



**LANTANİTLERDE X-IŞINI BAĞIL  
ŞİDDETLERİNE SICAKLIĞIN  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Esra CİNAN**

**Doktora Tezi**

**Fizik Anabilim Dalı**

**Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı**

**Prof. Dr. Yüksel ÖZDEMİR**

**2018**

**Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**LANTANİTLERDE X-IŞINI BAĞIL ŞİDDETLERİNE SICAKLIĞIN  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Esra CİNAN**

**FİZİK ANABİLİM DALI  
Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2018**

**Her Hakkı Saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

LANTANİTLERDE X-IŞINI BAĞIL ŞİDDETLERİNE SICAKLIĞIN  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Prof. Dr. Yüksel ÖZDEMİR danışmanlığında, Esra CİNAN tarafından hazırlanan bu çalışma, 04/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Atom ve Molekül Fizigi Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (5/5.)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL

İmza :

Üye : Prof. Dr. Yüksel ÖZDEMİR

İmza :

Üye : Prof. Dr. Neslihan EKİNCİ

İmza :

Üye : Prof. Dr. Paşa YALÇIN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Gülten KAVAK BALCI

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun **05.07/2018** tarih ve **..27.../..45**..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

  
Prof. Dr. Mehmet KARAKAN  
Enstitü Müdürü

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

## ÖZET

Doktora Tezi

### LANTANİTLERDE X-IŞINI BAĞIL ŞİDDETLERİNE SICAKLIĞIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Esra CİNAN

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

Atom ve Moleküler Fiziği Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yüksel ÖZDEMİR

Bu çalışmada, geçiş metallерinin bir alt serisi olan lantanitlerden, Gd, Dy ve Er elementlerinin ve CeO<sub>2</sub>, Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>, Sm<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Tm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşiklerinin L $\alpha$ /L $\beta$ <sub>1</sub> ve L $\alpha$ /L $\beta$ <sub>2</sub> X-ışını şiddet oranları, 100 mCi şiddetinde <sup>241</sup>Am halka kaynaktan yayımlanan 59,54 keV  $\gamma$ -ışınları ile uyarılarak sıcaklığa bağlı in-situ olarak belirlendi. Tüm numunelerin L X-ışını emisyon spektrumları bir Si(Li) katihal X-ışını dedektörü kullanılarak farklı sıcaklıklarda elde edildi. Sıcaklık değişimi 500°C sıcaklığa kadar yükseltilebilen bir sıcaklık kontrol cihazı yardımıyla 50°C ile 400°C arasında yapıldı. Elde edilen spektrumların değerlendirilmesi ile her bir element ve bileşiğin L X-ışını üretim tesir kesitleri ( $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$  ve  $\sigma_{L\beta2}$ ) ve FWHM (yarı maksimumdaki tam genişlik) değerleri sıcaklığa bağlı olarak belirlendi.

İç geçiş metallерinin sıcaklığa bağlı olarak L X-ışını şiddet oranlarında, L X-ışını üretim tesir kesitlerinde ve FWHM değerlerinde değişim olduğu ve sıcaklıktan etkilendiği görülmüştür. M<sub>4</sub>-L<sub>2</sub> tabakaları arasındaki geçişler sonucu oluşan L $\beta$ <sub>1</sub> X-ışınları, M<sub>5</sub>, M<sub>4</sub>-L<sub>3</sub> tabakaları arasındaki geçişler sonucu oluşan L $\alpha$  X-ışınlarına nazaran artan sıcaklıktan daha az etkilenmiştir. L $\alpha$  X-ışınları da N<sub>5</sub>-L<sub>3</sub> tabakaları arasındaki geçişler sonucu oluşan L $\beta$ <sub>2</sub> X-ışınlarına nazaran artan sıcaklıktan daha az etkilenmiştir. Bu sonuçlar L X-ışını şiddet oranlarının, L X-ışını üretim tesir kesitlerinin ve FWHM değerlerinin in-situ olarak sıcaklığa bağlı değişiminin incelendiği ilk çalışma olması açısından önem taşımaktadır.

**2018, 157 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** L X-ışını şiddet oranı, lantanitler, sıcaklık, üretim tesir kesiti, FWHM, in-situ.

## ABSTRACT

Ph. D. Thesis

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TEMPERATURE ON X-RAY RELATIVE INTENSITIES IN LANTHANIDES

Esra CİNAN

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

Supervisor: Prof. Dr. Yüksel ÖZDEMİR

In this study,  $L\alpha/L\beta_1$  and  $L\alpha/L\beta_2$  X-ray intensity ratios of Gd, Dy and Er elements and  $CeO_2$ ,  $Pr_6O_{11}$ ,  $Sm_2(SO_4)_3$ ,  $Eu_2O_3$ ,  $Ho_2O_3$ ,  $Tm_2O_3$ ,  $Yb_2O_3$  and  $Lu_2O_3$  compounds from lanthanides which is a sub-series of transition metals have been determined following excitation by 59.54 keV  $\gamma$ -rays from a 100 mCi  $^{241}Am$  radioactive annular source at different temperatures as in- situ. L X-ray emission spectra of all samples were obtained by using a solid state Si(Li) X-ray detector at different temperatures. Temperature change was made between 50°C and 400°C with the aid of temperature control device which can be raised up to 500°C temperature. L X-ray production cross sections ( $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$  and  $\sigma_{L\beta_2}$ ) and FWHM (full width at half maximum) values were determined by evaluating of the emission spectra of the each element and compound depending on temperature.

It is observed that L X-ray intensity ratios, L X-ray production cross sections and FWHM values of the internal transition metals changed depending on temperature and affected by temperature.  $L\beta_1$  X-rays that arise from the transitions between the  $M_4-L_2$  shells, less influenced in comparison with  $L\alpha$  X-rays that arise from the transitions between the  $M_5$ ,  $M_4-L_3$  shells.  $L\alpha$  X-rays less influenced in comparison with  $L\beta_2$  X-rays that arise from the transitions between the  $N_5-L_3$  shells. These results are important in terms of being the first study which have examined the changes of L X-ray intensity ratios, L X-ray production cross sections and FWHM values depending on temperature as in-situ.

**2018, 157 pages**

**Keywords:** L X-ray intensity ratio, lanthanides, temperature, production cross section, FWHM, in-situ.

## TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunduğum bu alıŐma Atatürk Üniversitesi Fen Fakóltesi Fizik Bölümünde yapılmıştır. Bu çalışmanın planlanması ve yürütülmesinde tecrübelerini, kıymetli bilgilerini ve desteğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yüksel ÖZDEMİR'e en içten Őukranlarımı sunarım.

ÇalıŐmalarım sırasında yapmıŐ oldukları katkılardan dolayı kıymetli hocalarım Sayın Prof. Dr. Mehmet ERTUĞRUL, Sayın Prof. Dr. Abdulhalik KARABULUT ve Sayın Prof. Dr. Neslihan EKİNCİ'ye teşekkür ederim.

Tez çalıŐmam boyunca bana yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tuba AKKUŞ, Sayın AraŐ. Gör. Dr. Erdem ŐAKAR ve Sayın AraŐ. Gör. Dr. Esra KAVAZ'a teşekkür ederim.

Fen Fakóltesi Fizik Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Yakup KURUCU'ya ve tüm Fizik Bölümü elemanlarına sađlamıŐ oldukları kolaylıklardan dolayı teşekkür ederim.

Tez çalıŐmamı verdiği bursla destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca gösterdikleri her türlü özveri ve desteklerinden dolayı aileme sonsuz teşekkür ederim.

**Esra CİNAN**

**Haziran, 2018**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>10</b>
2.1. Geçiş Metalleri .....	10
2.2. 3B Grubu Metalleri .....	11
2.3. Nadir Toprak Elementleri ve Özellikleri.....	12
2.3.1. Lantanitlerin elektronik konfigürasyonları.....	18
2.3.2. Atom ve iyonlarının yarıçapı.....	19
2.3.3. İyonlaşma enerjileri .....	21
2.3.4. Lantanitlerde renk.....	22
2.3.5. Manyetik özellikleri .....	23
2.3.6. Lantanitlerin kullanım alanları .....	28
2.4. X-Işınları .....	30
2.4.1. X-ışınlarının bulunuşu ve tarihçesi.....	30
2.4.2. X-ışınlarının özellikleri .....	32
2.4.3. X-ışınlarının oluşumu.....	33
2.4.3.a. Doğal X-ışınları .....	33
2.4.3.b. Yapay X-ışınları .....	33
2.4.4. X-ışını tüpü.....	33
2.4.4.a. Sürekli X-ışınları .....	35
2.4.4.b. Karakteristik X-ışınları.....	37
2.5. Moseley Kanunu.....	40
2.6. Tesir Kesiti .....	43
2.7. Floresans Verim, Auger Olayı ve Coster-Kronig Geçişleri .....	46

2.8. Atomun Uyarılması .....	50
2.8.1. Elektronlarla uyarma .....	50
2.8.2. Sıcaklıkla uyarma .....	52
2.8.3. Fotonlarla uyarma.....	53
2.9. Halojen Lambalar .....	54
2.10. Isıl Çiftler (Thermocouple) .....	55
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>58</b>
3.1. X-Işını Floresans Tekniği.....	58
3.2. X-Işını Dedektörleri .....	59
3.3. Si(Li) Yarı İletken Detektörlerinin Çalışma Prensipleri.....	61
3.3.1. Sayma sistemi.....	65
3.3.1.a. Yüksek voltaj kaynağı .....	66
3.3.1.b. Ön yükseltici.....	66
3.3.1.c. Yükseltici.....	67
3.3.1.d. Çok kanallı analizör.....	67
3.3.1.e. Analog dijital dönüştürücü (ADC) .....	68
3.4. Numunelerin Hazırlanması.....	68
3.5. Deney Geometrisi.....	68
3.6. L X-Işını Tesir Kesitleri ve Şiddet Oranlarının Hesaplanması .....	70
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>72</b>
4.1. Lantanit Elementlerinden Gd, Dy ve Er Elementleri için Elde Edilen Bulgular ve Tartışma .....	74
4.2. Lantanit Bileşikleri için Elde Edilen Bulgular ve Tartışma .....	95
<b>5. SONUÇ .....</b>	<b>151</b>
KAYNAKLAR .....	153
ÖZGEÇMİŞ .....	158



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$\text{\AA}$	Angstrom
$\alpha$	İnce Yapı Sabiti
$\sigma$	Tesir Kesiti
$c$	Işık Hızı
$e$	Elektron Yüğü
<i>EDXRF</i>	Enerji Ayrımlı X-ışını Floresans Spektrometresi
<i>F</i>	Etkin Alan Kesri
<i>FWHM</i>	Yarı Maksimumdaki Tam Genişlik
$h$	Plank Sabiti
$I_{L\beta}/I_{L\alpha}$	L X-Işını Şiddet Oranı
$i$	Akım
$k$	Seri Sabiti
$m_o$	Elektronun Durgun Kütlesi
$M_o$	Parçacığın Durgun Kütlesi
$N$	Avagadro Sayısı
$q$	Parçacığın Yüğü
$\lambda$	Dalga Boyu
$t$	Numune Kalınlığı (gr/cm <sup>2</sup> )
$T$	Parçacığın Kinetik Enerji
<i>XRF</i>	X-Işını Floresans
<i>WDXRF</i>	Dalgaboyu Ayrımlı X-ışını Floresans Spektrometresi
$\beta$	Öz-Soğurma Düzeltme Parametresi
$\mu_e$	Numuneden Yayılan Fotonlar İçin Kütle Azaltma Katsayısı
$\mu_i$	Numuneye Gelen Fotonlar İçin Kütle Azaltma Katsayısı
$\nu$	Frekans
$V_o$	X-Işını Tüpüne Uygulanan Potansiyel
$\omega$	Floresans Verim
$Z$	Atom Numarası

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Periyodik tablo.....	10
Şekil 2.2. Elementlerin üst kabuktaki miktarlarının atomik sayılarının bir fonksiyonu olarak dağılımı.....	12
Şekil 2.3. Nadir toprak elementlerinin periyodik tabloya göre yerleşimi.....	14
Şekil 2.4. Nadir toprak elementlerinin üretimi .....	15
Şekil 2.5. Lantanit grubu metallerin fiziksel görünümü .....	17
Şekil 2.6. Lantanitlerin atomik yarıçapları .....	20
Şekil 2.7. Lantanitlerin iyonik yarıçapları .....	20
Şekil 2.8. Diyamanyetik malzemedeki atomların dizilimi.....	24
Şekil 2.9. Paramanyetik malzemedeki atomların dizilimi .....	25
Şekil 2.10. Ferromanyetik malzemedeki atomların dizilimi.....	25
Şekil 2.11. Ferromanyetik malzemelerde mıknatıslanmaya karşı sıcaklık eğrisi.....	26
Şekil 2.12. Malzemenin kritik Curie ve Neel sıcaklıklarındaki geçişleri .....	26
Şekil 2.13. X-ışını tüpü.....	34
Şekil 2.14. Sürekli X-ışınları .....	36
Şekil 2.15. Karakteristik X-ışınları .....	38
Şekil 2.16. Bir atomda ilgili elektron geçişleri sonucu yayımlanan K, L ve M tabakaları X-ışınları .....	40
Şekil 2.17. K ve L serileri için Moseley diyagramı .....	42
Şekil 2.18. Tesir kesiti ile gelen demetin şiddeti arasındaki ilişki.....	44
Şekil 2.19. Floresans ve Auger olayları .....	49
Şekil 2.20. $L_2$ alt tabakası için floresans verim, Coster_Kronig verim ve Auger veriminin atom numarası ile değişimi .....	50
Şekil 2.21. Atomun elektronla uyarılması .....	51
Şekil 2.22. Atomun fotonlarla uyarılması.....	54
Şekil 2.23. Isıl çift devresi .....	56
Şekil 3.1. XRF tekniği ve tipik XRF analiz düzeneği .....	59
Şekil 3.2. Bir Si(Li) katıhal dedektörünün şematik gösterimi .....	62
Şekil 3.3. Si(Li) dedektörde X-ışını dedeksiyon işlemi.....	64

<b>Şekil 3.4.</b> Sayma sistemi .....	66
<b>Şekil 3.5.</b> Deney geometrisi .....	69
<b>Şekil 4.1.</b> <sup>241</sup> Am radyoaktif kaynak için Si(Li) dedektör veriminin E(Kα) enerjisine karşılık gelen değişimi .....	73
<b>Şekil 4.2.</b> Gd elementi için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları .....	75
<b>Şekil 4.3.</b> Dy elementi için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları .....	76
<b>Şekil 4.4.</b> Er elementi için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları .....	78
<b>Şekil 4.5.</b> Gd için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ , $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ ve $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi .....	85
<b>Şekil 4.6.</b> Dy için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ , $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ ve $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi .....	88
<b>Şekil 4.7.</b> Er için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ , $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ ve $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi .....	92
<b>Şekil 4.8.</b> CeO <sub>2</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları .....	96
<b>Şekil 4.9.</b> Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları .....	97
<b>Şekil 4.10.</b> Sm <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları .....	99
<b>Şekil 4.11.</b> Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları .....	100
<b>Şekil 4.12.</b> Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları .....	102
<b>Şekil 4.13.</b> Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları .....	103
<b>Şekil 4.14.</b> Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları .....	105
<b>Şekil 4.15.</b> Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları .....	106
<b>Şekil 4.16.</b> CeO <sub>2</sub> için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ , $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ ve $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi .....	118

<b>Şekil 4.17.</b> Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub> için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ , $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ ve $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi .....	121
<b>Şekil 4.18.</b> Sm <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ , $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ ve $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi .....	125
<b>Şekil 4.19.</b> Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ , $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ ve $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi .....	128
<b>Şekil 4.20.</b> Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ , $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ ve $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi .....	132
<b>Şekil 4.21.</b> Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ , $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ ve $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi .....	135
<b>Şekil 4.22.</b> Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ , $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ ve $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi .....	139
<b>Şekil 4.23.</b> Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ , $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ ve $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi .....	142
<b>Şekil 4.24.</b> Lantanitlerin atom numarasına göre birinci iyonlaşma enerjileri.....	148

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Lantanitlerin erime ve kaynama noktaları .....	17
Çizelge 2.2. Lantanit metallerin bazı özellikleri .....	18
Çizelge 2.3. Lantanitlerin atom ve iyonik yarıçapları.....	19
Çizelge 2.4. Lantanitlerin ilk dört iyonlaşma dereceleri için taban hal konfigürasyonları .....	21
Çizelge 2.5. Lantanitlerin iyonizasyon enerjileri .....	22
Çizelge 2.6. Lantanitlerin oksit ve iyonik çözeltilerinin renkleri .....	23
Çizelge 2.7. Lantanit iyonlarının manyetik momentleri .....	27
Çizelge 2.8. X-ışını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri.....	39
Çizelge 2.9. En çok kullanılan ısıl çift tipleri .....	56
Çizelge 4.1. Gd elementi için farklı sıcaklıklarda $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ , $\sigma_{L\beta2}$ (cm <sup>2</sup> /g), $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ve FWHM değerleri.....	79
Çizelge 4.2. Dy elementi için farklı sıcaklıklarda $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ , $\sigma_{L\beta2}$ (cm <sup>2</sup> /g), $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ve FWHM değerleri.....	80
Çizelge 4.3. Er elementi için farklı sıcaklıklarda $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ , $\sigma_{L\beta2}$ (cm <sup>2</sup> /g), $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ve FWHM değerleri.....	81
Çizelge 4.4. CeO <sub>2</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ , $\sigma_{L\beta2}$ (cm <sup>2</sup> /g), $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ve FWHM değerleri.....	107
Çizelge 4.5. Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ , $\sigma_{L\beta2}$ (cm <sup>2</sup> /g), $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ve FWHM değerleri.....	108
Çizelge 4.6. Sm <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ , $\sigma_{L\beta2}$ (cm <sup>2</sup> /g), $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ve FWHM değerleri.....	109
Çizelge 4.7. Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ , $\sigma_{L\beta2}$ (cm <sup>2</sup> /g), $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ve FWHM değerleri.....	110
Çizelge 4.8. Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ , $\sigma_{L\beta2}$ (cm <sup>2</sup> /g), $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ve FWHM değerleri.....	111
Çizelge 4.9. Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ , $\sigma_{L\beta2}$ (cm <sup>2</sup> /g), $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ve FWHM değerleri.....	112

<b>Çizelge 4.10.</b> Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ , $\sigma_{L\beta2}$ (cm <sup>2</sup> /g), $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ve FWHM değerleri.....	113
<b>Çizelge 4.11.</b> Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda $\sigma_{L\alpha}$ , $\sigma_{L\beta1}$ , $\sigma_{L\beta2}$ (cm <sup>2</sup> /g), $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ , $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ve FWHM değerleri.....	114
<b>Çizelge 4.12.</b> Numunelerin L X-ışını şiddet oranlarının ve L X-ışını üretim tesir kesitlerinin sıcaklığa göre değişim yüzdeleri .....	148



## 1. GİRİŞ

Lantanitler, f blok elementleri veya nadir toprak elementleri olarak adlandırılır. Lantanit elementlerinin keşfi 18. yüzyıla kadar uzanmaktadır. Bu elementlerin kimyası üzerine insan bilgisinin yavaş yavaş artması günlük yaşantımızda bu elementlerin görünümünü artırmıştır. Lantanit elementleri fotojenik, magnetik, mekanik ve nükleer özelliklere sahiptir. Lantanitlerin kimya ve otomotiv sanayi, cam ve seramik, parlatma, elektronik, fosfor, tarım, tıp, optik, farmakolojik endüstri, ziraat, metal alaşımlar, süperiletkenler, metalurji, katalizör, savunma sanayi, floresans ve lazer üreten materyaller gibi yaygın kullanım alanları olduğundan büyük öneme sahiptirler. Lantanitlerin uygulama alanlarının artması lantanit elementlerine olan ilgiyi de artırmıştır. Dolayısıyla lantanitlerin tüketimi de artmıştır. Bu elementlerin analizi için yeni tekniklere ve prosedürlere ihtiyaç duyulmuştur. Lantanitlerin analizi için daha hızlı ve daha basit metotlar geliştirilmiştir. Uzun yıllardan beri bu elementlerin yapısı, çeşitli özellikleri ve uygulamaları hakkında çok sayıda literatür bulunmaktadır.

Lantanit elementlerinin ve bileşiklerinin analizi için kütle spektrometresi (MS), nötron aktivasyon spektrometresi (NAS), atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS), X-ışını floresans spektrometresi (XRF) gibi birçok teknik kullanılmıştır. Çeşitli spektrometreler arasında X-ışını floresans spektrometresinin avantajı numuneye zarar vermemesidir. XRF analizinin çalışma prensibi, numuneden yayımlanan karakteristik fotonların dalgaboyu ya da enerjilerine göre şiddetlerinin ölçülmesidir. Dolayısıyla XRF spektrometresi, enerji ayırmalı X-ışını floresans spektrometresi (EDXRF) ve dalga boyu ayırmalı X-ışını floresans spektrometresi (WDXRF) olmak üzere ikiye ayrılır. EDXRF ve WDXRF dedeksiyon sistemleri birbirinden tamamen farklıdır. Dalgaboyu ayırmalı X-ışını floresans analizinde, ürün, bir Geiger-Müller, orantılı veya sintilasyon sayıcılarla sayılan fotonların, ayırım ortamı olarak bir Bragg tek kristali ile ölçülen dalgaboyuna karşı karakteristik çizgi spektrumlarının şiddetidir. Enerji ayırmalı X-ışını floresans analizinde ise fotonların sayımında, eş zamanlı olarak fotonları enerjisine göre sınıflandıran ve sonuçları çok kanallı bir belleğe depolayan bir katıhal dedektörü kullanılır. Ürün, X-ışını enerjisine karşı şiddet spektrumudur. Dedekte edilebilir element

aralığı Be (Z=4) hafif elementinden U (Z=92) ağır elementine kadar gitmektedir (Akman 2013).

Kantitatif analizler için en çok kullanılan teknik enerji ayrımlı X-ışını floresans tekniği olup üretim tesir kesitleri, floresans verimleri, şiddet oranları, kütle soğurma katsayıları, toplam atomik soğurma tesir kesiti, sıçrama oranları ve faktörleri gibi XRF parametrelerini tespit etmek için çok verimlidir. EDXRF nispeten ucuz ve çalıştırmak için daha az çaba gerektiren bir sistemdir. Analitik işlemlerde, XRF daha hızlı ve daha kolay olduğu için lantanit numunelerini analiz etmede geniş ölçüde kullanılır.

Sitko *et al.* (2005) dalga boyu ayrımlı X-ışını floresans spektrometresi (WDXRF) ile çeşitli iştah açıcılarda nadir toprak element tayinini sunmuştur. Analiz edilecek maddenin küçük bir miktarı kral suyu içerisinde eritilmiştir ve daha sonra elde edilen solüsyon filtre üzerine dökülmüştür. Matris elementlerin filtre etkisi emisyon-transmisyon metodu ile tayin edilmiştir. Analizlerde lantanyum standart numune olarak kullanılmıştır.

Çeşitli materyallerde eser miktarda nadir toprak element tayini ve bunun önemi belirtilmiştir. Örneğin Bonfiglioli *et al.* (2003) çalışmalarına göre önerilen Eu için ön konsantrasyon yöntemi, 1,8-dihidroksi-2- [4-sülfenilazo] -naftalen-3,6-disülfonik asit (SPADNS) ve bir sürfaktan olayı ile bir üçlü kompleks oluşumuna dayanır. Kompleks, ince bir film elde etmek üzere bir nitroselüloz filtre üzerinde toplanır. Membran üzerinde tutulan Eu kompleksi, X-ışını floresan spektrometrisi ile ölçülür.

De Vito *et al.* (2000) X-ışını floresans (XRF) spektrometrisi ile nadir toprak elementlerinin (REE) müteakip belirlenmesi için bir ön konsantrasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Yöntem (o- [3,6-disülfo-2-hidroksi-1-naftilazo] -benzenearsonik asit) (Thorin) bir poliamid membran üzerinde bir kemofiltrasyon işlemiyle tutulan bir kompleks oluşturucu olarak kullanılmasına dayanır. Bu metal iyonlarının kemofiltrasyonunun membrana olan bağımlılığı ve akış hızı, temas süresi gibi değişkenler pH'a bağlıdır. XRF ile ölçüldüğünde, kemofiltrat ihtiva eden zar iç element



etkilerini ortadan kaldıran ince bir film oluşur. Dedeksiyon limitleri sırasıyla Sm (III), Eu (III) ve Gd (III) için 23, 23 ve 49 ng/mL bulunmuştur.

Rao *et al.* (1995)  $L_1$ ,  $L\alpha$ ,  $L\beta$  ve  $L\gamma$  X-ışını floresans tesir kesitlerini ve şiddet oranlarını bir Si(Li) detektörü kullanarak 21.56, 31.64 ve 34.17 keV uyarma enerjilerinde Au ve Pb elementleri için ölçmüşlerdir. Deneysel floresans tesir kesitlerinin ve şiddet oranlarının teori ile iyi bir uyum içinde olduğunu bulmuşlardır.

Ertuğrul (1995) 59.5 keV'de lantanitler için  $K\alpha/L\alpha$  X-ışını şiddet oranlarını ölçmüştür. Bu araştırmada atom numarası  $57 \leq Z \leq 68$  arasında olan elementler kullanılmıştır. Bu elementlerin K kıyı enerjileri 59.5 keV'den daha küçüktür. K tabakası uyarıldığı zaman oluşan boşluk L, M ve daha yüksek tabakalardaki elektronlarla doldurulmuş olacaktırlar. K tabakası boşlukları için ortalama yarı ömür L tabakası boşluk yarı ömründen daha kısadır. L tabakası X-ışını şiddetlendirmesi çeşitli L tabakaları ile K tabakasından boşluk transferine ve Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetlerine bağlıdır. Yine bu çalışmada K tabakasından L alt tabakalarına boşluk geçişleri deneysel ve yarı deneysel metotlarla araştırılmıştır.

Baydaş *et al.* (1998) Ba, La ve Ce'un  $L\alpha/L\beta$  X-ışını şiddet oranları üzerine kimyasal etkiyi araştırmışlardır. L tabakasındaki boşlukların oluşturulmasında  $^{241}\text{Am}$  kaynaktan yayınlanan 59.5 keV'lik fotonlar kullanılmıştır. 5,9 keV'de FWHM'u 160 eV olan bir Si(Li) dedektör kullanılmıştır.

$K\alpha$  ile  $L\alpha$  ve  $K\beta$  ile  $L\beta$  X-ışını şiddet oranları Ba, La, Ce, Nd, Sm, Tb, ve Dy elementleri için 100 mCi'lik  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif kaynaktan yayınlanan 59.54 keV foton uyarma enerjisinde ölçülmüştür. Verilen her bir element için yayınlanan K ve L X-ışınları ölçülerek şiddet oranları tayin edilmiştir.  $K\alpha$  ile  $L\alpha$  ve  $K\beta$  ile  $L\beta$  X-ışını şiddet oranları, fotoiyonizasyon tesir kesitleri, floresans verimleri, Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetleri ve radyoaktif bozunma oranları kullanılarak hesaplanmıştır (Durak *et al.* 2001).

$72 \leq Z \leq 75$  arasındaki elementler için L X-ışını floresans tesir kesitlerinin deneysel tayini 12,13 ve 14 keV'de sinkrotron radyasyon kullanılarak çalışılmıştır. Çok düşük temel sayma üretmek için lineer polarize tek enerjili foton üreten deneysel düzenek kurulmuştur. Düşük sinyal gürültü oranı sağlanmıştır ve deneysel belirsizlikler en aza indirilmeye çalışılmıştır. L çizgileri için elde edilen deneysel tesir kesitlerinin sonuçları sunulmuştur. Deneysel değerler teorik değerlerle mukayese edilmiştir (Barrea *et al.* 2001).

$IL_1/IL\alpha$ ,  $IL\beta/IL\alpha$  ve  $IL\gamma/IL\alpha$  L tabakası X-ışını şiddet oranları W, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th ve U elementleri için 31.635 keV uyarma enerjisinde ölçülmüştür. Teorik X-ışını yayınlanma oranları, alt tabaka iyonizasyon tesir kesitleri, alt tabaka floresans verimleri ve Coster-Kronig geçiş ihtimaliyetleri kullanılarak elde edilen değerler hesaplanan deneysel değerlerle mukayese edilmiştir (Turgut and Ertuğrul 2004).

$I(L\alpha)/I(L\beta)$ ,  $I(L\alpha)/I(L\gamma)$ ,  $(L\alpha)/I(L_1)$ ,  $I(L\beta)/I(L\gamma)$  ve  $I(L_1)/I(L\gamma)$  X-ışını şiddet oranları Dy, Ho, Yb, W, Hg, Tl ve Pb elementleri için filtrelenmiş  $^{241}\text{Am}$  radyoizotop kaynaktan yayınlanan 59.5 keV'lik fotonlar ve  $^{160}\text{Tb}$ ,  $^{160}\text{Er}$ ,  $^{173}\text{Lu}$ ,  $^{182}\text{Re}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{203}\text{Pb}$  ve  $^{207}\text{Bi}$ 'nin radyoaktif bozunması kullanılarak deneysel olarak belirlenmiştir. Numunelerden yayılan L X-ışınları 5.9 keV'de 160 eV çözünürlük içeren bir Si(Li) detektörü ile belirlenmiştir. Elde edilen değerler teorik olarak hesaplanan değerlerle karşılaştırılmış ve uyumlu olduğu görülmüştür (Yalçın *et al.* 2008).

$L\alpha$ ,  $L\beta$  ve toplam L X-ışını floresans tesir kesitleri, 5.96 keV foton enerjisi kullanılarak dokuz element (Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb ve I) için ölçülmüştür. Bu elementlerde,  $L\alpha$  ve  $L\beta$  spektrumları, fit etme işlemiyle ölçülen L-kabuk spektrumlarından türetilmiştir.  $L\alpha$ ,  $L\beta$  ve toplam L X-ışını floresans tesir kesitlerinin deney sonuçları teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. L X-ışını floresans tesir kesitinin deneysel sonuçlarının teorik değerler ile uyumlu olduğu bulunmuştur (Han *et al.* 2010).

Yine bir literatür çalışmasında Kaçal *et al.* (2011) L X-ışını floresans tesir kesitlerini ( $\sigma_{L1}$ ,  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\eta}$ ,  $\sigma_{L\beta}$ ,  $\sigma_{L\beta6}$ ,  $\sigma_{L\beta2,4,15}$ ,  $\sigma_{L\beta1,3}$ ,  $\sigma_{L\gamma}$ ,  $\sigma_{L\gamma1}$ ,  $\sigma_{L\gamma2,3,6,8}$ ,  $\sigma_{L\gamma4}$ ,  $\sigma_{L\gamma5}$ ) ve  $L\alpha/Li$  ( $i = l, \eta$ ,

$\beta_6$ ,  $\beta_{2,4,1,5}$ ,  $\beta_{1,3}$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_{2,3,6,8}$ ,  $\gamma_{4,4}$  ve  $\gamma_5$ ) şiddet oranlarını atom numarası  $66 \leq Z \leq 92$  arasında bulunan elementler için  $^{109}\text{Cd}$  radyoaktif nokta kaynaktan yayınlanan 22,6 keV enerjili fotonlarla uyararak belirtmişlerdir. Numunelerden yayınlanan L X-ışınları Si(Li) dedektör ile sayılmıştır. L X-ışını floresans tesir kesitleri ve şiddet oranları atomik parametreler kullanılarak teorik olarak hesaplanmıştır. Ölçüm sonuçları ve teorik değerler kıyaslanmıştır. Deneysel sapmalara rağmen teorik ve deneysel veriler uyum içerisindedir.

$\text{Pr}_6\text{O}_{11}$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Tb}_4\text{O}_7$ ,  $\text{Ho}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Er}_2\text{O}_3$  uniform kalınlıklı lantanit oksit numunelerin lineer ve kütle azaltma katsayıları 59.54 keV enerjili gama ışını fotonları ile ölçülmüştür. Çalışmada 100 mCi radyoaktif  $^{241}\text{Am}$  kaynak kullanılmıştır. Daha sonra lantanit oksitlerin etkin atom numarası (Zeff), elektron yoğunlukları (Neff), ve tesir kesitleri ( $\sigma$ ) bu kütle azaltma katsayıları kullanılarak hesaplanmıştır. Teorik değerleri WinXCOM (Gerward *et al.* 2001) programı kullanılarak hesaplanmış ve deneysel sonuçlar arasındaki fark %2 olarak bulunmuştur (Singh *et al.* 2015).

Nd, Sm, Gd ve Tb elementleri ve çok sayıda bileşiği için  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$  ve  $L\gamma$  emisyon çizgi şekilleri ve yoğunluk oranı değerleri ölçülmüştür. Ölçümler EDXRF sistemi kullanılarak yapılmıştır. Soğrulma için hataları en aza indirmek amacıyla soğurma ve detektör verimi gibi çeşitli düzeltmeler yapılmıştır. Bütün çizgiler 100 mCi  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif halka kaynak kullanılarak uyarılmıştır.  $L\alpha/L\beta_1$  ve  $L\alpha/L\gamma$  X-ışınlarının şiddet oranları üzerine kimyasal etki araştırılmıştır. Ölçülen  $L\alpha/L\beta_1$  ve  $L\alpha/L\gamma$  şiddet oranları, literatürdeki deneysel ve teorik verilerle karşılaştırılmıştır (Durdağı 2017).

Wang *et al.* (2017) çalışmalarında, 15.9 keV fotonlarla uyarılmış altın için L X-ışını spektrumlarını,  $110^\circ$  ile  $150^\circ$  arasında  $10^\circ$ 'lik aralıklarla ölçmüşlerdir.  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$ ,  $L\beta_2$  ve  $L\gamma_1$  X-ışınlarının şiddetleri elde edilerek L X-ışını şiddet oranlarının açısallı bağımlılığını deneysel olarak belirlemişlerdir.

Başka bir çalışmada L X-ışınlarının polar ve azimutal saçılma açısına bağıllığı incelenmiştir. Si(Li) dedektör kullanılarak 59,54 keV foton enerjisinde beş elementin

(U, Pb, Hf, Sm ve Sb) L<sub>1</sub>, L<sub>α</sub>, L<sub>β</sub> ve L<sub>γ</sub> X-ışını diferansiyel tesir kesitleri, bazı farklı azimutal saçılma açılarında (30°, 20°, 10°, 0°, -10°, -20° ve -30°) ve polar saçılma açılarında (85°, 95°, 105°, 115°, 125° ve 135°) ölçülmüştür. Polar saçılma açılarında L<sub>1</sub> ve L<sub>α</sub> X-ışınlarında açığa bağlılık gözlemlenirken L<sub>β</sub> ve L<sub>γ</sub> X-ışınlarında açığa bağlılık gözlemlenmemiştir. Ancak azimutal saçılma açılarında L<sub>1</sub>, L<sub>α</sub> ve L<sub>γ</sub> X-ışınlarında açığa bağlılık gözlemlenirken L<sub>β</sub> X-ışınlarında açığa bağlılık gözlemlenmemiştir. L X-ışınlarının şiddetlendirme etkileri deneysel olarak hesaplanmıştır. Çalışılan numunelerde şiddetlendirme etkilerinin şiddete katkıları %3,13 ile %7,61 arasında değişmektedir (Akkuş 2016).

Lantanit metalleri, alaşımları ve bileşikleri farklı manyetik özelliklere sahip olduğu için manyetik moment, manyetik etkileşme parametre hesaplamaları da oldukça önemlidir. Paramanyetik malzemelerde, sıcaklık arttıkça duygunluk değeri değişmez veya azalır. Ferromanyetik ve antiferromanyetik malzemeler ısıtıldıklarında manyetik özelliklerini kaybederek paramanyetik malzemelere dönüşürler. Antiferromanyetik malzemeler Neel sıcaklığı denilen bir sıcaklık üzerinde ve ferromanyetik malzemeler Curie sıcaklığı denilen bir sıcaklığın üzerinde özelliklerini kaybederek paramanyetik özellik gösterirler (Bulcar 2014). Buradan hareketle atomik ışımanın atomdaki elektrik yüklerinin geçiş hareketinden kaynaklanmasından dolayı ışımaya yapan atomun manyetik veya elektrik alanında bulunması halinde yörüngenin şekli, yayımlanan foton enerjileri, spektral çizgi genişlikleri, geçiş hızları ve seviye ömürleri gibi bazı atomik parametrelerde değişikliklerin olması mümkündür (Şahin ve Kurucu 2005).

L<sub>1</sub>/L<sub>α</sub> L tabakası şiddet oranları atom numarası  $73 \leq Z \leq 92$  arasında bulunan bazı elementler için ölçülmüştür. Numuneler 70.75 T şiddetindeki dış manyetik alanda filtrelenmiş <sup>241</sup>Am radyoaktif nokta kaynaktan yayılan 59.54 keV'lik fotonlarla uyarılarak ölçülmüştür. B=0 için deneysel değerler Hartree Slater teorisine dayanarak hesaplanılan Scofield tablolarında mevcut olan teorik değerlerle mukayese edilmiştir (Demir *et al.* 2008).

Başka bir çalışmada, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho ve Er element grubunun  $L\alpha$ ,  $L\beta$ ,  $L\gamma$  ve  $L1$  X-ışını emisyon çizgilerine 0,6 T ve 1,2 T dış manyetik alanın etkisi incelendi. Manyetik alan, Sm elementi için L X-ışını emisyon çizgilerinde anlamlı bir etki gösterirken, Pr elementinin  $L\alpha/L\gamma$  şiddet oranlarında farkedilebilir bir değişim göstermemiştir. Ayrıca bağıl şiddetlerin dış manyetik alana enerji dönüşümlerinden daha çok duyarlı olduğu da belirtilmiştir (Durdağı 2013).

$Fe_xNi_{1-x}$ ,  $Ti_xNi_{1-x}$ , ve  $Co_xCu_{1-x}$  alaşımlarındaki Fe, Ni, Ti, Co ve Cu'nun  $K\beta/K\alpha$  X-ışını şiddet oranları üzerine tavlama sıcaklığının etkisi incelenmiştir. 10 mCi  $^{109}Cd$  radyoaktif nokta kaynaktan yayımlanan 22,69 keV'lik X-ışınları ile uyarılarak tavllanmış ve tavlansamı farklı alaşımlardaki 3d geçiş metallerrinin  $K\beta/K\alpha$  X-ışını şiddet oranlarını belirlemek için ölçüler alınmıştır ve geçiş metallerrinin  $K\beta/K\alpha$  X-ışını şiddet oranlarında tavlama işleminden sonra değişimler gözlemlenmiştir. Tavlama sürecinin alaşımın fiziksel özelliklerini önemli bir şekilde etkilediği ve 3d geçiş metal alaşımlarının elektrik, manyetik ve diğer özelliklerinin ısı işlem uygulaması ile kontrol edilebileceği belirtmiştir (Han and Demir 2010).

Kavaz (2016) doktora tez çalışmasında ilk seri geçiş metallerrinden Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu ve Zn ve ikinci seri geçiş metallerrinden Y, Zr, Nb ve Mo elementlerinin  $K\beta/K\alpha$  K X-ışını şiddet oranlarını, 100 mCi şiddetinde  $^{241}Am$  nokta kaynaktan yayımlanan 59,54 keV  $\gamma$ -ışınları ile uyararak sıcaklığa bağılı in-situ olarak belirledi. 50°C'lik adımlarla değişen 40-390°C sıcaklıklarda bir Si(Li) katıhal X-ışını detektörü kullanarak K X-ışını emisyon spektrumları elde etti. Elde edilen spektrumların değerlendirilmesiyle K X-ışını üretim tesir kesitleri, FWHM değerleri, enerji kaymaları, pik asimetrleri ve  $K\beta/K\alpha$  şiddet oranlarının sıcaklığa bağılı değişimi yorumladı. Ayrıca Cu, Ni, Co, Fe, Cr ve Ti elementleri için orbitallerdeki elektron sayısı değişimlerini belirlemek amacıyla hesaplanan X-ışını şiddet oranları Multikonfigürasyon Dirac-Fock hesaplamalarının sonuçları ile karşılaştırdı. Sonuç olarak da geçiş metallerrinin sıcaklığa bağılı olarak şiddet oranlarında ve diğer XRF parametrelerinde değişim olduğunu ve sıcaklıktan etkilendiğini gözledi. 2p-1s seviyeleri arasındaki geçişler sonucu oluşan  $K\alpha$  X-ışınları, 4d, 4p, 3d, 3p-1s seviyeleri arasındaki geçişler sonucu oluşan  $K\beta$  X-ışınlarına nazaran

artan sıcaklıktan daha az etkilendiğini gözlemiştir. Elementten elemente farklılık göstermesine rağmen, şiddet oranları genel olarak artma eğiliminde olduğunu gözlemiştir; ancak elementlerin elektronik konfigürasyonuna bağlı olarak Y, Zn, Cu gibi elementlerin artan sıcaklıkla şiddet oranlarında farklı bir eğilim olduğunu gözlemiştir. Ayrıca bazı elementlerin spektrumlarının FWHM, ve pik tepesi enerjilerinde sıcaklığa bağlı olarak anlamlı değişimler gözlemiştir.

