2 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi Şekil 4.19-24'de verilmiştir. L_3 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına boşluk geçiş ihtimaliyetleri Çizelge 4.22-29'da literatürden elde edilebilen diğer deneysel değerlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. L_3 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi Şekil 4.25-32'de diğer deneysel değerlerle birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.11. $\eta_{L_1M_2}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	* Teorik	** Teorik
67	Ho	0,0257±0,0028	0,0293	0,0346
68	Er	0,0262±0,0029	0,0310	0,0359
71	Lu	0,0360±0,0039	0,0382	0,0392
73	Ta	0,0382±0,0039	0,0440	0,0409
74	W	0,0508±0,0053	0,0470	0,0418
79	Au	0,0330±0,0030	0,0355	0,0380
80	Hg	0,0386±0,0037	0,0353	0,0380
81	Tl	0,0410±0,0040	0,0355	0,0384
82	Pb	0,0357±0,0034	0,0373	0,0385
83	Bi	0,0423±0,0040	0,0392	0,0395

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.12. $\eta_{L_1M_3}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	* Teorik	** Teorik
67	Ho	0,0355±0,0040	0,0403	0,0477
68	Er	0,0356±0,0040	0,0423	0,0488
71	Lu	0,0470±0,0051	0,0500	0,0513
73	Ta	0,0486±0,0050	0,0559	0,0520
74	W	0,0637±0,0066	0,0588	0,0523
79	Au	0,0381±0,0035	0,0410	0,0439
80	Hg	0,0437±0,0042	0,0400	0,0430
81	Tl	0,0456±0,0045	0,0395	0,0427
82	Pb	0,0390±0,0037	0,0407	0,0421
83	Bi	0,0453±0,0043	0,0419	0,0423

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.13. $\eta_{L_1N_2}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	* Teorik	** Teorik
67	Ho	0,0061±0,0007	0,0070	0,0082
68	Er	0,0062±0,0007	0,0074	0,0086
71	Lu	0,0087±0,0009	0,0092	0,0094
73	Ta	0,0093±0,0009	0,0107	0,0100
74	W	0,0125±0,0013	0,0115	0,0103
79	Au	0,0084±0,0008	0,0090	0,0096
80	Hg	0,0098±0,0009	0,0090	0,0097
81	Tl	0,0105±0,0010	0,0091	0,0098
82	Pb	0,0092±0,0009	0,0096	0,0099
83	Bi	0,0109±0,0010	0,0101	0,0102

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.14. $\eta_{L_1N_3}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	* Teorik	** Teorik
67	Ho	0,0088±0,0010	0,0100	0,0119
68	Er	0,0089±0,0010	0,0106	0,0122
71	Lu	0,0119±0,0013	0,0127	0,0130
73	Ta	0,0125±0,0013	0,0144	0,0134
74	W	0,0165±0,0017	0,0153	0,0136
79	Au	0,0104±0,0010	0,0111	0,0120
80	Hg	0,0120±0,0012	0,0111	0,0118
81	Tl	0,0127±0,0012	0,0110	0,0118
82	Pb	0,0109±0,0010	0,0114	0,0118
83	Bi	0,0128±0,0012	0,0119	0,0119

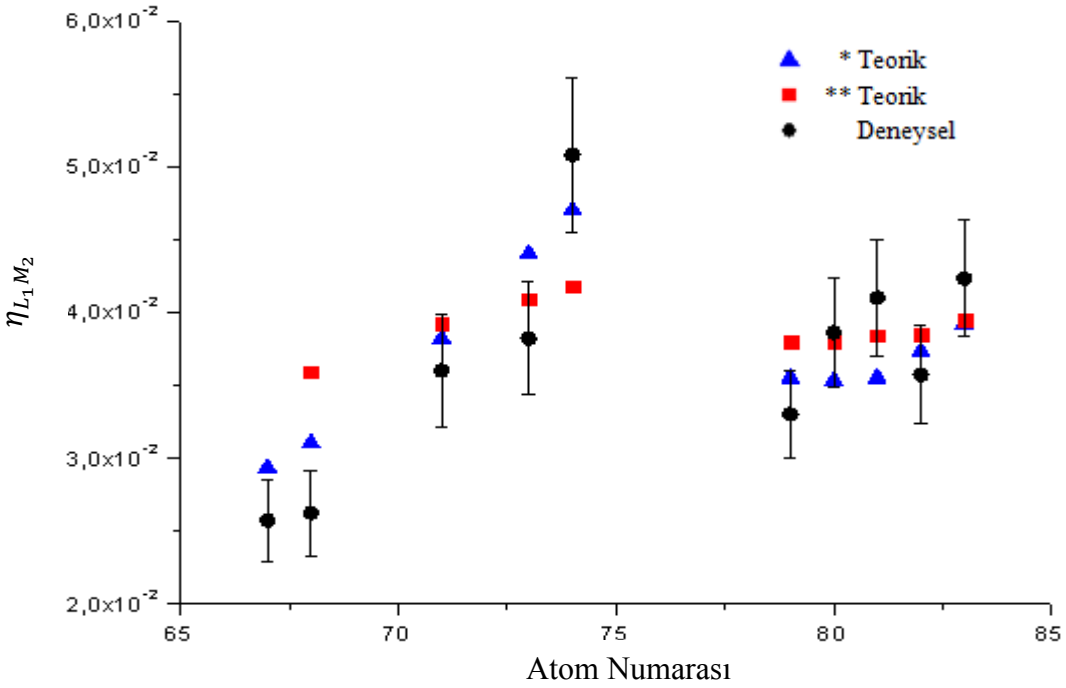
***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.15. $\eta_{L_1O_{2,3}}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	* Teorik	** Teorik
67	Ho	0,0020±0,0002	0,0022	0,0026
68	Er	0,0020±0,0002	0,0023	0,0027
71	Lu	0,0027±0,0003	0,0029	0,0030
73	Ta	0,0032±0,0003	0,0037	0,0034
74	W	0,0044±0,0005	0,0041	0,0036
79	Au	0,0033±0,0003	0,0035	0,0038
80	Hg	0,0040±0,0004	0,0036	0,0039
81	Tl	0,0044±0,0004	0,0038	0,0041
82	Pb	0,0039±0,0004	0,0041	0,0042
83	Bi	0,0047±0,0005	0,0044	0,0044

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

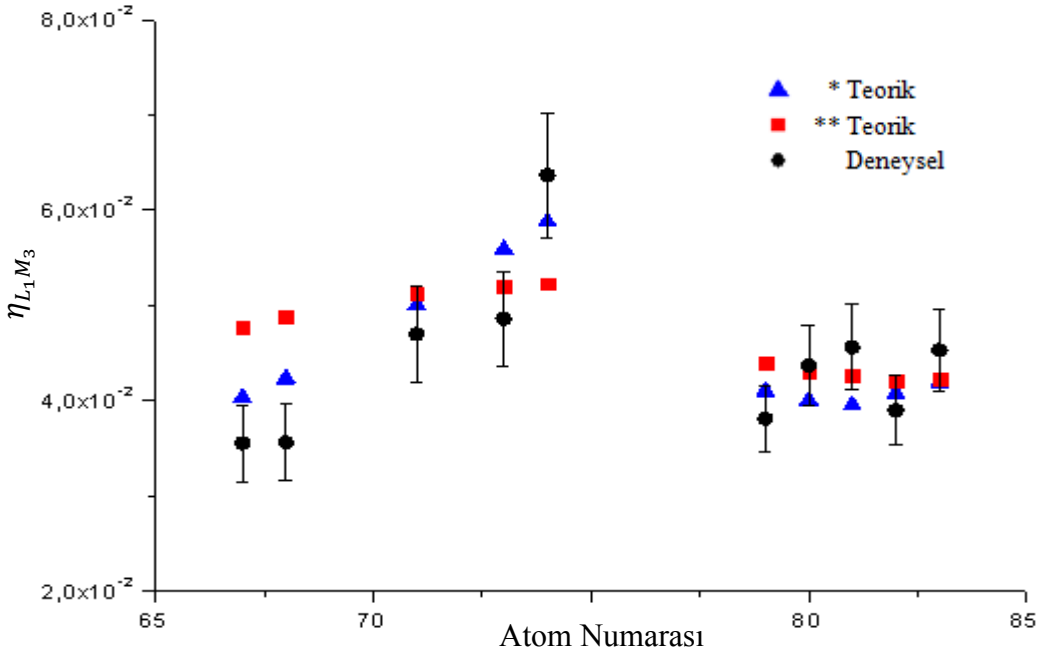
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılara hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.14. $\eta_{L_1M_2}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

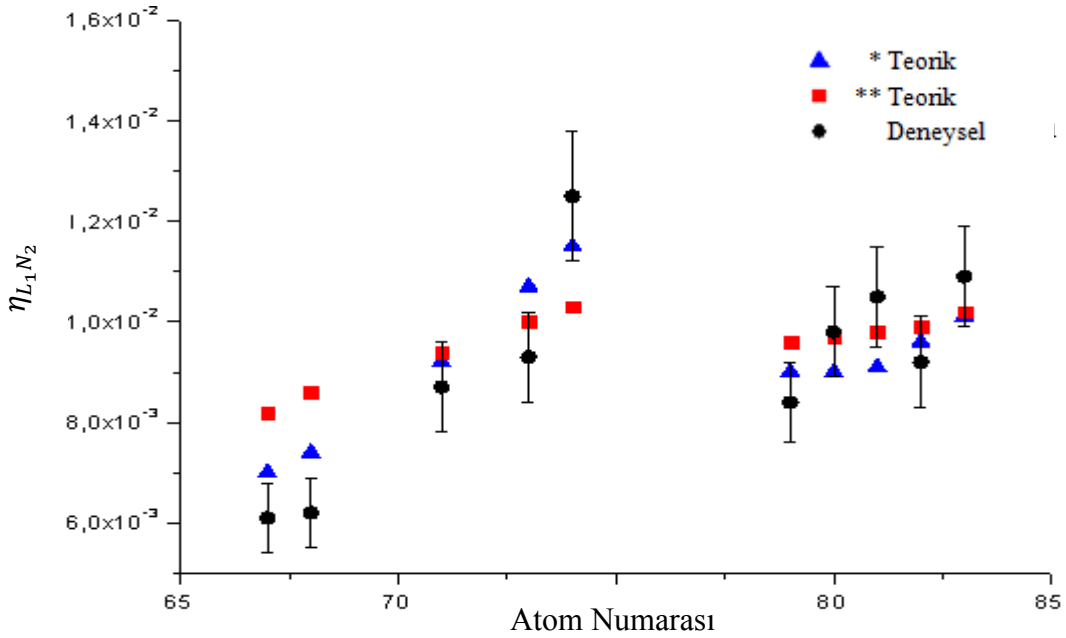
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.15. $\eta_{L_1M_3}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

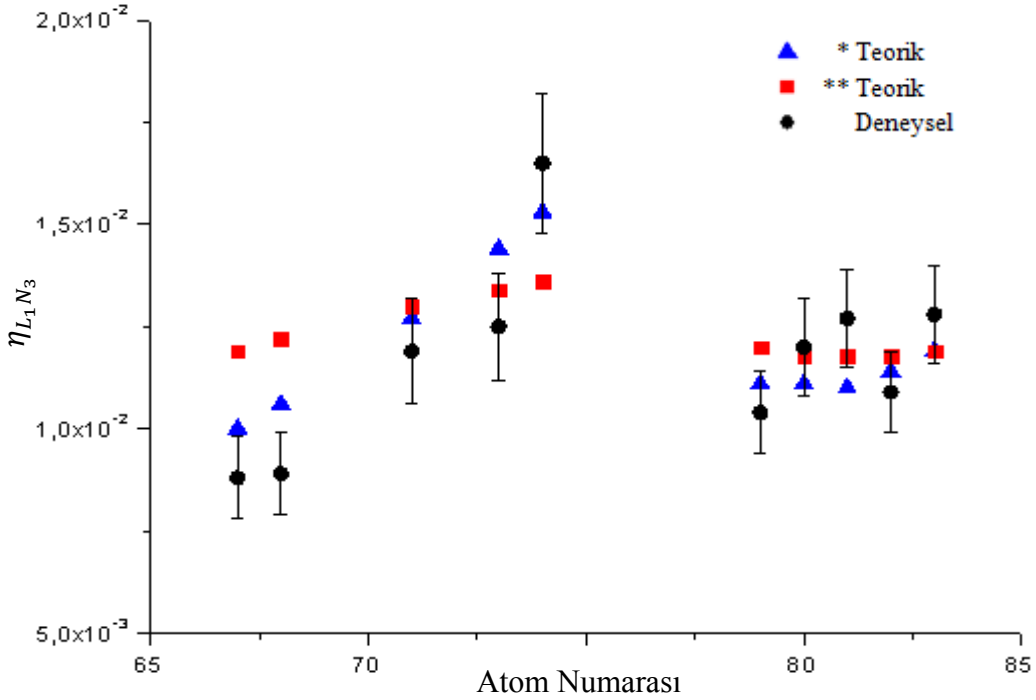
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.16. $\eta_{L_1N_2}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

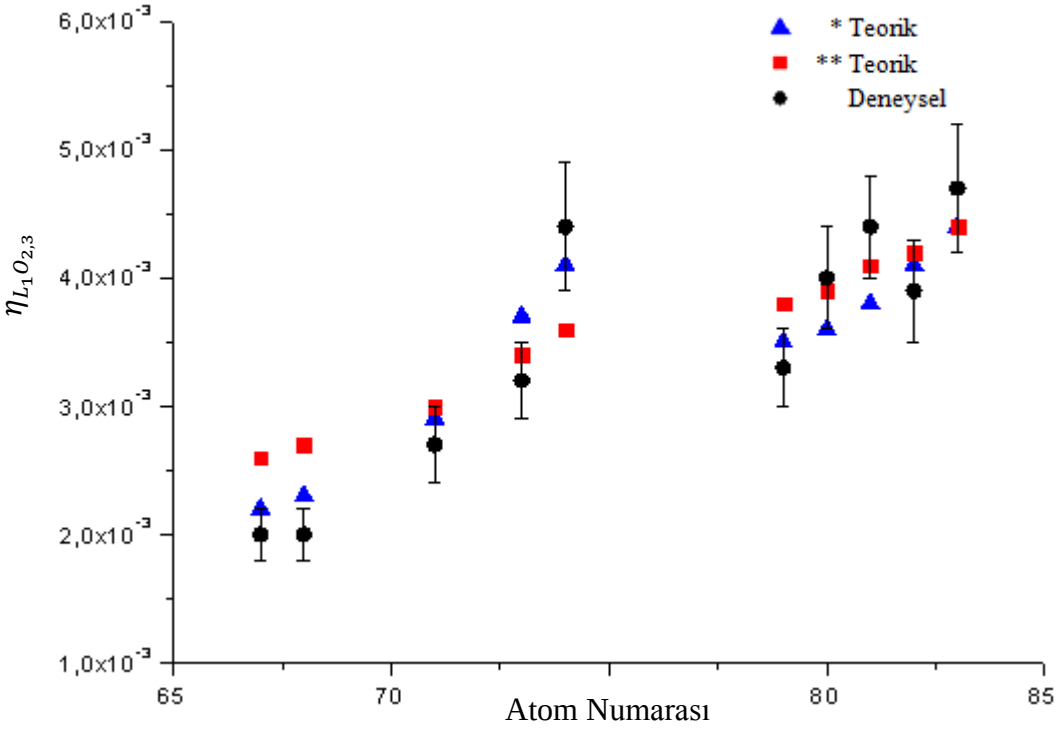
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.17. $\eta_{L_1N_3}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.18. $\eta_{L_1O_{2,3}}(R)$,ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.
***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.16. $\eta_{L_2M_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	* Teorik	** Teorik
67	Ho	0,0044±0,0005	0,0040	0,0046
68	Er	0,0044±0,0005	0,0043	0,0048
71	Lu	0,0056±0,0006	0,0051	0,0056
73	Ta	0,0068±0,0007	0,0055	0,0061
74	W	0,0056±0,0006	0,0057	0,0063
79	Au	0,0070±0,0007	0,0070	0,0076
80	Hg	0,0071±0,0007	0,0073	0,0079
81	Tl	0,0072±0,0007	0,0076	0,0082
82	Pb	0,0077±0,0008	0,0079	0,0101
83	Bi	0,0078±0,0008	0,0081	0,0087

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.17. $\eta_{L_2M_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	* Teorik	** Teorik
67	Ho	0,164±0,017	0,145	0,170
68	Er	0,164±0,018	0,158	0,179
71	Lu	0,209±0,023	0,189	0,208
73	Ta	0,253±0,026	0,207	0,227
74	W	0,208±0,021	0,213	0,236
79	Au	0,261±0,025	0,261	0,283
80	Hg	0,264±0,026	0,270	0,292
81	Tl	0,264±0,025	0,279	0,301
82	Pb	0,285±0,028	0,289	0,372
83	Bi	0,287±0,028	0,298	0,319

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.18. $\eta_{L_2N_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	* Teorik	** Teorik
67	Ho	0,0011±0,0001	0,0009	0,0011
68	Er	0,0011±0,0001	0,0010	0,0012
71	Lu	0,0014±0,0001	0,0012	0,0014
73	Ta	0,0017±0,0002	0,0013	0,0015
74	W	0,0014±0,0001	0,0014	0,0016
79	Au	0,0018±0,0002	0,0018	0,0019
80	Hg	0,0018±0,0002	0,0019	0,0020
81	Tl	0,0018±0,0002	0,0019	0,0021
82	Pb	0,0020±0,0002	0,0020	0,0026
83	Bi	0,0020±0,0002	0,0021	0,0022

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.19. $\eta_{L_2N_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	* Teorik	** Teorik
67	Ho	0,029±0,003	0,026	0,030
68	Er	0,029±0,003	0,028	0,032
71	Lu	0,038±0,004	0,034	0,037
73	Ta	0,047±0,005	0,038	0,042
74	W	0,039±0,004	0,040	0,044
79	Au	0,052±0,005	0,051	0,056
80	Hg	0,053±0,005	0,054	0,058
81	Tl	0,053±0,005	0,056	0,060
82	Pb	0,058±0,006	0,059	0,076
83	Bi	0,059±0,006	0,062	0,066

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.20. $\eta_{L_2O_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	* Teorik	** Teorik
67	Ho	0,00017±0,00002	0,00016	0,00018
68	Er	0,00017±0,00002	0,00017	0,00019
71	Lu	0,00022±0,00003	0,00020	0,00022
73	Ta	0,00030±0,00003	0,00024	0,00026
74	W	0,00025±0,00003	0,00026	0,00028
79	Au	0,00036±0,00004	0,00036	0,00039
80	Hg	0,00038±0,00004	0,00039	0,00042
81	Tl	0,00039±0,00004	0,00041	0,00044
82	Pb	0,00043±0,00004	0,00044	0,00057
83	Bi	0,00045±0,00004	0,00047	0,00050

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

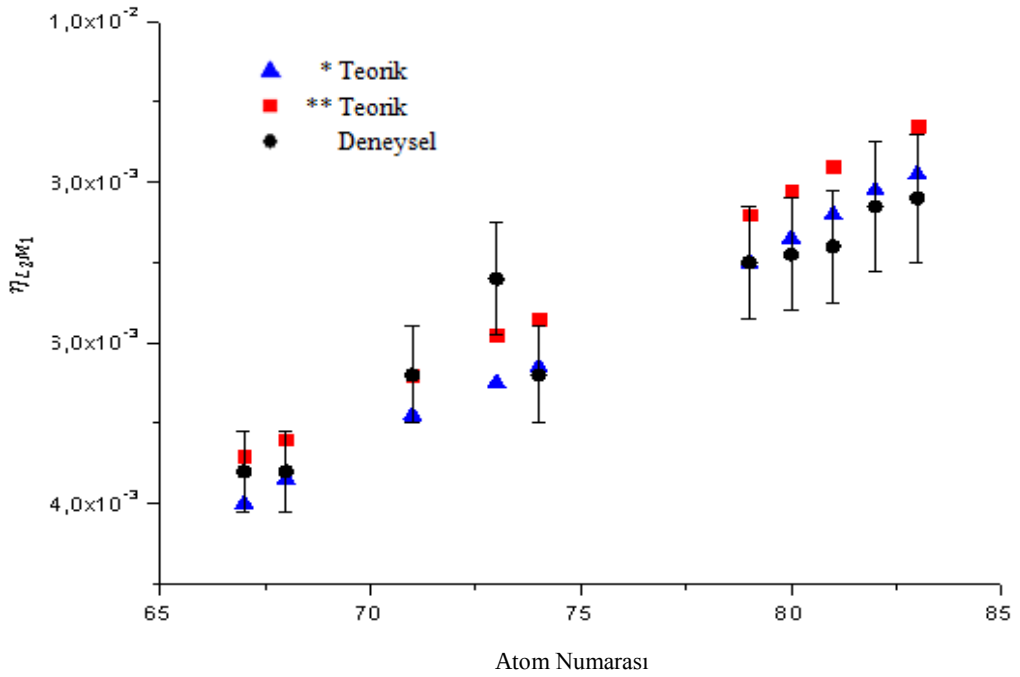
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.21. $\eta_{L_2O_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	* Teorik	** Teorik
71	Lu	0,00016±0,00002	0,00015	0,00016
73	Ta	0,00086±0,00009	0,00070	0,00077
74	W	0,00107±0,00010	0,00110	0,00121
79	Au	0,00486±0,00047	0,00484	0,00525
80	Hg	0,00547±0,00053	0,00559	0,00606
81	Tl	0,00609±0,00058	0,00644	0,00693
82	Pb	0,00721±0,00070	0,00731	0,00940
83	Bi	0,00788±0,00080	0,00819	0,00878

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

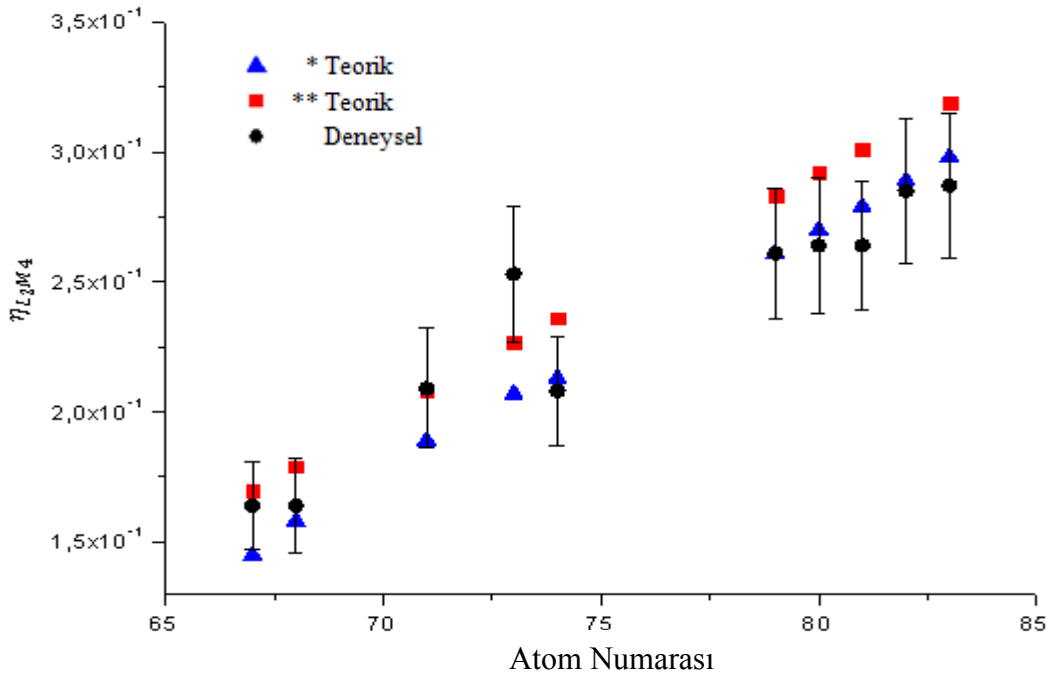
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.19. $\eta_{L_2M_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