Karakteristik X-ışınları, atomun yörüngeleri veya enerji seviyeleri arasındaki elektron geçişleri sonucu meydana gelir. Eğer yüksek enerjili bir parçacık (elektron, foton vs.) hedef maddesinin bağlı elektronlarından birine çarparsa ve parçacığın kinetik enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden büyükse bu elektronun atomdan sökülmesi mümkün olacaktır. Bu olay atomu kararsız bir durumda veya uyarılmış durumda bırakır. Uyarılmış durumdaki bir atom elektron veya boşluk geçişleri ile kararlı duruma geçer. Üst tabakalar tarafından doldurulan boşluk belli bir geçiş kurallarına ve enerjinin minimumluğuna uygun olarak doldurulur. Bir foton tarafından atomun L seviyesindeki elektron uyarılırsa, L tabakasında oluşan boşluk atomun üst tabakalarındaki (M, N, O,..) elektronlar tarafından doldurulabilir. Boşlukların farklı tabakalar tarafından doldurulması sonucu oluşan karakteristik X-ışınları  $L_1$ ,  $L\alpha$ ,  $L\beta$  ve  $L\gamma$  olabilir. X-ışını spektroskopisinin kullanılmaya başlandığından beri L X-ışını şiddet oranları deneysel ve teorik olarak birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Scofield 1974; Gray 1980; Shatendra *et al.* 1983; Raghavaiah *et al.* 1987, 1990; Rao *et al.* 1993, 1996; Ertuğrul *et al.* 1996, 2004; Mann and Allawadhi 1998; Küçükönder *et al.* 1997; Büyükkasap *et al.* 2001, 2005; Durak and Özdemir 2001; Ertuğrul and Turgut 2004; Karabulut and Gürol 2006; Demir and Şahin 2007; Yalçın *et al.* 2008; Mohan *et al.* 2009; Han *et al.* 2010; Kaçal *et al.* 2011; Akman *et al.* 2015; Kaur *et al.* 2015; Wang *et al.* 2015, 2017; Durdağı 2017; Bansal *et al.* 2017).

Bu sunulan doktora tezinde, geçiş metallere bir alt serisi olan lantanitlerden, Gd, Dy ve Er elementlerinin ve  $CeO_2$ ,  $Pr_6O_{11}$ ,  $Sm_2(SO_4)_3$ ,  $Eu_2O_3$ ,  $Ho_2O_3$ ,  $Tm_2O_3$ ,  $Yb_2O_3$  ve  $Lu_2O_3$  bileşiklerinin  $L\alpha /L\beta_1$  ve  $L\alpha /L\beta_2$  L X-ışını şiddet oranları, 100 mCi şiddetinde  $^{241}Am$  halka kaynaktan yayımlanan 59,54 keV  $\gamma$ -ışınları ile uyarılarak sıcaklığa bağlı in-

situ olarak belirlendi. Bir Si(Li) katıhal X-ışını dedektörü kullanılarak sıcaklığı 50°C'lik adımlarla 400°C'ye kadar değiştirilen tüm numunelerin L X-ışını emisyon spektrumları elde edildi. Sıcaklık değişim işlemi 500°C sıcaklığa kadar yükseltilebilen bir sıcaklık kontrol cihazı yardımıyla yapıldı. Belirlenen spektrumların değerlendirilmesi neticesinde L X-ışını üretim tesir kesitleri ( $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$  ve  $\sigma_{L\beta2}$ ), yarı maksimumdaki tam genişlik (FWHM) değerleri ve  $L\alpha/L\beta1$  ve  $L\alpha/L\beta2$  X-ışını şiddet oranlarının sıcaklığa bağlı değişimi yorumlandı.



## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Geçiş Metalleri

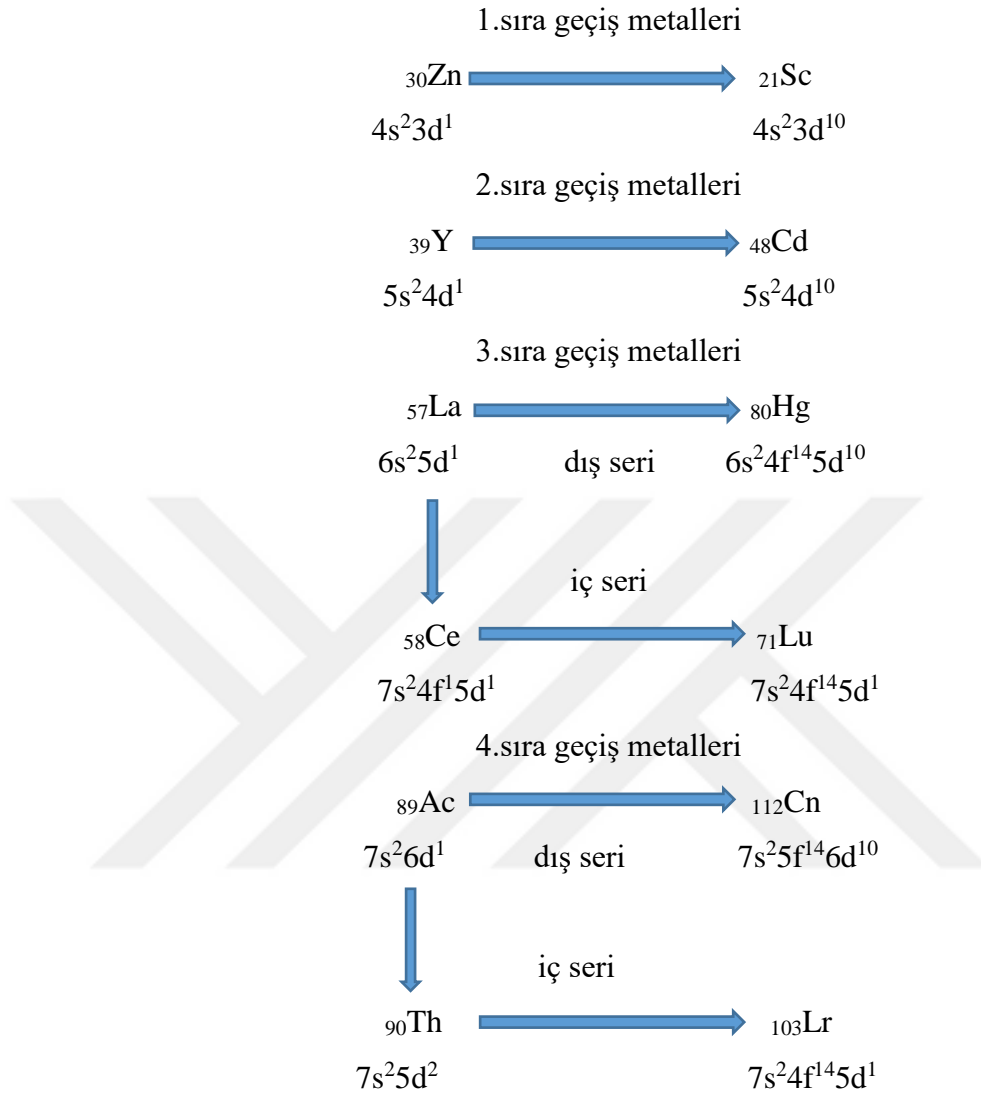
Geçiş metalleri, d ve f orbitallerine elektronların nüfuz etmesine karşılık gelen metallerdir. Bu nedenle d-bloğu metalleri (temel geçiş metalleri) ve f-bloğu metalleri (iç geçiş metalleri) olarak ayrı ayrı incelenmektedir. d-bloğu elementleri, 2A grubu ile 3A grubu metalleri arasında yani s-bloğunun aktifliği düşük metalleri ile aktifliği yüksek metalleri arasındaki bir geçişi temsil ettikleri için geçiş metali olarak adlandırılır.

	IA												VIII A					
1	H											He						
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	Sg	Ns	Hs	Mt	110	111	112	113					
Lantanitler	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71				
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu				
Aktinitler	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103				
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr				

Şekil 2.1. Periyodik tablo

4., 5. ve 6. periyotlarda yer alan ve her periyotta on tane bulunan elementler temel geçiş elementlerini oluştururlar. Periyodik tablonun altında yer alan on dördü iki sıra ise iç geçiş metallerini oluştururlar. Geçiş metallerinin dört serici vardır.



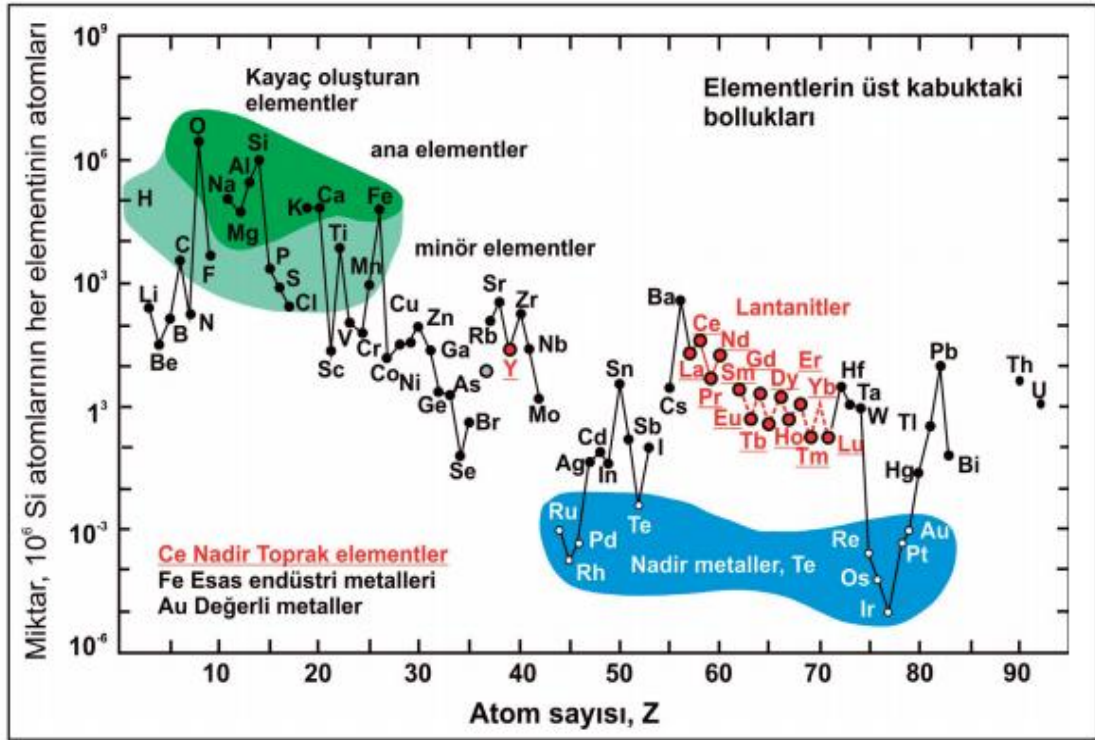


## 2.2. 3B Grubu Metalleri

3B grubu; Sc, Y, La ve La'yı takip eden 14 element ve Ac ve Ac'yi takip eden 14 element olmak üzere toplamda 32 elementten oluşmaktadır. La ve La'dan sonra gelen, atom numarası 58-71 olan 14 elemente lantanitler ve Ac ve Ac'den sonra gelen atom numarası 90-103 olan 14 elemente aktinitler denir (Koçak 2017).

### 2.3. Nadir Toprak Elementleri ve Özellikleri

Nadir toprak elementleri (Rare-Earths Elements; REE) skandiyum, yitriyum ve lantanitlerin içinde bulunduğu bir grubu kapsamaktadır. 1794 yılında Johann Gadolin tarafından toprak terimi önerilmiştir. Nadir denmesinin sebebi, lantanitlerin ilk keşfedildiklerinde yer kabuğunun sadece küçük bir kısmında olduğunun düşünülmesidir; fakat nadir toprak elementleri, radyoaktif prometyum (Pm) hariç bütün elementler miktar bakımından yer kabuğunda cıva ve gümüş elementlerinden daha fazla bulunurlar (Şekil 2.2) (Taylor and McLennan 1985). Örneğin seryum (Ce), bakır (Cu) gibi en çok bulunan yirmi beşinci elementtir. Ancak nadir toprak elementleri, kimyasal özelliklerinden dolayı diğerlerinden ayrılır ve nadir toprak mineralleri olarak bilinen ekonomik olarak kullanılabilir formları sıklıkla bulunamaz. Bu mineraller çok nadirdir ve “Nadir” terimi buradan gelmektedir. “Toprak”, çünkü oksitleri toprak görünümündeydi (Taşcı 2007).



Şekil 2.2. Elementlerin üst kabuktaki miktarlarının atomik sayılarının bir fonksiyonu olarak dağılımı (Haxel 2002)

Jeokimyacılar arasında da eski bir deyiş vardır: Nadir toprak elementleri ne “nadir” ne de “toprak” tır. Yerkabuğunun içerisinde bollukları lantanitlerinkinden daha düşük olan ve herkes tarafından da iyi bilinen birçok element vardır. Örneğin altın, gümüş ve platin. Daha az bilinen selenyum (Se), rutenyum (Ru), rhodyum (Rh), palladyum (Pd) gibi elementler de nadir toprak elementlerinden daha “nadir”. Buradan da nadir toprak elementlerinin “nadir” ya da en azından kesinlikle “en nadir” olmadığını anlayabiliriz. Öte yandan bu elementler “toprak” da değiller; ancak elementler böyle anıla gelmişler. Antik dünyanın kimyagerleri olan simyacılar, bilmedikleri pek çok maddeye “toprak” demişler (Yüce 2006).

Lantanitler, ilk kez 1787'de İsveç'te Ytterby'de olağandışı siyah bir mineral bulunduğu zaman keşfedildi. Günümüzde Gadolinit olarak bilinen bu mineral, daha sonra çeşitli lantanit elementlerine ayrılmıştır. 1794 yılında Gadolin, bu mineralden itriyum oksidin saf olmayan bir formu olan “yitria” yı elde etti. 1803 yılında W. Hisinger, M.H. Klaproth ve J.J. Berzelius bir başka element olan “serya” yı elde etmişlerdir. 1839-1843 yılları arasında Sweede C.G. Mosander bu elementleri ilk defa oksitlerinden ayırmayı başarmıştır. Daha sonra, Moseley elementlerin X-ışını tayflarını kullanarak, lantan ve hafniyum arasında on dört element bulunduğunu kanıtladı. Elementlerin geri kalan kısmı daha sonra aynı mineralden ayrılmıştır (Cotton 2006).

Atom numaraları 57'den 71'e kadar olan lantanitler kimyasal olarak benzer elementlerin oluşturduğu bir gruptur. Atom numaralarına göre bu gruptaki elementlerin sıralanışı; lantan (La), seryum (Ce), praseodim (Pr), neodimyum (Nd), prometyum (Pm), samaryum (Sm), evropiyum (Eu), gadolinyum (Gd), terbiyum (Tb), disprozyum (Dy), holmiyum (Ho), erbiyum (Er), tulyum (Tm), iterbiyum (Yb), lutesyum (Lu) şeklindedir. Lantanitlere benzer kimyasal özellikleri nedeniyle atom numarası 39 olan yitriyum (Y) ve atom numarası 21 olan skandiyum (Sc) da bu grubun içine dahil edilmiştir (Castor and Hedrick 2006).

Nadir toprak elementlerinin özellikleri geçiş metallerinin özelliklerine oldukça benzemektedir. Bu yüzden bu elementlerden özel geçiş metalleri olarak da bahsedilir.

Sc ve Y doğada çok az bulunmaktadır. Lantanitler, atom yarıçaplarının birbirine çok yakın olması ve dolayısıyla fiziksel ve kimyasal özelliklerinin benzer olması nedeni ile bir arada bulunmaktadır. Lantanitler içerisinde sadece Pm radyoaktiftir.

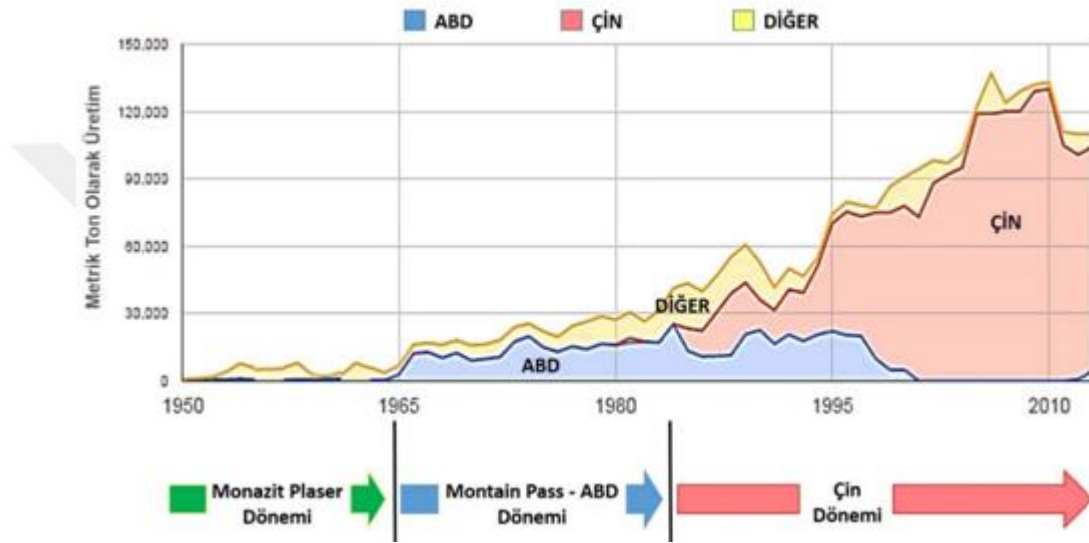
Nadir toprak elementleri atomik ağırlıklarına göre iki alt gruba ayrılmaktadır. Birinci alt grupta atom numarası 57 ile 63 arasında olan elementler yer alır ve hafif alt grubu elementleri olarak adlandırılırlar. İkinci grupta atom numarası 64 ile 71 arasında olan elementler yer alır ve ağır alt grubu elementleri olarak adlandırılırlar. Skandiyum ve Yitriyum elementleri, atom numaraları sırasıyla 21 ve 39 olmasına rağmen, ağır nadir toprak elementlerine benzer fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle bu grup elementlerine dahil edilmektedir. Şekil 2.3'te nadir toprak elementlerin periyodik tabloya göre yerleşimi gösterilmiştir (Şen *et al.* 2012).

AGIR NADİR TOPRAK ELEMENTLER																		
HAFİF NADİR TOPRAK ELEMENTLER																		
H <sup>1</sup>																	He <sup>2</sup>	
Li <sup>3</sup>	Be <sup>4</sup>												B <sup>5</sup>	C <sup>6</sup>	N <sup>7</sup>	O <sup>8</sup>	F <sup>9</sup>	Ne <sup>10</sup>
Na <sup>11</sup>	Mg <sup>12</sup>												Al <sup>13</sup>	Si <sup>14</sup>	P <sup>15</sup>	S <sup>16</sup>	Cl <sup>17</sup>	Ar <sup>18</sup>
K <sup>19</sup>	Ca <sup>20</sup>	Sc <sup>21</sup>	Ti <sup>22</sup>	V <sup>23</sup>	Cr <sup>24</sup>	Mn <sup>25</sup>	Fe <sup>26</sup>	Co <sup>27</sup>	Ni <sup>28</sup>	Cu <sup>29</sup>	Zn <sup>30</sup>	Ga <sup>31</sup>	Ge <sup>32</sup>	As <sup>33</sup>	Se <sup>34</sup>	Br <sup>35</sup>	Kr <sup>36</sup>	
Rb <sup>37</sup>	Sr <sup>38</sup>	Y <sup>39</sup>	Zr <sup>40</sup>	Nb <sup>41</sup>	Mo <sup>42</sup>	Tc <sup>43</sup>	Ru <sup>44</sup>	Rh <sup>45</sup>	Pd <sup>46</sup>	Ag <sup>47</sup>	Cd <sup>48</sup>	In <sup>49</sup>	Sn <sup>50</sup>	Sb <sup>51</sup>	Te <sup>52</sup>	I <sup>53</sup>	Xe <sup>54</sup>	
Cs <sup>55</sup>	Ba <sup>56</sup>	La-Lu	Hf <sup>72</sup>	Ta <sup>73</sup>	W <sup>74</sup>	Re <sup>75</sup>	Os <sup>76</sup>	Ir <sup>77</sup>	Pt <sup>78</sup>	Au <sup>79</sup>	Hg <sup>80</sup>	Tl <sup>81</sup>	Pb <sup>82</sup>	Bi <sup>83</sup>	Po <sup>84</sup>	At <sup>85</sup>	Rn <sup>86</sup>	
Fr <sup>87</sup>	Ra <sup>88</sup>	Ac-Lr	Rf <sup>104</sup>	Db <sup>105</sup>	Sg <sup>106</sup>	Bh <sup>107</sup>	Hs <sup>108</sup>	Mt <sup>109</sup>										
NADİR TOPRAK ELEMENTLER																		
*Lantanid Serisi		La <sup>57</sup>	Ce <sup>58</sup>	Pr <sup>59</sup>	Nd <sup>60</sup>	Pm <sup>61</sup>	Sm <sup>62</sup>	Eu <sup>63</sup>	Gd <sup>64</sup>	Tb <sup>65</sup>	Dy <sup>66</sup>	Ho <sup>67</sup>	Er <sup>68</sup>	Tm <sup>69</sup>	Yb <sup>70</sup>	Lu <sup>71</sup>		
**Aktinid Serisi		Ac <sup>89</sup>	Th <sup>90</sup>	Pa <sup>91</sup>	U <sup>92</sup>	Np <sup>93</sup>	Pu <sup>94</sup>	Am <sup>95</sup>	Cm <sup>96</sup>	Bk <sup>97</sup>	Cf <sup>98</sup>	Es <sup>99</sup>	Fm <sup>100</sup>	Md <sup>101</sup>	No <sup>102</sup>	Lr <sup>103</sup>		

Şekil 2.3. Nadir toprak elementlerinin periyodik tabloya göre yerleşimi

Doğada serbest halde bulunmayan nadir toprak elementlerin oksitlerinin %95'i ksenatim, monazit ve bastnazitte bulunur. Nadir toprak elementleri, florür, oksit, klorür, karbonat, nitrat, silikat, fosfat ve hidrat gibi tuzları karışık oksit, ayrı ayrı metaller, yitriyum dışındaki elementlerden oluşan karışık metal, yüksek saflıkta metal ve alaşımlar halinde üretilmekte ve tüketilmektedir. Nadir toprak elementlerin %30'u cam ve seramik sanayisinde, %31'i metalurjide, %36'sı katalizör olarak ve %3'ü ise diğer alanlarda kullanılır (Özarslan 2012).

Nadir toprak element ihtiyacı 1965 yılından 1985 yılına kadar çoğunlukla ABD’de yer alan Mountain Pass bölgesinde monazitli plaserlerden elde edilmiştir. Daha sonra bu bölgelerdeki üretim gittikçe azalmış ve 1985’ten sonra nadir toprak elementleri üretiminde Çin öne çıkmıştır. Günümüzde Çin gerek üretimi gerekse nadir toprak rezervi açısından dünyada birinci sırada yer almaktadır (Binzat 2015).



**Şekil 2.4.** Nadir toprak elementlerinin üretimi

Lantanitler, Ce grubu [La(57), Ce(58), Pr(59), Nd(60), Pm(61) ve Sm(62)], Tb grubu [Eu(63), Gd(64), Tb(65) ve Dy(66)] ve Yb grubu [Ho(67), Er(68), Tm(69), Yb(70) ve Lu(71)] olmak üzere üç grupta toplanmaktadır (Koçak 2017). Bu gruplandırma, elementleri birbirinden ayırt etmede kullanılmaktadır; ancak yine de gruplar birbirine çok benzemektedirler.

Lantanitlerin özellikleri genel olarak aşağıda listelenmiştir (Cotton 2006).

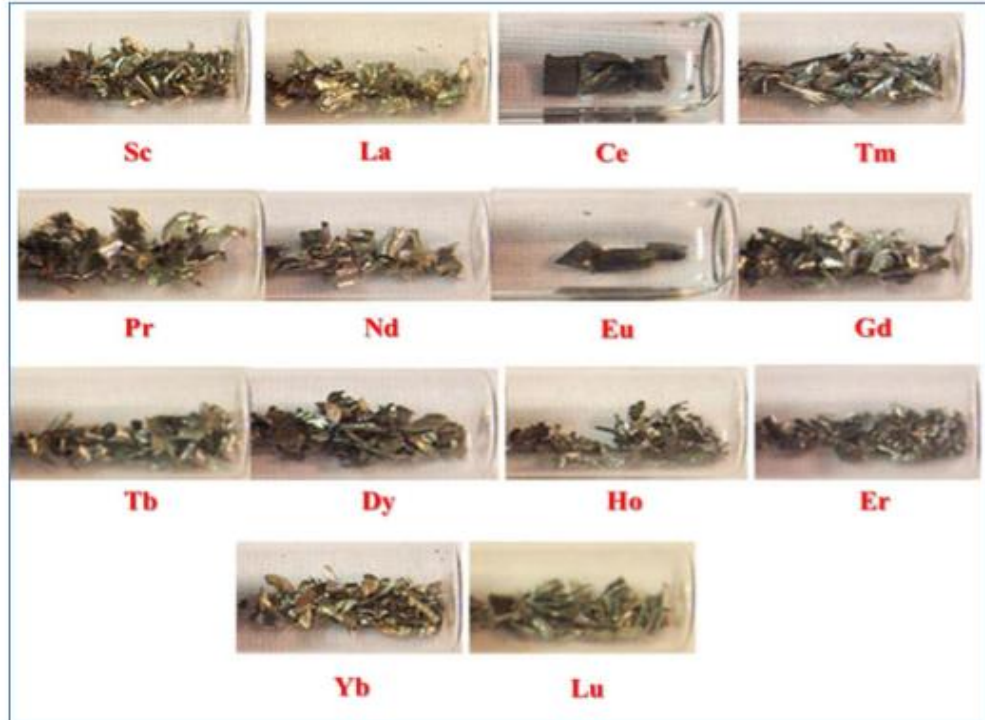
- ✓ Koordinasyon sayısı aralığı oldukça geniştir (genellikle 6 – 12 arası, fakat 2, 3 veya 4 koordinasyonda bilinmektedir).
- ✓ Koordinasyon geometrisi kristal alan etkisinden daha çok ligand sterik etkisi ile belirlenir.

- ✓ Genellikle labil iyonik kompleksler oluştururlar ve bu kompleksler kolaylıkla ligand değişimine uğrarlar.
- ✓  $Ln^{+3}$ 'teki 4f orbitalleri,  $5s^2$  ve  $5p^6$  orbitalleri tarafından çok kuvvetli perdelendiği için bağlanmada doğrudan kullanılmazlar. Bu nedenle spektroskopik ve manyetik özellikleri daha çok ligandan etkilenir.
- ✓ d-blok elementlerine göre küçük kristal alan yarılması ve çok keskin elektronik spektrum verirler.
- ✓ Yüksek elektronegatifliğe sahip donör atomları tercih ederler (O, F gibi).
- ✓ Kolaylıkla hidratlaşmış kompleksleri oluşturabilirler. Bu da koordinasyon sayısının kesin olarak belirlenmesini zorlaştırır.
- ✓ Çözünmez hidroksitleri normal pH'da çökerler (ortamda kompleks yapıcı ajanlar bulunmamalı).
- ✓  $Ln=O$ ,  $Ln\equiv N$  çoklu bağlarını oluşturmazlar.
- ✓ Geçiş metalleri gibi kararlı karbonilleri oluşturmazlar ve "0" oksidasyon basamağında herhangi bir bileşikleri yoktur.
- ✓ Nispeten yumuşak metallerdir. Yüksek atom numarası ile sertlik biraz artar.
- ✓ Bileşikleri güçlü paramanyetiktir.
- ✓ İyonizasyon entalpileri düşüktür.
- ✓ Atom numarası arttıkça artan  $6.77 \text{ g/cm}^3$  ile  $9.74 \text{ g/cm}^3$  arasında değişen yüksek yoğunluğa sahiptir.
- ✓ Değişken oksidasyon durumları gösterir. En kararlı oksidasyon durumu +3'tür. Yarı veya tam dolu ve boş 4f alt kabuğun varlığı nedeniyle +2 ve +4 oksidasyon durumları da gösterirler.
- ✓ Oldukça yüksek bir erime noktasına sahiptirler, ancak lantanitlerin erime ve kaynama noktalarında belirgin bir eğilim yoktur. Çizelge 2.1'de lantanitlerin erime ve kaynama noktaları verilmektedir.

**Çizelge 2.1.** Lantanitlerin erime ve kaynama noktaları

	<b>Erime Noktası (°C)</b>	<b>Kaynama Noktası (°C)</b>
<b>La</b>	920	3469
<b>Ce</b>	795	3468
<b>Pr</b>	935	3127
<b>Nd</b>	1024	3027
<b>Pm</b>	1100	3000
<b>Sm</b>	1072	1900
<b>Eu</b>	826	1429
<b>Gd</b>	1312	3000
<b>Tb</b>	1356	2800
<b>Dy</b>	1407	2600
<b>Ho</b>	1461	2600
<b>Er</b>	1497	2900
<b>Tm</b>	1545	1727
<b>Yb</b>	824	1427
<b>Lu</b>	1652	3327

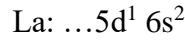
Lantanit grubu bazı metallerin saf haldeki fiziksel görünüşleri Şekil 2.5'te gösterilmektedir (Berke 2014).



**Şekil 2.5.** Lantanit grubu metallerin fiziksel görünümü

### 2.3.1. Lantanitlerin elektronik konfigürasyonları

Lantan (La) elementinin elektronik konfigürasyonu aşağıda belirtildiği gibidir:



Bu elektronik konfigürasyon dağılımına göre lantanitlerde  $d^1$  orbitaline bir elektron nüfuz ettikten sonra gelen elektronlar iki alt tabaka olan 4f orbitallerini doldururlar. Lantanit elementlerinin özellikleri elektronlar iki alt tabakayı ihtiva ettiklerinden dolayı çok fazla değişmez. Lantanitlerde elektronlar orbitallere düşük enerji seviyesinden yüksek enerji seviyesine doğru Aufbau kuralına göre nüfuz ederler. Eğer baş ve orbital kuantum sayıları toplamı  $(n+1)$  eş ise, elektron baş kuantum sayısı küçük olan orbitale nüfuz eder. Yani, lantandan sonra gelen 58 numaralı seryumun elektron dağılımı, Xe:  $4f^2 6s^2$  düzeninde; 64 numaralı gadolinyumun Xe:  $4f^7 5d^1 6s^2$ ; 65 numaralı terbiyumun Xe:  $4f^9 6s^2$  düzenindedir. Çizelge 2.2’de lantanit metallerinin bazı özellikleri verilmiştir (Bulun 2010).

**Çizelge 2.2.** Lantanit metallerin bazı özellikleri (Kittel 1996)

Element	Sembol	Atom No	Elektron Dağılımı	Yükseltgenme sayısı	İyon Elektron Dağılımı		
					2+	3+	4+
Lantan	La	57	Xe: $5d^1 6s^2$	+3		Xe	
Seryum	Ce	58	Xe: $4f^2 6s^2$	+3, +4		Xe: $4f^1$	Xe
Prasedyum	Pr	59	Xe: $4f^3 6s^2$	+3, +4		Xe: $4f^2$	Xe: $4f^1$
Neodyum	Nd	60	Xe: $4f^4 6s^2$	+2, +3, +4	Xe: $4f^4$	Xe: $4f^3$	Xe: $4f^2$
Prometyum	Pm	61	Xe: $4f^5 6s^2$	+3		Xe: $4f^4$	
Samaryum	Sm	62	Xe: $4f^6 6s^2$	+2, +3	Xe: $4f^6$	Xe: $4f^5$	
Europyum	Eu	63	Xe: $4f^7 6s^2$	+2, +3	Xe: $4f^7$	Xe: $4f^6$	
Gadolinyum	Gd	64	Xe: $4f^7 5d^1 6s^2$	+3		Xe: $4f^7$	
Terbiyum	Tb	65	Xe: $4f^9 6s^2$	+3, +4		Xe: $4f^8$	Xe: $4f^7$
Disprosyum	Dy	66	Xe: $4f^{10} 6s^2$	+3, +4		Xe: $4f^9$	Xe: $4f^8$
Holmiyum	Ho	67	Xe: $4f^{11} 6s^2$	+3		Xe: $4f^{10}$	
Erbiyum	Er	68	Xe: $4f^{12} 6s^2$	+3		Xe: $4f^{11}$	
Tulyum	Tm	69	Xe: $4f^{13} 6s^2$	+2, +3	Xe: $4f^{13}$	Xe: $4f^{12}$	
İterbiyum	Yb	70	Xe: $4f^{14} 6s^2$	+2, +3	Xe: $4f^{14}$	Xe: $4f^{13}$	
Lutesyum	Lu	71	Xe: $4f^{14} 5d^1 6s^2$	+3		Xe: $4f^{14}$	



### 2.3.2. Atom ve iyonlarının yarıçapı

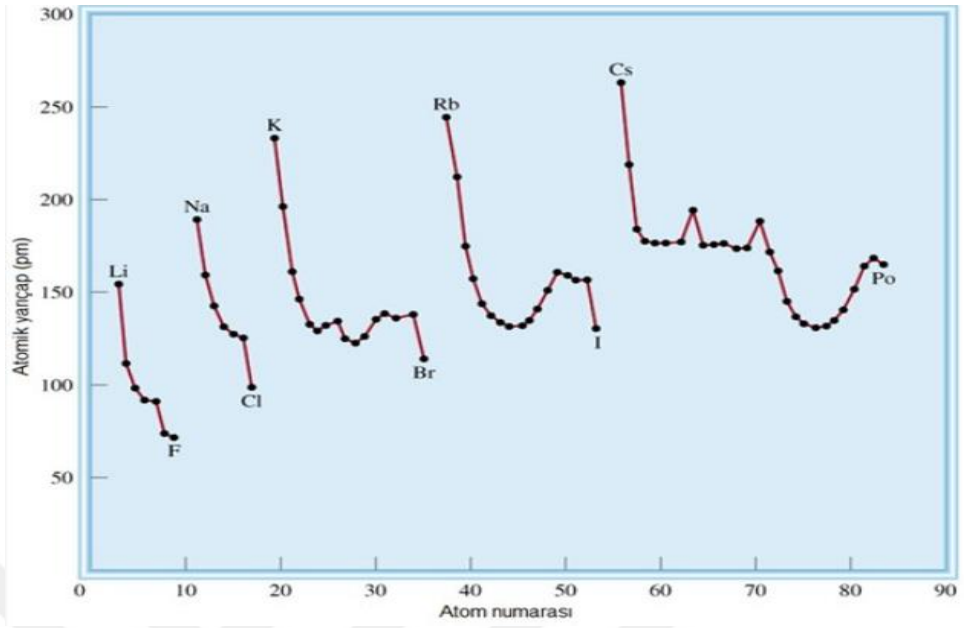
Bir grupta etkin çekirdek yükü aynı kalırken (değerlik elektronları sayısı aynı) yukarıdan aşağıya doğru  $n$  sayısının ve elektron tabakalarının sayısının artması ve atomun büyümesinden dolayı yukarıdan aşağıya doğru inildikçe atom yarıçapı artar. Bir periyotta ise soldan sağa doğru atom yarıçapı azalır; çünkü aynı periyotta  $n$  sayısı değişmezken atom numarası yani etkin çekirdek yükü arttığından en dış tabaka elektronları daha da çok çekilmekte ve atom küçülmektedir. Temel geçiş elementlerinde atom yarıçapındaki değişme beklenilenden daha azdır, çünkü elektronlar içteki 3d alt tabakasına girdiğinden en dıştaki 4s alt tabakasının elektronları, 3d elektronları ile perdelenir ve etkin çekirdek yükündeki artıştan çok fazla etkilenmeyeceklerdir. Lantanitler ise atom yarıçapında yavaş ama bariz bir azalma gösterirler. Buna lantanit büzülmesi denir.

Lantanit elementlerinin en önemli özelliği lantanit büzülmesidir. İyonik ve atomik ölçüde artan atom numarasıyla düzenli bir azalma görülür.  $\text{La}^{+3}$  iyonu  $\text{Yb}^{+3}$  iyonundan yaklaşık 0,13 Å daha geniş bir yarıçapa sahiptir. Lantanit büzülmesinin büyük bir sebebi, elektronlar 4f alt tabakasına nüfuz ederler ve artan çekirdek yükünü perdelerler. Bununla birlikte bu etki en dıştaki 6s tabakası elektronlarında pek görülmez ve atom yarıçapı azalır. Daha az büzülme gözlenen d-bloğu geçiş serisiyle karşılaştırıldığında, 4f elektronları dış kabuktaki elektronlarını nd elektronlarınınkinden daha zayıf perdelerler. Çünkü 14 tane lantanit vardır ve kümülatif etki daha büyüktür (Taşpolat 2015).

Lantanitlerin atom ve iyonik yarıçapları Çizelge 2.3'te verilmektedir (Cotton 2006).

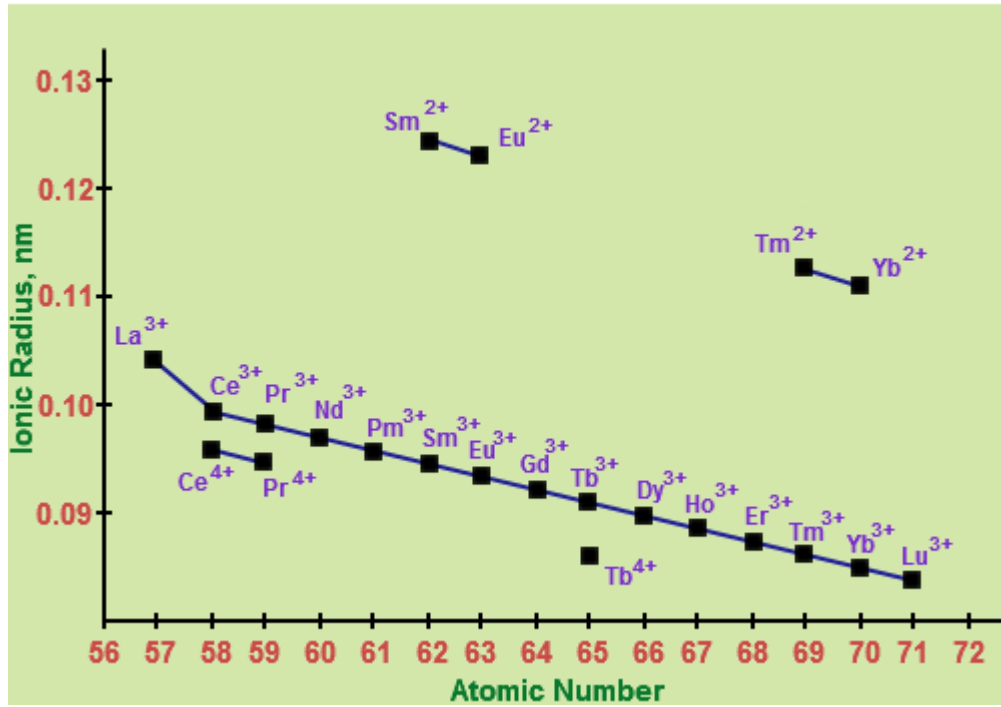
**Çizelge 2.3.** Lantanitlerin atom ve iyonik yarıçapları (pm)

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
187,7	182,5	182,8	182,1	181,0	180,2	204,2	180,2	178,2	177,3	176,6	175,7	174,6	194,0	173,4
$\text{La}^{+3}$	$\text{Ce}^{+3}$	$\text{Pr}^{+3}$	$\text{Nd}^{+3}$	$\text{Pm}^{+3}$	$\text{Sm}^{+3}$	$\text{Eu}^{+3}$	$\text{Gd}^{+3}$	$\text{Tb}^{+3}$	$\text{Dy}^{+3}$	$\text{Ho}^{+3}$	$\text{Er}^{+3}$	$\text{Tm}^{+3}$	$\text{Yb}^{+3}$	$\text{Lu}^{+3}$
103,2	101,0	99,0	98,3	97,0	95,8	94,7	93,8	92,3	91,2	90,1	89,0	88,0	86,8	86,1



Şekil 2.6. Lantanitlerin atomik yarıçapları (<http://slideplayer.biz.tr/slide/8911943/>)

Lantanit daralmasının diyagramatik gösterimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 2.7. Lantanitlerin iyonik yarıçapları

### 2.3.3. İyonlaşma enerjileri

İyonlaşma enerjisi gaz halindeki bir atomun temel halinden bir elektronu uzaklaştırmak için atoma verilmesi gereken minimum enerjidir. İyonlaşma enerjisinin büyüklüğü atomdaki elektronun ne kadar sıkı tutulduğunun bir ölçüsüdür. Daima dışardan ısı alan (endotermik) bir olaydır. Bir elektronu uzaklaştırmak için gerekli enerji birinci iyonlaşma enerjisi, ikinciye uzaklaştırmak için gerekli enerji ikinci iyonlaşma enerjisidir. Tabiki birinci iyonlaşmadan sonra + yüklü bir iyon oluşur ve bu + yüklü iyondan bir elektron çıkarmak daha büyük bir enerji gerektirir. İyonlaşma enerjisinin periyotlar boyunca artması tamamen düzenli değildir. Bunun sebebi yarı dolu alt orbitallerde paralel spinli elektronların bulunmasının atomdaki elektron düzeninin kararlılığını artırmasıdır. Pauli İlkesi'ne göre; paralel spinli elektronlar birbirini iter ve birbirinden uzaktadırlar. Dolayısıyla elektronlar arasındaki itme kuvveti küçülür ve atom daha kararlı bir sisteme sahip olur ki, bu iyonizasyon enerjisinin artması anlamına gelir (Evcin 2006).