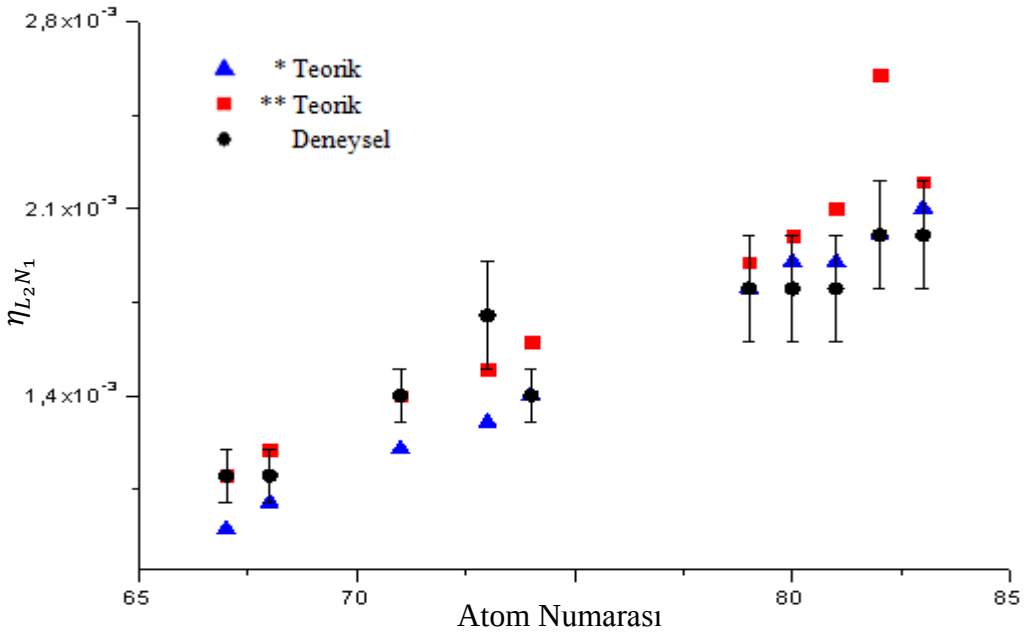
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.20. $\eta_{L_2M_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

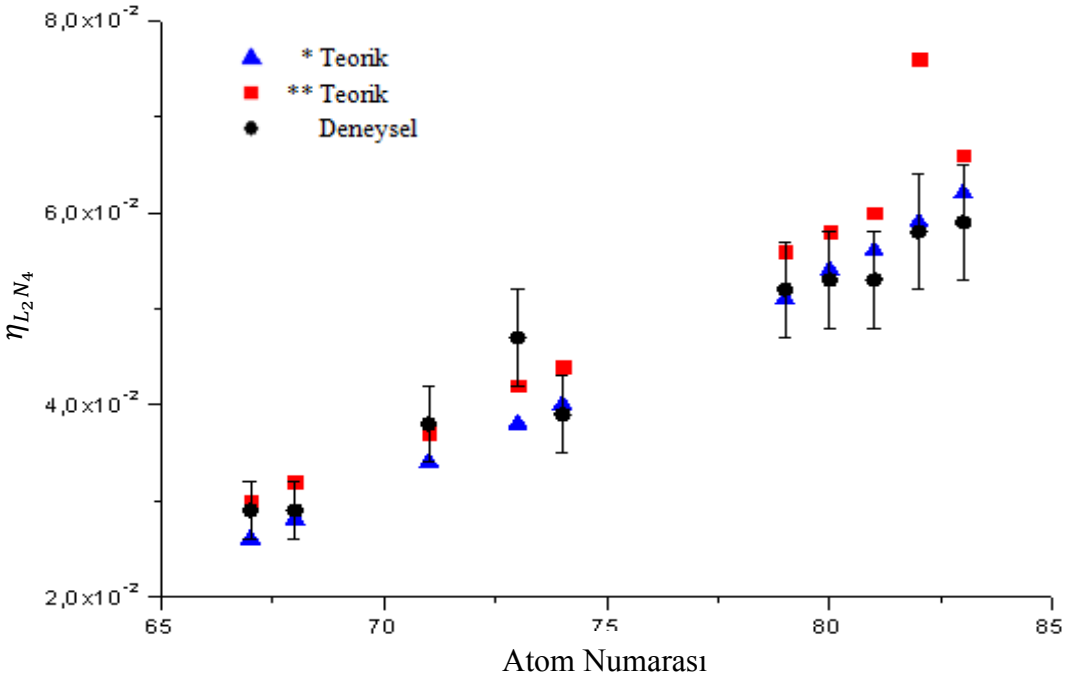
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.21. $\eta_{L_2N_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

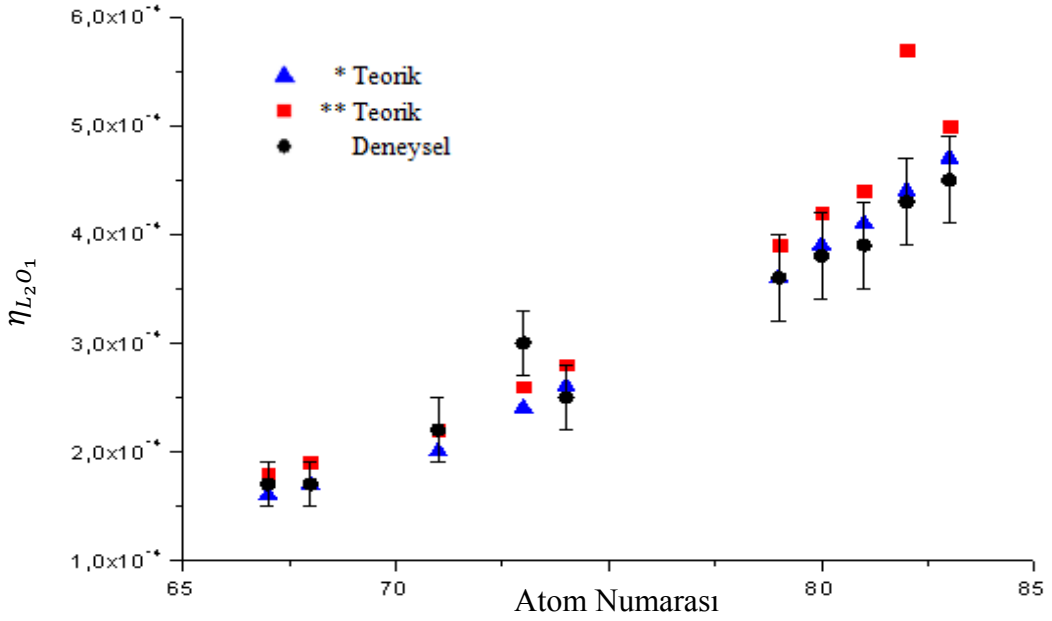
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.22. $\eta_{L_2N_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

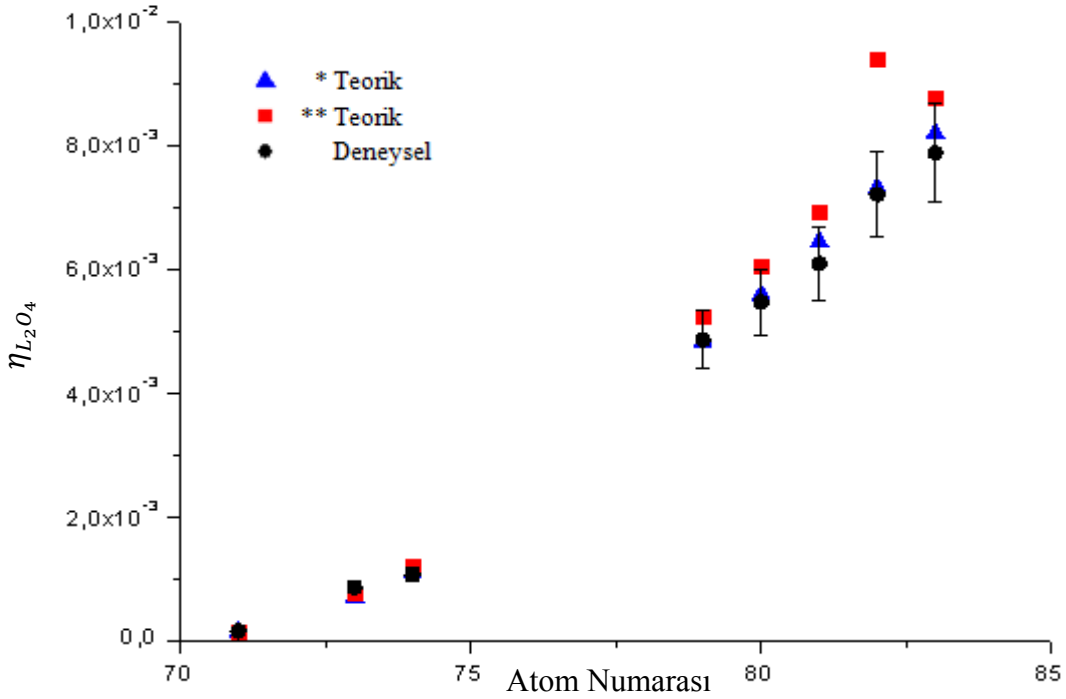
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.23 $\eta_{L_2O_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.24. $\eta_{L_2O_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri

Çizelge 4.22. $\eta_{L_3M_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	Deneysel	Ref. (*)	Teorik (**)	Teorik (***)
67	Ho	0,0059±0,0003	-	-	0,0063	0,0066
68	Er	0,0067±0,0004	-	-	0,0068	0,0070
71	Lu	0,0087±0,0006	-	-	0,0079	0,0083
73	Ta	0,0103±0,0006	0,0087±0,0010 0,0090±0,0010	f g	0,0089	0,0092
74	W	0,0103±0,0006	0,0096±0,0010 0,0090±0,0010	f g	0,0094	0,0097
79	Au	0,0128±0,0007	0,0120±0,0010 0,0120±0,0010	f g	0,0126	0,0122
80	Hg	0,0138±0,0008	0,0130±0,0010 0,0120±0,0010	f g	0,0133	0,0128
81	Tl	0,0138±0,0008	0,0140±0,0010 0,0120±0,0010	f g	0,0139	0,0133
82	Pb	0,0146±0,0008	0,0150±0,0010 0,0120±10	f g	0,0145	0,0139
83	Bi	0,0154±0,0009	0,0150±0,0010 0,0130±0,0010	f g	0,0151	0,0144