Nötral bir lantanit atomunun iyonlaşması, 4f elektronlarından birinin koparılmasıyla değil, nispeten zayıf bağlı 6s elektronlarından birinin koparılmasıyla olur. Lantanitlerin ilk dört iyonlaşma dereceleri için taban hal konfigürasyonları Çizelge 2.4'te verilmektedir (Karaçoban 2011).

**Çizelge 2.4.** Lantanitlerin ilk dört iyonlaşma dereceleri için taban hal konfigürasyonları (Öz:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6$ )

Element	Z	I	II	III	IV
La	57	5d6s <sup>2</sup>	5d <sup>2</sup>	5d	5p <sup>6</sup>
Ce	58	4f5d6s <sup>2</sup>	4f5d <sup>2</sup>	4f <sup>2</sup>	4f
Pr	59	4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>3</sup> 6s	4f <sup>3</sup>	4f <sup>2</sup>
Nd	60	4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>4</sup> 6s	4f <sup>4</sup>	4f <sup>3</sup>
Pm	61	4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>5</sup> 6s	4f <sup>5</sup>	4f <sup>4</sup>
Sm	62	4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>6</sup> 6s	4f <sup>6</sup>	4f <sup>5</sup>
Eu	63	4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>7</sup> 6s	4f <sup>7</sup>	4f <sup>6</sup>
Gd	64	4f <sup>7</sup> 5d6s <sup>2</sup>	4f <sup>7</sup> 5d6s	4f <sup>7</sup> 5d	4f <sup>7</sup>
Tb	65	4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>9</sup> 6s	4f <sup>9</sup>	4f <sup>8</sup>
Dy	66	4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>10</sup> 6s	4f <sup>10</sup>	4f <sup>9</sup>
Ho	67	4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>11</sup> 6s	4f <sup>11</sup>	4f <sup>10</sup>
Er	68	4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>12</sup> 6s	4f <sup>12</sup>	4f <sup>11</sup>
Tm	69	4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>13</sup> 6s	4f <sup>13</sup>	4f <sup>12</sup>
Yb	70	4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>14</sup> 6s	4f <sup>14</sup>	4f <sup>13</sup>
Lu	71	4f <sup>14</sup> 5d6s <sup>2</sup>	4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>	4f <sup>14</sup> 6s	4f <sup>14</sup>

Lantanitlerin ilk dört iyonizasyon enerjilerinin değerleri ise Çizelge 2.5'te verilmektedir (Cotton 2006).

**izelge 2.5.** Lantanitlerin iyonizasyon enerjileri (kJ/mol)

Element	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>
<b>La</b>	538	1067	1850	4819
<b>Ce</b>	527	1047	1949	3547
<b>Pr</b>	523	1018	2086	3761
<b>Nd</b>	529	1035	2130	3899
<b>Pm</b>	536	1052	2150	3970
<b>Sm</b>	543	1068	2260	3990
<b>Eu</b>	546	1085	2404	4110
<b>Gd</b>	593	1167	1990	4250
<b>Tb</b>	564	1112	2114	3839
<b>Dy</b>	572	1126	2200	4001
<b>Ho</b>	581	1139	2204	4110
<b>Er</b>	589	1151	2194	4115
<b>Tm</b>	597	1163	2285	4119
<b>Yb</b>	603	1176	2415	4220
<b>Lu</b>	523	1340	2033	4360

Lantanitlerin iyonlaşma enerjileri hemen hemen sabit kalır. Çünkü elektronlar iki alt tabakaya girerler (Bulcar 2014).

### 2.3.4. Lantanitlerde renk

Geçiş metalleri beyaz ışığın bazı kısımlarını soğurduklarından renklidirler. Çünkü soğurulan ışığın tamamlayıcısı olan diğer renkler göz tarafından görülür. rnek olarak beyaz ışığın mavi kısmını soğuran bir madde, onun tamamlayıcısı olan kırmızı rengi verir. Bunun sebebi d orbitalinden alınıp verilen elektronlar ile ilgilidir. İyon metalin yük yoğunluğunu etkilediğinden, d orbitalleri enerji bakımından farklı enerji seviyelerine ayrılırlar. Düşük enerji seviyesinde bulunan elektron, enerji aldığında, bu enerjiyi kullanarak bir üstte bulunan yüksek enerji seviyesindeki orbitale atlar. Almış olduğu enerjiyi kullanan elektron yeniden eski enerji seviyesine dönerken soğurduğu enerjiyi ışık enerjisi olarak geri verir. Birden fazla d orbitalindeki elektronlar bu olaya dahil oluyorsa birden fazla renk bandı oluşur. Bundan dolayı geçiş elementlerinin

bileşikleri çoğunlukla renklidir (Bulcar 2014). Lantanitlerde ise bu olay f orbitalinden alınan verilen elektronlarla ilgilidir.

Lantanit serileri için soğurma bandları 4f elektronlarının elektronik geçişlerinden ileri gelir. Bu bantlar dardır ve çözücünün veya dış elektronlarla bağlı türlerin doğasından etkilenmezler. Çünkü bu orbitaller daha yüksek baş kuantum sayılarındaki orbitallerdeki elektronlar tarafından perdelenir. Çoğu lantanit elementinin iyonları görünür ve ultraviyole bölgede absorpsiyon yapar.

Lantanitlerin oksit ve iyonik çözeltilerinin renkleri Çizelge 2.6'da verilmektedir (Berke 2014).

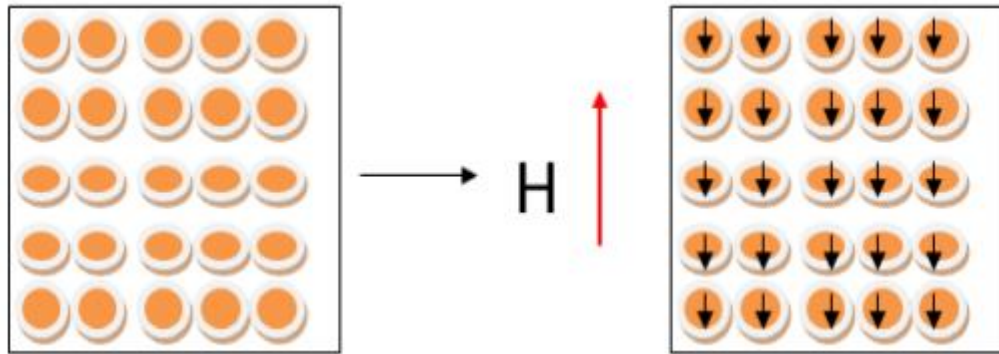
**Çizelge 2.6.** Lantanitlerin oksit ve iyonik çözeltilerinin renkleri

	<b>Oksit Renkleri</b>	<b>İyonik Çözeltilerin Renkleri</b>
<b>La</b>	Beyaz	Renksiz
<b>Ce</b>	Krem	Turuncu
<b>Pr</b>	Siyah	Yeşil
<b>Nd</b>	Mavi	Mor
<b>Pm</b>	-	Pembe
<b>Sm</b>	Krem	Açık Sarı
<b>Eu</b>	Pembe	Açık Pembe
<b>Gd</b>	Beyaz	Renksiz
<b>Tb</b>	Kahverengi	Açık Pembe
<b>Dy</b>	Sarımsı Beyaz	Açık Sarı-Yeşil
<b>Ho</b>	Açık sarı	Turuncu
<b>Er</b>	Kırmızı	Kırmızı
<b>Tm</b>	Açık Yeşil	Açık Yeşil
<b>Yb</b>	Beyaz	Renksiz
<b>Lu</b>	Beyaz	Renksiz

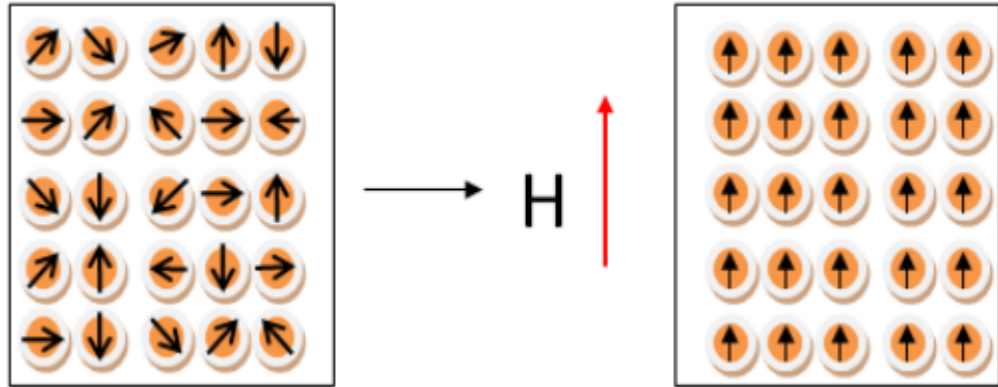
### 2.3.5. Manyetik özellikleri

Manyetik özellikler elektronların yörünge ve spin hareketlerine ve birbirleri ile etkileşimlerine bağlıdır. Genel kanının aksine her malzeme manyetik özellik gösterir. Ancak bazı malzemelerde atomik manyetik momentler arasında herhangi bir kolektif

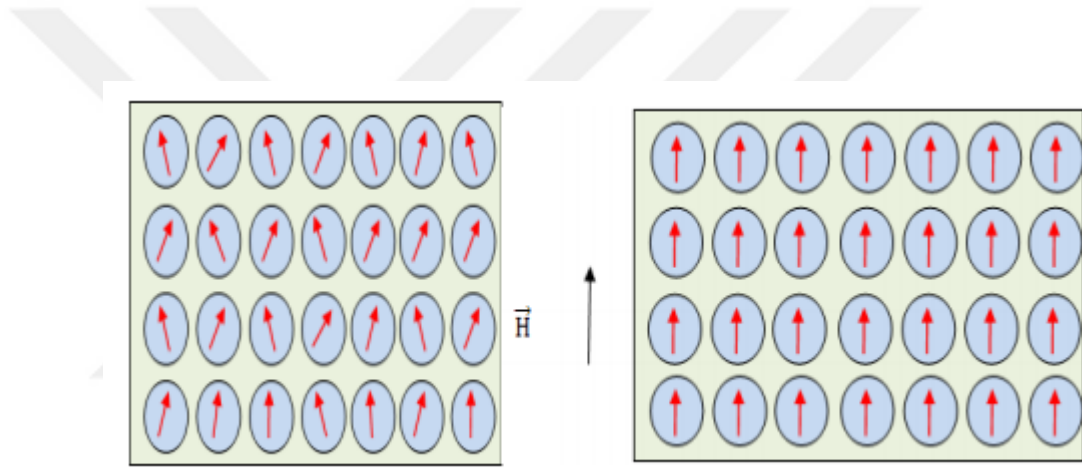
etkileşme yokken, bazılarında manyetik momentler çok güçlü şekilde etkileşirler. Temelde malzemelerin güçlü ya da zayıf manyetik özellikler göstermeleri bu farktan kaynaklanır. Malzemelerin manyetik davranışları diyamanyetizma, paramanyetizma, ferromanyetizma, ferrimanyetizma ve antiferrromanyetizma olmak üzere 5 ana başlık altında sınıflandırılabilir. Diyamanyetik malzemelerin manyetik alınganlıkları genellikle  $-10^{-6}$  ile  $-10^{-5}$  aralığındadır. Eksi manyetik alınganlık, bu malzemelerin dış bir manyetik alan varlığında alan ile ters yönlü bir mıknatıslanma kazanmaları anlamına gelir. Diyamanyetik malzemelerin atomlarının çiftlenmemiş elektronları yoktur. Eksi manyetik alınganlıkları dış manyetik alanın elektronların yörüngesel hareketlerinin şeklini bozmasından kaynaklanır. Bu nedenle tüm malzemeler diyamanyetik özellik gösterir. Paramanyetik malzemeler ise pozitif ancak çok küçük manyetik alınganlığa ( $10^{-4}$  ile  $10^{-5}$  aralığında) sahiptirler. Bu malzemelerin atomlarında çiftlenmemiş elektronlar vardır ancak elektronlar birbirleri ile etkileşmezler. Ferromanyetik, ferrimanyetik ve antiferromanyetik malzemelerde atomik manyetik momentler güçlü bir etkileşim içindedirler. Bu etkileşim manyetik momentlerin paralel ya da ters yönlü dizilmesine neden olan “değiş-tokuş etkileşimidir”. Bu etkileşim ferromanyetik malzemelerde manyetik momentlerin paralel yönelmesine neden olur. Atomik manyetik momentlerin değiş-tokuş etkileşiminden dolayı ters yönlü dizilmesi durumunda ise örgüde manyetik momentler aynı büyüklükte ise antiferromanyetizma gözlenir ve net mıknatıslanma sıfır olur. Manyetik momentler farklı büyüklükte olduğunda ise net mıknatıslanma sıfır olmaz ve malzeme ferrimanyetik özellik gösterir (Şimşek 2015).



**Şekil 2.8.** Diyamanyetik malzemedeki atomların dizilimi



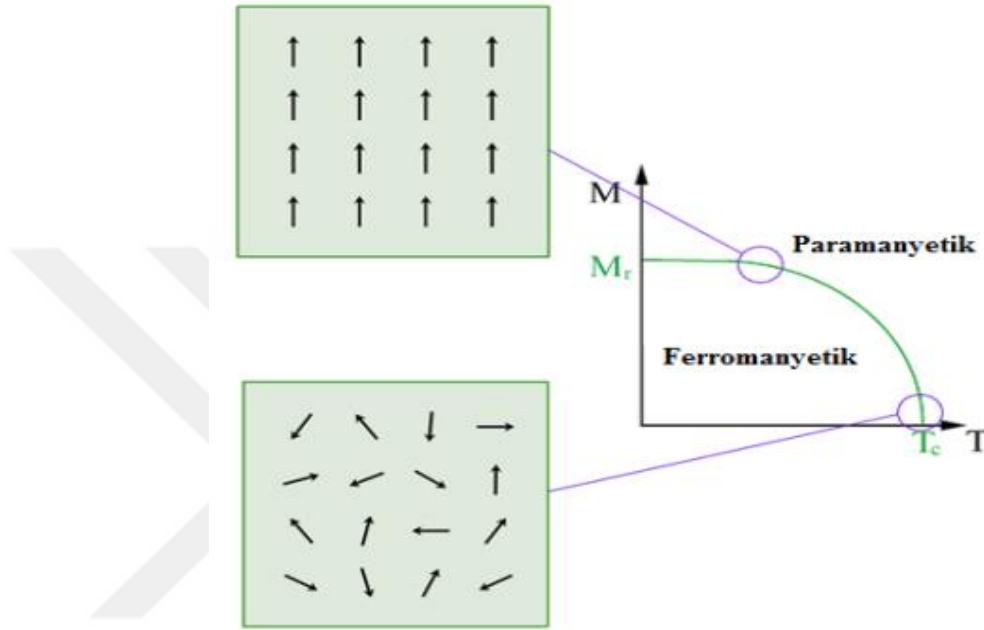
Şekil 2.9. Paramanyetik malzemedeki atomların dizilimi



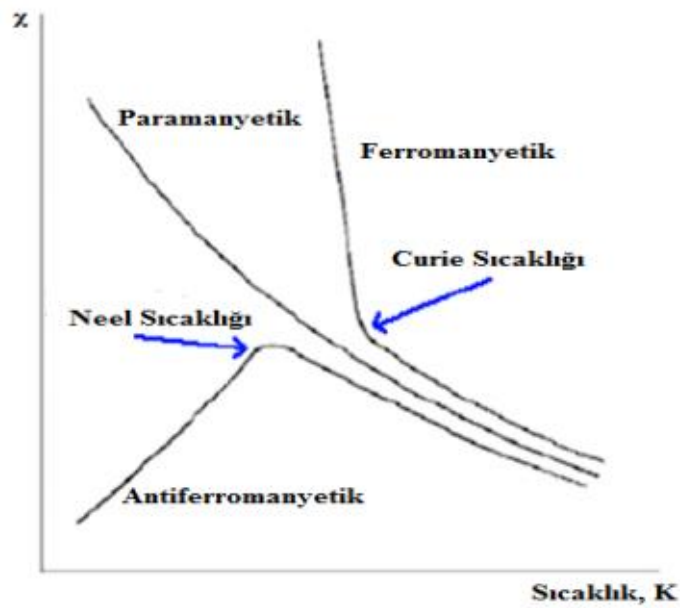
Şekil 2.10. Ferromanyetik malzemedeki atomların dizilimi

Ferromanyetik malzemeler tek tip Mıknatıslanma-Sıcaklık eğrisine sahiptir. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi, ferromanyetik malzemenin sıcaklığı artırıldığında termal titreşimlerden dolayı malzeme içindeki atomlar daha büyük genlik ve frekansla titreşmektedir. Bu titreşimlerden dolayı atomlar daha hızlı hareket etmeye başlar ve alan ile aynı yönde dizilmiş olan manyetik momentlerin yönelimleri bozularak toplam mıknatıslanma artan sıcaklıkla sürekli azalmaktadır. Malzemeye verilen ısı enerjisi ile gösterilen bir kritik sıcaklığa (Curie sıcaklığı) ulaştığı ya da geçtiği zaman bu sıcaklık değerlerinde malzeme içindeki manyetik momentler rastgele yönelimlere yönelerek kalıcı mıknatıslanmasını kaybederek ferromanyetik özellik gösteren malzeme paramanyetik malzemeye dönüşür. Curie sıcaklığının altında, manyetik momentler paralel olarak dizildikleri için madde ferromanyetiktir. Curie sıcaklığındaki

ferromanyetik-paramanyetik faz geçişleri iç enerji ve entropide herhangi bir olağanüstü değişimin meydana gelmediği (hal değiştirme gizli ısısının sıfır olduğu) “ ikinci dereceden ” bir hal değişikliğidir.



**Şekil 2.11.** Ferromanyetik malzemelerde mıknatıslanmaya karşı sıcaklık eğrisi



**Şekil 2.12.** Malzemenin kritik Curie ve Neel sıcaklıklarındaki geçişleri



Paramanyetik malzemelerde, sıcaklık artıka duygunluk ( $\chi$ ) değeri değişmez veya azalır. Şekil 2.12’de görüldüğü gibi ferromanyetik ve antiferromanyetik malzemeler ısıtıldıklarında manyetik özelliklerini kaybederek paramanyetik malzemelere dönüşürler. Antiferromanyetik malzemeler Neel sıcaklığı denilen bir sıcaklık üzerinde ve ferromanyetik malzemeler Curie sıcaklığı denilen bir sıcaklığın üzerinde özelliklerini kaybederek paramanyetik özellik gösterirler (Bulcar 2014).

Bir J-durumu için manyetik moment,

$$\mu = g_j \sqrt{J(J+1)} \mu_B \quad g_j = \frac{3}{2} + \frac{S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} \quad (2.1)$$

olarak verilir. g değerinin hesaplanmasında, yarı dolu konfigürasyonlar için J’nin minimum değeri  $J=L-S$  ( $f^0$ - $f^7$  konfigürasyonları için), yarı doludan fazla konfigürasyonlar için J’nin maksimum değeri  $J=L+S$  ( $f^8$ - $f^{14}$  konfigürasyonları için) olarak kullanılır.  $f^0$ ,  $f^7$  ve  $f^{14}$  için  $L=0$  olduğundan  $\mu_j$  değeri  $\mu_s$  olur. Çizelge 2.7’de lantanit iyonlarının manyetik momentleri BM cinsinden verilmiştir.

**Çizelge 2.7.** Lantanit iyonlarının manyetik momentleri

İyon	Konfigürasyon	Enerji seviyesi	Çiftlenmemiş elektron	Hesaplanan	Gözlemlenen ( $\mu_{eff}/\mu_B$ )
La <sup>+3</sup>	4f <sup>0</sup>	<sup>1</sup> S <sub>0</sub>	0	0	0
Ce <sup>+3</sup>	4f <sup>1</sup>	<sup>2</sup> F <sub>5/2</sub>	1	2,54	2,3-2,5
Pr <sup>+3</sup>	4f <sup>2</sup>	<sup>3</sup> H <sub>4</sub>	2	3,58	3,4-3,6
Nd <sup>+3</sup>	4f <sup>3</sup>	<sup>4</sup> I <sub>9/2</sub>	3	3,62	3,5-3,6
Pm <sup>+3</sup>	4f <sup>4</sup>	<sup>5</sup> I <sub>4</sub>	4	2,68	-
Sm <sup>+3</sup>	4f <sup>5</sup>	<sup>6</sup> H <sub>5/2</sub>	5	0,85	1,4-1,7
Eu <sup>+3</sup>	4f <sup>6</sup>	<sup>7</sup> F <sub>0</sub>	6	0	3,3-3,5
Gd <sup>+3</sup>	4f <sup>7</sup>	<sup>8</sup> S <sub>7/2</sub>	7	7,94	7,9-8,0
Tb <sup>+3</sup>	4f <sup>8</sup>	<sup>7</sup> F <sub>6</sub>	6	9,72	9,5-9,8
Dy <sup>+3</sup>	4f <sup>9</sup>	<sup>6</sup> H <sub>15/2</sub>	5	10,65	10,4-10,6
Ho <sup>+3</sup>	4f <sup>10</sup>	<sup>5</sup> I <sub>8</sub>	4	10,6	10,4-10,7
Er <sup>+3</sup>	4f <sup>11</sup>	<sup>4</sup> I <sub>15/2</sub>	3	9,58	9,4-9,6
Tm <sup>+3</sup>	4f <sup>12</sup>	<sup>3</sup> H <sub>6</sub>	2	7,56	7,1-7,6
Yb <sup>+3</sup>	4f <sup>13</sup>	<sup>2</sup> F <sub>7/2</sub>	1	4,54	4,3-4,9
Lu <sup>+3</sup>	4f <sup>14</sup>	<sup>1</sup> S <sub>0</sub>	0	0	0

### 2.3.6. Lantanitlerin kullanım alanları

- Yüksek teknoloji gerektiren birçok endüstriyel ürünün yapısında bulunmaktadır.
- Genleşme ve darbeye karşı dayanıklılığı arttırmak için çeliğin içine katılmaktadır.
- Yüksek sıcaklığa dayanıklı seramik ve cam malzemelerin yapımında kullanılmaktadır.
- Renkli televizyonlarda, sabit mıknatıslarda, floresan lambalarda ve X-ışını tüplerinde kullanılmaktadır.

Lantanitlerin özel olarak kullanım alanları aşağıda belirtilmiştir (Koçak 2017).

#### La

- $\text{La}_2\text{O}_3$ , camın alkali direncini arttırdığı için kırılma indisi çok yüksek olan merceklerin, IR ışınlarını absorplayabilen camların, kameraların ve lenslerin yapılmasında kullanılmaktadır.
- Stüdyo ışıklarının ve projektörlerin yapımında kullanılmaktadır.
- Fe ile birlikte granüllü demir üretiminde kullanılmaktadır.
- Genleşme ve darbeye karşı dayanıklılığı arttırmak için çeliğin içine katılmaktadır.
- Çakmak taşı yapımında kullanılmaktadır.

#### Ce

- Çakmak taşı yapımında kullanılmaktadır.
- $\text{CeC}_2\text{O}_4$ , deniz tutmasına karşı ilaç olarak kullanılmaktadır.
- Cam üretiminde renk giderici olarak kullanılmaktadır.
- Petrol rafinerisinde katalizör olarak kullanılmaktadır.
- Oksitleri, fırınların iç yüzeylerinin kaplanmasında kullanılmaktadır. Böylelikle pişirme sırasında fırın yüzeyinde oluşan kalıntılara kendi kendine temizleme özelliği kazandırmakta ve yüzeydeki kararmayı önlemektedir.

**Pr**

- Film stüdyolarının ışıklandırılmasında kullanılmaktadır.
- Tuzları, cam ve emayenin renklendirilmesinde kullanılmaktadır.
- Kaynakçılarının ve cam imalatçıların koruyucu gözlüklerinde kullanılmaktadır.

**Nd**

- Cam üzerinde değişik renklerde gölgeler yapmak için kullanılmaktadır. Bu camlardan geçen ışınlar çok keskin absorpsiyon bantları gösterdiğinden astronomi çalışmalarında, IR ışınları süzen camlarda ve kaynakçıların koruyucu gözlüklerinde kullanılmaktadır.

**Pm**

- Fosforesans özelliğe sahip boya ve plastiklerde kullanılmaktadır.
- Güneş pillerinde, kalınlık ölçüm aletlerinde, X-ışını kaynağı olarak uydularda kullanılmaktadır.

**Sm**

- Film stüdyolarının ışıklandırılmasında kullanılmaktadır.
- Sabit mıknatıslarda kullanılmaktadır.
- IR ışınlarının soğurulması için optik camlarda kullanılmaktadır.

**Gd**

- Fe, Cr gibi metallerin alaşımlarının direncini arttırmak için kullanılmaktadır.
- CD yapımında kullanılmaktadır.
- Bileşikleri renkli televizyon tüplerinde kullanılmaktadır.

- Gd-Y alaşımları, mikrodalga uygulamalarında kullanılmaktadır.

## Ho

- Gözde lazer ameliyatında kullanılmaktadır.
- Prostat tedavisinde kullanılmaktadır.

## Er

- Camların ve porselenlerin renklendirilmesinde kullanılmaktadır.

## 2.4. X-Işınları

### 2.4.1. X-ışınlarının bulunuşu ve tarihçesi

X-ışınları Alman Fizik Profesörü Wilhelm Conrad Röntgen tarafından 1895 yılında bulunmuştur. Röntgen X-ışınlarını katot ışınları üzerinde çalışırken bir rastlantı sonucu bulmuştur. Röntgen 8 Kasım 1895'te Würzburg Üniversitesi'nde laboratuvarını karatmış ve Crookes tüpünü de katot ışınlarının etkilerini daha iyi gözlemlemek adına fotoğraf plağıyla örtmüştür. Crookes tüpünü indüksiyon bobinine bağlayarak tüpten yüksek gerilimli elektrik akımı geçirdiğinde tüpten olabildiğince uzakta bulunan cam bir kavanoz içindeki baryumlu platin siyanür kristallerinde bir takım pırıltıların meydana geldiğini görmüş; bu tür pırıltılara neden olan ışınlara, o ana kadar tanınmamasından dolayı "X-ışınları" ismini vermiştir. Kristali tüpe yaklaştırdığında parlamanın fazlaştığını gözlemledi. Tüple kristal arasına farklı maddeleri yerleştirdi ve her değişik maddede parlamanın şiddetinin değiştiğini tayin etti. Bir kurşun yaprakla deneyi tekrar edince parlamanın kaybolduğunu gördü. Eliyle tuttuğu kurşun levhaların ekrandaki gölgesini incelerken kendi parmak kemiklerinin gölgelerini de fark etti. Bulduğu ışının özelliklerini araştıran deneylerini aralıksız olarak haftalarca sürdürdü. Çalışmalarında görüntüyü tespit etmek için fotoğraf plağı kullandı. 22 Aralık 1895 tarihinde karısı

Berta'nın elini fotoğraf plağı üzerine koyarak işlemi yeniden yaptığında fotoğraf plağını banyo ettikten sonra el kemiklerine ve yüzük parmağındaki iki yüzüğe ait görüntüler ortaya çıktı. Bu görünüm insanoğlunun elde edilmiş ilk radyogramıdır. Röntgen, tespitlerini ve bu metotla oluşturduğu görüntüleri ilk olarak 28 Aralık 1895'te Würzburg Fiziksel Tıp Demeği'nde sunmuş, bu icatla birlikte aynı yıl içinde günümüzdekilerle kıyaslanamayacak ölçüde basit ilk röntgen cihazları yapılmaya başlanmıştır.

Hago ile Wind 1899'da bir X-ışını demetini dar bir yarıktan geçirerek bir kırınım deseni elde etmeyi başarmışlardır fakat gözlemlenen desen olabildiğince küçük olduğu için kabul görmemiştir. X-ışınlarının dalgalı yapıda oldukları 1912'de Laue'nin kristallerdeki kırınım deneyleri ile ortaya konulmuştur. Barkla deneyi ile X-ışınlarının polarize edilebilmesi, bunların ışık ışınları gibi enine dalgalar olduğunu ortaya koymuştur. Barkla yaptığı bu deneylerde, katı cisimlerden büyük açı altında saçılan X-ışınlarının iki farklı dalga boyu taşıdığını gözlemiştir. Bu dalga boylarından ilki, gelen elektromanyetik dalganın frekansı ile eş diğeri değişiktir. Klasik elektromanyetik dalgalar teorisi ile bu ilk dalga boyu izah edilebilmektedir: Gelen elektromanyetik dalganın elektrik alanı, atomlara bağlı elektronları kendi frekansı ile sürer. Salınım hareketi yapan bu elektronlar, her doğrultu boyunca eş frekansta elektromanyetik dalgalar yayımlarlar. Bu yayımlanan elektromanyetik dalgalar gelen elektromanyetik dalgalar ile eş frekanslıdır. Bu süreçte elektronlar atomlardan sökülmez, atomun durumu geçici olarak bozular. Böyle bir saçılmayı atomlara sıkıca bağlı elektronlar meydana getirir. Barkla'nın deneyinde gözlemlenen diğeri dalga boyu saçılan elektromanyetik dalgalar ise yalnız Compton'un hipotezi ile izah edilebilmiştir.

1901 yılında ilk kez verilmeye başlanan Nobel Fizik Ödülüne de layık görülen W. C. Röntgen 1923 yılında 78 yaşındayken ölmüştür. Röntgen'in X-ışınlarını keşfi, bilim çevresinde çok büyük yankılar uyandırırken yeni gelişmelere de öncülük etmiştir. Bu buluştan çok kısa bir zaman sonra H. Antonie Becquerel X-ışınları üzerinde çalışırken uranyumun radyoaktifliğini; Curie'ler ise radyum elementini keşfederek "Radyoloji" adında yeni bir bilimin doğuşunu gerçekleştirmişlerdir (Çelik 2012).

### 2.4.2. X-ışınlarının özellikleri

X-ışınları yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen dalga boyları 0,1-100 Å arasında değişen elektromanyetik dalgalarlardır. X-ışını dalga boyu bölgeleri çoğu zaman dalga boylarına göre aşırı sert (<0,1 Å), sert (0,1-1 Å), yumuşak (1-10 Å) ve oldukça yumuşak (>10 Å) şeklinde sınıflandırılır. Elektromanyetik yayımlama kaynağına göre yapılan sınıflandırmaya göre gama ışınlarından radyo dalgalarına kadar yayılmış sürekli ışımaya dizisine elektromanyetik spektrum denir. X-ışınlarının frekansı görünür ışığın frekansından ortalama  $10^3$  kat daha büyük olduğundan dolayı enerjisi de daha yüksektir. O halde yüksek enerji ve kısa dalga boylu olmaları bu ışınları belirleyen özelliklerdir. Elektromanyetik spektrumun yüksek enerjili kısmına düşen bu kategorinin sınırları tam olarak keskin değildir. Kısa dalga boylu ucu gama ışınları ile uzun dalga boylu ucu ise morötesi ışıkla karışır. X-ışınları hem dalga hem tanecik özelliği sergilerler. Bundan dolayı çift karakterlidirler. X-ışınları Compton saçılması (inkoherent saçılma), fotoelektrik soğurulma, gaz iyonizasyonu ve sintilasyon meydana getirmede parçacık; polarizasyon, kırılma, yansıma, kırınım ve Rayleigh saçılmada (koherent saçılma) dalga özelliği gösterir. Tanecik karakteri gösteren elektromanyetik radyasyona foton denir. Foton çok küçük hacme sıkıştırılmış enerji paketidir.

X-ışınlarının genel özellikleri aşağıda listelenmiştir.

- Işık hızında yayılırlar,
- Doğru çizgiler boyunca yayılırlar,
- Gözle görünmezler ve duyularımızla hissedilmezler,
- Elektrik ve manyetik alandan etkilenmezler,
- Gazları iyonize ederler,
- Farklı kalınlık, yoğunluk ve yapıya sahip maddelerden geçerken farklı soğurulurlar,
- Sürekli spektrum oluştururlar,
- Karakteristik çizgi spektrumu oluştururlar,
- Karakteristik bant spektrumu oluştururlar,

- Karakteristik soğurma spektrumu meydana getirirler.

### 2.4.3. X-ışınlarının oluşumu

X-ışınları doğal ve yapay olmak üzere iki şekilde meydana gelir:

#### 2.4.3.a. Doğal X-ışınları

Atom çekirdeği tarafından K enerji kabuğundan elektron yakalanması, beta bozunumu iç dönüşüm ve alfa bozunumu olaylarıyla oluşur. Bir atoma dışarıdan gelen veya gönderilen yüksek enerjili elektronlar o atomun ilk halkalarından elektronlar koparırlar. Atomdan kopan bu elektronun yerine üst halkalardan elektronlar atlayarak kopan elektronun yerindeki boşluğu ihtiva ederler. Bu sırada meydana gelen enerji fazlalığı X-ışını şeklinde dışarı salınır. Çekirdek içerisinde bulunan protonlardan bir tanesi hareketi esnasında atomun ilk halkalarındaki elektronu yakalar ve nötrleşir. Yakalanan bu elektronun halkasındaki boşalan yere başka bir halkadan bir elektron atlamasıyla X-ışını oluşabilir.

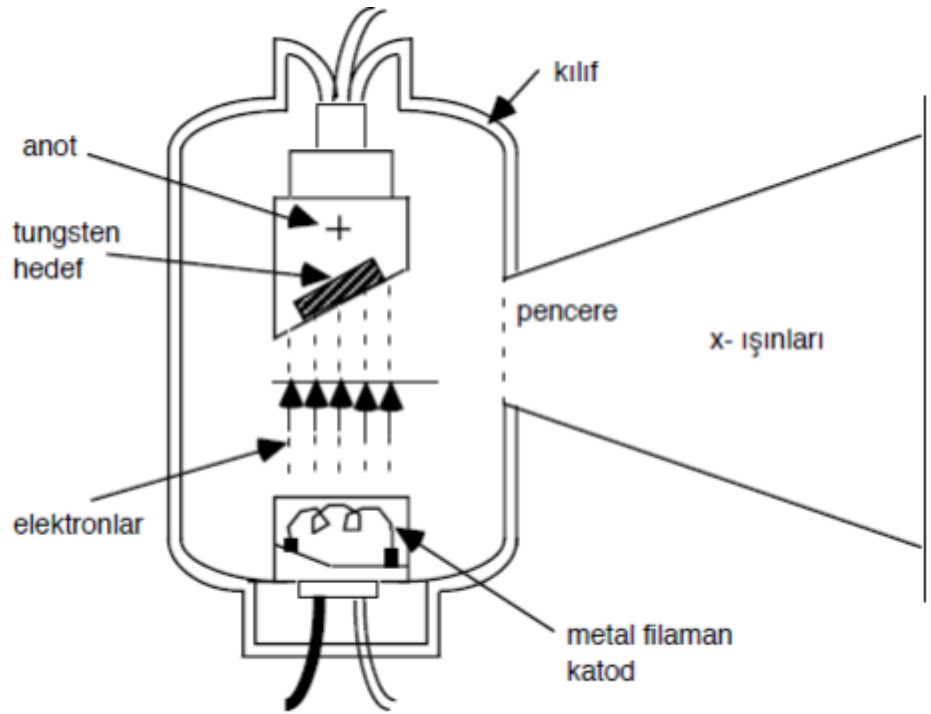
#### 2.4.3.b. Yapay X-ışınları

Bu ışınlar maddenin elektron, proton, parçacıkları veya iyonlar gibi hızlandırılmış parçacıklarla etkileşmesinden ya da X-ışını tüpünden veya başka bir uygun radyoaktif kaynağından çıkan fotonlarla etkileşmesinden meydana gelir. Maddenin, fotonlarla etkileşmesinden karakteristik (çizgi) X-ışınları, yüklü parçacıklarla etkileşmesinden hem karakteristik hem de sürekli X-ışınları elde edilir.

### 2.4.4. X-ışını tüpü

X-ışını tüpü yüksek voltajlı bir katot ışını tüpüdür. Tüp yüksek vakumda havası boşaltılmış cam bir kılıftan oluşmuştur. Bir ucunda anot (pozitif elektrot), diğer ucunda

katot (negatif elektrot) bulunur ve bunların her ikisi de lehimle sıkıca mühürlenmiştir. Katot, ısıtıldığında elektron salan tungsten materyalinden yapılmış bir flmandır. Anot, kalın bir çubuk ve bu çubuğun sonundaki metal hedeften oluşur. Anot ve katot arasında yüksek voltaj uygulandığında katot flmanda elektron yayınlanır. Bu elektronlar yüksek gerilim altında anoda doğru hızlandırılır ve hedefe çarpmadan önce yüksek hızlara ulaşır. Yüksek hızlı elektronlar metal hedefe çarptıklarında enerjilerini aktararak bir foton yayınlanır. Bazı tüplerde tek dalga boylu X-ışını elde etmek için filtre kullanılır.



**Şekil 2.13.** X-ışını tüpü

Hareketli bir elektronun kinetik enerjisi vardır. Yüksek hıza sahip bir elektron tungstene çarpınca bir tungsten atomu ile çarpışır. Elektron durdurulana kadar birçok atomla çarpışmak zorunda kalabilir. Elektronun durdurulması sırasında kaybedilen kinetik enerjinin yüzde biri veya daha az kısmı X-ışını ışımaya, geri kalan kısmı ise ısı enerjisine dönüşür.



X-ışını tüpündeki hedefin elektronlarla bombardıman edilmesi sonucu meydana gelen X-ışınlarının maddenin içine işleyebilme gücüne "sertlik" denir. Bu ışınların sertliği başlıca iki şeye bağlıdır. Bunlardan birincisi, lambadaki havanın ya da gazın ne derece boşaltılmış olduğudur. Lambada kalan gaz moleküllerinin sayısı ne kadar azsa, bu moleküllerle çarpışarak hedeften sapan elektronların sayısı da o kadar az olur. İkinci etken tüpe uygulanan gerilimin şiddeti, yani elektrik basıncıdır. Gerilim ne kadar yüksekse, hedefe çarpan elektron akımının darbe etkisi de o ölçüde büyük olur.

Bugün kullanılmakta olan X-ışını lambalarının çoğu Coolidge lambasıdır. Bu lamba türünü ABD'li bilim adamı William David Coolidge (1873-1975) geliştirmiştir. Son derece yüksek bir vakum düzeyine sahip olan bu lambalarda elektronlar sıcak bir filamandan (ince bir telden) yayılır. Katottan çıkan ve 1 milyon volta kadar ulaşabilen yüksek bir gerilimle hızlandırılan elektronlar tungstenden yapılmış ağır bir çubuğa çarptırılır. Tungsten, elektron bombardımanının sebep olduğu yüksek sıcaklıklara erimeden dayanabilir. Tungsten çubuğun filamana yakın olan ucu belirli bir eğimle kesilmiştir; bu uca hedef denir. Hedeften X ışınları yayılır, ama lamba belirli bir açıklık dışında kalın bir kurşun katmanıyla sıvanmış olduğundan X-ışınları yalnızca bu açıklıktan dışarı çıkar. Bu yüzden de bir demet halinde yol alır.

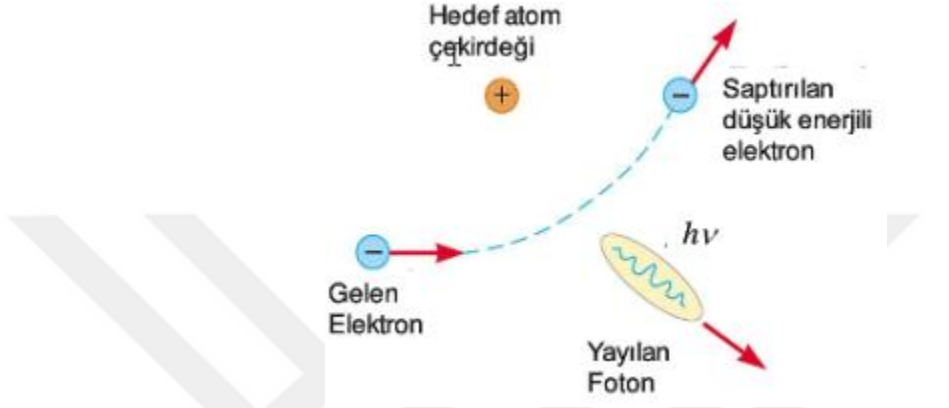
Etkileşme şekline göre 2 tür X-ışını elde edilir.

#### **2.4.4.a. Sürekli X-ışınları**

Yüksek hızlı bir elektron çekirdeğin yanından geçtiğinde, çekirdeğin çekim kuvveti sebebiyle elektron yolundan saptırılır. Bu

da bir ivmelenmeye sebep olmaktadır. İvmelenen bir yük de elektromanyetik ışımaya sebep olur yani bir foton çıkar. Oluşan bu ışımaya Bremsstrahlung ışınması anlamındaki "frenleme ışınımı" ya da "beyaz ışımaya" denir. Bu şekilde, elektron birden çok bremsstrahlung etkileşmesine uğrayıp, enerjisini kısmen ya da tamamen kaybeder. Yüksek enerjili elektronlar bir hedefe çarptıkları zaman bu elektronların enerjilerinin

%1'i sürekli X-ışınlarının oluşmasına neden olur. Sürekli X-ışını spektrumları geniş bir frekans aralığını kapsayan sürekli bir ışıma karşılık gelmektedir. Bu sebeple sürekli X-ışınlarına beyaz X-ışınları da denir. Sürekli X-ışınlarının oluşumu Şekil 2.14'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Sürekli X-ışınları

Bir X-ışını tüpünde elektronlarla meydana getirilen sürekli X-ışını spektrumunu, uyarıcı elektronların maksimum enerjilerine karşılık gelen,  $\lambda_{min}$  kısa dalgaboyu sınırıyla ifade edilir:

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV_0} \quad (2.2)$$

Burada,  $h$  Planck sabiti ( $6,62 \times 10^{-27}$  erg·s),  $c$  ışık hızı,  $e$  elektronun yükü ve  $V_0$  ise tüpe uygulanan potansiyeldir. Kısa dalga boyu sınırı ile uygulanan potansiyel arasındaki bu ilişki Duane-Hunt kanunu olarak bilinir. Sürekli ışımaya ihtimali;

$$P \propto \frac{q^2 Z^2 T}{M_0^2} \quad (2.3)$$

ile verilir. Burada,  $q$  elektron yükü cinsinden parçacığın yükü,  $Z$  hedef maddesinin atom numarası,  $T$  parçacığın kinetik enerjisi ve  $M_0$  ise parçacığın durgun kütesidir. Protonlar

ve ağır parçacıklar elektron kütlelerine göre daha büyük kütleyle sahip olduklarından nispeten daha az ışırlar. Bu nedenle protonların meydana getirdiği sürekli X-ışını spektrumunun şiddeti elektronların meydana getirdiğinden dört milyon kez daha küçüktür.

Bir X-ışını tüpünde elektronlar tarafından meydana getirilen sürekli X-ışını spektrumu şu özelliklerle karakterize edilir.

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

Sürekliliğin dağılımı;

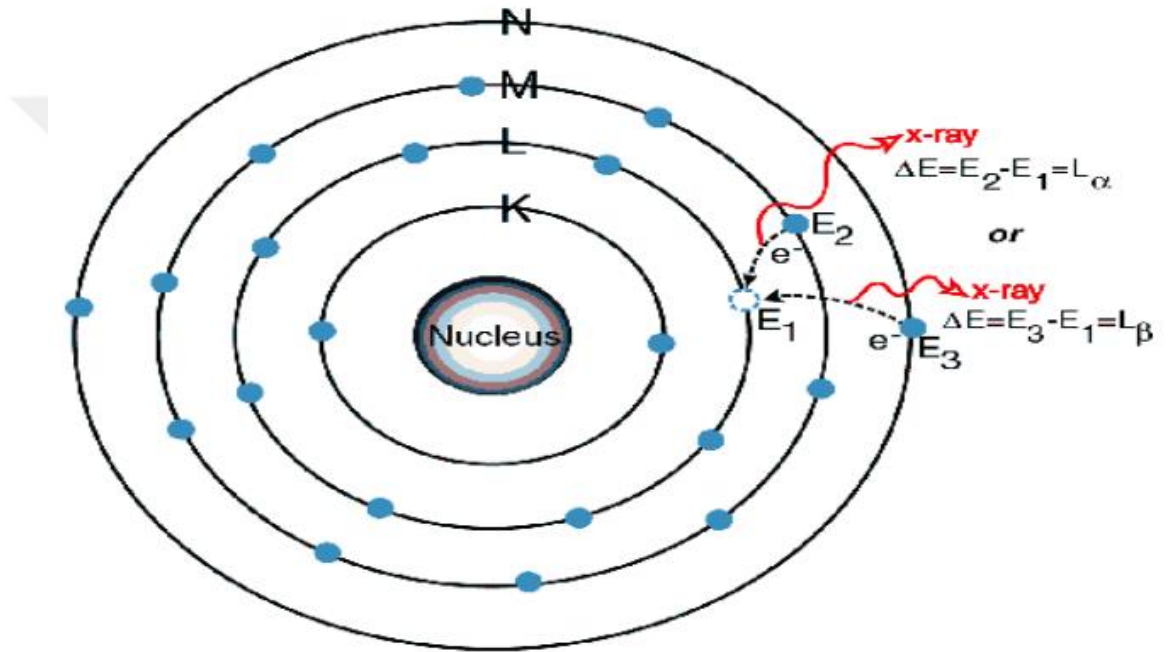
$$I(\lambda)d\lambda = KiZ \left[ \frac{\lambda}{\lambda_{min}} - 1 \right] \frac{1}{\lambda^2} d\lambda \quad (2.4)$$

Kramer formülü ile verilir.  $K$  orantı katsayısı ve  $i$  akımdır. Bu ifadeden görüldüğü gibi şiddet dağılımı tüp akımı ( $i$ ) ve atom numarası ( $Z$ ) ile orantılıdır. Sürekliliğin maksimum şiddeti (2.4) ifadesinin diferansiyeli ile elde edilir.

#### 2.4.4.b. Karakteristik X-ışınları

Karakteristik X-ışınları, atomun yörüngeleri veya enerji seviyeleri arasındaki elektron geçişleri sonucu oluşur. Eğer yüksek enerjili bir parçacık (elektron, foton vs.) hedef maddesinin bağlı elektronlarından birine çarparsa ve parçacığın kinetik enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden büyükse bu elektronun atomdan sökülmesi mümkün olacaktır. Eğer gelen parçacık bir X-ışını fotonu ise atomdan sökülen elektrona fotoelektron, X-ışını ile elektron arasındaki etkileşmeye de fotoelektrik olay denir. Bu olay atomu kararsız bir durumda veya uyarılmış durumda bırakır. Uyarılmış durumdaki bir

atom elektron veya boşluk geçişleri ile kararlı duruma geçer. Bu geçişlerde bir elektronun ilk ve son durumu arasındaki enerji farkı bir X-ışını fotonu olarak yayınlanabilir. Yayınlanan tüm X-ışını fotonlarının enerjileri elektronik seviyeler arasındaki enerji farkı ile orantılı olduğundan verilen bir elementten elde edilen çizgiler o elementi karakterize eder. Bundan dolayı bu ışın karakteristik X-ışını olarak adlandırılır.



**Şekil 2.15.** Karakteristik X-ışınları

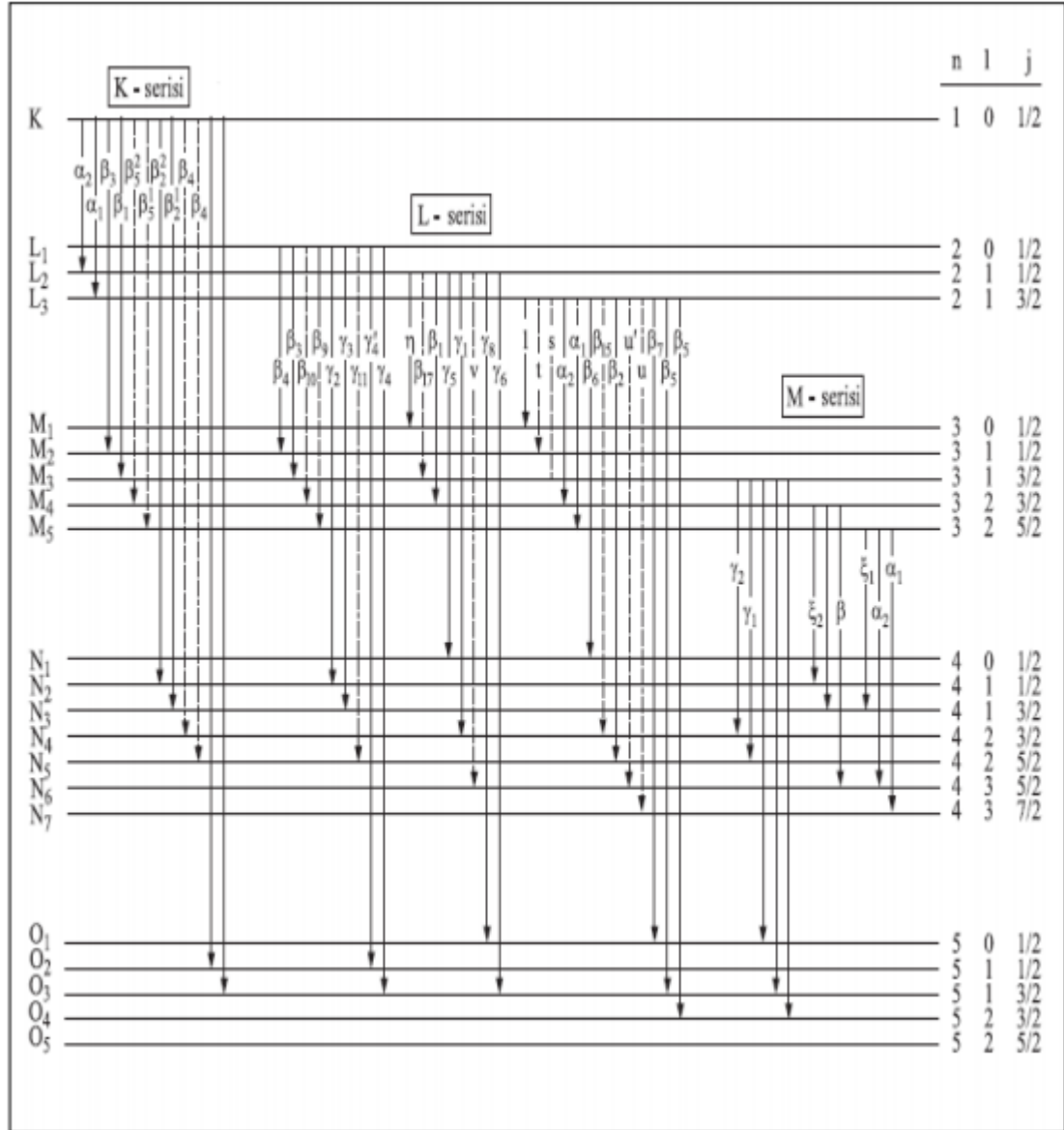
Üst tabakalar tarafından doldurulan boşluk belli bir geçiş kurallarına ve enerjinin minimumluğuna uygun olarak doldurulur. Atomun enerji soğurarak elektronun üst seviyelere çıkmasına eksitasyon, uyarılan elektronun enerji yayımlayarak temel hale geçmesine ise deeksitasyon adı verilir. Deeksitasyon tek bir seferde olacağı gibi birkaç basamakta da olabilir. Bir foton tarafından atomun K seviyesindeki elektron uyarılırsa, K tabakasında oluşan boşluk atomun üst tabakalarındaki (L, M, N,..) elektronlar tarafından doldurulabilir. Bu boşluk L tabakasındaki elektronlarla doldurulursa meydana gelen karakteristik X-ışını  $K\alpha$ , M tabakasındaki elektronlarla doldurulursa meydana gelen karakteristik X-ışını  $K\beta$  karakteristik fotonları ortaya çıkar. Bu fotonların saçılmasıyla K karakteristik çizgileri elde edilir. L ve M karakteristik çizgileri

de benzer şekilde elde edilir. Herhangi bir tabaka veya alt tabakadaki bir boşluk üst tabakalardan bir elektron ile doldurulduğu zaman yayımlanan X-ışınlarının Siegbahn ve IUPAC gösterimleri Çizelge 2.8’de verilmiştir. Şekil 2.16’da da K, L ve M tabakasından yayımlanan karakteristik X-ışınlarının gösterimi verilmiştir.

**Çizelge 2.8.** X-ışını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri

Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC
$K\alpha_1$	$K - L_3$	$L\alpha_1$	$L_3 - M_5$	$L\gamma_1$	$L_2 - N_4$	$M\alpha_1$	$M_5 - N_7$
$K\alpha_2$	$K - L_2$	$L\alpha_2$	$L_3 - M_4$	$L\gamma_2$	$L_1 - N_2$	$M\alpha_2$	$M_5 - N_6$
* $K\alpha_3$	$K - L_1$	$L\beta_1$	$L_2 - M_4$	$L\gamma_3$	$L_1 - N_3$	$M\beta$	$M_4 - N_6$
$K\beta_1$	$K - M_3$	$L\beta_2$	$L_3 - N_5$	$L\gamma_4$	$L_1 - O_3$	$M\gamma$	$M_3 - N_5$
$K\beta'_2$	$K - N_3$	$L\beta_3$	$L_1 - M_3$	$L\gamma'_4$	$L_1 - O_2$	$M\xi_1$	$M_5 - N_3$
$K\beta''_2$	$K - N_2$	$L\beta_4$	$L_1 - M_2$	* $L\gamma'_{2,3}$	$L_1 - N_{4,5}$	$M\xi_2$	$M_4 - N_2$
$K\beta_3$	$K - M_2$	$L\beta_5$	$L_3 - O_{4,5}$	* $L\gamma_{11}$	$L_1 - N_5$	$Mm$	$M_1 - N_2$
* $K\beta'_4$	$K - N_5$	$L\beta_6$	$L_3 - N_1$	$L\gamma_5$	$L_2 - N_1$		
* $K\beta''_4$	$K - N_4$	$L\beta_7$	$L_3 - O_1$	$L\gamma_6$	$L_2 - O_4$		
* $K\beta_{4x}$	$K - N_4$	$L\beta'_7$	$L_3 - N_{6,7}$	$L\gamma_8$	$L_2 - O_1$		
* $K\beta'_5$	$K - M_5$	* $L\beta_9$	$L_1 - M_5$	$L\gamma'_8$	$L_2 - N_6$		
* $K\beta''_5$	$K - M_4$	* $L\beta_{10}$	$L_1 - M_4$	$L\eta$	$L_2 - M_1$		
		$L\beta_{15}$	$L_3 - N_4$	$L\iota$	$L_3 - M_1$		
		* $L\beta_{17}$	$L_2 - M_3$	* $Ls$	$L_3 - M_3$		
				* $Lt$	$L_2 - M_2$		
				* $Lu$	$L_3 - N_{5,6}$		
				* $Lv$	$L_2 - N_{6,7}$		

\* Yasak geçişler



**Şekil 2.16.** Bir atomda ilgili elektron geçişleri sonucu yayımlanan K, L ve M tabakaları X-ışınları

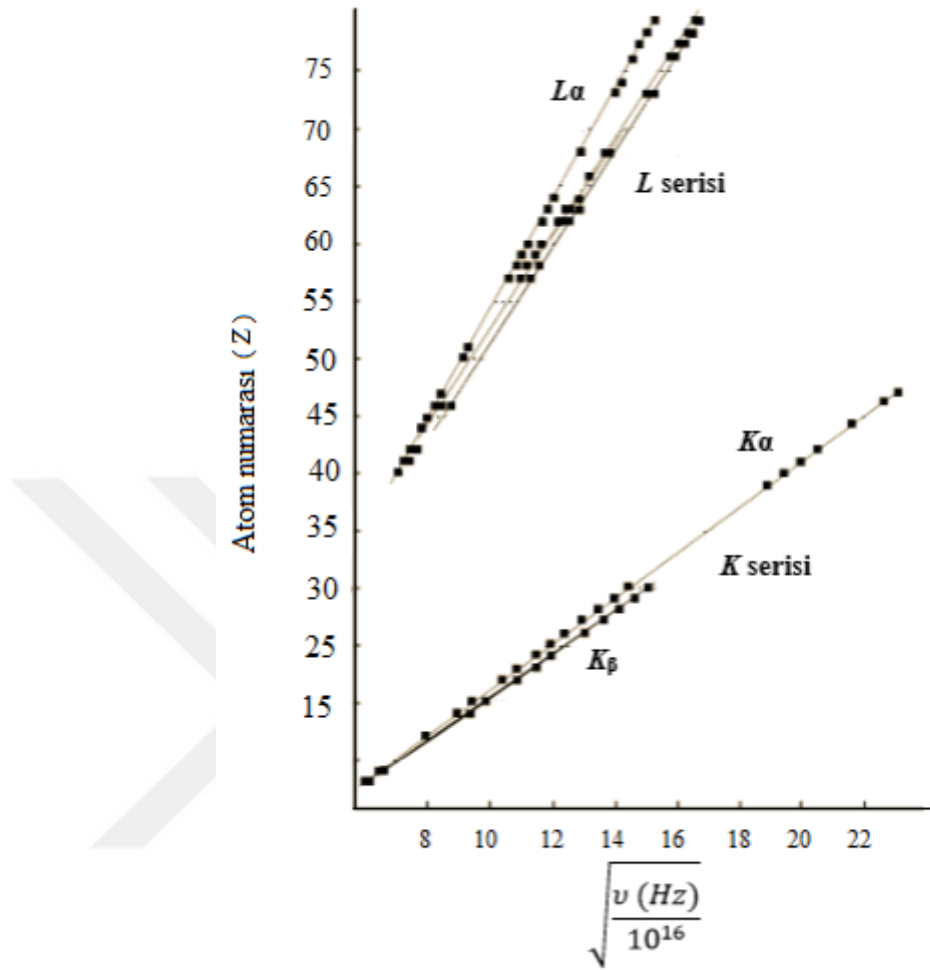
## 2.5. Moseley Kanunu

1913 yılında Moseley X-ışınlarının frekansı ile elementin atom numarası arasındaki bağıntıyı bulmuştur. Moseley alüminyumdan altına kadar 39 elementin yayımladığı X-ışınlarının spektrumlarını fotoğraflayarak, spektrumların tümünün önemli oranda birbirlerine benzer olduğunu, çoğu durumda da spektrumun K ve L serileri olmak üzere

iki çizgi grubundan ibaret olduğunu gözledi. Belirli bir element için L çizgileri K çizgilerinden daha düşük frekansta oluşmakta daha ağır elementler için diğer seriler daha düşük frekanslarda görülmekte idi. Böylelikle frekans ile elementlerin atom numaraları arasında bir ilişki bulunduğunu ve elementlerin özelliklerinin atom ağırlıklarına değil atom numaralarına bağlı olduğunu,  $Z$ 'ye karşı  $\nu_n$  grafiğini çizerek deneysel olarak göstermiştir. Çizdiği bu grafikten,

$$\sqrt{\nu_n} = \sqrt{\frac{c}{\lambda}} = k(Z - \sigma) \quad (2.5)$$

ifadesini elde etti. Burada  $\nu_n$  her serinin  $n$ . çizgisinin frekansı (Hz),  $c$  ışık hızı (m/s),  $\lambda$  dalga boyu (m),  $k$  seri sabiti ve  $\sigma$  perdeleme sabitidir. (2.5) denklemi doğru bir denklemdir ve tüm X-ışını serileri için geçerlidir. Bu denkleme Moseley Kanunu denir. Bu kanuna göre bazı spektral çizgiler için atom numarası ile frekans arasındaki ilişki Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. K ve L serileri için Moseley diyagramı

Bir X-ışını tüpünde ışınım yüksek enerjili elektronlarla bombardıman edilen bir hedeften yayınlanır. Moseley hedef atomlar yüksek enerjili elektronlarla bombardıman edildiğinde iç elektronların koparıldığını ileri sürdü. X-ışınları atomun iç elektron düzeylerinden birinde bu şekilde oluşturulan bir boşluk daha üst düzeydeki az sıkı bağlı bir elektron tarafından doldurulurken yayınlanırlar. Fakat boşluğun oluştuğu düzeyde veya daha alt düzeylerde bulunan elektronlar, boşluğu doldurmak için harekete geçen elektron ile çekirdek arasındaki çekim kuvvetinin küçülmesine neden olurlar. Çekirdeğin bir yörünge elektronuna uyguladığı çekimi, bu elektron ile çekirdek arasında kalan diğer elektronlar nedeniyle azaltan bu etkiye perdeleme denir. Perdeleme nedeniyle çekirdek kendi yükünden beklenen etkiyi göstermez ve sanki yükü bir miktar azalmış gibi davranır, bu yük  $(Z - \sigma)$  etkin yük olarak adlandırılır.



Moseley, Bohr teorisinden hareketle tüm elementler için çizgi ışımaya frekansının karekökünün merkezi etkin yükün bir başka deyişle atom numarasının lineer fonksiyonu olduğunu göstermiş oldu. Buna göre doğrusal değişim eğrisinden yararlanarak çizgi spektrumunun frekansını ölçmek suretiyle ilgili elementin atom numarasını belirlemek mümkündür. Moseley kanunu elementlerin türlerini tayin etmede kullanılan nitel (kalitatif) analizlerin temelini oluşturur.

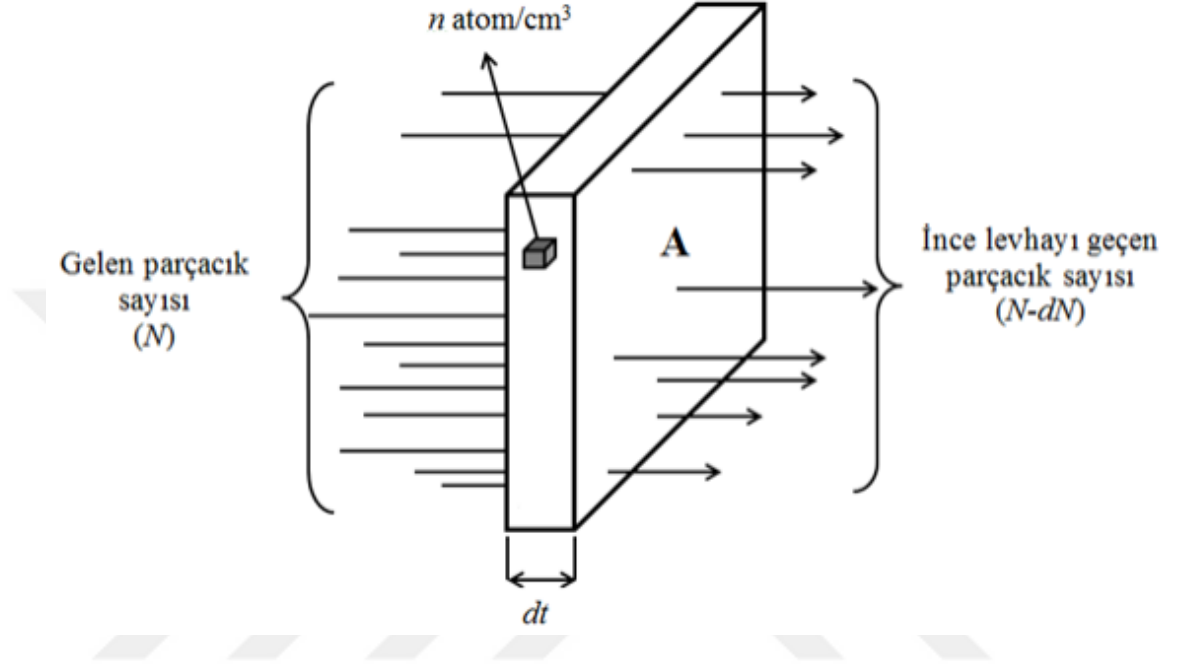
## 2.6. Tesir Kesiti

Radyasyonun madde ile etkileşiminde, gelen şüadaki parçacıkların, maddenin elektronları, atomları veya çekirdekleriyle etkileştikleri zaman oluşacak olayların ihtimaliyeti ifade edilebilir. Böyle bir olayın meydana gelme ihtimaliyeti tesir kesiti kavramıyla ifade edilebilir. Tesir kesiti, radyasyon şüası ile madde arasındaki meydana gelen etkileşimin türüne göre adlandırılır. Örneğin, radyasyon şüası madde tarafından soğuruluyorsa, soğurma tesir kesiti, madde tarafından saçılıyorsa saçılma tesir kesiti olarak adlandırılır.

Bir fotonun L X-ışını meydana getirme ihtimaliyeti L X-ışını üretim tesir kesiti olarak tanımlanır. Bu ölçü hedef parçacığı kuşatan hayali bir alanla karakterize edilir. Bir hedef parçacığın tesir kesiti, ilgili olayın tabiatına ve gelen parçacığın enerjisine bağlıdır ve parçacığın birim yüzey alanından daha büyük ve ya küçük olabilir (Gülsün 1989).

A yüzeyine ve  $dt$  kalınlığına sahip ince bir levha üzerine  $I$  şiddetinde radyasyonun düştüğünü göz önüne alalım (Şekil 2.18). Radyasyon şüasının ince levhadan geçerken bir miktarının madde atomları tarafından soğurulma ya da saçılma ihtimaliyeti vardır. Eğer  $\sigma$ , bir atomu kuşatan ve ilgilenilen herhangi bir olayın meydana gelmesi ile ilgili etkin alan olarak alırsak, gelen radyasyon şüası bu alana düştüğünde ilgili olay gerçekleşir. Levhanın birim hacminde  $n$  tane hedef atomun olduğunu ve hiçbir atomun üst üste binmediğini kabul edelim. Bu durumda her bir atomun gelen radyasyon parçacıklarıyla ilgili olayı gerçekleştirmesi mümkündür. Burada,  $ndt$  birim yüzey başına

düşen atom sayısı ve  $A\sigma dt$  ise  $A$  alanındaki toplam atom sayısı olur. O halde, her bir atom, ilgili olaya  $\sigma$  etkin alanıyla katılacağından dolayı, toplam etkin alan  $A\sigma dt$  olur.



**Şekil 2.18.** Tesir kesiti ile gelen demetin şiddeti arasındaki ilişki

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

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

$$F = n\sigma dt \quad (2.6)$$

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

$$dI = -(n\sigma dt)I \quad (2.7)$$

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

$$I=I_0e^{-n\sigma t} \quad (2.8)$$

elde edilir. Gelen şuanın başlangıçtaki şiddeti  $I_0$ , şuanın  $t$  kalınlığındaki malzemeyi geçtikten sonraki şiddeti ise  $I$  dir. Şuadaki parçacık sayısı şuanın şiddeti ile orantılı olduğundan (2.8) ifadesi parçacıkların sayısı cinsinden;

$$N=N_0e^{-n\sigma t} \quad (2.9)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $N_0$ ; ince levhaya gelen parçacıkların sayısını  $N$  ise  $t$  kalınlığındaki levhayı geçen parçacıkların sayısını ifade etmektedir. Eğer  $n\sigma t \ll 1$  ise bu durum hem levhanın geometrik olarak çok ince olmasını hem de  $\sigma$ 'nın çok küçük olmasını ifade eder. Buna göre;  $e^{-n\sigma t} \ll 1$  ise  $e^{-n\sigma t} = (1-n\sigma t)$  yazılabilir ve (2.9) ifadesi;

$$N=N_0(1-n\sigma t) \quad (2.10)$$

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

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

$$N_s=N_0n\sigma t \quad (2.11)$$

yazılabilir. Buradan da  $\sigma$  için,

$$\sigma = \frac{N_s}{N_0n\sigma t} \quad (2.12)$$

ifadesi elde edilir. Tesir kesiti diye isimlendirilen ve ilgilenilen olayın meydana gelme ihtimaliyetinin bir ölçüsü olan  $\sigma$ 'nın birimi barn'dır ( $1 \text{ barn}=10^{-24} \text{ cm}^2$ ).  $\sigma$  alan boyutundadır.

## 2.7. Floresans Verim, Auger Olayı ve Coster-Kronig Geçişleri

Atomda herhangi bir tabakanın veya alt tabakanın floresans verimi, herhangi bir yolla meydana getirilmiş bir boşluğun foton yayımlayarak doldurulması ihtimaliyetidir. Floresans verim, meydana geldiği tabakanın/alt tabakanın ismine göre adlandırılır. Örneğin, K tabakasında herhangi bir yolla meydana getirilen bir boşluğun bir karakteristik X-ışını yayımlayarak doldurulma ihtimaliyetine K tabakası floresans verimi adı verilir ve K tabakası için aşağıdaki gibi belirtilir;

$$\varpi_K = \frac{I_K}{\eta_K} = \frac{\sum n(K)}{\eta_K} = \frac{n(K_\alpha) + n(K_\beta) + \dots}{\eta_K} \quad (2.13)$$

$I_K$  numuneden yayımlanan karakteristik K X-ışınlarının sayısıdır ve K tabakasına geçişlerin toplam sayısı  $\sum n(K)$ 'ya eşittir.  $\eta_K$  ise K tabakasında oluşturulan boşluk sayısıdır. (2.13) eşitliğini bütün tabakalar veya alt tabakalar için genişletecek olursak;

$$\varpi_i = \frac{I_i}{\eta_i} \quad (2.14)$$

olur. Floresans verim  $I_i = \eta_i$  olduğu durumda maksimum olur yani  $\varpi$ 'nın maksimum değeri 1'dir. Ortalama floresans verim seviye genişlikleri kullanılarak;

$$\varpi_i = \frac{\Gamma_R(L_i, x)}{\Gamma(L_i)} \quad (2.15)$$

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

İç tabakaların birinden elektron koparılarak oluşturulan bir boşluk daha üst tabakalardaki bir elektronun iç tabakadaki boşluğu doldurması sırasında yayımlanan foton atomu terk etmeden başka bir dış tabaka elektronu tarafından soğurulabilir. Fotonu soğuran elektron atomdan dışarı atılamayabilir. Bu yolla uyarılan atom, fazla enerjisini bir X-ışını olarak yayımlamak yerine bir elektron yayımlayarak serbest bırakabilir. Bu olayların meydana geldiği sürece Auger olayı ve atomdan bu yol ile koparılan elektrona da Auger elektronu adı verilir. Auger elektron enerjisi de elementi karakterize eder. Auger olayı, küçük atom numaralı elementlerde daha baskındır. Ayrıca bir elementin L serisinde K serisine göre daha baskındır. K tabakasında Auger olayının meydana gelme ihtimaliyetini şu şekilde ifade edebiliriz;

$$a_K = \frac{I_{K(Auger)}}{\eta_K} \quad (2.16)$$

Burada,  $I_K$  ışımaz geçişlerin sayısı,  $\eta_K$  ise K tabakasında oluşturulan boşluk sayısıdır. Floresans verim ile Auger olaylarının ihtimaliyetlerinin toplamı 1'dir. Bu yüzden Auger olayının ihtimaliyeti  $1-\omega$  şeklinde ifade edilebilir. X-ışını floresans olayı ve Auger olayı Şekil 2.19'da şematik olarak gösterilmiştir. Aynı tabaka içindeki elektron bir alt tabakadan bir diğerine foton yayımlamaksızın geçebilir. Bu geçişlere Coster-Kronig geçişler denir. K tabakasında alt tabaka bulunmadığı için bu tabakada Coster-Kronig geçişler gözlenmez.  $\omega_i = I_i/\eta_i$  şeklinde ifade edilen floresans verim, Coster-Kronig geçişlerin varlığında kabul edilemez. Çünkü bir tabakada oluşturulan boşluk daha yüksek tabakalardan geçişlerle doldurulmadan önce Coster-Kronig geçişlerle doldurulabilir. Bu durumda ortalama floresans verim;

$$\bar{\omega}_i = \sum_i^k V_i^x \omega_i^x \quad (2.17)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,  $V_i^x$  Coster-Kronig geçişleri tarafından değiştirilen boşluk dağılımları ve  $\omega_i^x$  alt tabaka floresans verimlerini ifade eder.

Coster-Kronig geçişleri L X-ışını tesir kesitlerini önemli derecede etkiler. Coster-Kronig geçişlerinden dolayı L X-ışını şiddetlerinde bir artma olduğu bilinmektedir. Bu olaya Coster-Kronig şiddetlendirmesi denir. Teorik olarak L X-ışını tesir kesiti Coster-Kronig şiddetlendirmesi olmadığında;

$$\sigma_{L1} = \sigma_3 \omega_3 F_{31} \quad (2.18)$$

$$\sigma_{L\alpha} = \sigma_3 \omega_3 F_{3\alpha} \quad (2.19)$$

$$\sigma_{L\beta} = \sigma_1 \omega_1 F_{1\beta} + \sigma_2 \omega_2 F_{2\beta} + \sigma_3 \omega_3 F_{3\beta} \quad (2.20)$$

$$\sigma_{L\gamma} = \sigma_1 \omega_1 F_{1\gamma} + \sigma_2 \omega_2 F_{2\gamma} \quad (2.21)$$

Fakat gerçekte Coster-Kronig geçişleri var olduğundan gerçek tesir kesitleri

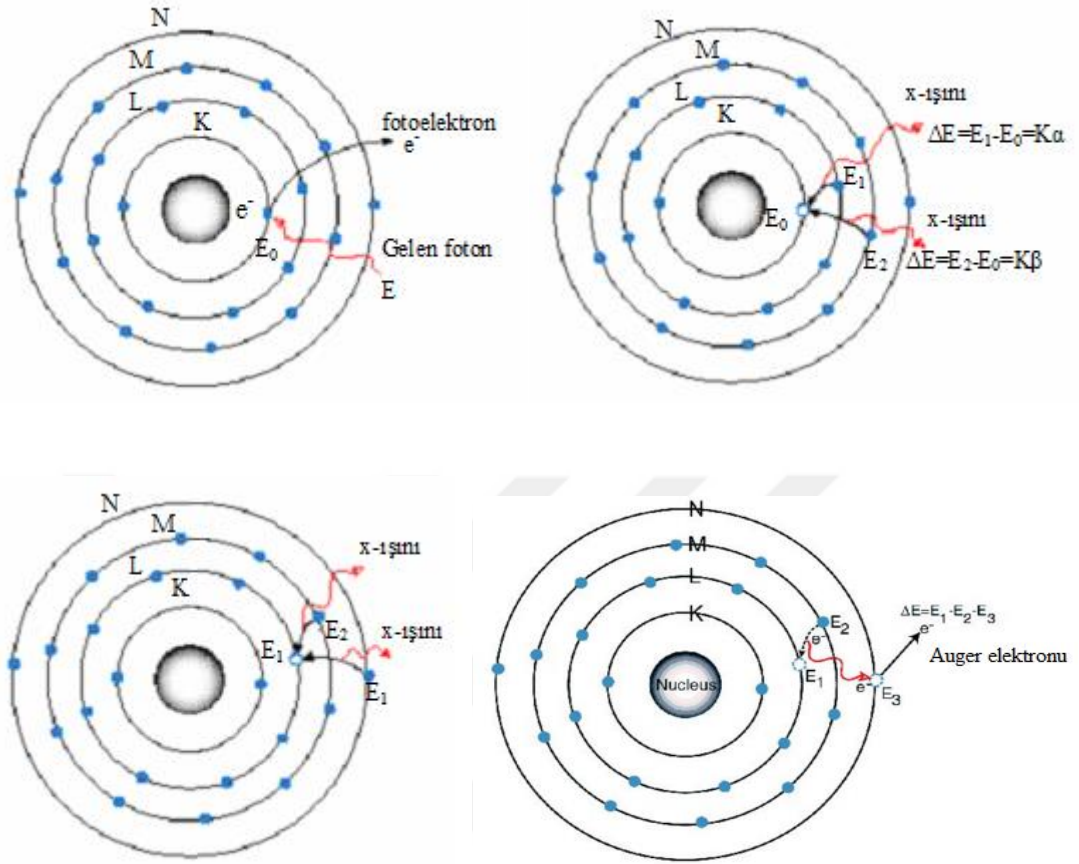
$$\sigma_{L1} = [ \sigma_1 (f_{13} + f_{12}f_{23}) + \sigma_2 f_{23} + \sigma_3 ] \omega_3 F_{31} \quad (2.22)$$

$$\sigma_{L\alpha} = [ \sigma_1 (f_{13} + f_{12}f_{23}) + \sigma_2 f_{23} + \sigma_3 ] \omega_3 F_{3\alpha} \quad (2.23)$$

$$\sigma_{L\beta} = \sigma_1 \omega_1 F_{1\beta} + (\sigma_1 f_{12} + \sigma_2) \omega_2 F_{2\beta} + [ \sigma_1 (f_{13} + f_{12}f_{23}) + \sigma_2 f_{23} + \sigma_3 ] \omega_3 F_{3\beta} \quad (2.24)$$

$$\sigma_{L\gamma} = \sigma_1 \omega_1 F_{1\gamma} + (\sigma_1 f_{12} + \sigma_2) \omega_2 F_{2\gamma} \quad (2.25)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $\sigma_{Li}$  ( $i=1,2,3$ ) L alt tabakası tesir kesiti,  $f_{ij}$  Coster-Kronig geçiş ihtimaliyeti ve  $F_{ij}$  L X-ışını geçiş hızı ihtimaliyetidir (Durdu 2001).



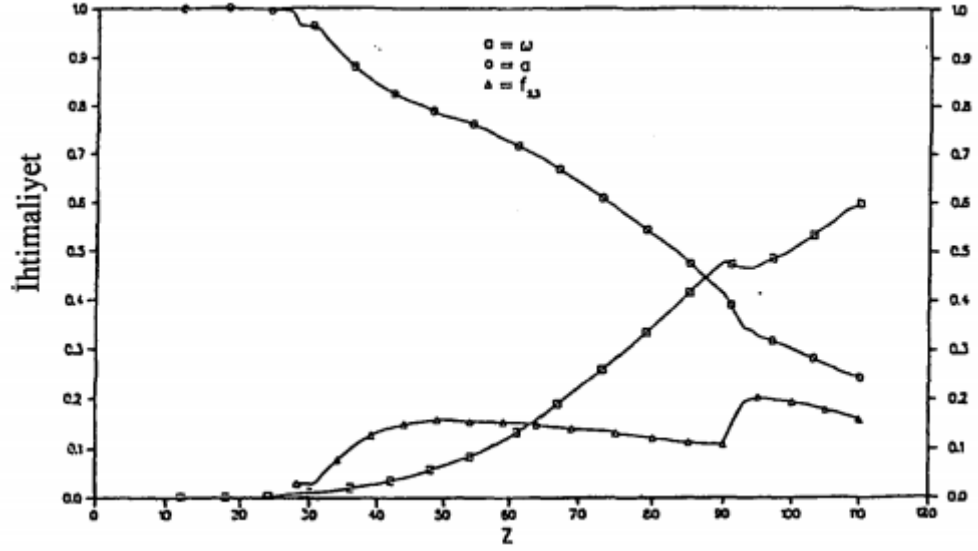
**Şekil 2.19.** Floresans ve Auger olayları

Ortalama Auger verimi için de ifademiz şu şekli alır;

$$\bar{a}_i = \sum_{i=1}^k V_i^x a_i^x$$

(2.26)

L<sub>2</sub> alt tabakası için floresans verim, Coster\_Kronig verim ve Auger veriminin atom numarasına karşı grafikleri Şekil 2.20’de verilmiştir (Baydaş 2000).



**Şekil 2.20.**  $L_2$  alt tabakası için floresans verim, Coster\_Kronig verim ve Auger veriminin atom numarası ile değişimi

## 2.8. Atomun Uyarılması

Temel haldeki atomlar, hızlandırılmış elektronlarla bombardıman edilerek, sıcaklıkları artırılarak ve fotonlarla bombardıman edilerek uyarılabilirler (Gurur 2016).

### 2.8.1. Elektronlarla uyarma

Elektronlarla bombardıman edilen atomların ışık yayması için uyarılması gerekir. Bu uyarılma, atoma gönderilen elektronların enerjisinin atomların 1. uyarılma enerjine eşit veya büyük olması halinde gerçekleşir. Yoksa uyarılma olmaz ve ışımaya gerçekleşmez. 1. uyarılma enerji seviyesinde bulunan atomların temel hale dönerken yaydıkları ışık spektroskopla incelendiğinde tek bir çizgi görülür.