***** f: Doğan and Ertuğrul (2004).
***** g: Tuzluca *et al.* (2008).
****** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.
******* Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.23. $\eta_{L_3M_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	Deneysel	Ref. (*)	Teorik (**)	Teorik (***)
67	Ho	0,0141±0,0008	-	-	0,0149	0,0159
68	Er	0,0159±0,0009	-	-	0,0157	0,0166
71	Lu	0,0198±0,0013	-	-	0,0179	0,0189
73	Ta	0,0227±0,0014	0,0200±0,0180 0,0210±0,0010	f g	0,0196	0,0204
74	W	0,0226±0,0013	0,0210±0,0200 0,0240±0,0010	f g	0,0204	0,0211
79	Au	0,0259±0,0015	0,0250±0,0020 0,0260±0,0020	f g	0,0255	0,0248
80	Hg	0,0275±0,0015	0,0260±0,0020 0,0210±0,0010	f g	0,0265	0,0255
81	Tl	0,0283±0,0015	0,0270±0,0020 0,0250±0,0020	f g	0,0273	0,0262
82	Pb	0,0284±0,0016	0,0290±0,0030 0,0280±0,0020	f g	0,0281	0,0269
83	Bi	0,0295±0,0016	0,0290±0,0030 0,0280±0,0020	f g	0,0289	0,0275

***** f: Doğan and Ertuğrul (2004).
***** g: Tuzluca *et al.* (2008).
****** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.
******* Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.24. $\eta_{L_3M_5}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	Deneysel	Ref. (*)	Teorik (**)	Teorik (***)
67	Ho	0,125±0,007	-	-	0,132	0,140
68	Er	0,141±0,008	-	-	0,139	0,147
71	Lu	0,175±0,011	-	-	0,158	0,167
73	Ta	0,201±0,012	0,176±0,012 0,188±0,011	f g	0,173	0,180
74	W	0,199±0,011	0,184±0,015 0,210±0,013	f g	0,180	0,187
79	Au	0,228±0,013	0,226±0,020 0,233±0,014	f g	0,224	0,219
80	Hg	0,243±0,013	0,234±0,020 0,189±0,011	f g	0,234	0,225
81	Tl	0,249±0,013	0,244±0,022 0,224±0,013	f g	0,241	0,231
82	Pb	0,250±0,014	0,252±0,021 0,249±0,015	f g	0,247	0,237
83	Bi	0,259±0,015	0,260±0,024 0,243±0,015	f g	0,254	0,242

***** f: Doğan and Ertuğrul (2004).
***** g: Tuzluca *et al.* (2008).
****** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.
******* Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.25. $\eta_{L_3N_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	Deneysel	Ref. (*)	Teorik (**)	Teorik (***)
67	Ho	0,0014±0,0001	-	-	0,0015	0,0016
68	Er	0,0016±0,0001	-	-	0,0016	0,0017
71	Lu	0,0020±0,0001	-	-	0,0019	0,0020
73	Ta	0,0024±0,0001	0,0021±0,0002 0,0023±0,0001	f g	0,0021	0,0022
74	W	0,0025±0,0002	0,0022±0,0002 0,0026±0,0002	f g	0,0022	0,0023
79	Au	0,0031±0,0002	0,0030±0,0003 0,0032±0,0002	f g	0,0031	0,0030
80	Hg	0,0034±0,0002	0,0033±0,0003 0,0026±0,0002	f g	0,0033	0,0031
81	Tl	0,0035±0,0002	0,0034±0,0003 0,0032±0,0002	f g	0,0034	0,0033
82	Pb	0,0036±0,0002	0,0036±0,0003 0,0036±0,0002	f g	0,0036	0,0034
83	Bi	0,0038±0,0002	0,0037±0,0003 0,0036±0,0002	f g	0,0037	0,0036

***** f: Doğan and Ertuğrul (2004).
***** g: Tuzluca *et al.* (2008).
****** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.
******* Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.26. $\eta_{L_3N_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	Deneysel	Ref. (*)	Teorik (**)	Teorik (***)
67	Ho	0,0024±0,0001	-	-	0,0025	0,0027
68	Er	0,0027±0,0002	-	-	0,0026	0,0028
71	Lu	0,0034±0,0002	-	-	0,0030	0,0032
73	Ta	0,0039±0,0002	0,0034±0,0003 0,0037±0,0002	f g	0,0034	0,0035
74	W	0,0039±0,0002	0,0035±0,0003 0,0041±0,0002	f g	0,0036	0,0037
79	Au	0,0047±0,0003	0,0046±0,0003 0,0048±0,0003	f g	0,0046	0,0045
80	Hg	0,0051±0,0003	0,0049±0,0004 0,0040±0,0002	f g	0,0049	0,0047
81	Tl	0,0052±0,0003	0,0052±0,0005 0,0047±0,0003	f g	0,0051	0,0049
82	Pb	0,0053±3	0,0054±0,0003 0,0053±0,0003	f g	0,0053	0,0050
83	Bi	0,0056±0,0003	0,0055±0,0003 0,0052±0,0003	f g	0,0054	0,0052

***** f: Doğan and Ertuğrul (2004).
***** g: Tuzluca *et al.* (2008).
****** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.
******* Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.27. $\eta_{L_3N_5}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	Deneysel	Ref. (*)	Teorik (**)	Teorik (***)
67	Ho	0,0213±0,0012	-	-	0,0224	0,0238
68	Er	0,0239±0,0014	-	-	0,0236	0,0250
71	Lu	0,0301±0,0020	-	-	0,0272	0,0288
73	Ta	0,0352±0,0022	0,0320±0,0030 0,0330±0,0020	f g	0,0303	0,0316
74	W	0,0353±0,0020	0,0320±0,0030 0,0370±0,0022	f g	0,0320	0,0331
79	Au	0,0426±0,0024	0,0410±0,0040 0,0440±0,0026	f g	0,0420	0,0409
80	Hg	0,0458±0,0025	0,0440±0,0040 0,0360±0,0021	f g	0,0440	0,0425
81	Tl	0,0475±0,0025	0,0460±0,0040 0,0430±0,0026	f g	0,0458	0,0440
82	Pb	0,0481±0,0027	0,0480±0,0040 0,0480±0,0029	f g	0,0476	0,0456
83	Bi	0,0504±0,0028	0,0490±0,0040 0,0470±0,0030	f g	0,0493	0,0470

***** f: Doğan and Ertuğrul (2004).
***** g: Tuzluca *et al.* (2008).
****** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.
******* Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.28. $\eta_{L_3O_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

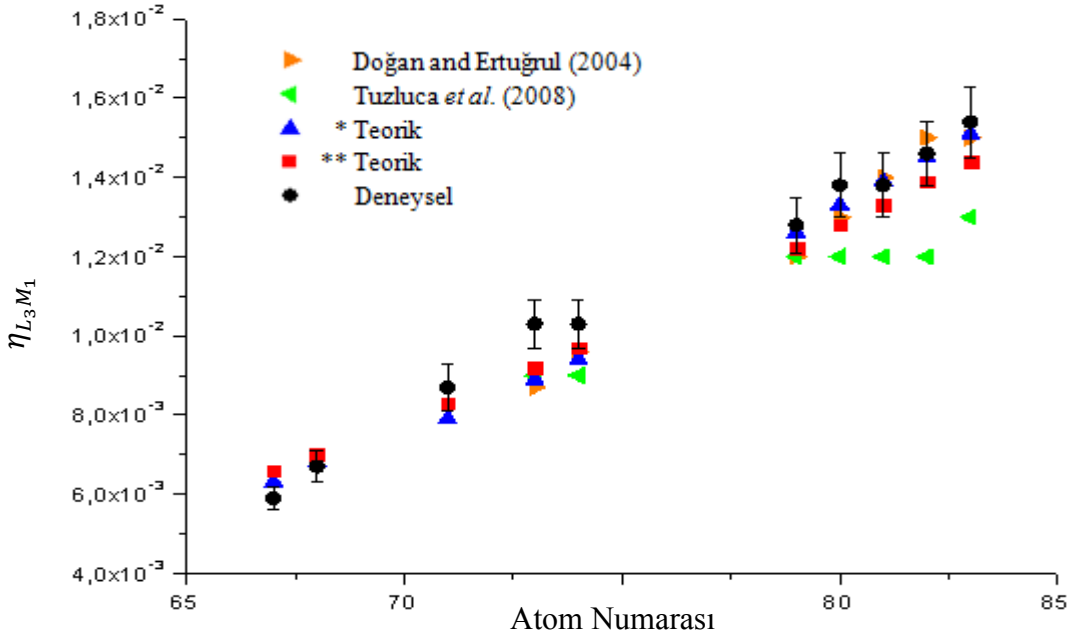
Z	Element	Mevcut Deneysel	Deneysel	Ref. (*)	Teorik (**)	Teorik (***)
67	Ho	0,00023±0,00001	-	-	0,00024	0,00026
68	Er	0,00026±0,00002	-	-	0,00025	0,00027
71	Lu	0,00034±0,00002	-	-	0,00031	0,00033
73	Ta	0,00043±0,00003	0,00038±0,00003 0,00040±0,00010	f g	0,00037	0,00039
74	W	0,00045±0,00003	0,00038±0,00003 0,00050±0,00010	f g	0,00040	0,00042
79	Au	0,00063±0,00004	0,00057±0,00004 0,00060±0,00010	f g	0,00062	0,00060
80	Hg	0,00070±0,00004	0,00069±0,00005 0,00050±0,00010	f g	0,00067	0,00065
81	Tl	0,00074±0,00004	0,00073±0,00006 0,00070±0,00010	f g	0,00072	0,00069
82	Pb	0,00078±0,00004	0,00075±0,00007 0,00080±0,00010	f g	0,00077	0,00074
83	Bi	0,00084±0,00005	0,00082±0,00008 0,00080±0,00010	f g	0,00082	0,00079

***** f: Doğan and Ertuğrul (2004).
***** g: Tuzluca *et al.* (2008).
****** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.
******* Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Çizelge 4.29. $\eta_{L_3O_{4,5}}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

Z	Element	Mevcut Deneysel	Deneysel	Ref. (*)	Teorik (**)	Teorik (***)
71	Lu	0,00013±0,00001	-	-	0,00012	0,00013
73	Ta	0,00069±0,00004	0,00094±0,00008 0,00060±0,00010	f g	0,00059	0,00062
74	W	0,00104±0,00006	0,00094±0,00008 0,00110±0,0001	f g	0,00094	0,00097
79	Au	0,0042±0,0003	0,0041±0,0004 0,0043±0,0003	f g	0,0042	0,0041
80	Hg	0,0050±0,0003	0,0053±0,0005 0,0039±0,0002	f g	0,0049	0,0047
81	Tl	0,0058±0,0003	0,0055±0,0005 0,0052±0,0003	f g	0,0056	0,0054
82	Pb	0,0064±0,0004	0,0061±0,0006 0,0064±0,0004	f g	0,0063	0,0061
83	Bi	0,0072±0,0004	0,0070±0,0004 0,0068±0,0004	f g	0,0070	0,0067

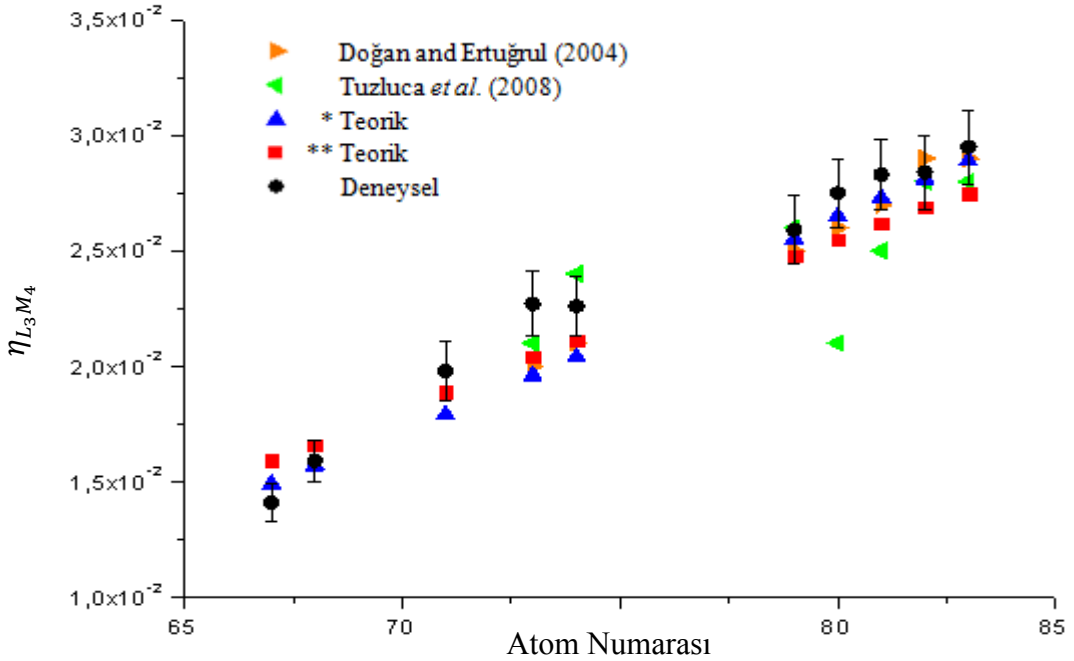
***** f: Doğan and Ertuğrul (2004).
***** g: Tuzluca *et al.* (2008).
****** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.
******* Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.25. $\eta_{L_3M_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