Mesela cıva ile deney yapıldığında bombardıman yapan elektronların enerjisi  $4,9 \text{ eV}$ 'u geçince spektroskopta dalga boyu  $2537 \text{ \AA}$  olan mor ötesi ışık gözlenir. Spektrumdaki bu parlak çizgi cıva atomunun karakteristik çizgisidir. Genelde cıva spektrumunda belli dalga boylarına sahip birçok karakteristik çizgi bulunur. Bu çizgiler atomu



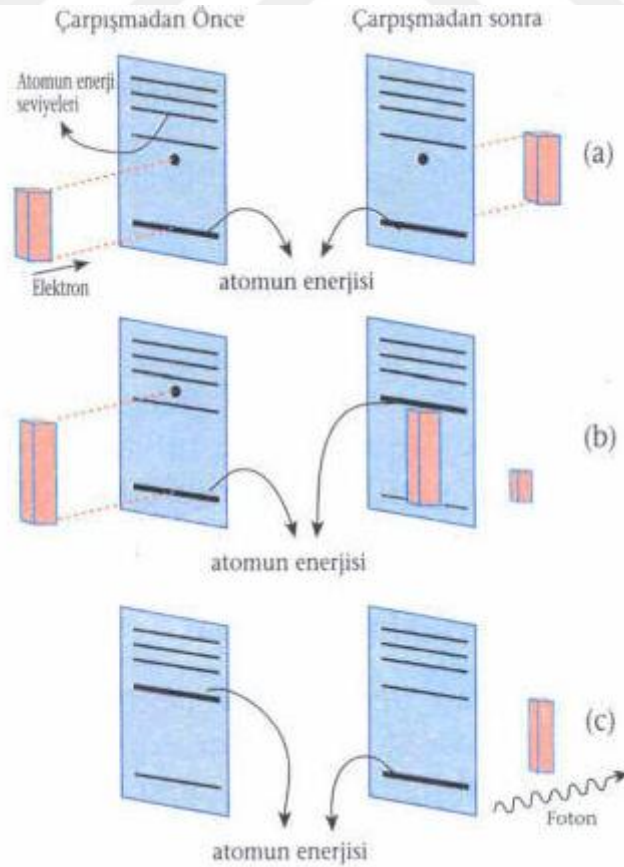
bombardıman eden elektronların enerjileri arttıkça görülmeye başlar. Verilen uyarma enerjisi teker teker atomların temel hale dönmeleri sonucunda foton olarak yayılır. Sonuç olarak, atomlar bombardıman eden elektronlardan sadece belli enerji miktarlarını alırlar ve temel hale dönerken de bu belli değerdeki enerjileri foton olarak yayarlar. Yayılan bu fotonların enerjisi,

$$E = E_i - E_s \quad (2.27)$$

dir. Bu enerjideki fotonun dalga boyu da,

$$\lambda = \frac{hc}{E} \quad (2.28)$$

ile bulunur.



**Şekil 2.21.** Atomun elektronla uyarılması

Şekil 2.21’de atom ve atomun enerji düzeyleri dikdörtgen levhalarla, elektron ve fotonun kinetik enerjisi paket şeklinde temsili olarak gösterilmiştir. (a)’da, elektronun enerjisi, atomu 1. uyarılma düzeyine çıkaracak enerjiden küçük olduğundan, esnek çarpışma yaparak aynı enerjiyle gider ve atom uyarılmadığı için ışımaya olmaz. (b)’de, elektronun enerjisi, 1. uyarılma enerjisinden daha fazla olduğundan atom elektrondan 2. enerji düzeyine çıkmak için gerekli enerjiyi soğurur ve elektron geri kalan enerjiyle yoluna devam eder. Bu çarpışma esnek olmayan çarpışmadır. (c) de uyarılmış atom temel hale dönerken, enerji düzeyleri arasındaki farka eşit enerjili foton yayar.

### 2.8.2. Sıcaklıkla uyarılma

Oda sıcaklığında temel halde bulunan atomların, sıcaklıkları arttıkça atomlar arası çarpışmalarda şiddetlenir. Yeterli yüksek sıcaklıklarda atom çarpışmalarından bazıları, elektronla olan çarpışmalarda olduğu gibi esnek olmayan çarpışma yapar. O zaman çarpışan atomlardan birkaçı birden uyarılmış duruma geçerler. Böylece sıcaklık arttıkça gitgide daha fazla atom uyarılmış duruma geçer. Yeterli sayıda atom uyarılınca gaz ışımaya yapar. Atomlar temel hallerine dönerken foton yayarlar. Bazen bu geçiş bir kaç basamakta olur. Bazen de tek basamakta geçilir. Bir kaç basamaktaki geçişlerde düşük enerjili birkaç foton yayınlanırken, tek basamaktaki geçişte yüksek enerjili tek foton yayınlanır. Yayınlanan fotonların frekansları enerji düzeyleri arasındaki farkla doğru orantılıdır.

Termodinamik denge halinde atomların farklı enerjili seviyelerine göre dağılması Boltzmann kanunu ile verilir. Bu kanun, birim hacimde N sayıda aynı tür atom bulunduğu varsayılırsa, birim hacimdeki m ve i uyarılmış seviyelerdeki atomların sayısı için aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$N_m = N_i \frac{g_m}{g_i} \exp\left[-\frac{E_m - E_i}{kT}\right] \quad (2.29)$$

Burada;  $g_m$ ,  $g_i$ ,  $E_m$  ve  $E_i$  sırasıyla  $m$  ve  $i$  uyarılmış enerji seviyelerin istatistik ağırlıkları ve enerjileri,  $k$  Boltzmann sabiti,  $T$  ise sıcaklıktır. (2.29) ifadesindeki sıcaklık, atomların uyarılmış enerji seviyelerine göre dağılımı karakterize eder ve uyarılma sıcaklığı diye adlandırılır. Benzer olarak, atomun temel ve herhangi bir  $m$  uyarılmış seviyesi için aynı kanunu yazalım:

$$N_m = N_1 \frac{g_m}{g_i} \exp\left[-\frac{E_m - E_i}{kT}\right] = N_1 \frac{g_m}{g_1} \exp\left[\frac{\varepsilon_m}{kT}\right] \quad (2.30)$$

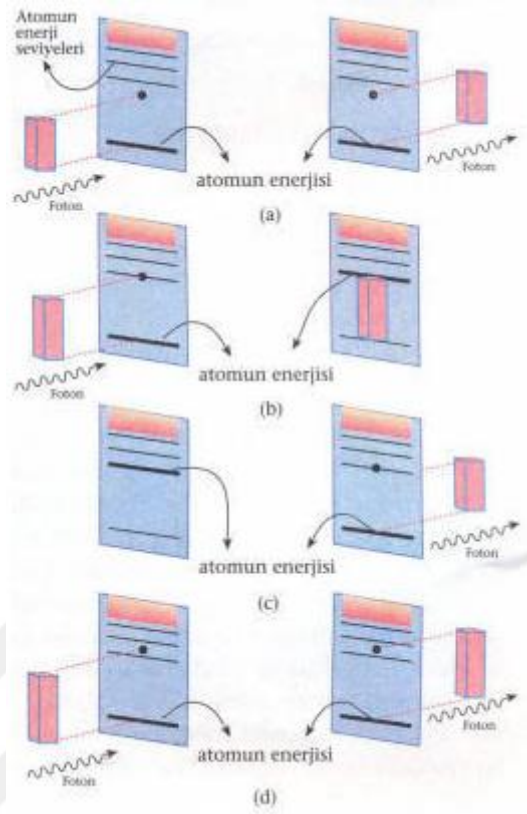
(2.29) ve (2.30) ifadelerinden görüldüğü gibi  $T \rightarrow 0$ 'a yaklaştıkça,  $N_m \rightarrow 0$ 'a yaklaşır. Yani sıcaklık sıfıra yaklaştıkça, herhangi bir uyarılmış haldeki atomların sayısı sıfıra yaklaşır. Başka bir deyişle, atomların hepsi temel halde olur. Termodinamik denge koşulunda, sıcaklığın istenilen bir değerinde

$$N_1 > N_2 > N_3 > \dots, \quad (2.31)$$

olur. Burada  $N_1$ , birim hacimde temel halde olan atomların sayısı,  $N_2$ ,  $N_3$ , ... ise sırasıyla birinci, ikinci, ... uyarılmış haldeki atomların sayısıdır.

### 2.8.3. Fotonlarla uyarma

Şekil 2.22'de atomun değişik enerjili fotonlarla bombardıman edilmesi ve atomun enerji durumları görülmektedir. Burada temel halde bulunan atoma gelen fotonun enerjisi, atomu 1. uyarılma haline geçiremeyecek kadar küçükse, foton ya atomun içinden geçer ya da esnek olarak saçılır. (a)'da görüldüğü gibi foton enerjisini kaybetmez ve atom uyarılmaz. Fotonun enerjisi atomu 1. uyarılma haline geçirmeye tam yetiyorsa atom fotonu soğurur ve (b)'de görüldüğü gibi atom uyarılır. Uyarılmış atom (c)'de görüldüğü gibi aynı enerjili bir foton saçarak temel hale döner. Fotonun enerjisi atomun 1. uyarılma enerjisinden büyük fakat 2. uyarılma enerjisinden küçükse (d)'de görüldüğü gibi foton ya atomun içinden geçer ya da esnek olarak saçılır gider yani foton soğurulmaz atom da uyarılmaz.



Şekil 2.22. Atomun fotonlarla uyarılması

## 2.9. Halojen Lambalar

Elektrik ampulleri genel olarak akkor telli lambalar ve lüminesan lambalar olmak üzere iki alt başlıkta toplanır. Halojen lambalar akkor telli lambalar sınıfına girmektedir. Bir akkorun ısınması ile ışık verme esasına dayanan ampul çeşididir.

Isıtılmış bir tungsten filaman, 300 nm ile 2000 nm arasında değişen ve süreklilik gösteren bir spektruma sahiptir. Fakat filaman sıcaklığına bağlı olarak, insan gözünün görebileceği ışık dalga boyu 400 nm ile 700 nm arasında olabilmektedir. Halojen lambalar enkandesan lambaların geliştirilmiş şeklidir. Enkandesan lamba, bir rezistansın ısınması ile ışıldama yapan ve ısıl radyasyon yayan ışık kaynağıdır. Halojen lambalarda cam haznenin içi halojen gaz ile doldurulmuştur. Lamba içindeki halojen gazı tungsten buharı ile tepkimeye girerek tungsten halojenür formuna dönüşür. Oluşan bu gaz hazne içindeki sıcaklığın 250 °C üzerinde kalmasını sağlar. Bu halojenür madde, hazne

içindeki filaman civarlarından geçerken filaman sıcaklığı sebebiyle tungsten, halojenürden ayrılarak filaman üzerinde toplanır. Bu süreç, filamanın daha yüksek sıcaklıklarda (3000 K) işletilmesine imkan sağlarken aynı zamanda lamba ömrünü de uzatır. Halojen lambaların en önemli avantajları; servis ömürleri enkandesan lambalarının servis ömürlerine göre 2000 saat gibi daha uzun olması, ışık etkinliğinin (etkinlik faktörü) 25 lm/W değerlerinde olması, filamandan çıkan volfram parçalarının camın iç yüzeyine yapışması halojen vasıtasıyla engellendiğinden camın iç yüzeyinin temiz kalması sebebiyle sabit ışık akısına sahip olmaları, daha küçük boyutlarda olmaları ve beyaz ışık renginde olmalarıdır. Halojen lambaların değişik gerilim değerlerinde çalışan tipleri vardır. 220 V şebeke gerilimi ile çalışanlarının yanı sıra; 6, 12 ya da 24 V gerilimlerle çalışan halojen lambalar da vardır. Bu ampuller fotokopi makinelerinde, vitrin aydınlatmasında, tarayıcılarda, projektörlerde ve taşıtlarda kullanılır.

## 2.10. Isıl Çiftler (Thermocouple)

Thomas Seebeck 1821 yılında icat etmiştir. Elektriksel sıcaklık ölçme yöntemlerinden en çok kullanılanıdır. Termoelektrik termometre veya thermocouple olarak da bilinir. Isılçiftin çalışma prensibi SEEBECK etkisi olarak bilinen termoelektriksel olayına dayanır. Seebeck'e göre değişik malzemelerden yapılmış iki iletken veya yarı iletkenin uçları birleştirilir. Şekil 2.23'te görülen  $J_1$  noktasına sıcak nokta ya da ölçüm eklemi,  $J_2$  noktasına ise soğuk nokta ya da referans noktası denir. Elde edilen uçlar değişik sıcaklıklara maruz bırakılırsa uçlar arasında bir termik gerilim (elektromotor kuvvet, emk) oluşur. Bunun sebebi sıcak kaynaktan soğuk kaynağa doğru hareket eden elektronların doğurduğu elektromotor kuvvettir. Bu elektromotor kuvvet yaklaşık olarak iki bağlantı arasındaki sıcaklık farkıyla orantılıdır. Düşük sıcaklık farklarında değişim lineerken büyük sıcaklık farklarında değişim lineer değildir. Elektron akısına zıt yönde oluşan bu kuvvete "seebeck elektromotor kuvveti", olaya "Seebeck Termoelektriksel Olayı" ve bu şekilde oluşturulmuş devreye de "Isıl Çift (Termoeleman, Termocouple) Devresi" denir. Bu olayın tersi de mümkündür. Uygun bir termoçiftin iki ucuna bir d.c.

gerilim uygulanırsa, akımın yönüne bağlı olarak, kavşakta ısınma veya soğuma olabilir. Bu olaya da Peltier Olayı denir.



**Şekil 2.23.** Isıl çift devresi

Belirli bir emk ya karşılık gelen sıcaklık değeri standart tablolardan öğrenilir ya da ölçüm aygıtı sıcaklığı doğrudan okuyabilecek şekilde düzenlenir. Herhangi iki farklı metal ya da metal alaşımı termoelektrik etkiye neden olur; fakat bunlardan sadece birkaçı (örneğin bizmut, antimon, demir ve bakır ya da konsan ve bakırdan) ısılçift olarak kullanılabilir. Yüksek sıcaklık ölçümlerinde kullanılan ısıl çiftlerde çoğunlukla radyum ve platinyum ya da radyum-platin alaşımından faydalanılır. Termopiller seri halde bağlanmış bir dizi ısıl çiftten meydana gelir; bunlardan elde edilen sonuç birkaç sıcaklık okumasının ortalamasına eşittir. Seri bağlanmış bir devre de daha duyarlı sonuç verir. En çok kullanılan ısıl çift tipleri Çizelge 2.9'da verilmiştir.

**Çizelge 2.9.** En çok kullanılan ısıl çift tipleri

Tip	Malzemeler	Normal Değer Aralığı
J	Demir-Konstantan	-200°C ile 1190°C arası
T	Bakır-Konstantan	-260°C ile 390°C arası
K	Kromel-Alumel	-260°C ile 1370°C arası
E	Kromel-Konstantan	-260°C ile 990°C arası
S	%90 Platin + %10 rodyum-platin	-40°C ile 1760°C arası
R	%87 Platin + %13 rodyum-platin	-40°C ile 1760°C arası
B	%70 Platin + %30 Rh-platin	0°C ile 1810°C arası
N	Nikrosil-Nisil	-260°C ile 1290°C arası

Isıl çiftlerde en çok kullanılan alaşımlar; chromel (nikel-krom), constantan (bakır-nikel), nikrosil (nikel-krom-silisyum), alumel (nikel-alüminyum) ve nisil (nikel-silisyum)'dir.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. X-Işını Floresans Tekniği

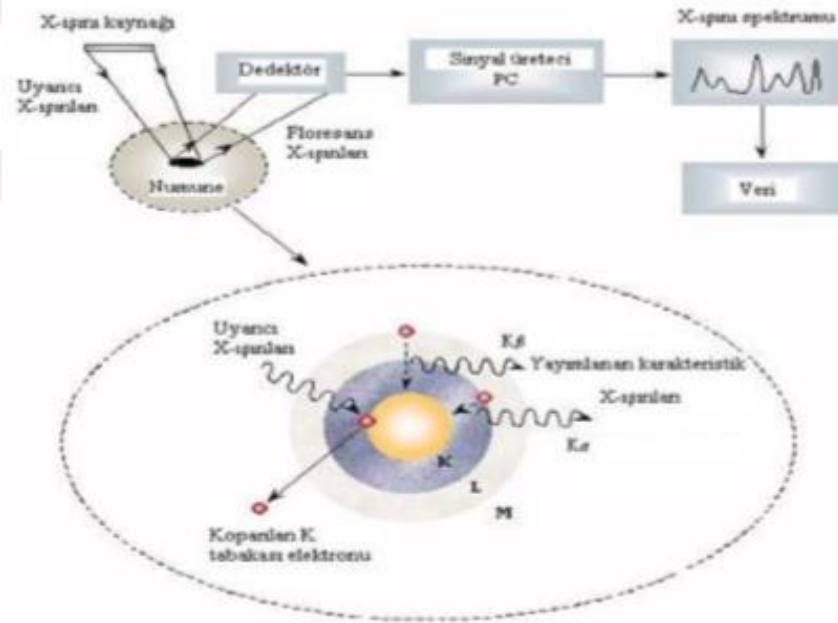
X-ışını floresans (XRF) tekniği; analiz süresinin kısalığı, tahribatsız oluşu, değişik formlarda numune hazırlayabilme kolaylığı, periyodik tablodaki elementlerin hemen hemen tamamının incelenebilmesine imkan tanınması, yüksek hassasiyet (ppm), ucuz maliyet ve otomasyon kolaylığı gibi avantajlara sahip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

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

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



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



Şekil 3.1. XRF tekniği ve tipik XRF analiz düzeneği (Han 2009)

### 3.2. X-ışını Dedektörleri

Wilhelm Röntgen Conrad tarafından X-ışınlarının keşfi, tüpten uzakta olan malzemelerde floresans gözlemine dayanmaktadır. Sonra fotoğraf plakası ve gazla doldurulmuş iyonizasyon odalarının (elektrometreler) çok geçmeden X-ışınlarına duyarlı oldukları görülmüştür. Bu ilkelerle X-ışını dedeksiyon temeli nerdeyse 100 yıl

önceden başlamıştır. Fotoğraf plakaları ile X-ışınları ve  $\gamma$ -ışınlarının ilk gözlemlenmesinden sonra gaz dolu sayaçların (Segre 1980) gelişmesi ışınların ani dedeksiyonuna yol açtı. Bu sayaçlar X-ışın foton enerjisini ölçme imkanını sağladı (Beckhoff *et al.* 2006).

Orantılı sayaçlar neredeyse 100 yıldır kullanılmakta olmasına rağmen, hala güçlü avantajlar sunmakta olan değerli dedektörlerdir. Bu avantajlardan birincisi, ucuz olması ve iç gaz-amplifikasyonu yüksek yük verimi için kullanımı kolay olmasıdır. Özellikle bu dedektörler elektronik girişimlere duyarlıdır ve buna göre sert ortamlar için uygundur. Ayrıca gaz dedektörler büyük alanlar tespiti için iyi bir seçimdir. Hala kolay üretilmesine rağmen, daha karmaşıktır. Çok telli veya çok şeritli anot tasarımları aynı zamanda geniş alanlarda uzaysal ve enerji rezolüsyonuna izin verir. Gaz dedektörlerin ana dezavantajı düşük yoğunluktur ve bunun sonucu X-ışını algılama için düşük bir verim olmasıdır.

Yüksek enerjili fotonlar için çok daha yüksek algılama verimliliği olan bir alternatif, sintilasyon dedektördür. İlk iyonize radyasyonun gözlemleri, karanlık odalarda floresans ekranlara bakarak yapılmışken, en modern sintilasyon dedektörlerde floresans ışığı tespiti için fotoçalıştırıcı, fotodiyotlar veya CCD bağlanmış bir sintilatör malzeme kullanılır. Bu dedektörlerin faydası ağır elementlerin sintilatör kristallerini kullanarak sert X-ışınları için çok küçük ve etkili hale getirilebilir olmasıdır. Sintilatör ile ilgili olarak, bu dedektörlerin hızı artırılabilir. Sintilatör malzemelerin geniş alanları çok sayıda ışık dedektörlerine bağlandığı zaman, tıbbi uygulamalarda kullanmak için yüksek görüntüleme etkinliğine sahip bir dedektör elde edilir. Sintilatör dedektörlerin dezavantajı onların düşük rezolüsyonudur.

Bu nedenle yüksek yoğunluklu bir malzeme ile iyonlaşma odası ilkesini gerçekleştirmek için bir araştırma oluşturulmuştur. Sonuçta, kısa bir süre sonra yüksek saflıkta germanyum (HpGe) ve silisyum (Si) elde edilerek ilk Ge(Li) ve Si(Li) dedektörleri 1960'ların başında üretildi. Bu dedektörler gaz dedektörü ve sintilasyon dedektörlerine göre daha yüksek bir rezolüsyon sundu.

Dedektörler, X-ışını foton enerjisini bu fotonların dedektörün aktif maddesi ile çeşitli yollarla etkileşmesi sonucu voltaj pulsuna çeviren dönüştürücülerdir.

X-ışını dedeksiyonunda kullanılan dedektörler (sayaçlar); gazlı, sintilasyon ve katıhal dedektörleri olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

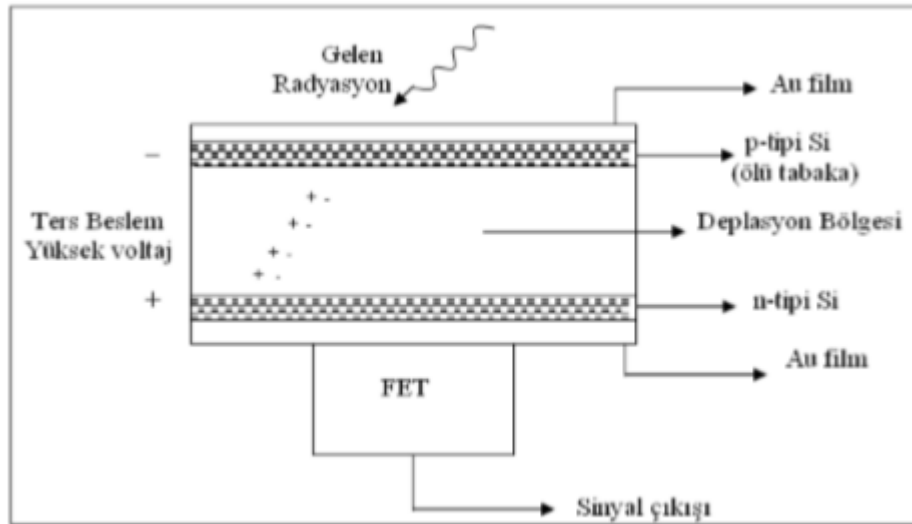
### **3.3. Si(Li) Yarı İletken Detektörlerinin Çalışma Prensibi**

Yarı iletkenlerin düşük sıcaklıklarda iyi bir yalıtkan davranışı göstermesinden istifade ile yapılmış olan katıhal sayaçları ikincil X-ışınlarını ölçmek için yaygın olarak kullanılırlar. Karakteristik X-ışınlarının hem düşük enerji bölgesinde yer almalarından hem de enerjilerinin birbirlerine yakın olmasından dolayı bunların şiddetleri ölçülürken rezolüsyonu ve dedektör verimi çok iyi olan yarı iletken dedektörler tercih edilirler. Son yıllarda Si-PIN, HgI<sub>2</sub>, Si-DRIFT ve CDZnTe gibi yüksek rezolüsyonlu yarı iletken dedektörler yapılmasına rağmen, Si(Li), Ge(Li) ve HPGe yarı iletken kristal dedektörler uygun şekil ve soğutma şartlarına sahip olduklarından daha yaygın olarak kullanılırlar.

Yarı iletkenlerde elektrik iletimini kontrol etmek için, az miktarda katkı maddesi ilave edilir. Katkı maddesi olarak 5 değerlik elektronlu atomlar kullanılırsa elektronlardan dördü komşu Si veya Ge ile kovalent bağ yapar ve beşinci elektron örgü içerisinde kolayca hareket edebilir. Negatif yük taşıyıcılarının fazla olduğu böyle bir yarı iletken materyale n-tipi yarı iletken denir. Eğer katkı maddesi olarak 3 değerlik elektronlu atomlardan biri kullanılırsa kristalde dört komşu atomla kovalent bağ oluşur ve pozitif yük fazlalığı meydana gelir. Pozitif yük fazlalığının olduğu böyle yarı iletken materyallere ise p-tipi yarı iletken denir. Bir sayaç kristali yapmak için p- ve n- tipi materyaller bir kontakla bir araya getirildiğinde eklem yakınındaki elektronlar ve boşluklar birleşerek yük taşıyıcılarının nötr hale geldikleri bir bölge oluştururlar. Saymada hassas olan ve alanı 30–1000 mm<sup>2</sup> olan bu bölgeye; deplasyon bölgesi, hassas bölge, tüketim bölgesi veya intristik bölge adı verilir. Yüksek dirençli bu bölgeye bir ters belseme potansiyeli uygulandığında bu bölge genişleyebilir ve gelen radyasyonlar için hassas hale gelir.

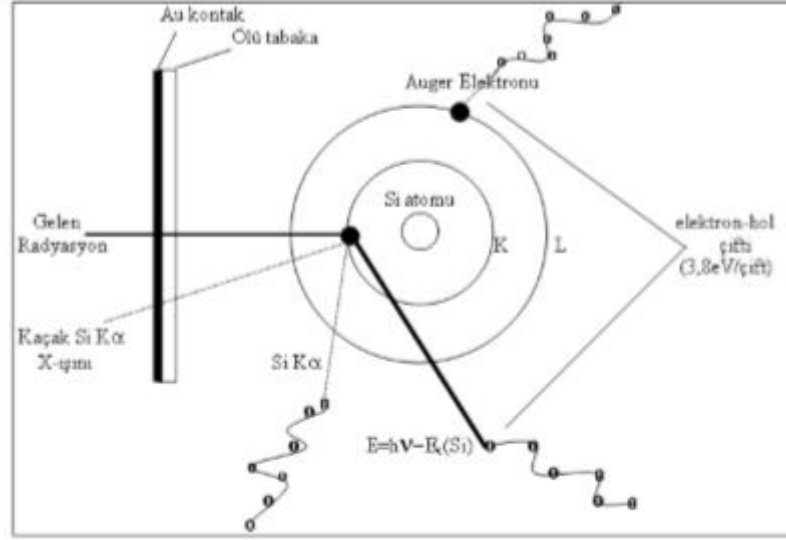
Ge(Li) ve Si(Li) dedektörler yapılırken en çok takip edilen işlem; önce p-tipi bir materyal almak ve sonra bunun yüzeyine Li atomlarını yaymaktır. Böylece n-tipi ince bir bölge oluşturulmuş olur. Ters beslem ve hafifçe artırılan sıcaklık altında Li geniş bir deplasyon bölgesi yaparak p-tipi bölgeye sürüklenir. Bu tür dedektörler Li sürüklenmiş Ge veya Li sürüklenmiş Si dedektörler olarak adlandırılırlar. Ters beslem voltajı iki etkiye sahiptir; birinci olarak deplasyon bölgesindeki elektrik alan büyüklüğünü, yük birikimini daha verimli yaparak artırır, ikinci olarak da bir tip materyalden diğerine daha fazla yük taşıyıcısını sürükleyecek bir kuvvet uygulayarak deplasyon bölgesinin boyutlarını (dolayısıyla dedektörün duyarlı hacmini) artırır.

Ge(Li) veya Si(Li) dedektörlerin üretiminde oluşturulan n-tipi tabakanın kalınlığı 1mm civarındadır ve orta enerjili gamma ışınları bu kalınlığa kolayca nüfuz edebilirler. Ayrıca ince bir altın tabakası, elektriksel teması sağlamak için ön yüzeye buhar şeklinde püskürtülür (yaklaşık 200Å kalınlığında). Lityum sürüklenmiş silikon yüzeyine buharlaştırılan bu altın filmler elektrot görevi görürler. p-tipi bölgede (kristal sayacın girişinde) sayıma katkısı bulunmayan bölgeye ölü tabaka adı verilir. Bir Si(Li) dedektörün şematik gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir.



**Şekil 3.2.** Bir Si(Li) katıhal dedektörünün şematik gösterimi (Demir ve Yusuf 2013)

Dedektörün en önemli iki fiziksel özelliği; kalınlığı ve alanıdır. Soğurma verimliliği dedektör kalınlığı arttıkça artar. Sayım için önemli bir faktör olan geometrik verim ise dedektör alanı arttıkça artar; ancak bu rezolüsyonu azaltır. Katıhal sayacına fotonlar geldiğinde altın elektrot ve ölü tabakayı geçerek deplasyon bölgesinde Si atomlarını uyararak + ve – iyon çiftleri oluştururlar. Bu işlem sırasında fotonlar enerjilerinin büyük bir kısmını foto elektronlara aktarırlar. Bu foto elektronlar enerjileri bitinceye kadar yolları üzerinde elektron-hol çiftleri oluştururlar. Uygulanan ters beslem (-500V) nedeniyle meydana gelen elektrik alan elektron–hol çiftlerini toplar. Ters beslem nedeniyle elektronlar n-tipi boşluklar (holler) p-tipi bölgeye yönelirler. Sonuçta dedektöre gelen foton enerjisi ile orantılı sayıda elektron–hol çifti oluşur. Sayaç maddesinin seçiminde elektron hol çifti veriminin büyük olması, yani elektron hol çifti başına düşen enerjinin küçük olması tercih edilir. Bir Si(Li) dedektörde bir elektron-hol çifti meydana getirebilmek için gerekli enerji 3,8 eV, Ge(Li) dedektörde ise 2,9 eV'dur. Aynı fotonun meydana getirdiği + ve – yükler çeşitli etkileşmelerden sonra tekrar birleşebilirler ki bu olaya rekombinasyon denir. Katıhal sayaçlarında sayaç içi bir amplifikasyon olmadığından bu sayaçlarda alçak gürültü ve yüksek kazançlı ön amplifikatöre ihtiyaç vardır. Bu iş için genellikle FET (field-effect-transistör) kullanılmaktadır. FET toplanan yükü akım pulslarına dönüştürmektedir. Dedektör elementi ve dedektör kapasitansındaki sızıntı akımı sistemin gürültüsüne ve rezolüsyonun düşmesine neden olur. Sızıntı akımından kaynaklanan gürültü sıvı azot sıcaklığında (-196°C) ihmal edilebilir bir dereceye düşmektedir. Mikrofonik gürültü üretilmesi de rezolüsyon genişlemesinin önemli bir kaynağıdır. FET'in sıvı azot sıcaklığında ve dedektöre yakın tutulması mikrofonikleri azaltmaktadır. Dedektörün sıvı azot içerisinde tutulması bulk materyal içindeki termal olarak uyarılmış taşıyıcılardan (lityum oda sıcaklığında çok yüksek difüzyon hızına sahiptir) kaynaklanan elektriksel gürültüyü de minimuma indirir. Bir Si(Li) dedektörün çalışma prensibi Şekil 3.3'de verilmiştir.



**Şekil 3.3.** Si(Li) dedektörde X-ışını dedeksiyon işlemi (Han 2009)

Katıhal sayaçlarının avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

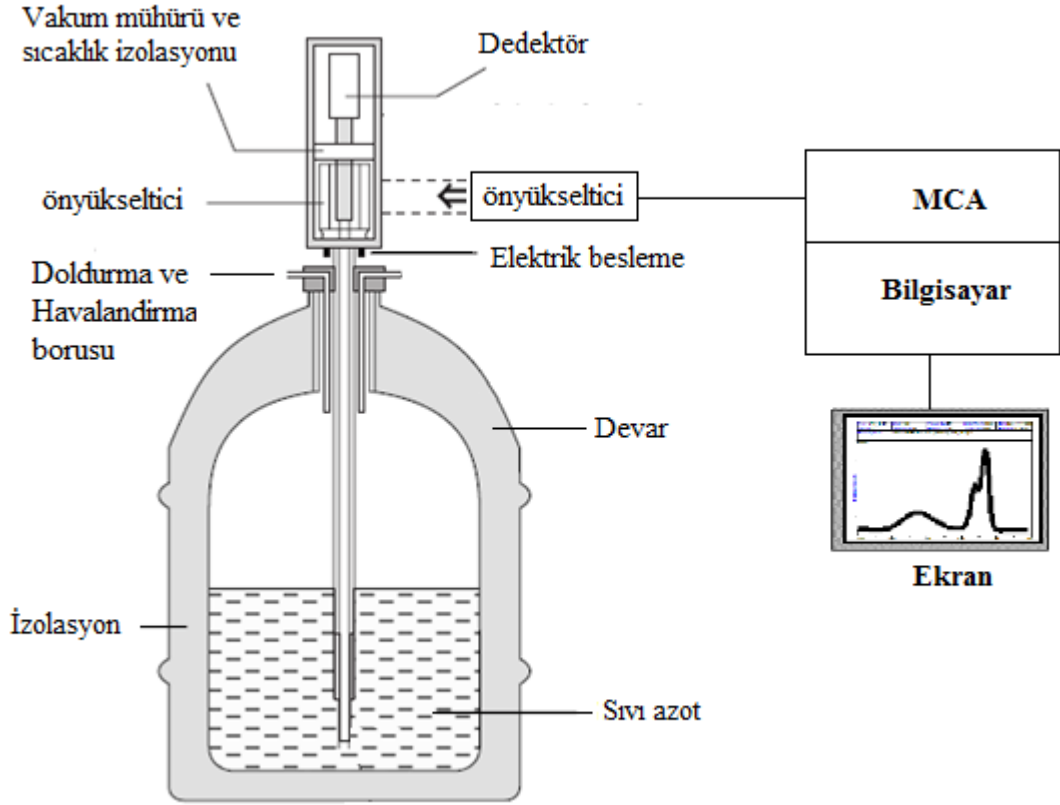
- Diğer sayaçlara göre enerji dönüşümü çok verimlidir. Si(Li) ve Ge(Li) için sırasıyla 3,8 ve 2,9 eV başına bir elektron hol çifti meydana gelmektedir.
- Çok iyi rezolüsyona sahiptirler; 6–8 keV enerjili fotonlar için yarı maksimumdaki tam genişlik (FWHM) 130 eV'a kadar düşmektedir. Dolayısıyla atom numaraları birbirine çok yakın olan birçok elementin spektral çizgileri kolayca ayrılabilir.
- ~1000 sayma/saniye ye kadar olan şiddetlerde puls-yükseklik kayması ve puls genişlemesi olmamaktadır.
- Yeterli kalınlıktaki katıhal sayaçlarının kullanıldıkları spektral bölgedeki verimleri çok fazladır.
- Sayaç hacminin küçük olması bakımından numunenin istenildiği kadar yakınında kullanılabilme imkânı vardır (Kurucu 1990).

Katıhal sayaçlarının dezavantajları ise:

- Lityumun yüksek mobilitesi önemli bir gürültü seviyesine sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda dedektör karakteristikleri değişebileceğinden sıvı azot sıcaklığına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Sıvı azot sıcaklığında bile gürültü seviyesinin yüksek olmasından dolayı katıhal dedektörlerinin düşük atom numaralı elementlerle ilgili kullanımı sınırlıdır.
- Saniyede ~ 20000 sayımdan fazla şiddetler için dedektör rezolüsyonu artan şiddetle hızla kötüleşmektedir.
- Katıhal dedektörlerin rezolüsyonu küçük atom numaralı elementlerde sintilasyon dedektörlerine kıyasla düşüktür.
- İyi rezolüsyon için etkin alanları küçüktür (Demir 2005).

### 3.3.1. Sayma sistemi

Sayma sistemini oluşturan elemanlar genelde bir sayma sistemi, bir detektör (ön yükseltici ile birlikte), yükseltici, analog sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA), osiloskop ve bir yüksek voltaj kaynağından ibarettir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Sayma sistemi (Ahmadi 2016)

### 3.3.1.a. Yüksek voltaj kaynağı

Meydana gelen yükleri toplamak için detektör üzerine bir yüksek voltaj uygulanmalıdır. İyi bir çalışma voltajı genellikle üretici firma tarafından belirlenir ve küçük bir detektör için birkaç yüz voltajdan büyük bir detektör için 4000V'un üstüne kadar değişebilir (Debertin and Helmer 1988).

### 3.3.1.b. Ön yükseltici

Yarı iletken detektör ile bir yüke hassas ön yükseltici kullanılır. Elektronik gürültüyü azaltmak için, genellikle bir alan-etkili transistör (FET) (Field Effect Transistör) olan ön yükselticinin girişi de azot kaynama sıcaklığında muhafaza edilir. Ön yükseltici çalışmasını iyileştirmek için FET'in sıcaklığı oda sıcaklığında olan detektörün dış



muhafazasından içeriye biraz ısı sızmasına izin verilerek detektörden daha sıcak tutulabilir. Ön yükseltici detektörden gelen yük pulsunu voltaj pulsuna dönüştürür. Bu yükselticiden çıkan pulsların genlikleri veya yükseklikleri detektörde toplanan yük miktarı ile orantılı olmalıdır ve eğer fotonun tüm enerjisi detektörde soğurulmuşsa fotonun enerjisiyle orantılı olmalıdır.

### 3.3.1.c. 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.

Modern sistemlerde maksimum çıkış pulsunun genliği 2 V'tan 10 V'a kadar değişir. Çoğu amplifikatör hem bir unipolar çıkış (yani, sinyalin pik kısmı tamamen pozitif veya tamamen negatiftir) hem de bipolar çıkış (yani, sinyal hem pozitif hem de negatif bileşene sahiptir) ile donatılmıştır. En iyi sinyal-gürültü oranını (S/N) elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı seçilir. Kullanıcı puls genişliğini belirleyen şekillendirme zamanı (shaping time) sabitinin seçimine dikkat etmelidir. Bir spektrumdaki pikler için en iyi rezolüsyon genellikle daha uzun zaman sabitiyle elde edilebilir çünkü sistem daha uzun bir zaman üzerinden gürültünün ortalamasını alabilir. Bununla birlikte, daha uzun zaman sabitleri yüklerin daha fazla rastgele toplanmasına neden olur. Buna göre, eğer sistem 2.000 s'lik sayma hızlarında çalıştırılabilecekse daha kısa zaman sabitleri kullanılabilir (Debertin and Helmer 1988).

### 3.3.1.d. Çok kanallı analizör

Çok kanallı analizör (MCA) (Multi Channel Analyzer) sayısal hale getirilmiş pulsunu kanallara yerleştirir ve bilgisayar hafızasına kaydeder. Gerçekte, her bir kanal depolamak için kullanılan bir kutudur ve X-ışını spektrumunda kesin olarak kalibre edilmiş sayısal enerji aralığı olan bir enerji aralığına düşen pulsları sayar. Kalibrasyon

işlemi ölçüme başlamadan önce standart kaynaklarla yapılmalıdır (Williams 1987).

### **3.3.1.e. Analog dijital dönüştürücü (ADC)**

Analog dijital dönüştürücünün amacı yükselticiden gelen analog pulsun genliğiyle ve dolayısıyla X-ışını fotonunun enerjisiyle orantılı bir tam sayıya dönüştürmektir. Böyle bir işleme de analogu sayısal dönüşürme işlemi denir. Sayılmış olan her bir puls yüksekliği kadar sayı analizörün hafızasında toplanır ve sonuçta bu bilgi bir enerji spektrumu olarak ekrana aktarılır (Debertin and Helmer 1988).

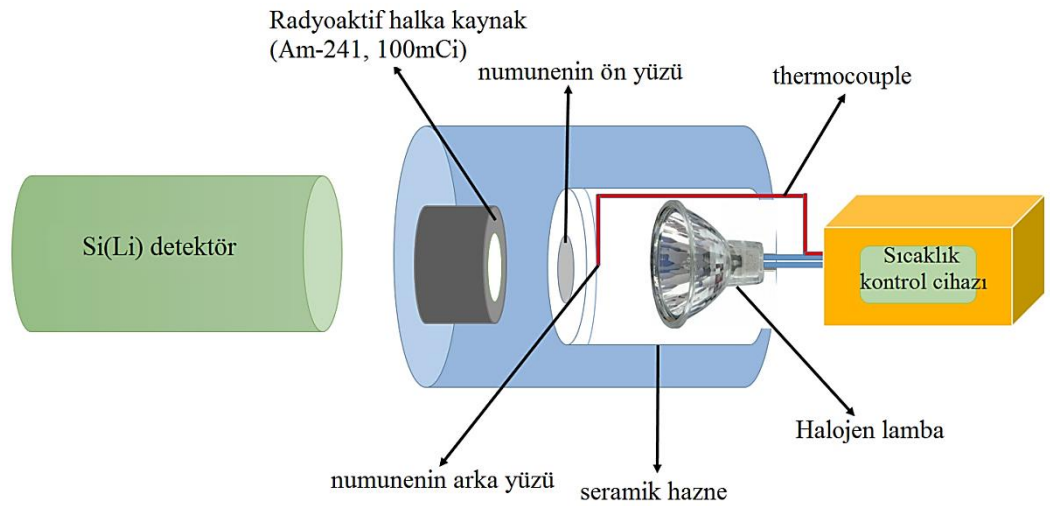
### **3.4. Numunelerin Hazırlanması**

Ticari olarak Alfa Aesar firmasından edinilen yüksek saflıkta toz formundaki lantanit element ve bileşikleri bir el havanı kullanılarak öğütülmüş daha sonra homojen bir dağılım elde etmek için numune mikserinde karıştırılmıştır. Böylece parçacık büyüklüğü ve soğurma etkileri imkanlar dahilinde en aza indirilmiştir. Farklı kütle ve kalınlığa sahip 13 mm çapında numuneler elde etmek için SPECAC manuel hidrolik press makinası yardımı ile 8 ton basınç uygulanmıştır. Tabletlerin kütleleri  $10^{-4}$  gram hassasiyete sahip bir terazi ile tartılmıştır.