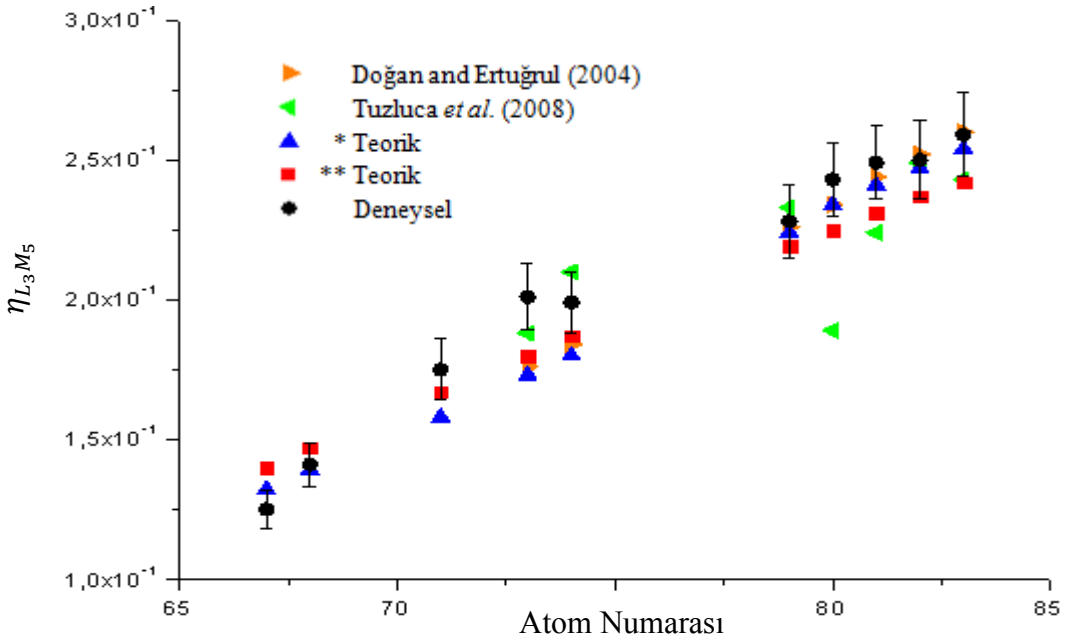
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.26. $\eta_{L_3M_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

* Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

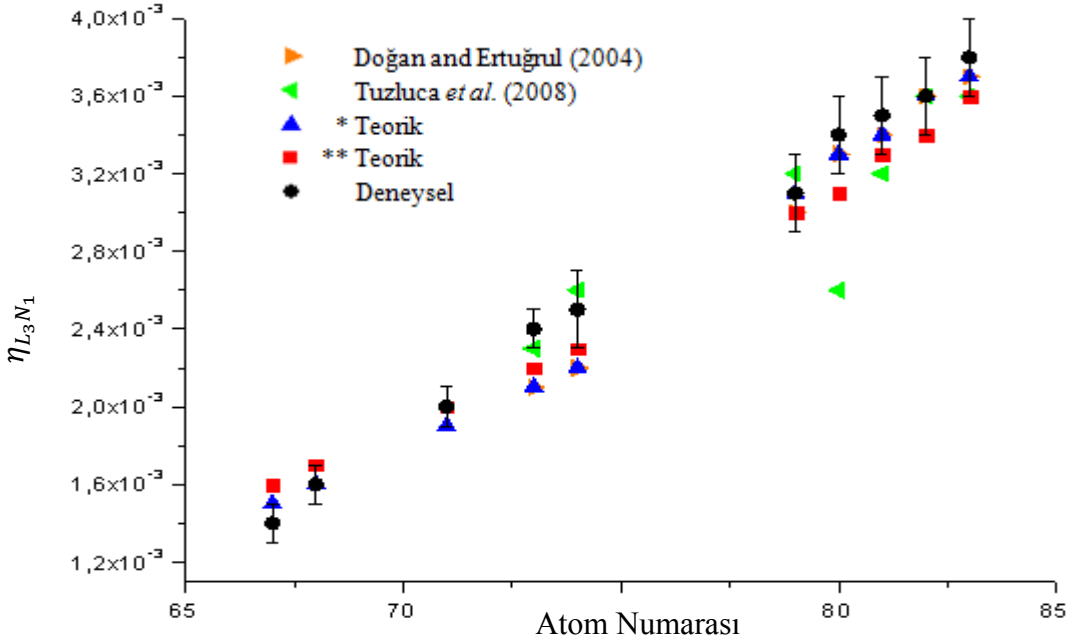
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.27. $\eta_{L_3M_5}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

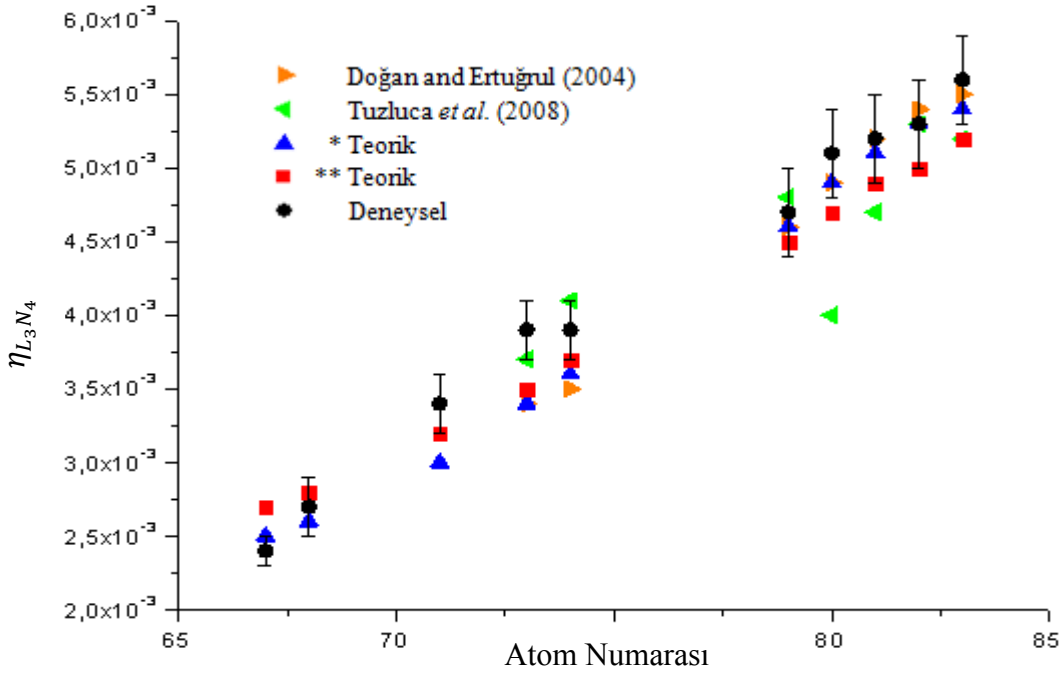
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri



Şekil 4.28. $\eta_{L_3N_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

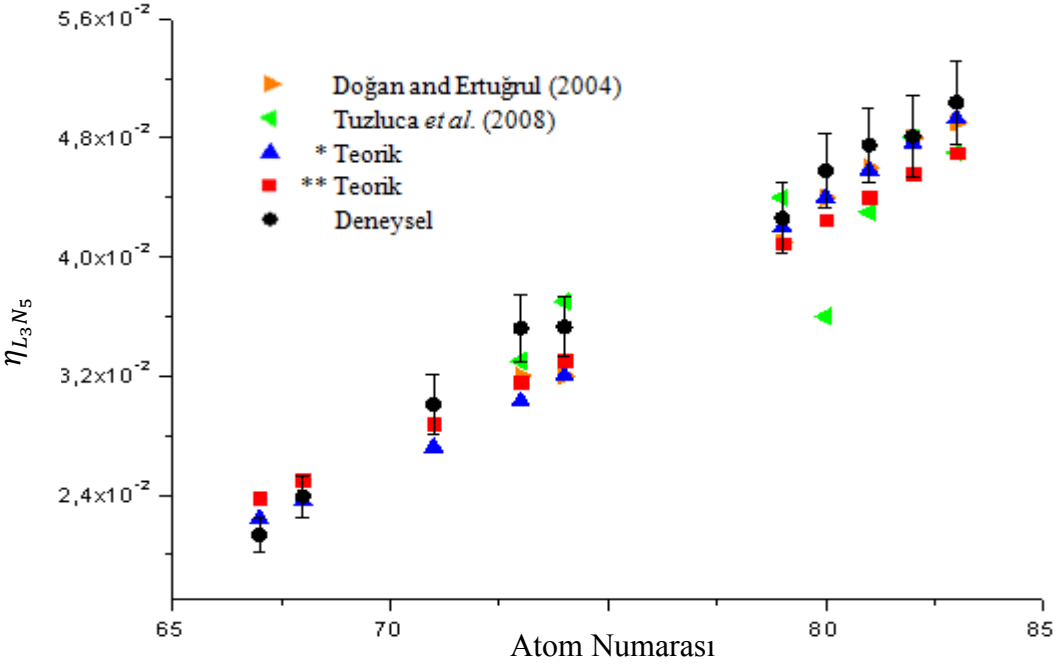
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.29. $\eta_{L_3N_4}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

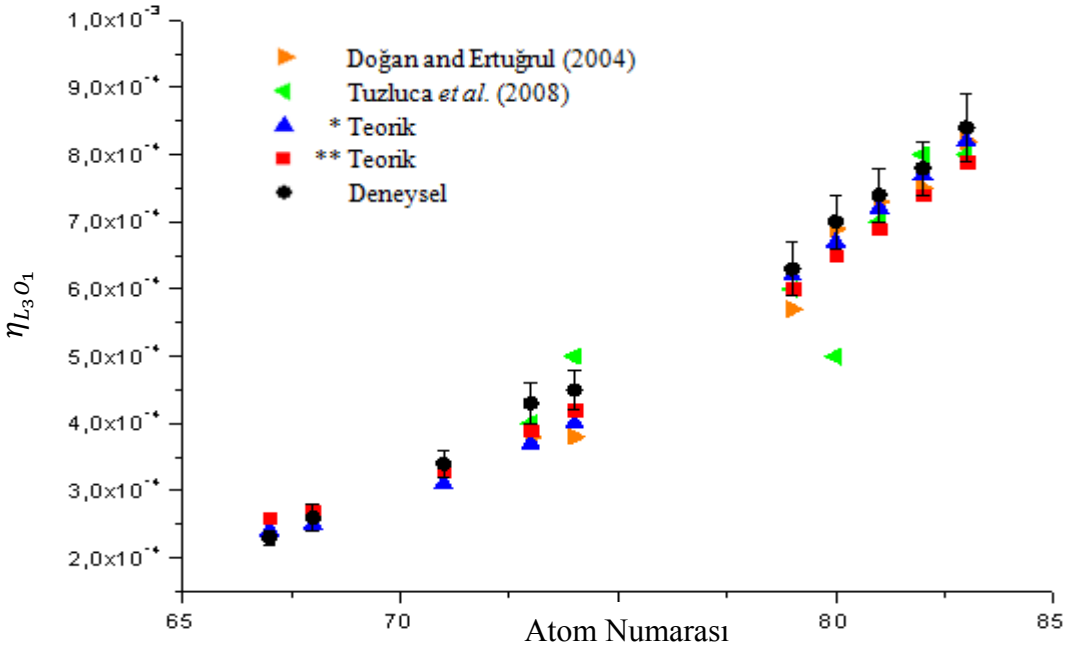
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.30. $\eta_{L_3N_5}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

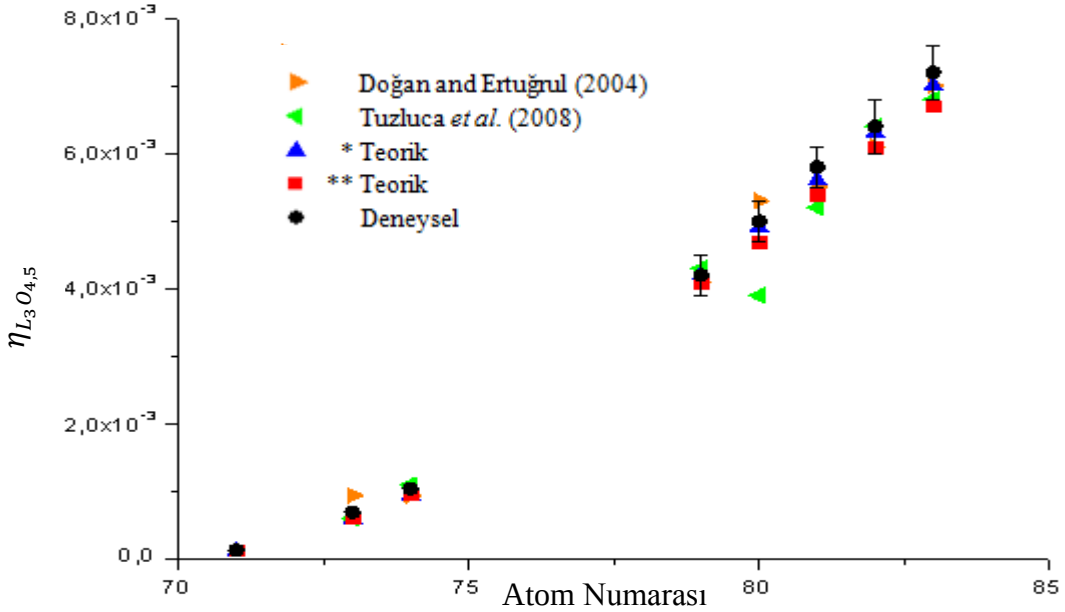
****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.31. $\eta_{L_3O_1}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.



Şekil 4.32. $\eta_{L_3O_{4,5}}(R)$, ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin atom numarası ile değişimi.

***** Krause and Oliver (1979)'in teorik seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

****** Campbell and Papp (2001)'ın tavsiye edilen seviye genişlikleri kullanılarak hesaplanan ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

5.1. L Tabakası X-Işını Floresans Tesir Kesitleri ve L Alt Tabaka Floresans Verimleri

Atom numarası 67≤Z≤83 arasındaki bazı elementler için *L* tabakası X-ışını floresans tesir kesitleri σ_{Li} (*i=l, α, β, γ*) ve *L* alt tabaka floresans verimleri ω_i (*i*= 1, 2, 3) için bulunanan deneysel değerler sırasıyla Çizelge 4.1-4 ve 4.5-7'de literatürden elde edilebilen deneysel ve teorik değerlerle birlikte verilmiştir. Ayrıca bulunan deneysel değerler literatürden elde edilebilen deneysel ve teorik değerlerle birlikte Şekil 4.1-4 ve 4.5-10'da atom numarasının fonksiyonu olarak çizilmiştir.

σ_{Ll}, $\sigma_{L\alpha}$, $\sigma_{L\beta}$ ve $\sigma_{L\gamma}$ X-ışını floresans tesir kesitleri için yapılan hatalar hataların dağılımının klasik kuralına göre hesaplanmış ve sırasıyla ~%5,5-8, ~%5,4-6,1, ~%5,9-6,5, ~%5,2-7,1 arasında olduğu hesaplanmıştır. Bu hatalar L X-ışını pik alanı değerlendirmesinden (%2-6), $I_0 G\varepsilon$ dedektör veriminden (~%4-5), β soğurma düzeltme faktöründe (~%2), t numune kalınlığından (~%2) kaynaklanmaktadır.

Mevcut deneysel σ_{Ll} X-ışını floresans tesir kesitlerinin hesaplanan teorik floresans tesir kesiti değerleri ile arasındaki fark Ta (~%21), W (~%8.9), Hg (~%10.3) hariç ≤%4.2 dir.

$\sigma_{L\alpha}$ X-ışını floresans tesir kesitlerinin hesaplanan teorik floresans tesir kesiti değerleri ile arasındaki fark Lu (~%9,4), Ta (~%14), W (~%8,4) hariç ≤%5,4 dür.

$\sigma_{L\beta}$ X-ışını floresans tesir kesitlerinin hesaplanan teorik floresans tesir kesiti değerleri ile arasındaki fark Ta (~%9) hariç ≤~%3,1 dir.

$\sigma_{L\gamma}$ X-ışını floresans tesir kesitlerinin hesaplanan teorik floresans tesir kesiti değerleri ile arasındaki fark ≤%4,1 dir.

Deneysel *L* alt tabaka floresans verim değerleri için yapılan hatalar ω_1 ve ω_2 için ~%9,5-11,2, ω_3 için ~%5,4-6,7'dir.

Deneysel ω_1 *L* alt tabaka floresans verim değerlerinin Krause (1979)'ın teorik değerleri ile arasındaki fark ~%5,3-14,6'dır. Campbell (2003)'in tavsiye edilen değerleri ile deneysel ω_1 *L* alt tabaka floresans verim değerleri arasındaki fark ~%9,3-31,7'dir.

Deneysel ω_2 *L* alt tabaka floresans verim değerlerinin Krause (1979)'ın teorik değerleri ile arasındaki fark Lu (%9) ve Ta (%20) hariç ≤%7,2'dir. Campbell (2003)'in tavsiye edilen değerleri ile deneysel ω_2 L alt tabaka floresans verim değerleri arasındaki fark ~%0,4-13'dür.

Deneysel ω_3 *L* alt tabaka floresans verim değerlerinin Krause (1979)'ın teorik değerleri ile arasındaki fark Ta (%14) hariç ≤%9,1'dir. Campbell (2003)'in tavsiye edilen değerleri ile deneysel ω_3 L alt tabaka floresans verim değerleri arasındaki fark ~%3,2-10,9'dur.

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmada hesaplanan deneysel *L* X-ışını floresans tesir kesitleri ve *L* alt tabaka floresans verim değerleri genel olarak teorik sonuçlarla uyum göstermiştir. Fakat, bazı elementler için deneysel *L* tabakası floresans tesir kesitlerinin ve *L* alt tabaka floresans verimlerinin teorik değerlerle uyumsuz olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi *L* tabakası floresans tesir kesitlerini etkileyen numune tartımı, deney geometrisi, öz soğurma düzeltme faktörü ve sayma sisteminden gelen deneysel hatalar olabilir.

5.2. L Alt Tabaka Seviye Genişlikleri

Atom numarası 67≤Z≤83 arasındaki bazı elementler için *L* alt tabaka floresans verimleri kullanılarak hesaplanan seviye genişlikleri Γ_{Li} (*i*= 1, 2, 3) için bulunanan deneysel değerler sırasıyla Çizelge 4.8-10'da literatürden elde edilebilen teorik ve tavsiye edilen değerlerle birlikte verilmiştir. Ayrıca bulunan deneysel değerler literatürden elde edilebilen teorik ve tavsiye edilen değerlerle birlikte Şekil 4.11-13'de atom numarasının fonksiyonu olarak çizilmiştir.

Γ_{L_1}, Γ_{L_2}, Γ_{L_3} *L* alt tabaka seviye genişlikleri için yapılan hatalar sırasıyla Γ_{L_1} ve Γ_{L_2} için ~%9,5-11,2, Γ_{L_3} için ~%5,4-6,7'dir.

Deneysel Γ_{L_1} *L* alt tabaka seviye genişliği değerlerinin Krause and Oliver (1979)'in teorik değerleri ile arasındaki fark Ho (~%13,7), Er (~%18,6), Ta(~%15), Tl (~%13,4) hariç ≤%8,4'dür. Campbell and Oliver (2001)'in tavsiye edilen değerleri ile deneysel Γ_{L_1} *L* alt tabaka seviye genişliği değerleri arasındaki fark ~%1,4-37'dir.

Deneysel Γ_{L_2} *L* alt tabaka seviye genişliği değerlerinin Krause and Oliver (1979)'in teorik değerleri ile arasındaki fark Ho (~%9), Lu (~%10), Ta(~%18.4) hariç ≤%5,7'dir. Campbell and Oliver (2001)'in tavsiye edilen değerleri ile deneysel Γ_{L_2} *L* alt tabaka seviye genişliği değerleri arasındaki fark Pb(~%30) hariç ~%0,7-13,7'dir.

Deneysel Γ_{L_3} *L* alt tabaka seviye genişliği değerlerinin Krause and Oliver (1979)'in teorik değerleri ile arasındaki fark Lu (~%9,6), Ta (~%13), W(~%9,4) hariç ~%1-5,2'dir. Campbell and Oliver (2001)'in tavsiye edilen değerleri ile deneysel Γ_{L_3} *L* alt tabaka seviye genişliği değerleri arasındaki fark Ho (~%12), Ta(~%10) hariç ~%4-7,5'dir.

Deneysel *L* alt tabaka seviye genişliği değerleri genel olarak teorik ve tavsiye edilen seviye genişliği değerleri ile uyum göstermiştir. Fakat, bazı elementler için deneysel *L* alt tabaka seviye genişliği değerleri teorik ve tavsiye edilen değerlerle uyumsuz olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerlerdeki uyumsuzluk deneysel *L* tabakası floresans tesir kesitlerinde yapılan hatalardan kaynaklanabilir.

Şekil 4.11-13 de görüldüğü gibi atom numarası arttıkça deneysel seviye genişliği değerleride artmaktadır. Bu da atom numarasına bağlı olarak birim zamanda ki geçiş hızlarının arttığını göstermektedir. Ayrıca L_1 alt tabaka seviye genişliği değerlerinin L_2 ve L_3 alt tabaka seviye genişliği değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni Coster-Kronig geçişlerin katkısının fazla olması olabilir.

5.3. L_i Alt Tabakalarından M, N ve O Alt Tabakalarına Işımalı Boşluk Geçiş İhtimaliyetleri

Atom numarası 67≤Z≤83 arasındaki bazı elementler için *L* alt tabaka seviye genişlikleri Γ_{Li} (*i*= 1, 2, 3) kullanılarak hesaplanan deneysel ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri değerleri sırasıyla Çizelge 4.11-29'da literatürden elde edilebilen deneysel (L_3 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri) ve hesaplanan teorik değerlerle birlikte verilmiştir. Ayrıca bulunan deneysel değerler hesaplanan teorik değerlerle birlikte Şekil 4.14-32'de atom numarasının fonksiyonu olarak çizilmiştir.