### **3.5. Deney Geometrisi**

Deney geometrisi Si(Li) dedektör, alüminyum bir hazne ve içerisinde kurşun kolimatör içindeki 100mCi Am-241 halka kaynak, kaynağın karşısında seramik bir haznenin ön yüzünde numune yerleştirmek üzere tasarlanan bir aparat, numune sıcaklığını artırmak için numunenin arka yüzünün hemen karşısında bir halojen lamba ve numunenin sıcaklığını kontrol etmek maksadıyla sıcaklık kontrol cihazına bağlı numunenin arka yüzüne konumlandırılmış bir ısı çiftten oluşmaktadır (Şekil 3.5). Yüksek saflıkta, ince ve uniform numuneler, 100 mCi radyoaktif halka kaynak ve 59.54 keV foton enerjisi kullanılarak uyarılmıştır. Çok kanallı bir analizör ile bir Si(Li) dedektör (FWHM= 5.96 keV'de 160 eV, aktif bölge 20 mm<sup>2</sup>, hassasiyet derinliği 5 mm ve Be pencere kalınlığı

0.008 mm) ölçümlerde X-ışınlarını dedekte etmek için kullanılmıştır. Sıcaklık kontrol cihazı yardımı ile 50°C sıcaklıktan başlanarak 50°C'lik adımlarla sıcaklık 400°C'ye kadar artırıldı. Element ve bileşiklere ait L X-ışını spektrumları 8 veya 12 saat sürelerle belirtilen sıcaklık aralığında in-situ olarak, iki kez tekrarlanmak suretiyle elde edildi. Bütün X-ışını spektrumları net pikleri tespit etmek için çoklu- Gaussian küçük kareler fit metodu kullanılarak Origin 8.5 programı aracılığı ile analiz edildi. İlgili XRF parametreleri ve L X-ışını şiddet oranları datalara uygulanan gerekli düzeltmelerden sonra Gaussian fonksiyonuna fit edilen pik alanlarından faydalanılarak tespit edildi.



Şekil 3.5. Deney geometrisi

### 3.6. L X-Işını Tesir Kesitleri ve Şiddet Oranlarının Hesaplanması

XRF tekniğinde herhangi bir karakteristik  $K_i$  X-ışını çizgi şiddeti deneysel olarak;

$$\sigma_{K_i} = N_{K_i} [I_0 G \varepsilon_{K_i} \beta t]^{-1} \quad (3.1)$$

ifadesi ile belirlenebilir. Burada  $N_{K_i}$  ilgilenilen pikin altındaki net sayım,  $I_0$  uyarıcı radyasyonun şiddeti,  $G$  geometri faktörü,  $\varepsilon_{K_i}$   $K_i$  X-ışını grubu için dedektör verimi,  $t$  numunenin kütle kalınlığı ( $\text{g/cm}^2$ ) ve  $\beta$  uyarıcı fotonlar ve yayımlanan  $K$  X-ışını fotonları için öz soğurma düzeltme faktörüdür ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\beta_{K_i} = \frac{1 - \exp[-(\mu_i / \cos \theta_1 + \mu_e / \cos \theta_2) t]}{(\mu_i / \cos \theta_1 + \mu_e / \cos \theta_2) t} \quad (3.2)$$

Burada  $\mu_i$  ve  $\mu_e$  sırasıyla uyarıcı fotonlar ve yayımlanan karakteristik X-ışınları için kütle soğurma katsayılarıdır ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ).  $\theta_1$  ve  $\theta_2$  sırası ile uyarıcı fotonların ve yayınlanan X-ışınlarının çalışılan geometride numune yüzeyinin normali ile yaptıkları açılarıdır ve bu çalışmada  $\theta_1 = 45^\circ$  ve  $\theta_2 = 0^\circ$  dir.  $\mu_i$  ve  $\mu_e$  değerleri WinXCOM (Gerward *et al.* 2001) programı kullanılarak hesaplanabilir. (3.1) ifadesinde yer alan  $I_0$ ,  $G$  ve  $\varepsilon$ 'nin ayrı-ayrı ölçülmesi veya hesaplanması oldukça zor ve zaman alıcıdır. Fakat bunların çarpımı olan  $I_0 G \varepsilon$ , ilgili enerji bölgesinde çizgileri olan çeşitli elementlerin  $K$  X-ışınlarının şiddetleri ölçülmek suretiyle belirlenebilir. Bu ölçüler asıl ölçülerin alındığı deney geometrisi ve ortam şartları muhafaza edilerek alınmalıdır. (3.1) ifadesinden hareketle;

$$I_0 G \varepsilon_{K_i} = N_{K_i} [I_{K_i} \beta t]^{-1} \quad (3.3)$$

yazılabilir.  $I_{K_i} / I_{K_j}$ 'nin değerleri (3.3) ifadesinde farklı uyarıcı enerjileri için kullanılırsa, herhangi bir enerji için  $I_0 G \varepsilon$  değeri belirlenebilir. Bu değerler uyarıcı enerjisi  $E$ 'nin bir fonksiyonu olarak çizilirse, bu grafikten asıl ölçülerde kullanılan

uyarıcı foton enerjisindeki  $I_0G\varepsilon$  değeri bulunabilir. Esasen  $I_0G\varepsilon$  enerjinin fonksiyonu olarak

$$\log(I_0G\varepsilon) = A_0 + A_1 \cdot E_{K\alpha} + A_2 \cdot E_{K\alpha}^2 + A_3 \cdot E_{K\alpha}^3 \quad (3.4)$$

bağıntısına fit edilebilir. İstenilen enerjideki  $I_0G\varepsilon$  değeri buradan kolaylıkla elde edilebilir. Burada  $E_{K\alpha}$   $K\alpha$  X-ışını enerjisi  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  ve  $A_3$  en küçük kareler metodundan bulunabilecek sabitlerdir. Bu şekilde bulunan fit edilmiş değerlerle deneysel değerler arasındaki fark %2'den küçüktür. Aslında bu farkın önemli bir kısmı  $K$  veya  $K\alpha$  tepesinin tek enerjili tepe olmamasından, dolayısıyla enerji için hesaplanan ortalama değerlerin enerjiyi tam temsil etmemesinden kaynaklanmaktadır (Demir 2005). Buna göre  $I_{K\beta} / I_{K\alpha}$   $K$  X-ışını şiddet oranları için (3.1) ifadesinden hareketle;

$$\frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}} = \frac{N_{K\beta} \beta_{K\alpha} \varepsilon_{K\alpha}}{N_{K\alpha} \beta_{K\beta} \varepsilon_{K\beta}} \quad (3.5)$$

eşitliği yazılabilir. Burada  $N_{K\beta}$ ,  $N_{K\alpha}$  ilgili piklerinin altındaki net sayım,  $\beta_{K\alpha}$ ,  $\beta_{K\beta}$  numunenin ilgilenilen çizgileri için öz soğurma düzeltme katsayıları ve  $\varepsilon_{K\alpha}$ ,  $\varepsilon_{K\beta}$  ilgili  $K$  X-ışınları için dedektör verimleridir.

Benzer şekilde (3.1) ve (3.5) ifadelerinden hareketle  $L_i$  X-ışını çizgi şiddeti ve  $L$  X-ışını şiddet oranları;

$$\sigma_{L_i} = N_{L_i} [I_0 G \varepsilon_{L_i} \beta t]^{-1} \quad (3.6)$$

$$\frac{I_{L\beta}}{I_{L\alpha}} = \frac{N_{L\beta} \beta_{L\alpha} \varepsilon_{L\alpha}}{N_{L\alpha} \beta_{L\beta} \varepsilon_{L\beta}} \quad (3.7)$$

olarak yazılabilir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

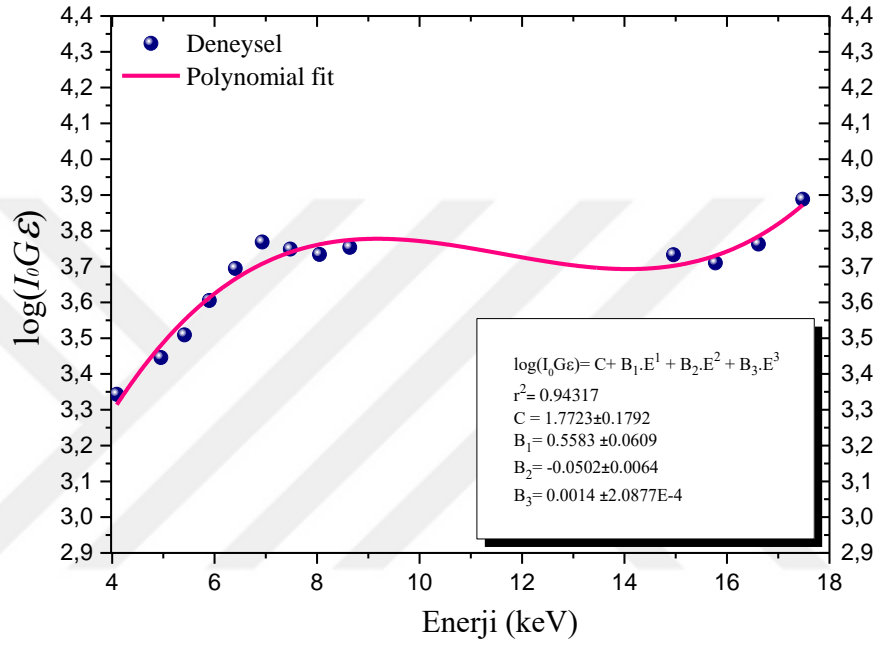
Bu çalışmada, geçiş metallere bir alt serisi olan lantanitlerden, Gd, Dy ve Er elementleri ve  $CeO_2$ ,  $Pr_6O_{11}$ ,  $Sm_2(SO_4)_3$ ,  $Eu_2O_3$ ,  $Ho_2O_3$ ,  $Tm_2O_3$ ,  $Yb_2O_3$  ve  $Lu_2O_3$  bileşikleri 50-400°C sıcaklık aralığında 50°C'lik adımlarla sıcaklık değiştirilmek sureti ile 100mCi şiddetinde Am-241 radyoaktif halka kaynaktan yayınlanan 59.54 keV foton enerjisi kullanılarak uyarıldı ve yayınlanan X-ışınları bir Si(Li) katihal sayacı yardımı ile detekte edildi. Bütün X-ışını spektrumlarının net pik alanları belirlenerek her bir element ve bileşik için üretim tesir kesitlerinin, FWHM değerlerinin ve L X-ışını şiddet oranlarının sıcaklığa bağlı değişimi yorumlandı.

Lantanit element ve bileşiklerinde  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  üretim tesir kesitleri ( $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$  ve  $\sigma_{L\beta_2}$ ), FWHM değerleri ve L X-ışını şiddet oranları belirtilen sıcaklık aralığında tablolar halinde sunulmuştur. Her bir element ve bileşik için L X-ışını spektrumları farklı sıcaklıklarda kıyaslamalı olarak grafiklerle sunulmuştur. Ayrıca  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$  ve  $\sigma_{L\beta_2}$  üretim tesir kesitlerinin ve L X-ışını şiddet oranlarının sıcaklıkla değişimleri de grafikler halinde sunulmuştur.

Çalışmanın birinci kısmında elde edilen bulgular; seçilen üç lantanit elementleri (Gd, Dy ve Er) için spektrumlar Şekil 4.2-4'te ve değerlendirilen sonuçlar tablolar halinde Çizelge 4.1-3'te grafik formda ise Şekil 4.5-7'de gösterilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise lantanit bileşikleri ( $CeO_2$ ,  $Pr_6O_{11}$ ,  $Sm_2(SO_4)_3$ ,  $Eu_2O_3$ ,  $Ho_2O_3$ ,  $Tm_2O_3$ ,  $Yb_2O_3$  ve  $Lu_2O_3$ ) için spektrumları Şekil 4.8-15'te ve değerlendirilen sonuçlar tablolar halinde Çizelge 4.4-11'de verilmiştir. Ayrıca bu sonuçlar grafik formda Şekil 4.16-23'te verilmiştir.

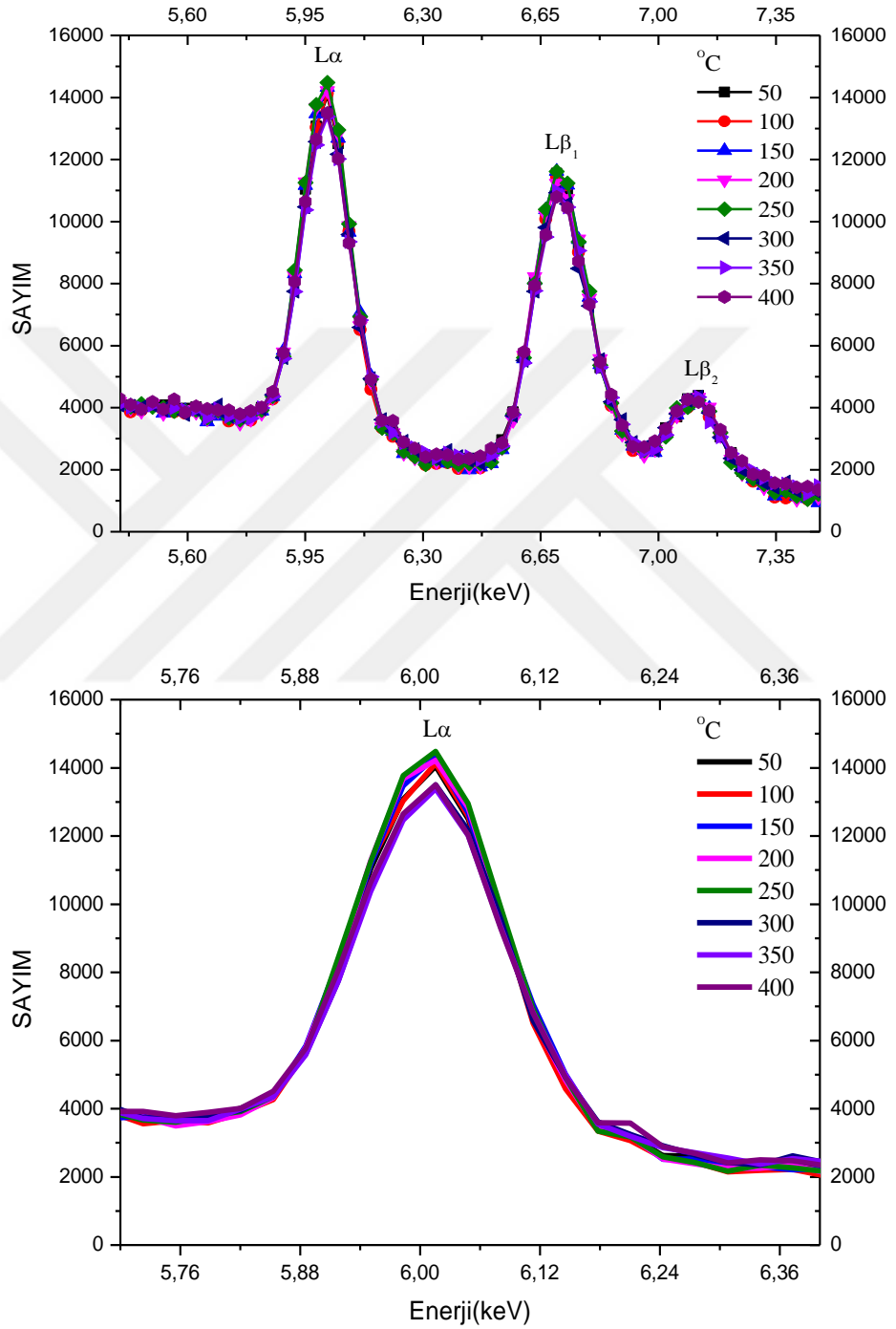
Şiddet oranlarını belirlemek için Scofield (1973, 1974) ile Hubbell (1994)'in tablolarından ve (3.7) denkleminde yararlanılmıştır. L X-ışını şiddet oranlarını hesaplamak için gerekli olan verim faktörünü ( $I_0G\varepsilon$ ) elde etmek için ana ölçülerin alındığı deney geometrisinde aynı deney koşulları muhafaza edilerek ilgili enerji bölgesine

düşen Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Nb ve Mo K X-ışınları ölçülmüş ve elde edilen K X-ışını şiddetlerinden faydalanılmıştır. Bu şekilde elde edilen  $I_0G\varepsilon$  değerlerinin  $K\alpha$  enerjisine karşılık gelen değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir (Kavaz 2016).



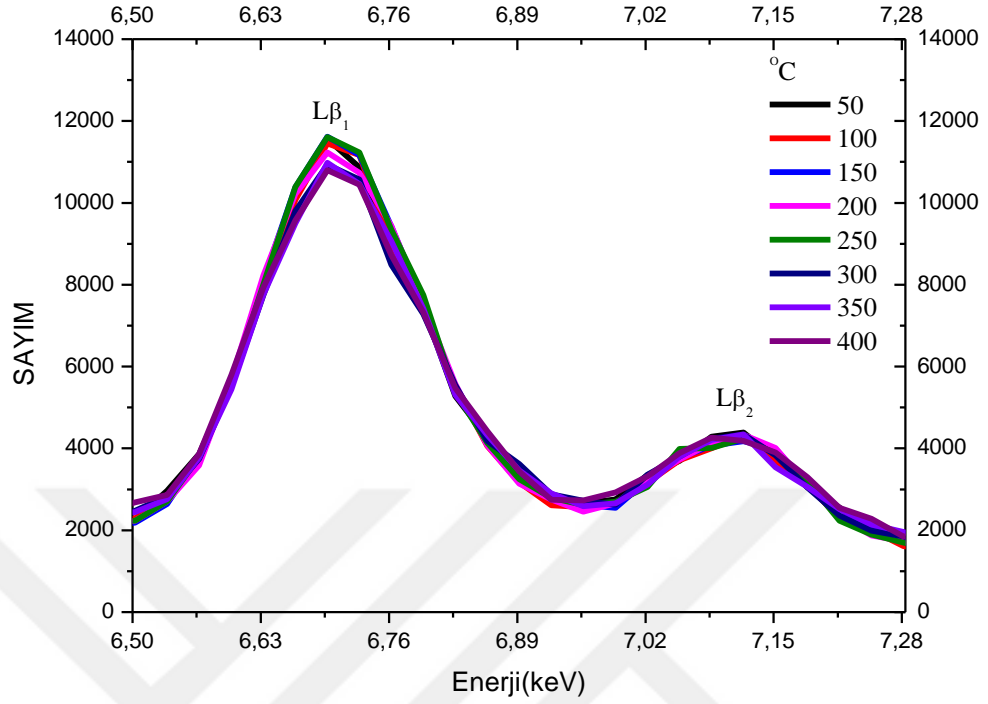
**Şekil 4.1.** <sup>241</sup>Am radyoaktif kaynak için Si(Li) dedektör veriminin E(K $\alpha$ ) enerjisine karşılık gelen değişimi

#### 4.1. Lantanit Elementlerinden Gd, Dy ve Er Elementleri için Elde Edilen Bulgular ve Tartışma

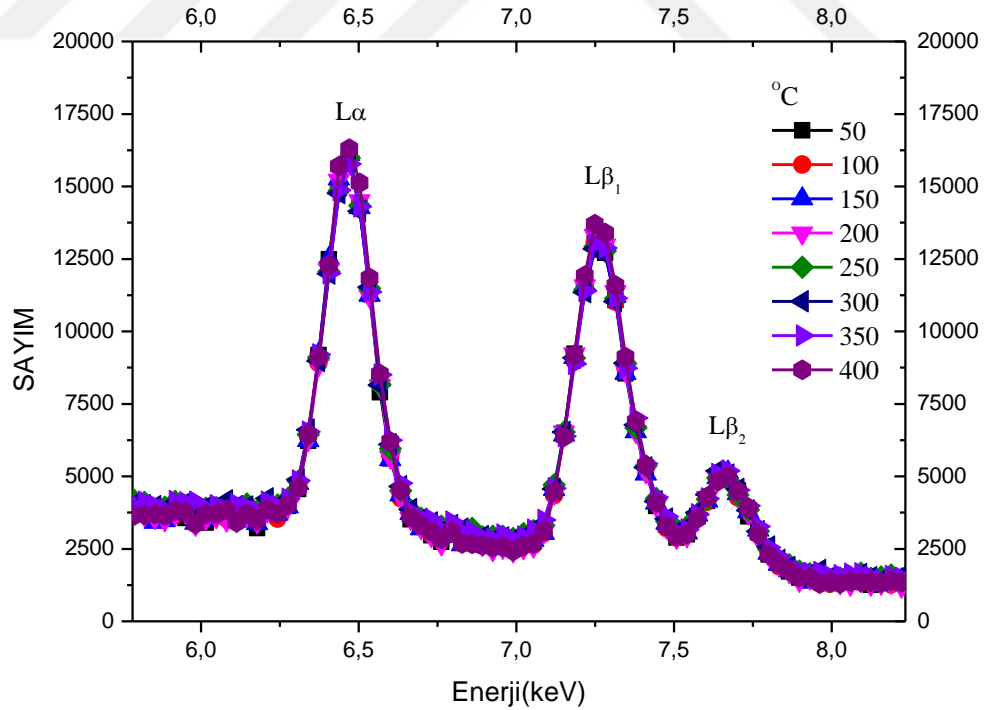


Şekil 4.2. (devam)

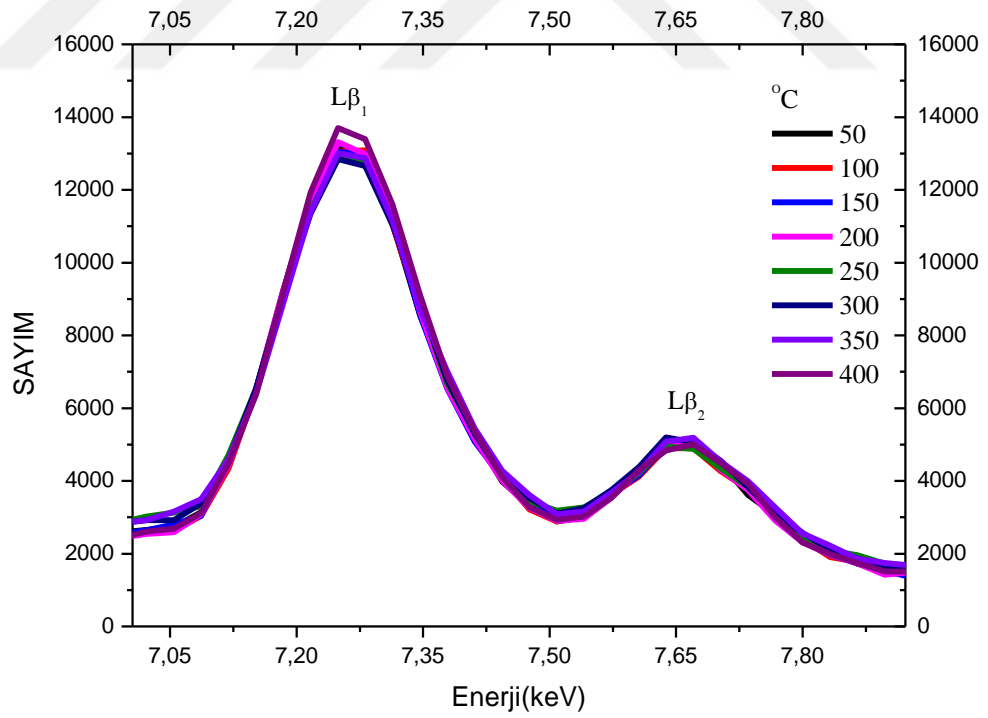
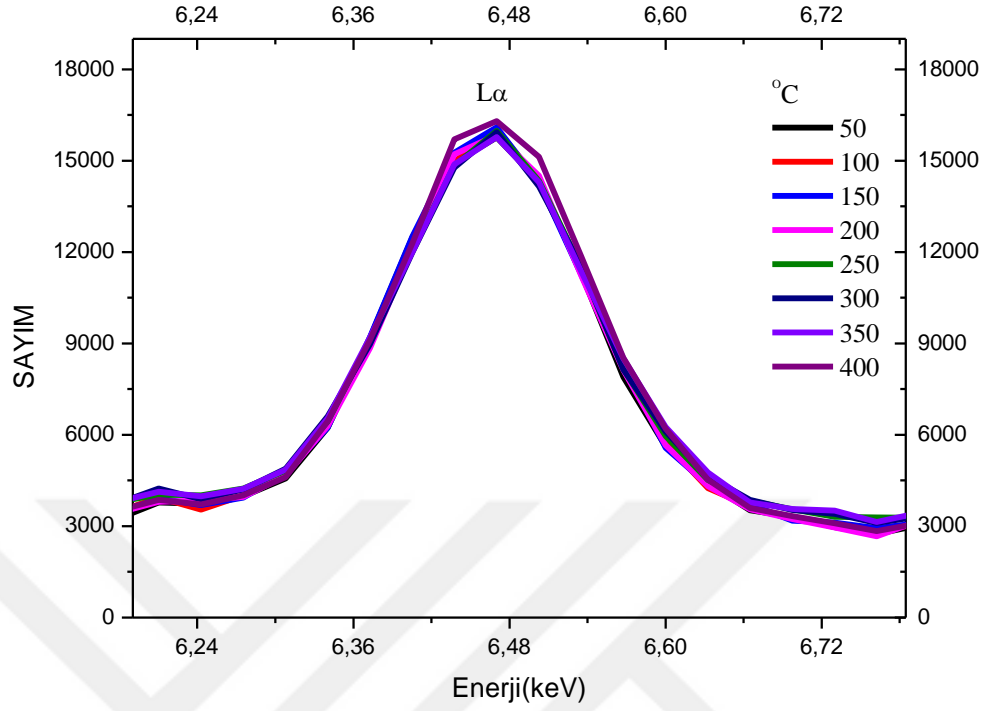




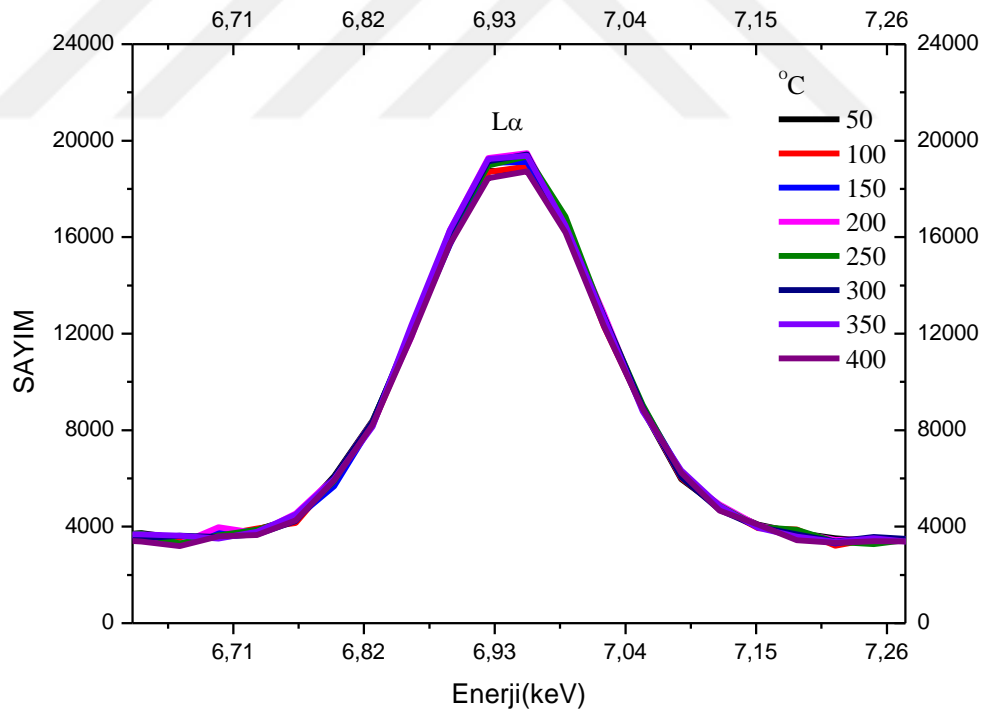
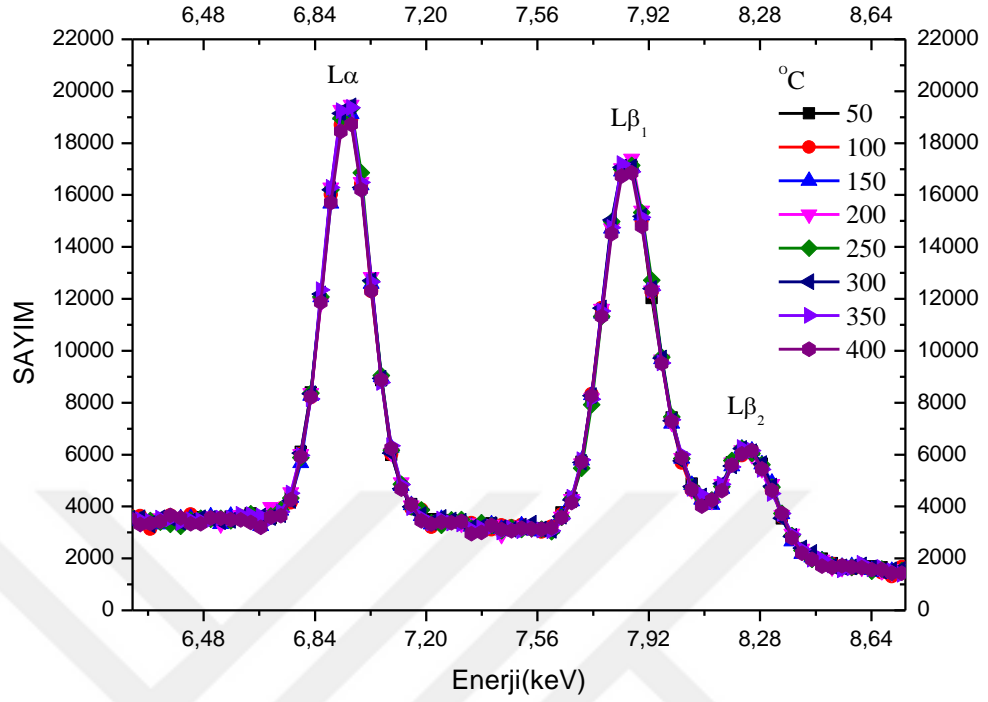
Şekil 4.2. Gd elementi için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları



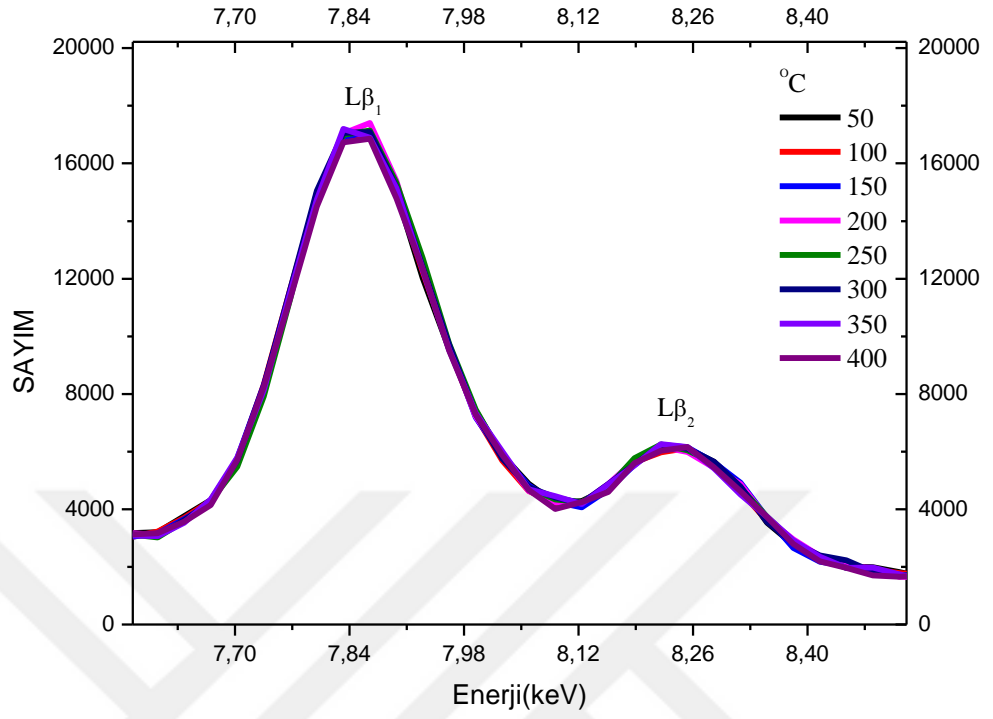
Şekil 4.3. (devam)



Şekil 4.3. Dy elementi için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları



Şekil 4.4. (devam)



Şekil 4.4. Er elementi için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları

**Çizelge 4.1.** Gd elementi için farklı sıcaklıklarda  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$ ,  $\sigma_{L\beta2}$  (cm<sup>2</sup>/g),  $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$  ve FWHM değerleri

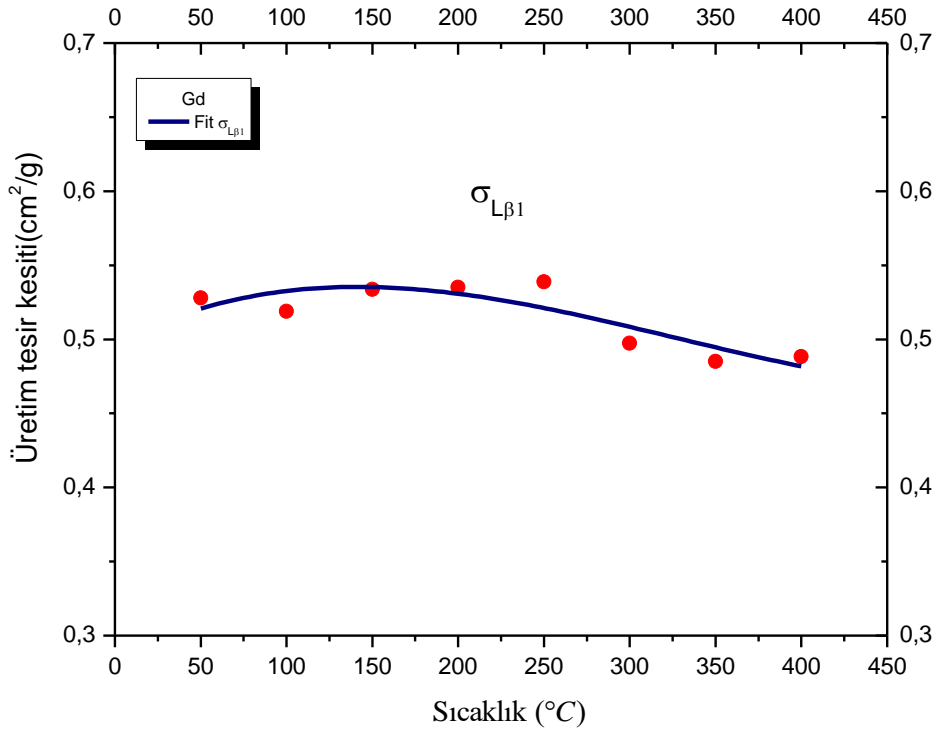
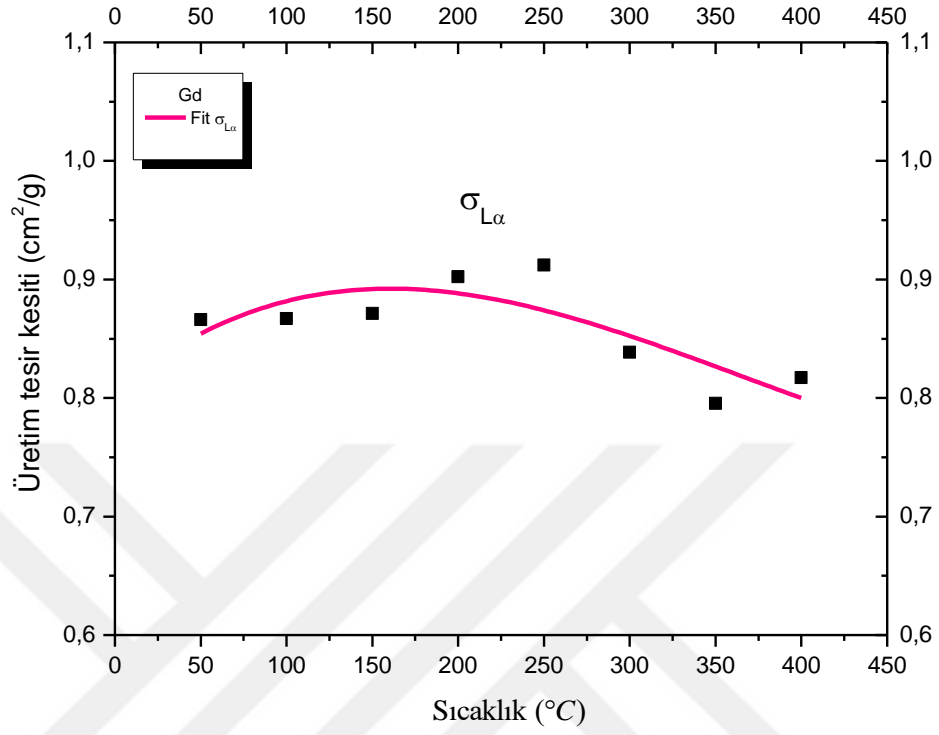
Gd								
Sıcaklık °C	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta1}$	$\sigma_{L\beta2}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$	FWHM		
						$L\alpha$	$L\beta1$	$L\beta2$
50	0,86593	0,52793	0,13526	1,64025	6,40181	7,03050	7,08875	7,79368
100	0,86699	0,51898	0,12524	1,67058	6,92264	7,03249	6,85810	7,40082
150	0,87120	0,53380	0,14010	1,63207	6,21837	6,59828	6,87591	8,16636
200	0,90217	0,53506	0,13958	1,68611	6,46326	7,01907	7,05672	7,89157
250	0,91204	0,53878	0,13398	1,69280	6,80724	7,08819	7,01491	7,83385
300	0,83844	0,49744	0,12483	1,68551	6,71668	7,23405	7,10955	7,75367
350	0,79530	0,48509	0,11470	1,63948	6,93348	6,81805	6,97459	7,87489
400	0,81705	0,48820	0,12518	1,67361	6,52692	7,05760	7,09116	7,86570

**Çizelge 4.2.** Dy elementi için farklı sıcaklıklarda  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$ ,  $\sigma_{L\beta_2}$  (cm<sup>2</sup>/g),  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$  ve FWHM değerleri

Sıcaklık °C	Dy							
	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta_1}$	$\sigma_{L\beta_2}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$	FWHM (keV)		
						$L\alpha$	$L\beta_1$	$L\beta_2$
50	0,92451	0,57982	0,12751	1,59450	7,25040	7,96056	8,04004	6,98755
100	0,92593	0,55822	0,13560	1,65873	6,82847	7,96506	7,63825	7,50778
150	0,95237	0,57676	0,12985	1,65122	7,33436	8,14460	7,94438	7,01031
200	0,93466	0,57366	0,13613	1,62927	6,86575	7,97176	7,67041	7,50740
250	0,91100	0,57406	0,12679	1,58695	7,18528	8,14456	8,27001	7,42367
300	0,91822	0,56721	0,13388	1,61883	6,85854	8,27896	8,15438	7,38430
350	0,90805	0,56333	0,12256	1,61193	7,40898	8,13225	8,11146	7,02955
400	0,98852	0,60311	0,13362	1,63904	7,39802	8,16225	7,89474	7,14033

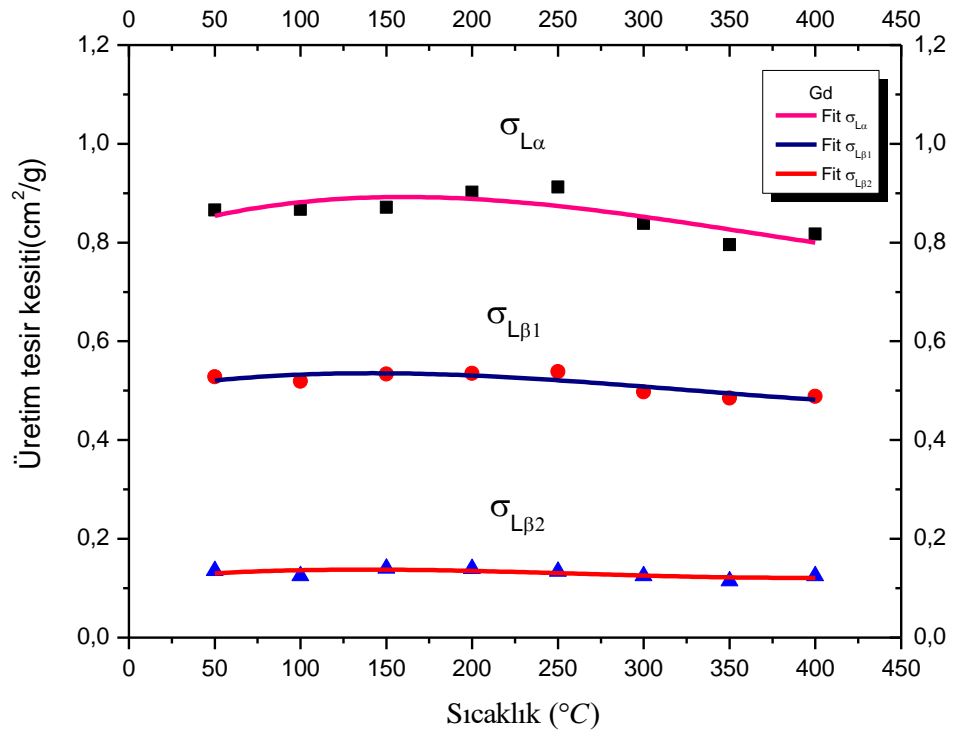
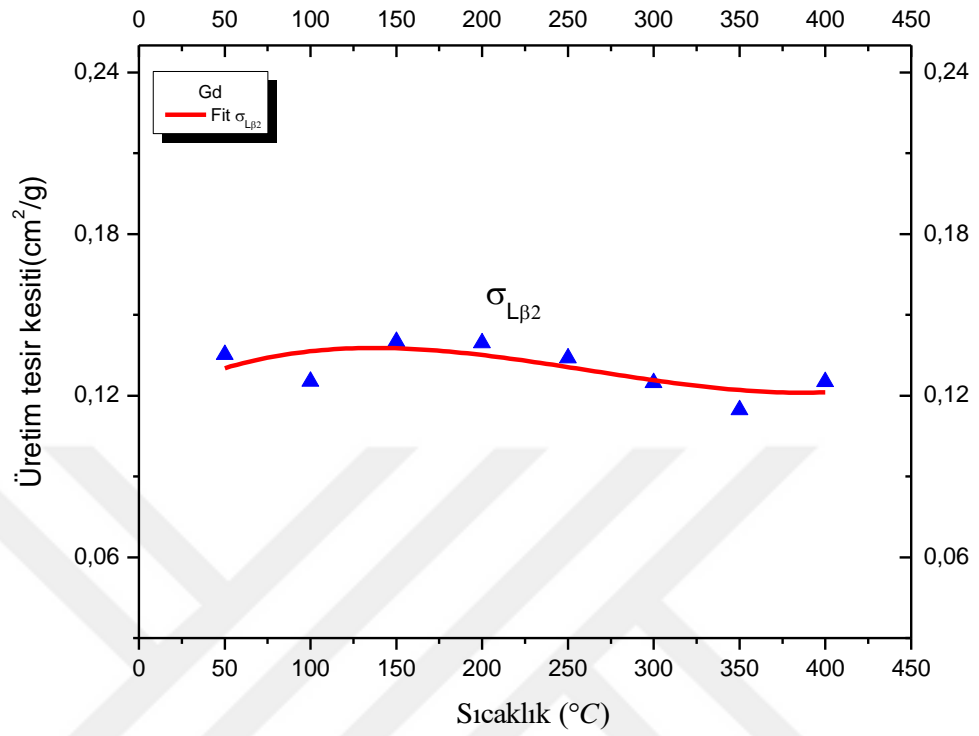
**Çizelge 4.3.** Er elementi için farklı sıcaklıklarda  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$ ,  $\sigma_{L\beta2}$  ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ),  $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$  ve FWHM değerleri

Er								
Sıcaklık °C	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta1}$	$\sigma_{L\beta2}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$	FWHM (keV)		
						$L\alpha$	$L\beta1$	$L\beta2$
50	0,94904	0,70473	0,16915	1,34667	5,61051	6,04168	7,12535	6,47781
100	0,92694	0,70220	0,18438	1,32005	5,02733	5,81542	6,94134	7,40909
150	0,95020	0,71070	0,17145	1,33699	5,54216	5,97068	7,06741	6,40529
200	0,96599	0,71203	0,17860	1,35667	5,40861	5,96843	6,99669	6,62943
250	0,96681	0,71194	0,17785	1,35800	5,43612	5,84449	6,99879	6,57866
300	0,97343	0,71785	0,17578	1,35604	5,53768	6,02067	7,08910	6,42420
350	0,97186	0,71473	0,16844	1,35975	5,76960	6,04741	7,05773	6,33389
400	0,95883	0,71193	0,16915	1,34680	5,66851	6,16280	7,21297	6,26307

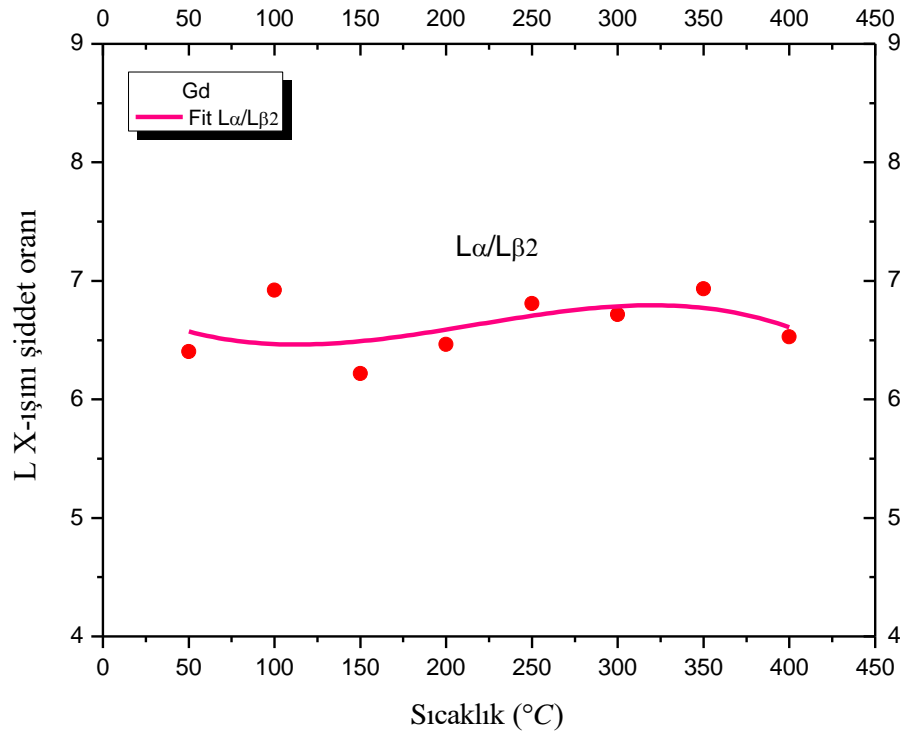
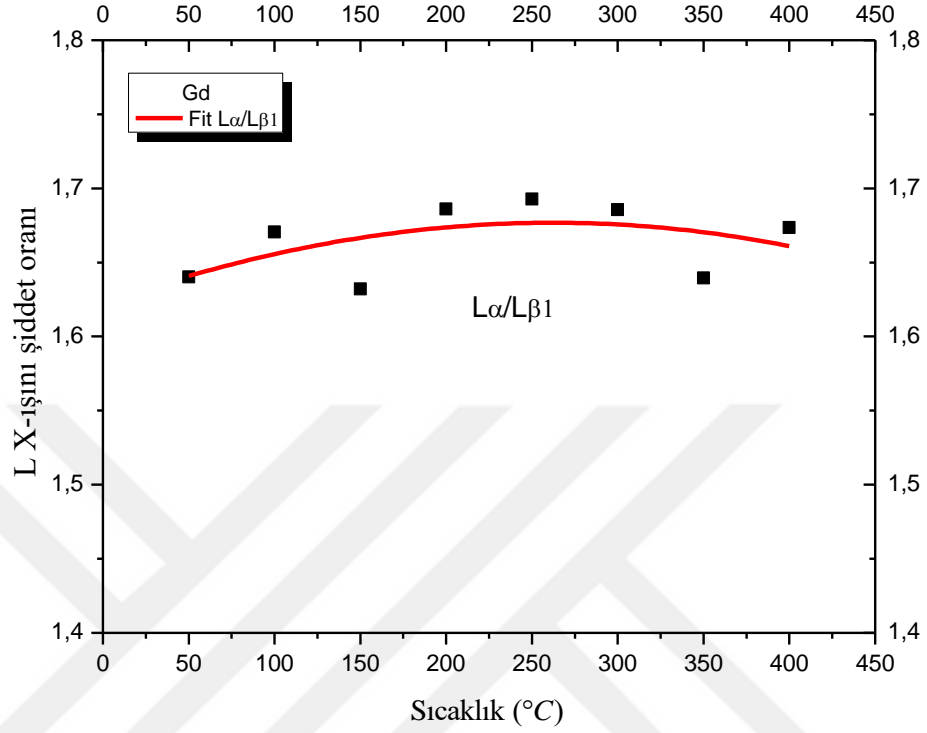


Şekil 4.5. (devam)

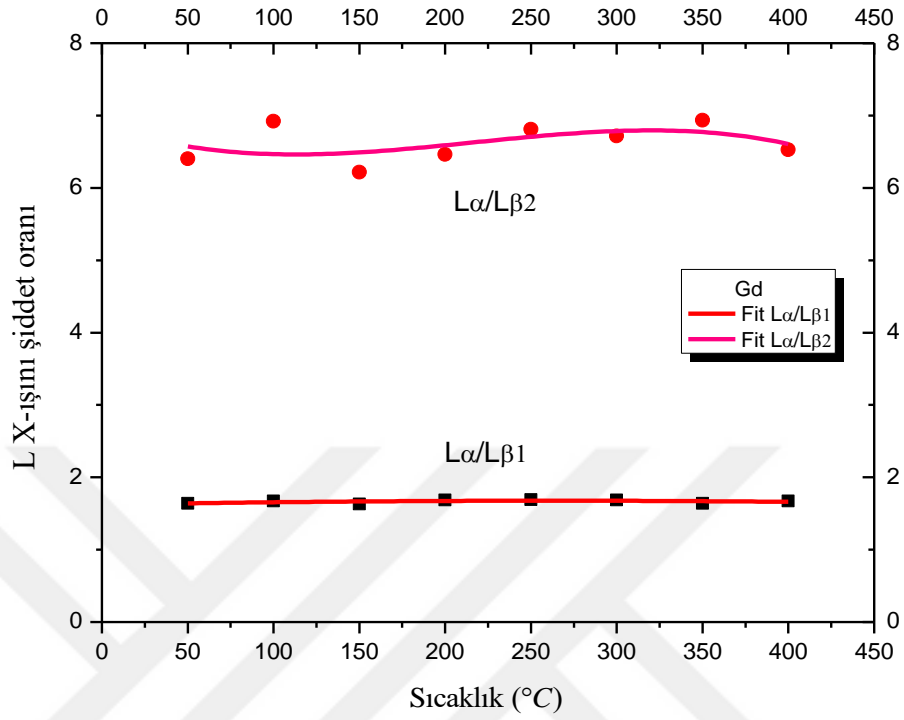




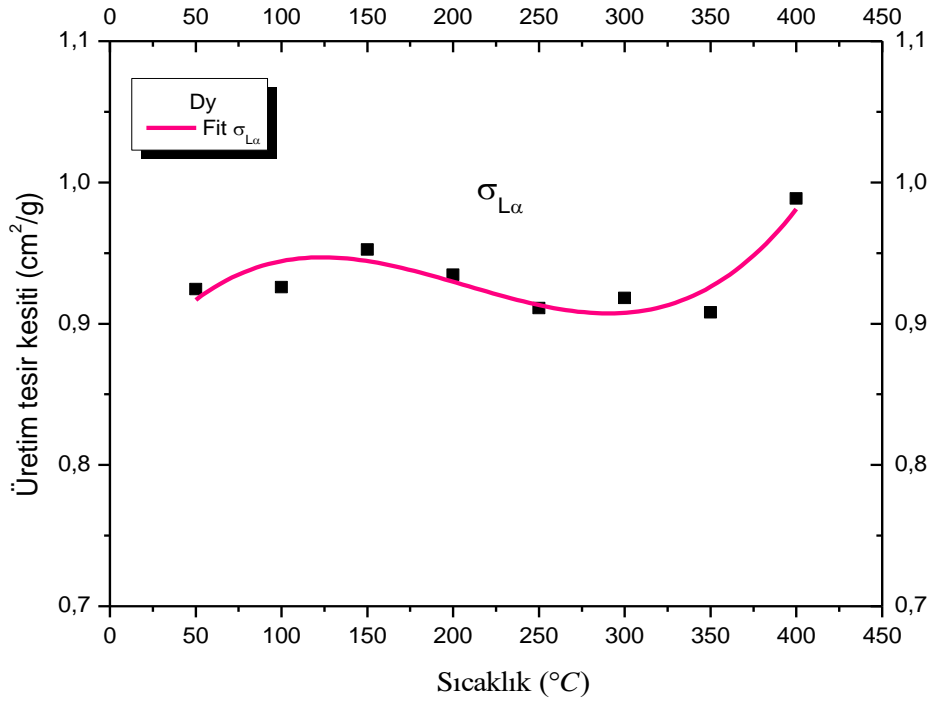
Şekil 4.5. (devam)



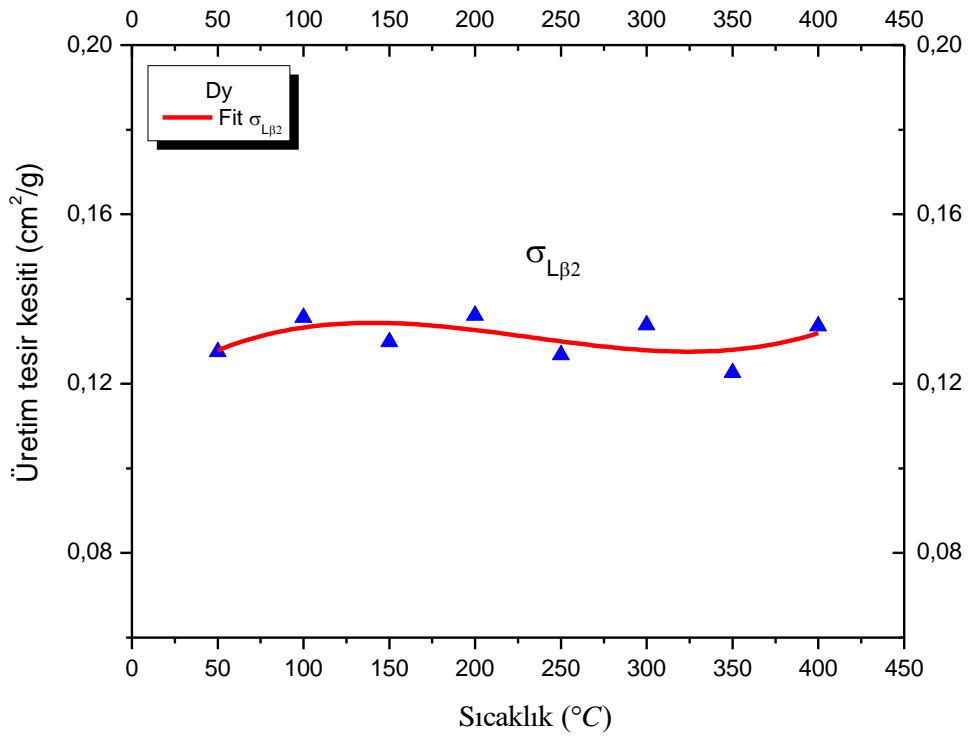
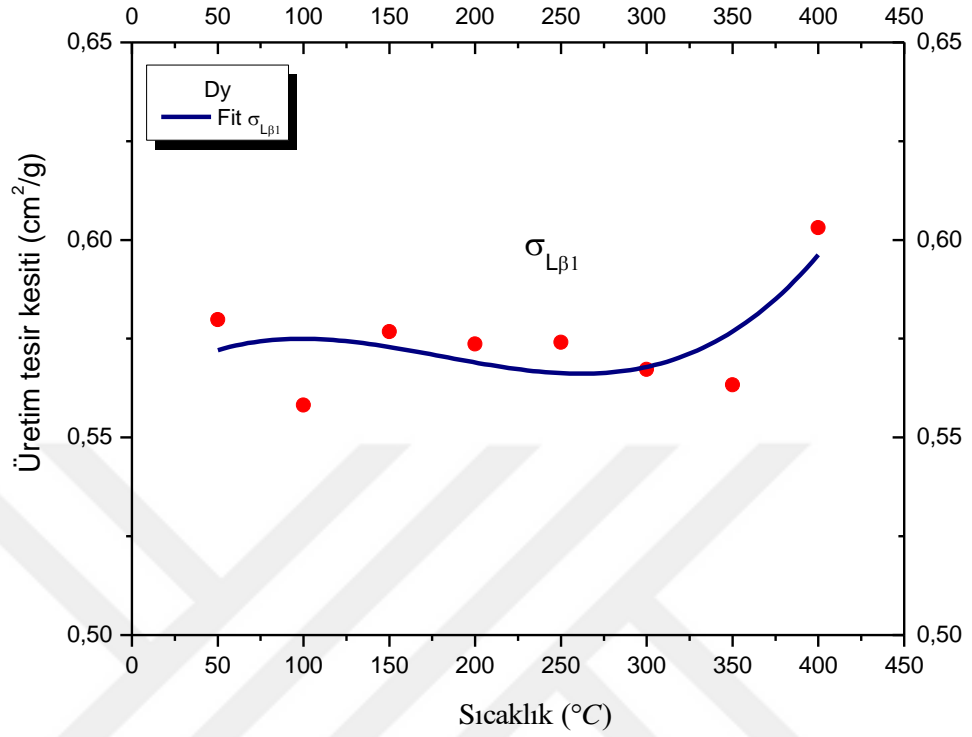
Şekil 4.5. (devam)



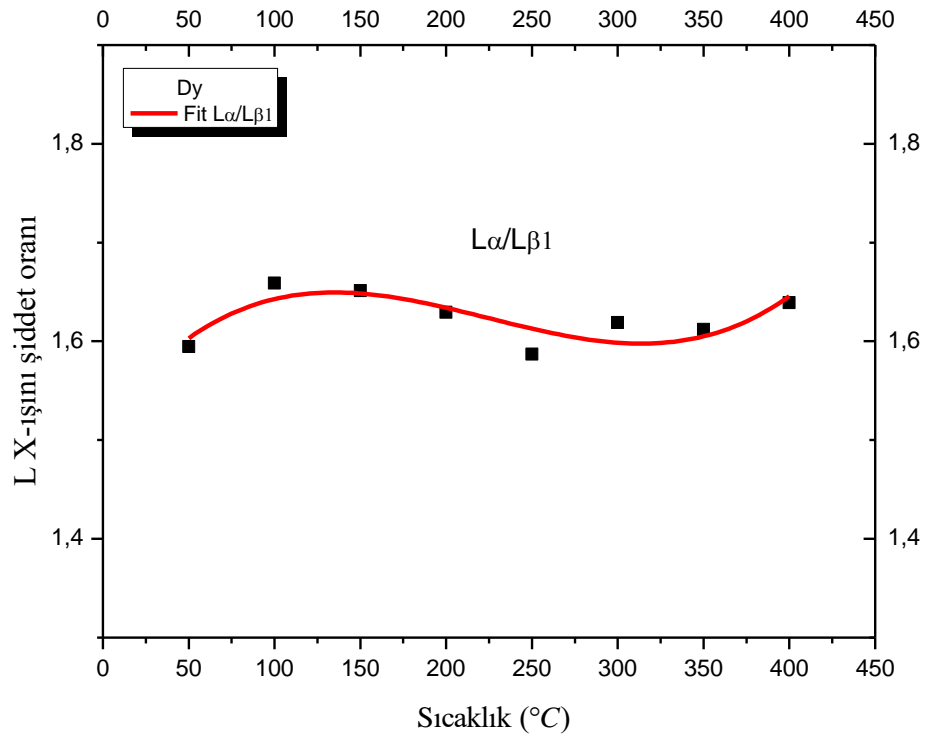
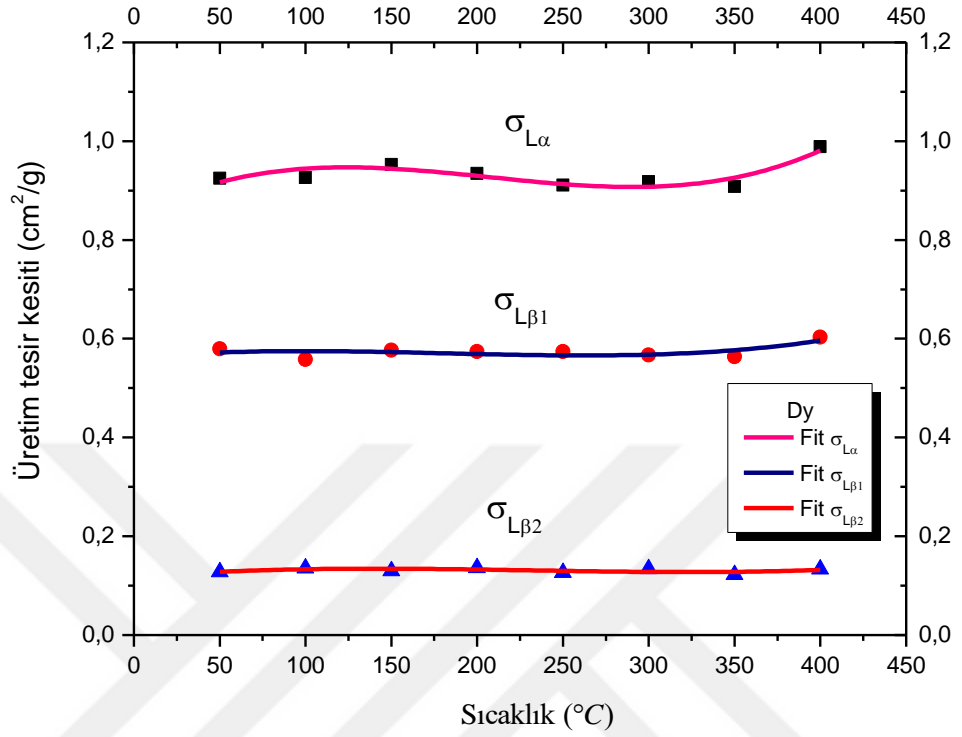
Şekil 4.5. Gd için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak  $I_{L\alpha}/I_{L\beta 1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta 2}$ ,  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta 1}$  ve  $\sigma_{L\beta 2}$ 'nin değişimi



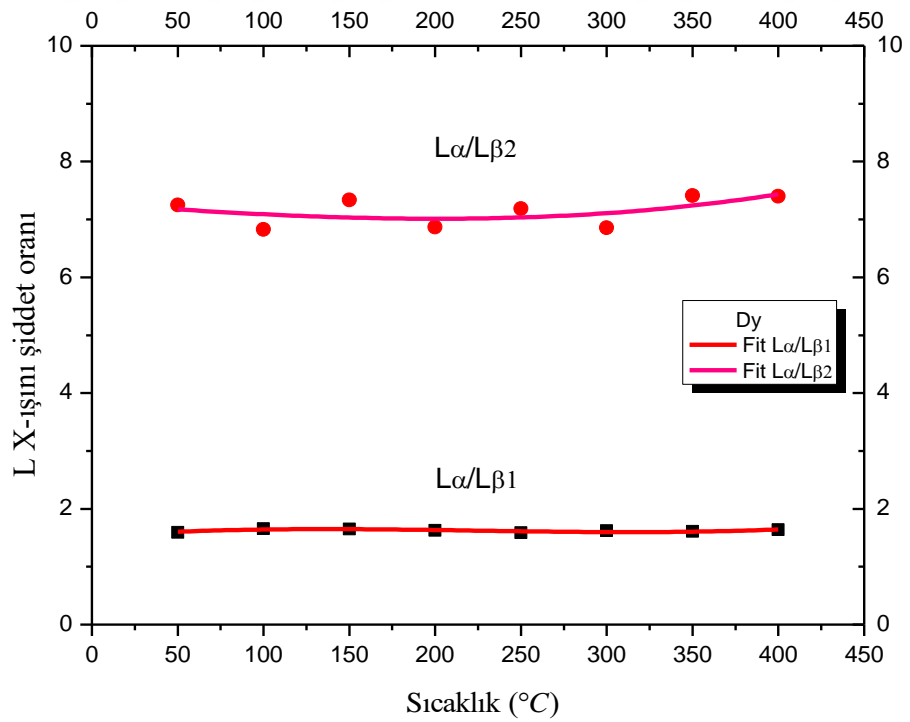
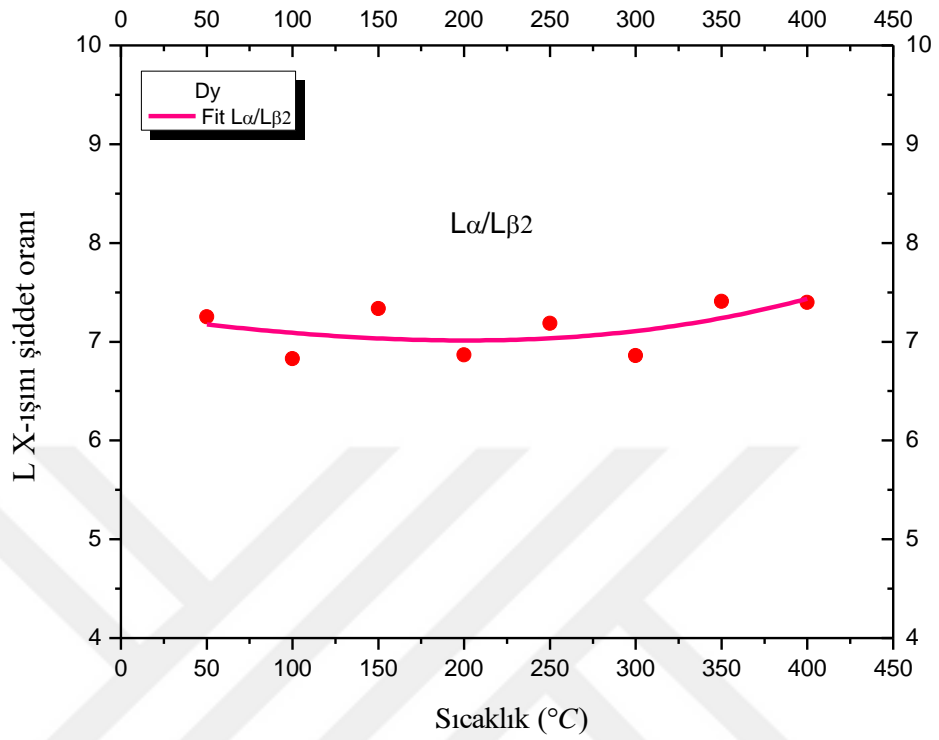
Şekil 4.6. (devam)



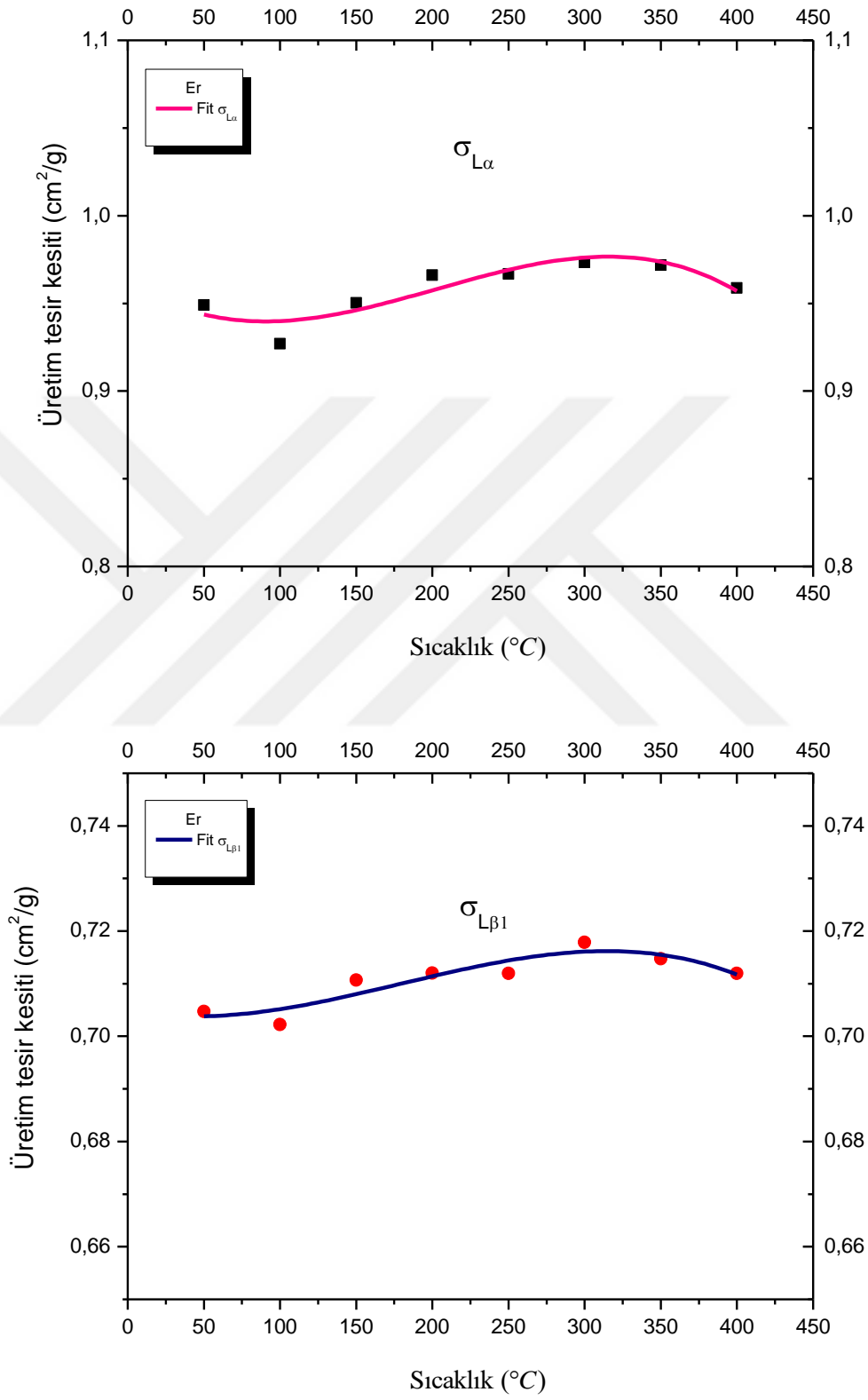
Şekil 4.6. (devam)



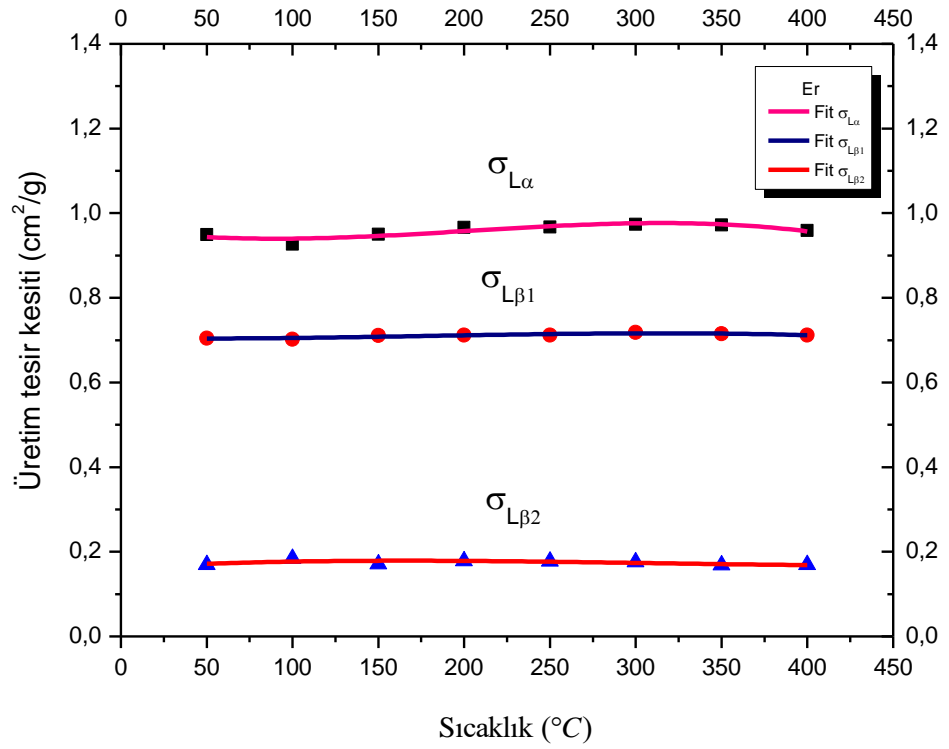
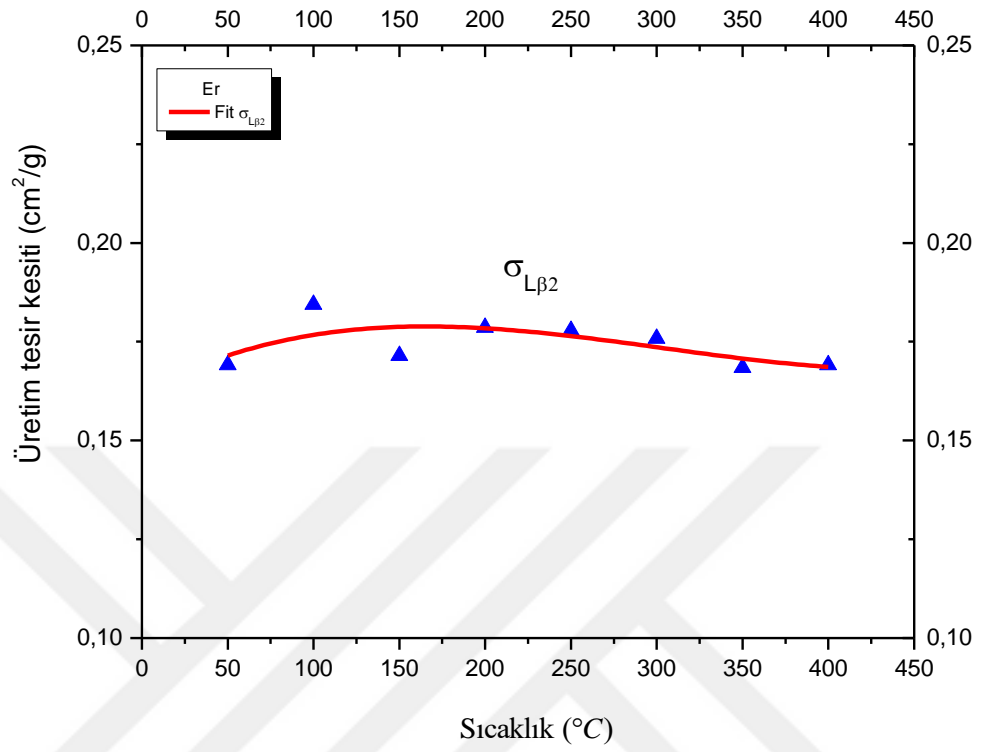
Şekil 4.6. (devam)



**Şekil 4.6.** Dy için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$ ,  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$  ve  $\sigma_{L\beta_2}$ 'nin değişimi

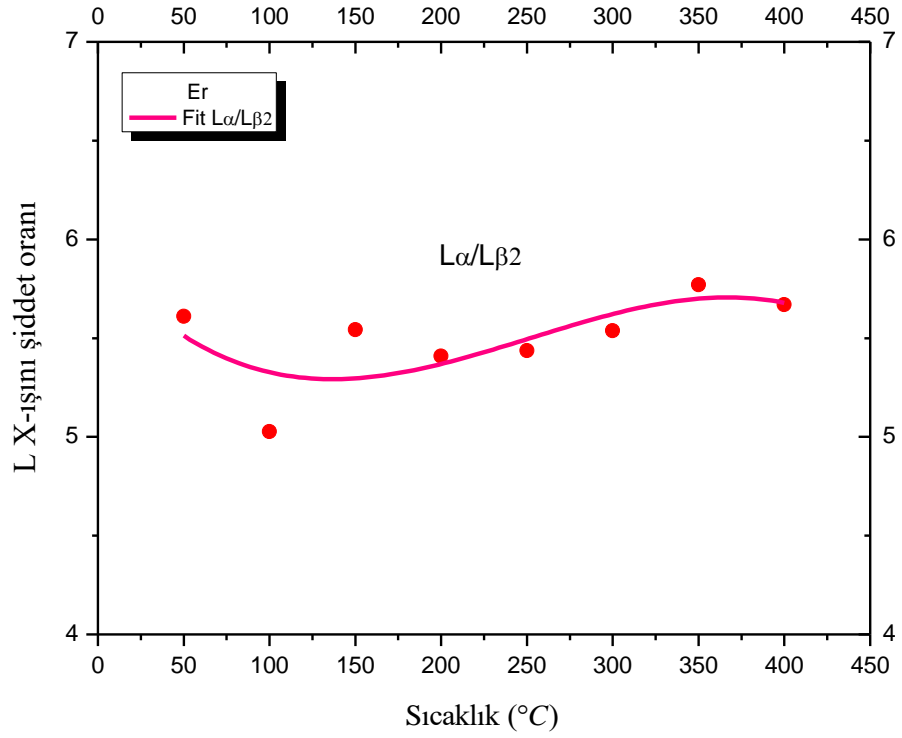
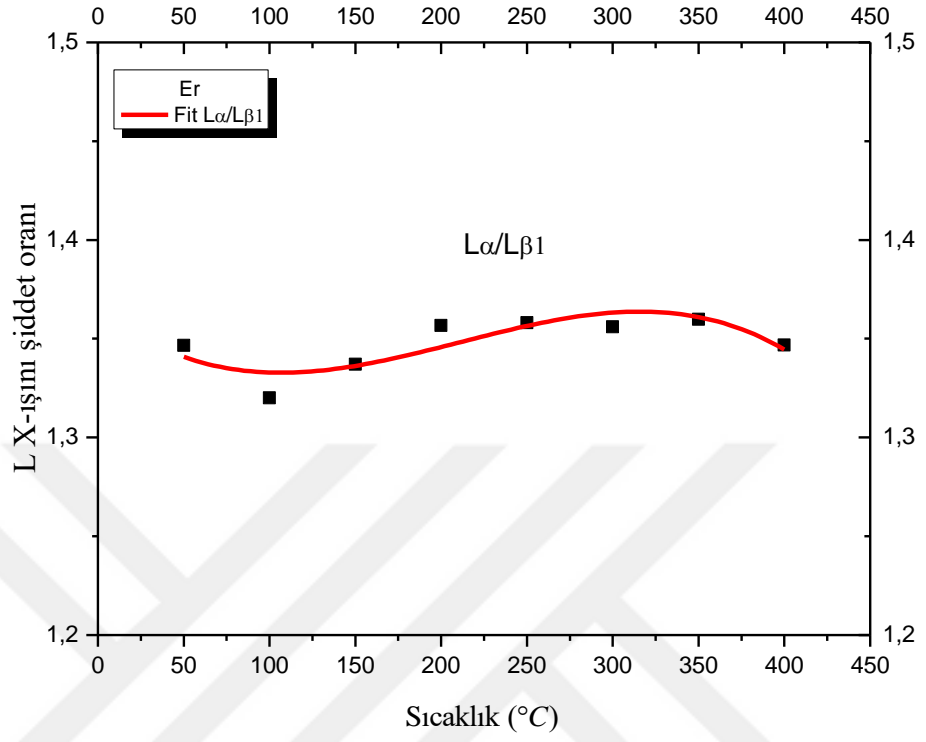


Şekil 4.7. (devam)

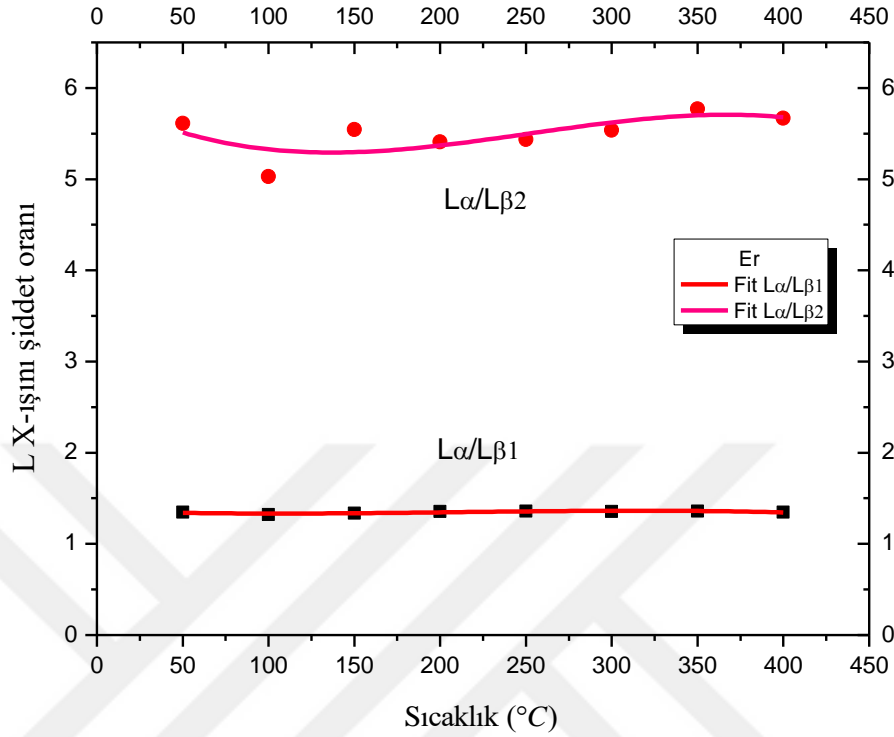


Şekil 4.7. (devam)





Şekil 4.7. (devam)



**Şekil 4.7.** Er için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$ ,  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$  ve  $\sigma_{L\beta_2}$ 'nin değişimi

Lantanit elementlerinden Gd, Dy ve Er için elde edilen L X-ışını spektrumları Şekil 4.2-4'te verilmiştir. İlgili spektrumlar Gd, Dy ve Er elementleri için  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  X-ışını piklerinin şiddetine karşılık enerji olacak biçimde Origin 8.5 programı kullanılarak seçilen sıcaklık aralığındaki tüm ölçüler için çizilmiştir. Gd, Dy ve Er elementlerinin elde edilen spektrumlarının değerlendirilmesi ile elde edilen L X-ışını şiddet oranları ( $I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$  ve  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$ ),  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  X-ışını üretim tesir kesitleri ( $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$  ve  $\sigma_{L\beta_2}$ ) ve FWHM değerleri Çizelge 4.1-3'te verilmiştir. Ayrıca Gd, Dy ve Er için  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$ ,  $\sigma_{L\beta_2}$ , ve  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$  parametrelerinin sıcaklıkla değişimi grafik formda Şekil 4.5-7'de gösterilmiştir.