$\eta_{L_1X_i}(R)$, $\eta_{L_2X_i}(R)$, $\eta_{L_3X_i}(R)$ (*X=M, N, O*), (*i=1, 2, 3,...*) ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri için yapılan hatalar sırasıyla $\eta_{L_1X_i}(R)$ ve $\eta_{L_2X_i}(R)$ için ~%9,5-11,2, $\eta_{L_3X_i}(R)$ için ~%5,4-6,7'dir.

Deneysel $\eta_{L_1X_i}(R)$ L_1 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına boşluk geçiş ihtimaliyeti değerleri ile Krause and Oliver (1979)'in seviye genişlikleri değerleri

kullanılarak hesaplanan teorik değerler arasındaki fark sırasıyla $\eta_{L_1M_2}(R)$ için ~%4,3-15,5, $\eta_{L_1M_3}(R)$ için ~%4,1-15,8, $\eta_{L_1N_2}(R)$ için ~%4,1-16,2, $\eta_{L_1N_3}(R)$ için ~%4,4-16, $\eta_{L_1O_{2,3}}(R)$ için ~%4,9-15,8'dir. Deneysel L_1 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına boşluk geçiş ihtimaliyeti değerleri ile Campbell and Oliver (2001)'in tavsiye edilen seviye genişlikleri değerleri kullanılarak hesaplanan teorik değerler arasındaki fark ise sırasıyla $\eta_{L_1M_2}(R)$ için ~%1,5-27, $\eta_{L_1M_3}(R)$ için ~%1,6-27, $\eta_{L_1N_2}(R)$ için ~%1-28, $\eta_{L_1N_3}(R)$ için ~%1,7-27, $\eta_{L_1O_{2,3}}(R)$ için ~%2,5-26'dır.

Deneysel $\eta_{L_2X_i}(R)$ L_2 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına boşluk geçiş ihtimaliyeti değerleri ile Krause and Oliver (1979)'in seviye genişlikleri değerleri kullanılarak hesaplanan teorik değerler arasındaki fark sırasıyla $\eta_{L_2M_1}(R)$ için ≤%10, $\eta_{L_2M_4}(R)$ için Ho(~%13,1), Lu(~%10,6), Ta (~%22) hariç ≤%5,4, $\eta_{L_2N_1}(R)$ için Ho (~%22,2), Lu (~%16,6), Ta (~%30,7) hariç ≤%10, $\eta_{L_2N_4}(R)$ için Ta (~%23,7) hariç ~%1,7-11,8, $\eta_{L_2O_1}(R)$ için Ta (~%25) hariç ≤%10, $\eta_{L_2O_4}(R)$ için Ta (~%22,8) hariç ≤%6,6'dır. Deneysel L_2 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına boşluk geçiş ihtimaliyeti değerleri ile Campbell and Oliver (2001)'in tavsiye edilen seviye genişlikleri değerleri kullanılarak hesaplanan teorik değerler arasındaki fark ise sırasıyla $\eta_{L_2M_1}(R)$ için Pb (~%23,8) hariç <%.12,2, $\eta_{L_2M_4}(R)$ için Pb (~%23,4) hariç <%12,3, $\eta_{L_2N_1}(R)$ için Pb (~%23,1) hariç <%14,3, $\eta_{L_2N_4}(R)$ için Pb (~%23,7) hariç <%12, $\eta_{L_2O_1}(R)$ için Pb (~%24,6) hariç <%11,4, $\eta_{L_2O_4}(R)$ için Pb (~%23,3) hariç <%12,2'dir.

Deneysel $\eta_{L_3X_i}(R)$ L_3 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına boşluk geçiş ihtimaliyeti değerleri ile Krause and Oliver (1979)'in seviye genişlikleri değerleri kullanılarak hesaplanan teorik değerler arasındaki fark sırasıyla $\eta_{L_3M_1}(R)$ için Lu(~%10,1), Ta (~%15,7), W (~%9,5) hariç ~%0,6-6,3, $\eta_{L_3M_4}(R)$ için Ta (~%15,8) hariç ~%1-10,8, $\eta_{L_3M_5}(R)$ için Ta (~%16,2) hariç ~%1,2-10,8, $\eta_{L_3N_1}(R)$ için Ta (~%14,3), W (~%13,6) hariç <%6,7, $\eta_{L_3N_4}(R)$ için Lu (~%13,3), Ta (~%14,7) hariç ≤%8,3, $\eta_{L_3N_5}(R)$ için Ta (~%16,2) hariç ~%1-10,6, $\eta_{L_3O_1}(R)$ için ~%3-11,5, $\eta_{L_3O_{4,5}}(R)$ için Ta (~%16,9) hariç <%10.7'dir. Deneysel L_3 alt tabakasından *M, N* ve *O*

alt tabakalarına boşluk geçiş ihtimaliyeti değerleri ile Campbell and Oliver (2001)'in tavsiye edilen seviye genişlikleri değerleri kullanılarak hesaplanan teorik değerler arasındaki fark ise sırasıyla $\eta_{L_3M_1}(R)$ için <%12, $\eta_{L_3M_4}(R)$ için <%11,4, $\eta_{L_3M_5}(R)$ için <%11,7, $\eta_{L_3N_1}(R)$ için ≤%12,5, $\eta_{L_3N_4}(R)$ için <%11,5, $\eta_{L_3N_5}(R)$ için <%11,4, $\eta_{L_3O_1}(R)$ için <%11,6, $\eta_{L_3O_{4,5}}(R)$ için <%11,3'dür.

Deneysel *L* alt tabakalarından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri genel olarak teorik ve tavsiye edilen değerlerle uyum göstermiştir. L_2 ve L_3 alt tabakalarından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetlerinin Şekil 4.19-32'de görüldüğü gibi atom numarasının artmasıyla arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışlardan en baskın olanları $\eta_{L_2M_4}(R)$ ve $\eta_{L_3M_5}(R)$ boşluk geçiş ihtimaliyetleridir. Ancak L_1 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabaka ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri Şekil 4.14-18'deki gibi ilgilenilen elementler için Tungsten (W)'den sonra bir düşüş göstermiştir. Bunun nedeni L_1 alt tabaka seviye genişliği değerlerinin L_2 ve L_3 alt tabaka seviye genişliği değerlerinin aksine Tunsten (W)'den sonra hızlı artış göstermesi olabilir.

Literatürde L_3 alt tabakasından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri ile ilgili deneysel çalışmalar mevcut olmasına rağmen L_1 ve L_2 alt tabakalarından *M, N* ve *O* alt tabakalarına ışımalı boşluk geçiş ihtimaliyetleri ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu sınırlı çalışmalara ulaşılamadığı için mevcur deneysel değerlerle karşılaştırma imkânı bulunamamıştır.

KAYNAKLAR

Apaydın, G., 2006. 65≤Z≤92 Bölgesinde Bazı Elementlerin K ve L X-ışını Floresans Parametrelerinin Ölçülmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Badiger N.M. and Bonzi E.V., 2006. Experimental determination of L subshell fluorescence yields of Ba, La and Pr using synchrotron radiation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 243, 34–37.

Bambynek W., Crasemann B., Fınk R.W., Freund H.-U., Mark H., Swift C.D., Price R.E., Rao P.V., 1972. X-ray Fluorescence Yields, Auger and Coster-Kronig Transition Probabilities. Rewiews of Modern Physics, Vol. 44, Num. 4.

Barrea Raul A., Bonzi Edgardo V., 2000. Experimental determination of L X-ray fluorescence cross sections for rare earths at 10.70 keV. Radiation Physics and Chemistry, 59, 347-354.

Baştuğ A., Yalçın P., Demir L., Şahin Y., 2004. Measurement of Ll, Lα, Lβ and Lγ X-ray ,fluorescence cross-sections in Hg, Tl, Pb and Bi for the exciting photons of 16.90–59,54 keV energy. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 84, 271–279.

Baştuğ Arif, 2008. Li, La, Lb and Lg X-ray fluorescence cross-sections of heavy elements for the exciting photons energy 38.18, 43.95, 50.21 and 59,5 keV. Radiation Physics and Chemistry 77, 203–206.

Bennal A.S., Badiger N.M., 2006. Measurement of K–L radiative vacancy transfer probabilities for Ta, Au and Pb in a 2π geometrical configuration. Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B, 247, 161-165.

Bennal A.S., Niranjan K.M., Badiger N.M., 2010. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 111, 1363–1371.

Bhalla .C.P., 1983, ieee trans. Nucl. Sci., ns-30, 1093-1096.

Bonzi E.V., 2006. Measurement of the radiative vacancy transfer probabilities from the L_3 to M and to N shells for W, Re and Pb using synchrotron radiation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 245, 363–366.

Campbell J.L. and Papp T., 2001. Widths of the atomic *K–N*7 levels. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 77, 1–56.

Campbell J. L., 2003. Fluorescence yields and Coster–Kronig probabilities for the atomic L subshells. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 85, 291–315.

Cengiz E., Tıraşoğlu E., Aylıkcı V., Apaydın G., Aylıkcı N.K., 2010. Investigation on L-shell X-ray fluorescence parameters for heavy elements and compounds. Chemical Physics Letters, 498, 107–112.

Cengiz E., Tıraşoğlu E., Apaydın G., Aylıkcı V., Aylıkcı N.K., 2011. K Shell X-ray Fluorescence Parameters of some Heavy Elements and Compounds. Radiation Physics and Chemistry, Vol. 80, Issue 3, Pages 328-334.

Chauhan Y., Tiwari M. K., Puri S., 2008, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 266 , 30–36.

Chen. M.H and Crasemann B. and Mark H., 1980. Phy. Rev. A, 21, 436-441.

Chen M.H., Crasemann B., Mark H., 1981. Widths and fluorescence yields of atomic *L*-shell vacancy states. Physical Review A, Vol. 24, No. 1.

Çalışkan B., Ertuğrul M., Öz E., Erdoğan H., 2002. Measurement of radiative vacancy distributions for the L_2, L_3 subshell and M shell of some elements with atomic range $41 \leq Z \leq 68$. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer ,74, 139–146.

Demir D. and Şahin Y., 2007. The effect of an external magnetic field on the L_3 subshell fluorescence yields and level widths for Gd, Dy, Hg and Pb at 59,5 keV. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 254, 43–48.

Demir L., Han I., Şahin M., 2008. Measurement of L X-ray fluorescence cross sections and relative intensities for some elements in the atomic range $78 \leq Z \leq 92$. Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 162, 44–48.

Deytsch M., Gang O., Hölzer G., Hartwig J., Wolf J., Fritsch M and Förster E., 1995. $L_{2,3}$ and $M_{2,3}$ level widths and fluorescence yields of copper Phys. Rev. A, Vol. 52, Num. 5.

Dogan O., Şimşek Ö., Turgut U and Ertuğrul M., 1997. Measurement of LI, Lα, Lβ and Lγ x-ray fluorescence cross-sections in heavy elements excited by 59,5 and 123,6 keV photons. Physica Scripta, Vol. 56, 580-583.

Dogan O. and Ertugrul M., 2004. Measurement of the L3 to Mi, Ni and Oi subshells radiative transition probabilities of elements in the atomic number range $73 \leq Z \leq 92$. Physica Scripta. Vol. 70, 283–287.

Durak R. and Özdemir Y., 1998. K- to L- and M-shell radiative vacancy transfer probability measurements in some elements from Nd to Pb. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 31, 3575–3581.

Durak R., Özdemir Y., 2000. $L\ l$, $L\alpha$, $L\beta$ and $L\gamma$ X-ray production cross-sections and yields of some selected elements between caesium and erbium following ionization by 59.54 keV γ rays. Spectrochimica Acta Part B, 55, 177-184.

Durak R. and Özdemir Y., 2001. Experimental determination of L-subshell fluorescence yields for heavy elements at 59.54 keV. J. Anal. At. Spectrom., 16, 1167–1171.

Ertuğrul M., Doğan O., Şimşek Ö., Turgut Ü., 1997. Measurement of probabilities for vacancy transfer from the K to L shell of the elements $73<Z<92$. Physical Review A, Vol. 55, Number 1.

Ertuğrul M., 1998. Measurement of L subshell X-ray fluorescence cross sections and L subshell fluorescence yields for elements in the atomic range $73 \leq Z \leq 92$ at 60 keV. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 237, Nos 1 2, 139-142.

Ertugrul M., 2001. Measurement of L_{3l}, $L_{3\alpha}$, $L_{3\beta}$, $L_{2\beta}$, $L_{2\gamma}$, $L_{1\beta}$ and $L_{1\gamma}$ X-ray production cross-sections for Tl, Pb and Bi elements at 59.5 keV. Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B, 179, 459-464.

Ertugrul M., 2002a. Measurement of L subshell production cross-section and Coster–Kronig transition probability (f_{12}) for Hg and Au elements at the 59,5 keV. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 72, 567–574.

Ertuğrul M., 2002b. Measurement of L3 subshell fluorescence yields of some elements in the atomic range $57 \leq Z \leq 68$ using photoionisation. Applied Radiation and Isotopes, 57, 57–61.

Ertuğrul M., 2002c. Determination of level widths and fluorescence yields of some atomic sub-shells for Th and U. J. Anal. At. Spectrom., 17, 400–405.

Ertuğrul M., 2002d. Measurement of total, radiative and radiationless (Auger) vacancy transfer probabilities from K to L_i (i=1, 2, 3) subshell of Ho and Er. Spectrochimica Acta Part B, 57, 63-71.

Garg R.R., Puri S., Singh S., Mehta D., Shahi J.S., Garg M.L., Singh N., Mangal P.C and Trehan P.N., 1992. Measurements of L X-ray fluorescence cross sections and yields for elements in the atomic range 41≤Z≤52 at 5.96 keV. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 72, 147-152.

Han I., Demir L., Ağbaba M., 2007. Measurements of L X-ray production cross sections, L subshell fluorescence yields and K to L shell vacancy transfer probabilities. Radiation Physics and Chemistry, 76, 1551–1559.

Han I., Porikli S., Şahin M., Demir L., 2010a. Measurementof La, Lb and Total L X-ray fluorescence cross-sections for some elements with 40≤Z≤53. Radiation Physics and Chemistry, 79, 393–396.

Han I. and Demir L., 2010b. Alloying effect on K to L shell vacancy transfer probabilities in 3d transition metals. Radiation Physics and Chemistry, 79, 1174–1179.

Kaçal M.R., Durak R., Akman F., Turhan M.F., Han I., 2011. Measurement of *L* subshell fluorescence cross sections and intensity ratios of heavy elements at 22.6 keV. Radiation Physics and Chemistry, Vol. 80, 6, 692-700.

Karim, K. S., Bhalla, C.P. and Tunnel, T.W., 1986. Theoretical X-ray and Auger transition rates, X-ray wavelengths, Auger-electron energies, fluorescence yields and nonradiative branching ratios for doubly excited helium-like neon. j. Quant. Spectrosc. Radiat., transfer, 36, 505-513.

Kaya A., Ertuğrul M., 2003. Measurement of *L* X-ray production cross sections and L_i subshell fluorescence yields. Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 130, 111–118.

Keski-Rahkonen O. and Krause M. O., 1974. Total and partial atomic-level widths. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 14, 139-146.

Krause M.O., 1979. Atomic Radiative and Radiationless Yields for K and L Shells. J. Phys. Chem. Ref. Data 8, 307.

Krause M. O. and Oliver J. H., 1979. Natutal Widths of Atomic K and L, Kα X-Ray Lines and Several KLL Auger Lines. J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 8, No.2.

Küçükönder A., Durdu B. G., Söğüt Ö., Büyükkasap E., 2004. L X-ray production cross sections, average L shell fluorescence yield and intensity ratios in heavy elements. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 260, No. 1, 89-97.

Mandal A.C., Santra S., Mitra D., Sarkar M., Bhattacharya D., 2005. L X-ray fluorescence cross sections of some rare earth elements (Z = 62, 64, 66, 68 and 70) at 17,8, 22,6 and 25,8 keV. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B,234, 176–184.

Mann K. S., Singh N., Mittal Raj, Sood B. S. and Allawadhi K. L., 1994. Ll, *Lα,* Lβ and Lγ X-Ray Production Cross-Sections in Elements 57≤Z≤92 8-50 keV Photons. X-ray spectrometry, VOL. 23, 208-217.

M.J. Berger, J.H. Hubbell, XCOM, see http://physics.nist.gov/, 1999

Öz E., Özdemir Y., Ekinci N., Ertuğrul M., Şahin Y., Erdoğan H., 2000. Measurement of atomic L shell fluorescence (ω_1, ω_2, ω_3) and Auger (a_1, a_2 and a_3) yields for

some elements in the atomic number range 59≤Z≤85. Spectrochimica Acta Part B, 55, 1869-1877.

Özdemir Y. and Durak R., 2003. L-subshell *uorescence yields (ω_1, ω_2 and ω_3) for elements in the atomic range 55≤Z≤68 with a Si(Li) detector. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 77, 95–103.

Özdemir Y., 2004. Measurement of L-subshell fluorescence yield ratios (ω_1/ω_2, ω_1/ω_3 and ω_2/ω_3) of some elements between cesium and uranium. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 83, 295–301.

Özdemir Y., Durak R., Esmer K., Ertuğrul M., 2005. Measurement of angular dependence from L_3-subshell to M-shell vacancy transfer probabilities for the elements in the atomic region 71≤Z≤78. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 90, 161–168.

Petrini D., 1981. Theoretical Auger rates and fluorescence yields for some excited single K-vacancy terms for boron II. J. Phys. B: At. Mol. Phys, 14, 3839-3947.

Puri S., Mehta D., Chand B., Sing N. and Trehan P.N., 1993a. L Shell Fluorescence Yields and Coster-Kronig Transition Probabilities for the Elements with 25≤Z≤96. X Ray Spect., 22, 358-361.

Puri S., Mehta D., Chand B., Singh N., Hubbell JH, Trehan PN., 1993b. Production of L_i subshell and M shell vacancies following inner-shell vacancy production. Nucl. Instrum. Methods B, 83, 21–30.

Puri S. and Singh N., 2006. L_i (i=1-3) subshell fluorescence and Coster-Kronig yields for elements with 70≤Z≤92. Radiation Physics and Chemistry, 75, 2232–2238.

Raboud P.A., Dousse J.-Cl., Hoszowska J. and Savoy I., 1999. *L*1 to *N*5 atomic level widths of thorium and uranium as inferred from measurements of *L* and *M* X-ray spectra. Physical Review A, Vol. 61, 012507.

Raboud P.A., Berset M., Dousse J.-Cl. and Maillard Y.-P., 2002. *L*1 atomic-level width of elements 62≤Z≤83. Physical Review A, Vol. 65, 022512.

Rao D.V., Cesareo R. and Gıgante G.E., 1995. L X-ray fluorescence cross sections, fluorescence yields and intensity ratios for Au and Pb at excitation energies 21,56, 31,64 and 34,17 keV. Radiat. Phys. Chem., Vol. 46, No. 1. pp. 17-22.

Santra S., Mitra D., Sarkar M., Bhattacharya D., 2007. Measurement of L subshell photoionisation cross sections of Th and U at 22,6, 25,8, 29,2 and 32,9 keV. Radiation Physics and Chemistry,76, 1560–1568.

Scofield J.H., 1973. Theorical photoionization cross section from 1 to 1500 keV. Lawrence Livermore Laboratory (UCRL), Vol. 51326.

Scofield J.H., 1974. Relativistic Hartree-Slater values for K and L X-ray emission rates. At. Data Tables 14,121-137.

Sharma M., Kumar S., Singh P., Puri S., Singh N., 2005. Probabilities for radiative vacancy transfer from L_i (i=1, 2, 3) sub-shells to the M, N and higher shells for elements with 77≤Z≤92. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 66, 2220–2222.

Singh I., Mittal R., Allawadhi K.L., Sood B.S., 1985. Measurement of average L-shell fluorescence yields in elements 73≤Z≤92. Physica 132C, 119-121.

Singh N., Mittal R., Allawadhi K.L., Sood B.S., 1983. Measurement of the average L-shell fluorescence yields in elements 40≤Z≤53. Physica 123C, 115-120.

Singh N., Mittal Raj, Allawadhi K. L. and Sood B. S., 1987. Measurement of $L_{l+\alpha}$, L_β and L_γ X-ray production cross sections in some rare-earth elements by 10, 18, 26 and 33 keV photons. J. Phys. B: At. Mol. Phys., 20 , 5639-5645.

Singh P., Sharma M., Shahi J.S., Mehta D., Singh N., 2003. Li (i=1, 2, 3) subshell X-ray production cross-sections and fluorescence yields for Ir, Pt, Pb and Bi. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 211, 33–42.

Singh S., Mehta D., Garg R.R., Kumar S., Garg M.L., Singh N., Mangal P.C., Hubbell J.H. and Trehan P.N., 1990. Average L-shell fluorescence yİelds for elements 56≤Z≤92. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 51, 5-10.

Söğüt Ö., 2006. Measurement of η_{KL} and η_{Km} vacancy transfer in Cr_xNi_{1-x} and Cr_x Al_{1-x} alloys. Phys. Scr., 73, 466–470.

Söğüt Ö., Apaydın G., Şimşek Ö., Cengiz E., Saydam M., Küp N., Tıraşoğlu E., 2009. Measurement of L subshell fluorescence yields of some elements in the atomic range 74≤Z≤92 using photoionization. Radiation Physics and Chemistry, 78, 307–310.

Şahin M., Demir L., Söğüt Ö., Ertuğrul M., İçelli O., 2000. L-subshell fluorescence cross sections and L-subshell fluorescence yields in elements 68≤Z≤92 by 59,5 keV photons. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 33, 93–98.

Şimşek Ö., Doğan O., Turgut Ü., Ertuğrul M., 1999. Measurement of L shell fluorescence yields of some elements in the atomic range 56≤Z≤64 using photoionisation. Radiation Physics and Chemistry, 54, 229-233.

Şimşek Ö., 2000. Determination of L_3 subshell X-ray production cross-sections and fluorescence yields of Pb, Th and U. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 170 , 293-298.

Şimşek Ö., 2002. Measurement of probabilities of radiative vacancy transfer from the L_3 subshell to the M shell and the N shell for Pb, Th and U. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 35, 1045–1050.

Tiraşoğlu E., Çevik U., Ertuğral B., Atalay Y., Kopya A.İ., 2001. Measurements of L_l, L_α, L_η, L_β and L_γ X-ray fluorescence cross-sections in 70≤Z≤92 elements excited by 59.543 keV photons. Radiation Physica and Chemistry, 60, 11-16.

Tuzluca F., Söğüt Ö., Büyükkasap E., Durdu B.G., Küçükönder A., 2008. Measurements of radiative vacancy transfer probabilities from L_3 subshells to M, N and O shells and subshells in the atomic range 72≤Z≤92. Radiation Physics and Chemistry, 77, 996–1001.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Erzincan'da doğdu. İlk ve orta ögrenimini Erzincan'da tamamladı. 2001 yılında Niğde Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı ve 2006 yılında aynı bölümden mezun oldu. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı'nda Yüksek lisans programını kazandı. Aynı yıl İngilizce hazırlık programını başarıyla tamamlayarak Yüksek lisans derslerine başladı. Halen öğrenimine devam etmektedir.