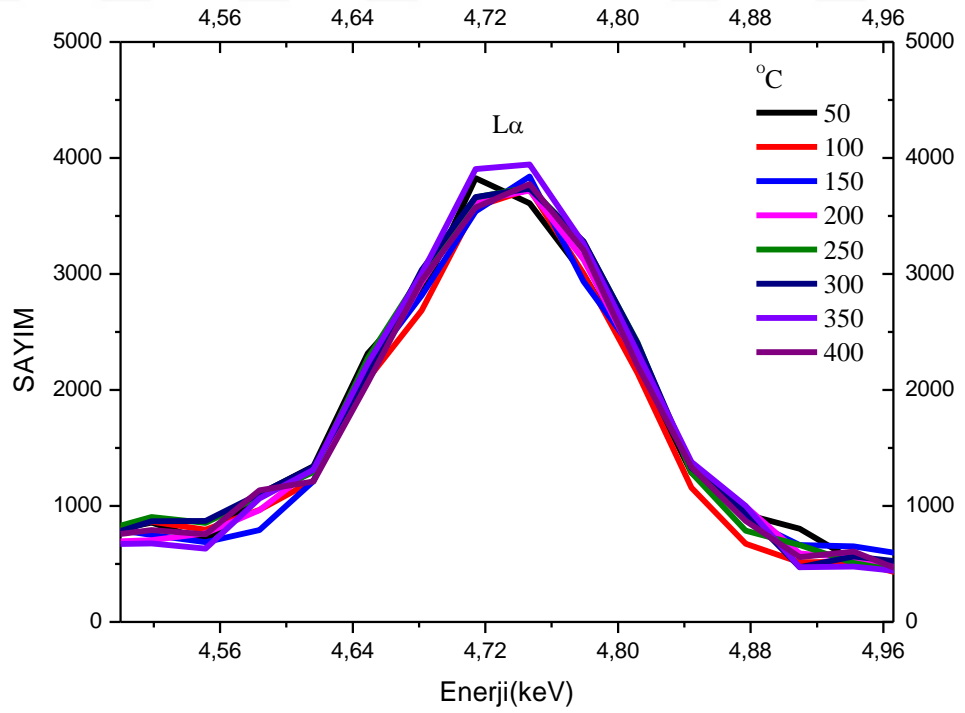
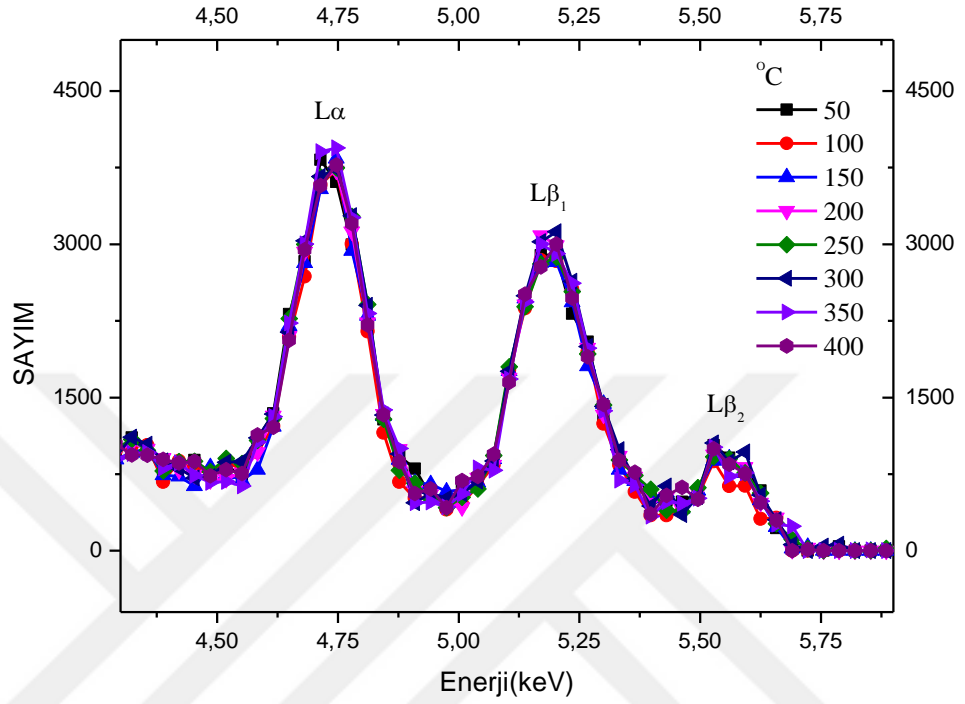
Saf lantanit metalleri için elde edilen spektrumlar incelendiğinde sıcaklığa bağlı değişimler gözlemlendi. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.5'te görüldüğü gibi Gd elementinin  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$  ve  $\sigma_{L\beta_2}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar küçük bir oranda artmanın ardından 400°C'ye kadar bir azalma görülmüştür. Üretim tesir kesitlerindeki en fazla

değişim sırasıyla  $\sigma_{L\beta_2}$  (%22,1),  $\sigma_{L\alpha}$  (%14,6) ve  $\sigma_{L\beta_1}$  (%11,1) olduğu görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_1$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 250°C'ye kadar bir artmanın ardından 400°C'ye kadar küçük bir azalma görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_2$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar küçük bir oranda azalmanın ardından 350°C'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir azalma görülmüştür. L X-ışını şiddet oranlarındaki en fazla değişim sırasıyla  $L\alpha/L\beta_2$  (%11,3) ve  $L\alpha/L\beta_1$  (%3,7) olup artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Piklerin FWHM değerleri ise  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  için düzenli bir değişim göstermeyip  $L\alpha$  ve  $L\beta_1$  için yaklaşık sabit  $L\beta_2$  için artma eğiliminde olduğu söylenebilir ve en büyük değişim sırasıyla 0,43, 0,23 ve 0,39 eV'dir. Bu değişime  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  piklerinin artan sıcaklıkla daha da yayvanlaşmasından kaynaklanabilir.  $4f^75d^16s^2$  elektron dizilimine sahip olan Gd'nin yedi yarı dolu f ve bir yarı dolu d orbitali vardır.

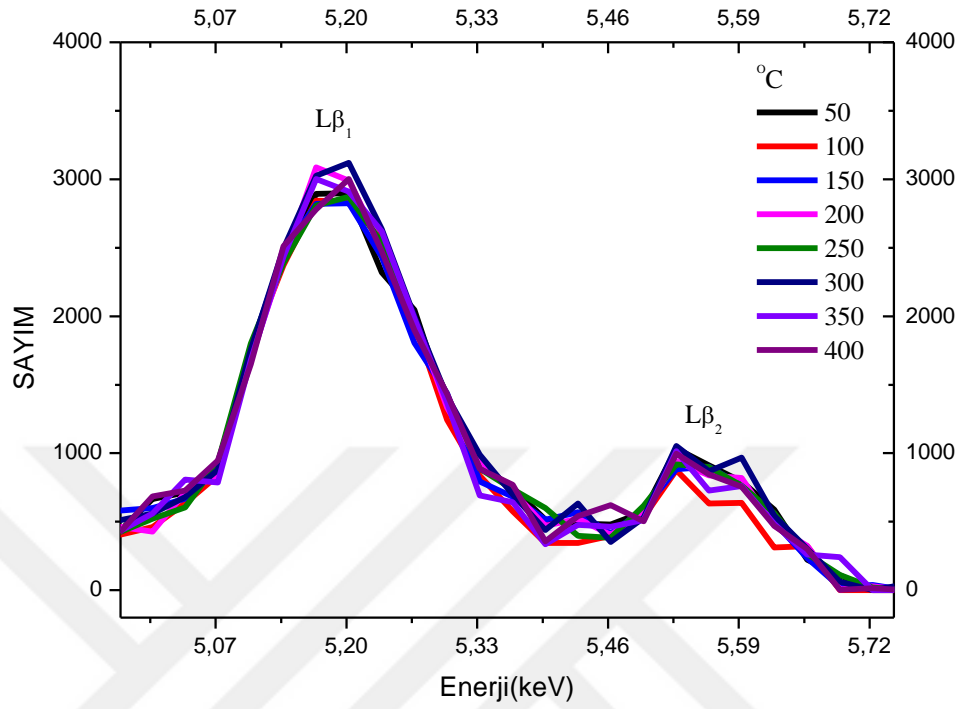
Dy elementi için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.  $\sigma_{L\alpha}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar küçük bir oranda artmanın ardından 300°C'ye kadar bir azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir artış görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_1}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 100°C'ye kadar küçük bir artmanın ardından 300°C'ye kadar bir azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir artma görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_2}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 100°C'ye kadar küçük bir artmanın ardından 350°C'ye kadar bir azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir artma görülmüştür. Üretim tesir kesitlerindeki en fazla değişim sırasıyla  $\sigma_{L\beta_2}$  (%11,1),  $\sigma_{L\alpha}$  (%8,9) ve  $\sigma_{L\beta_1}$  (%8,0) olduğu görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_1$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar küçük bir oranda artmanın ardından 300°C'ye kadar bir azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir artış görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_2$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 200°C'ye kadar bir azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar bir artış görülmüştür. L X-ışını şiddet oranlarındaki en fazla değişim sırasıyla  $L\alpha/L\beta_2$  (%8,5) ve  $L\alpha/L\beta_1$  (%4,5) olup artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Piklerin FWHM değerleri ise  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  için düzenli bir değişim göstermeyip artma eğiliminde olduğu söylenebilir ve en büyük değişim sırasıyla 0,32, 0,63 ve 0,52 eV'dir.  $4f^{10}6s^2$  elektron dizilimine sahip olan Dy'nin dört yarı dolu f orbitali vardır.

Er elementi için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3 ve Şekil 4.7'de verilmiştir.  $\sigma_{L\alpha}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 100°C'ye kadar küçük bir azalmanın ardından 300°C'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir azalma görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_1}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 300°C'ye kadar bir artmanın ardından 400°C'ye kadar bir azalma görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_2}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 200°C'ye kadar bir artmanın ardından 400°C'ye kadar bir azalma görülmüştür. Üretim tesir kesitlerindeki en fazla değişim sırasıyla  $\sigma_{L\beta_2}$  (%9,5),  $\sigma_{L\alpha}$  (%5,0) ve  $\sigma_{L\beta_1}$  (%2,2) olduğu görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_1$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 100°C'ye kadar küçük bir oranda azalmanın ardından 300°C'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir azalma görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_2$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 200°C'ye kadar bir azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar bir artış görülmüştür. L X-ışını şiddet oranlarındaki en fazla değişim sırasıyla  $L\alpha/L\beta_2$  (%14,8) ve  $L\alpha/L\beta_1$  (%3,0) olup artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Piklerin FWHM değerleri ise  $L\alpha$  için artma eğiliminde olup en büyük değişim sırasıyla 0,35 eV'dir.  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  için azalma eğiliminde olup en büyük değişim sırasıyla 0,27 ve 1,15 eV'dir.  $4f^{12}6s^2$  elektron dizilimine sahip olan Er'nin iki yarı dolu f orbitali vardır.

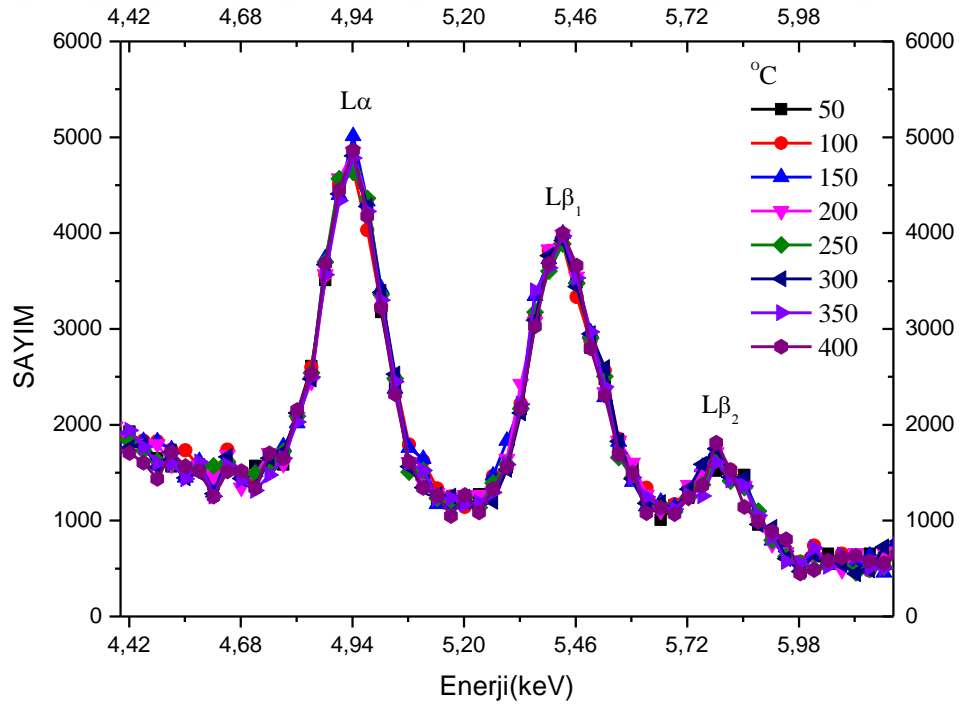
#### 4.2. Lantanit Bileşikleri için Elde Edilen Bulgular ve Tartışma



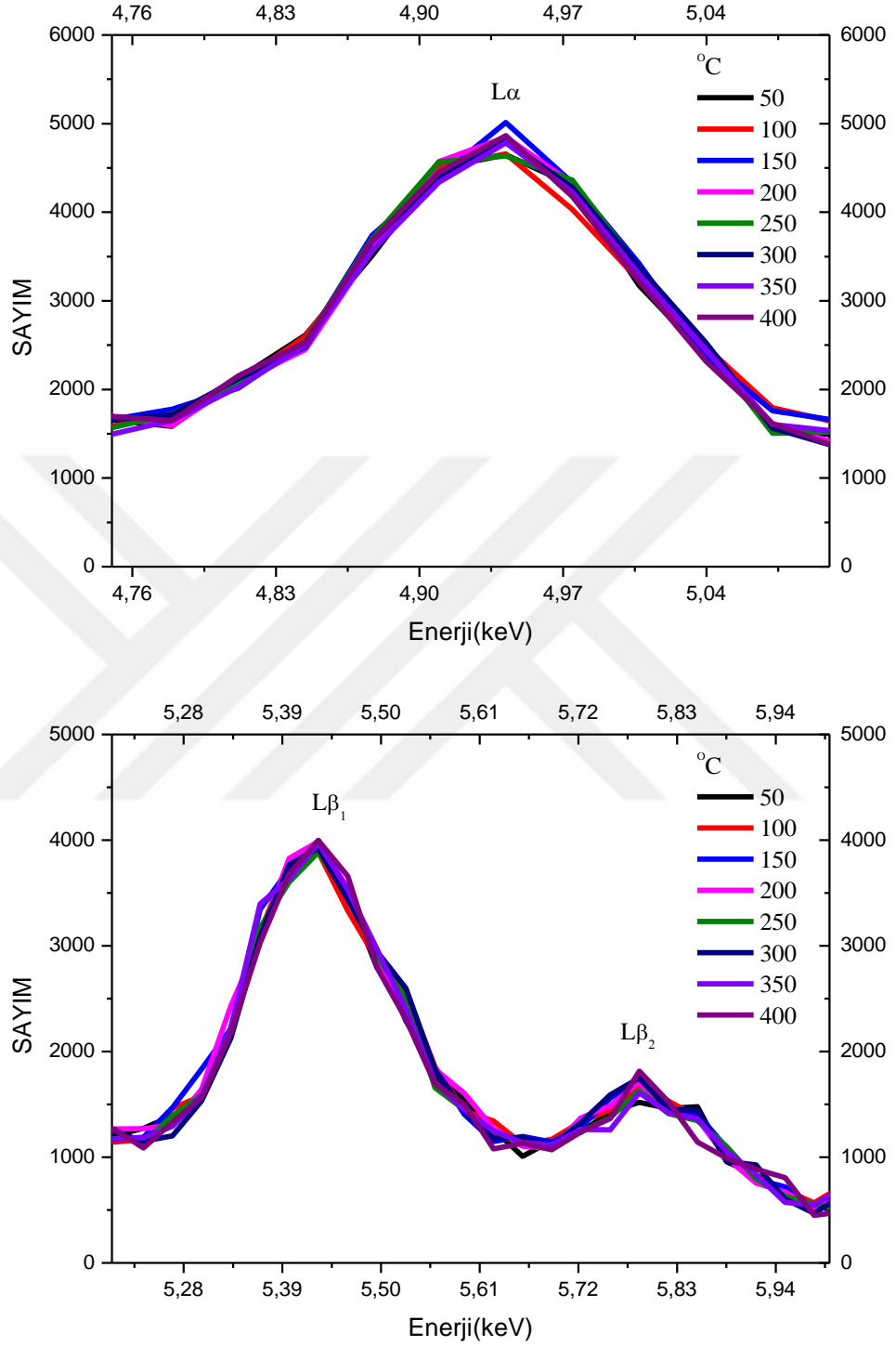
Şekil 4.8. (devam)



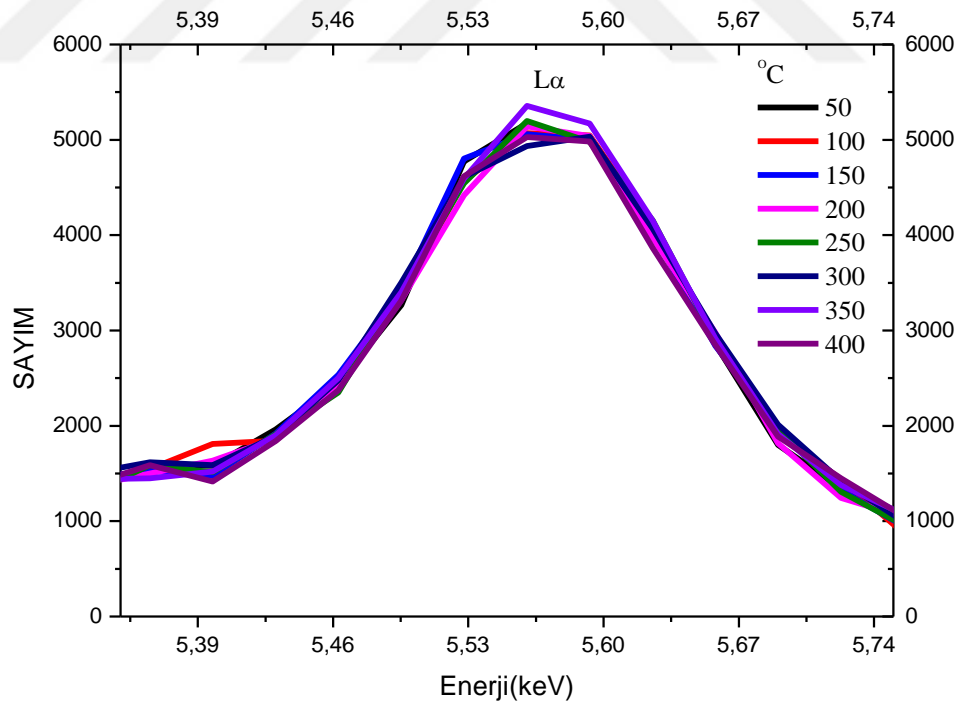
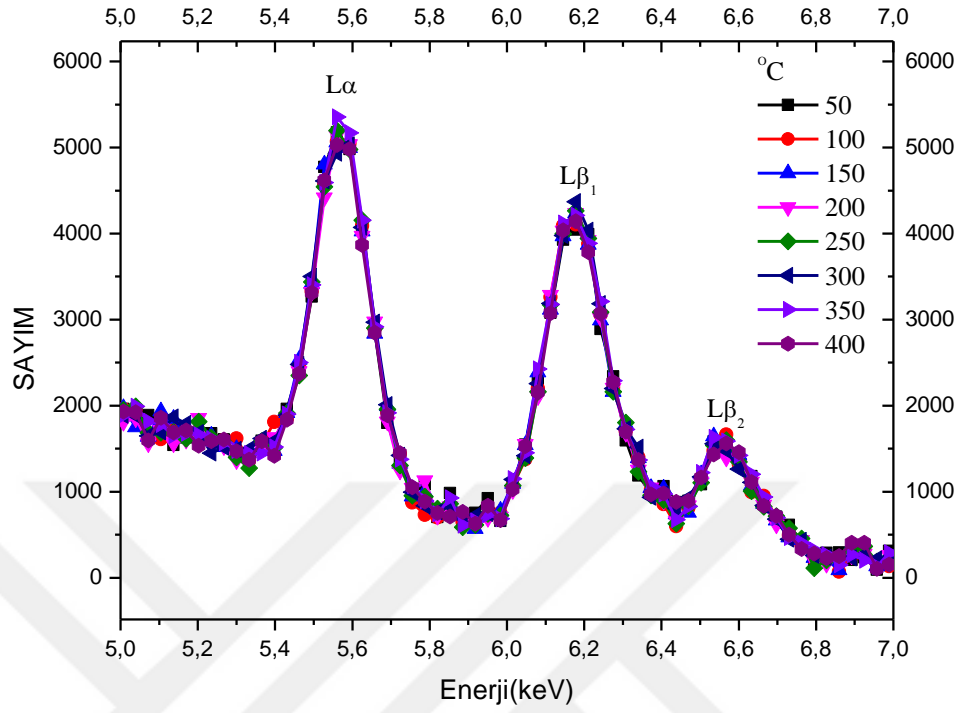
Şekil 4.8. CeO<sub>2</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları



Şekil 4.9. (devam)

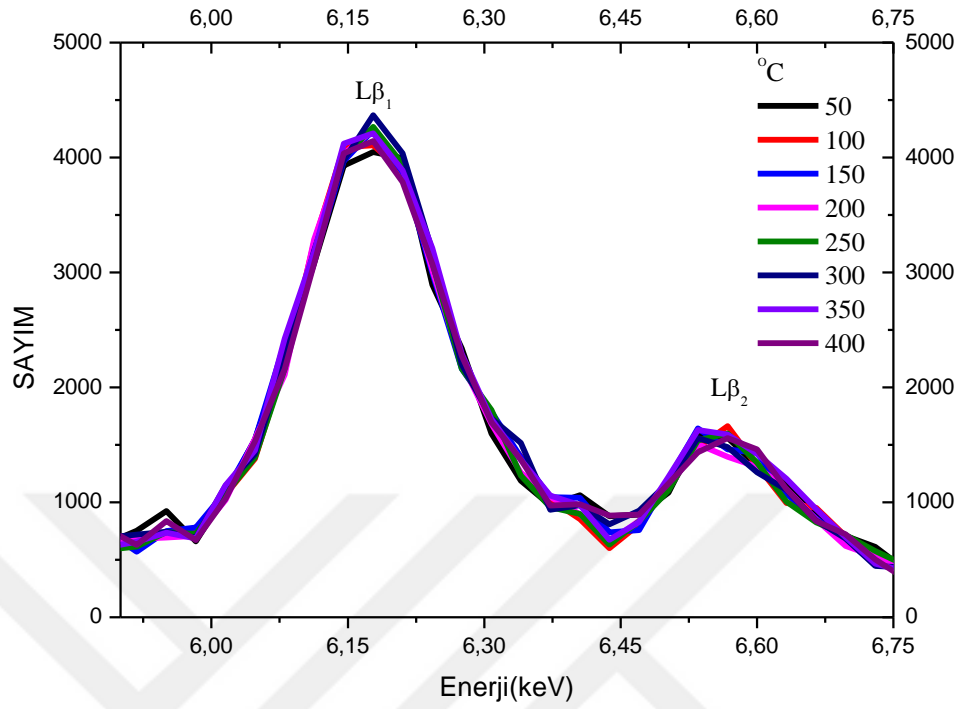


Şekil 4.9.  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları

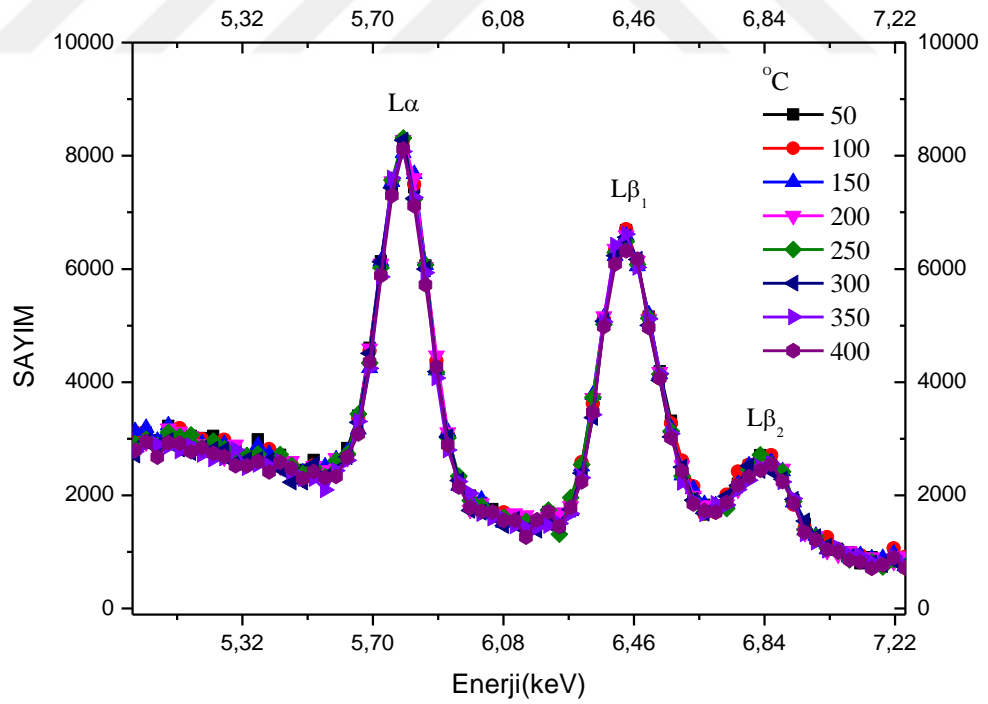


Şekil 4.10. (devam)

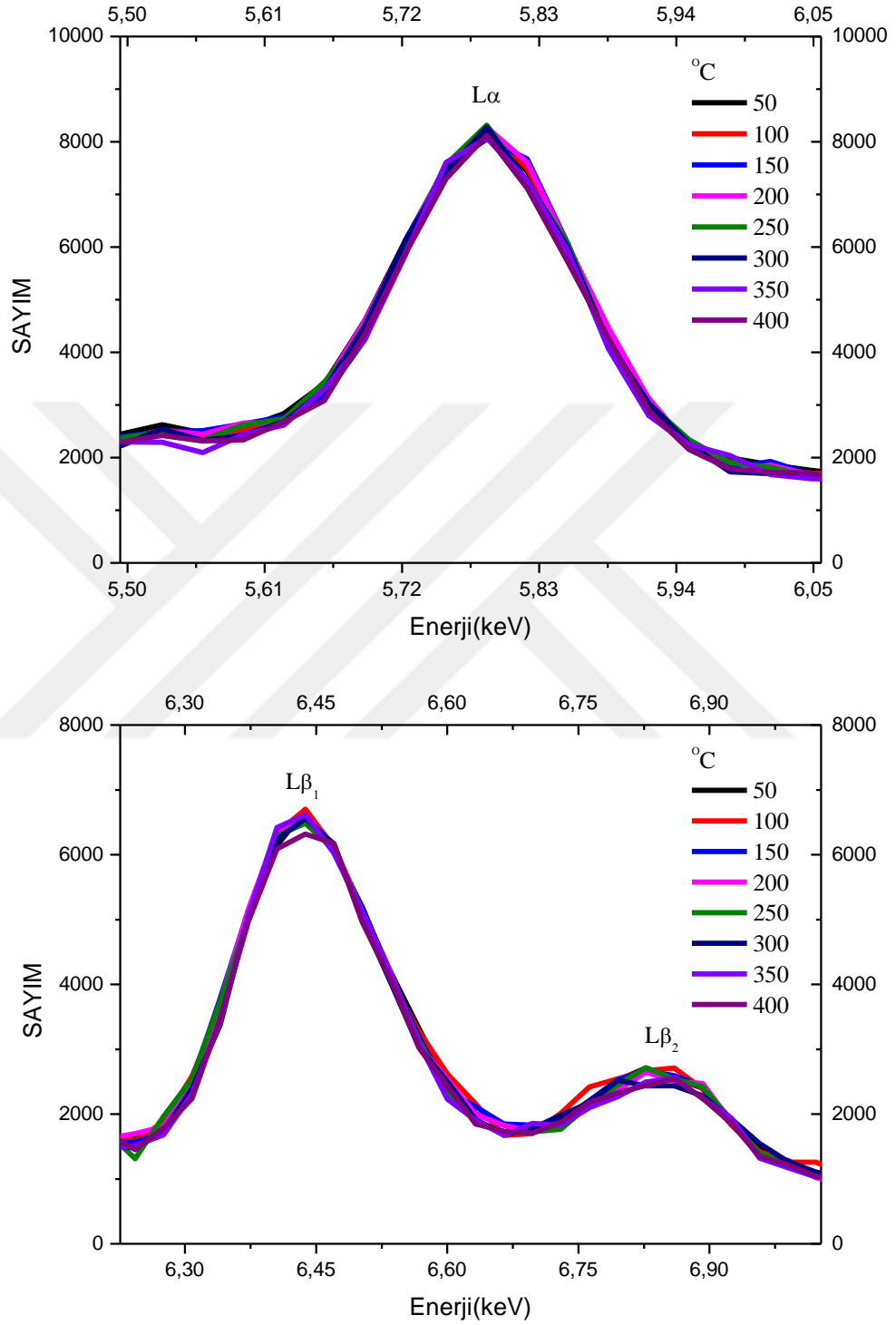




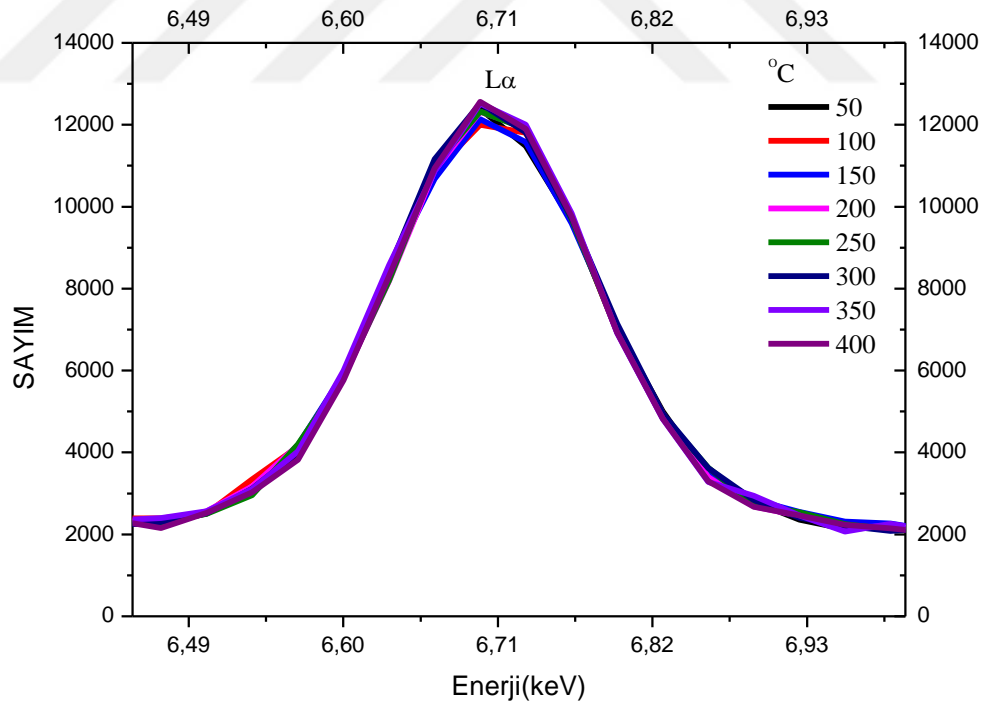
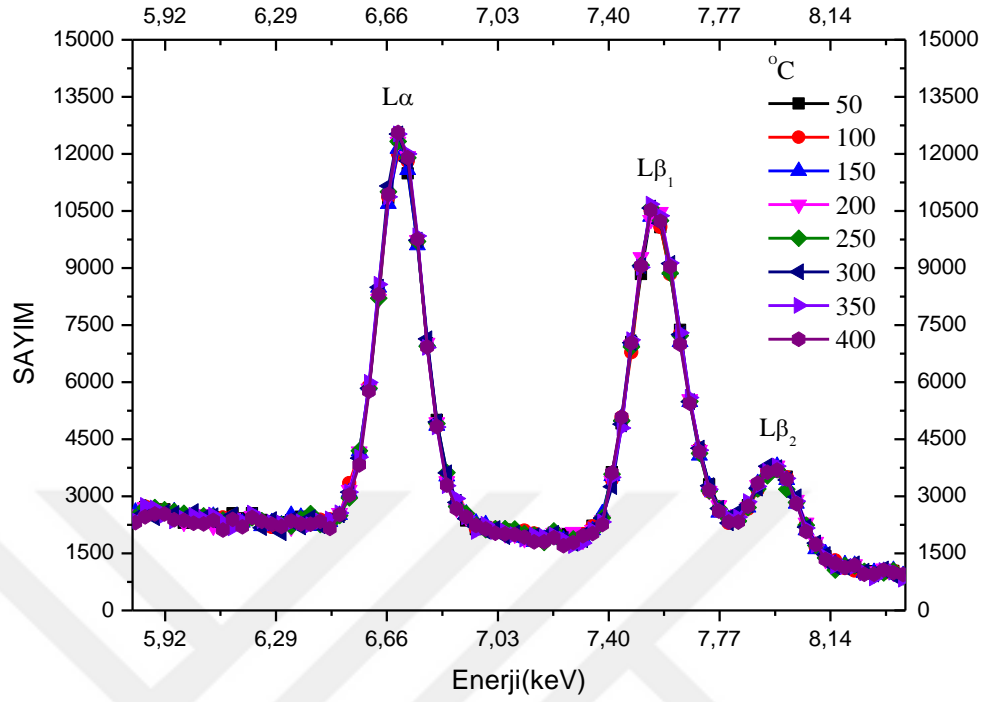
Şekil 4.10.  $\text{Sm}_2(\text{SO}_4)_3$  bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları



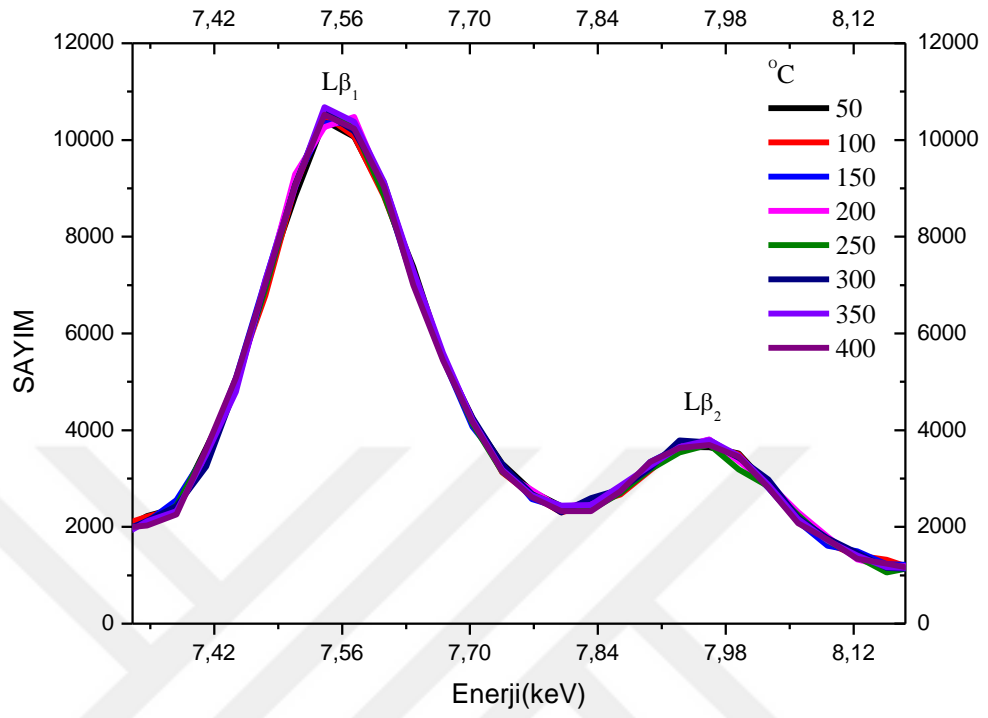
Şekil 4.11. (devam)



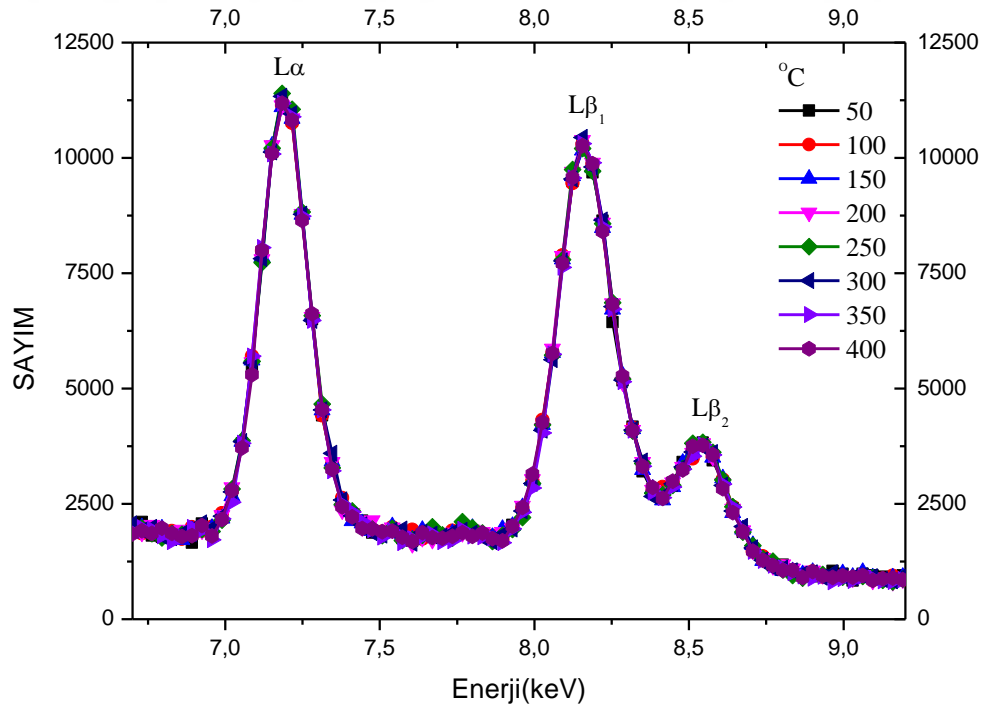
Şekil 4.11.  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları



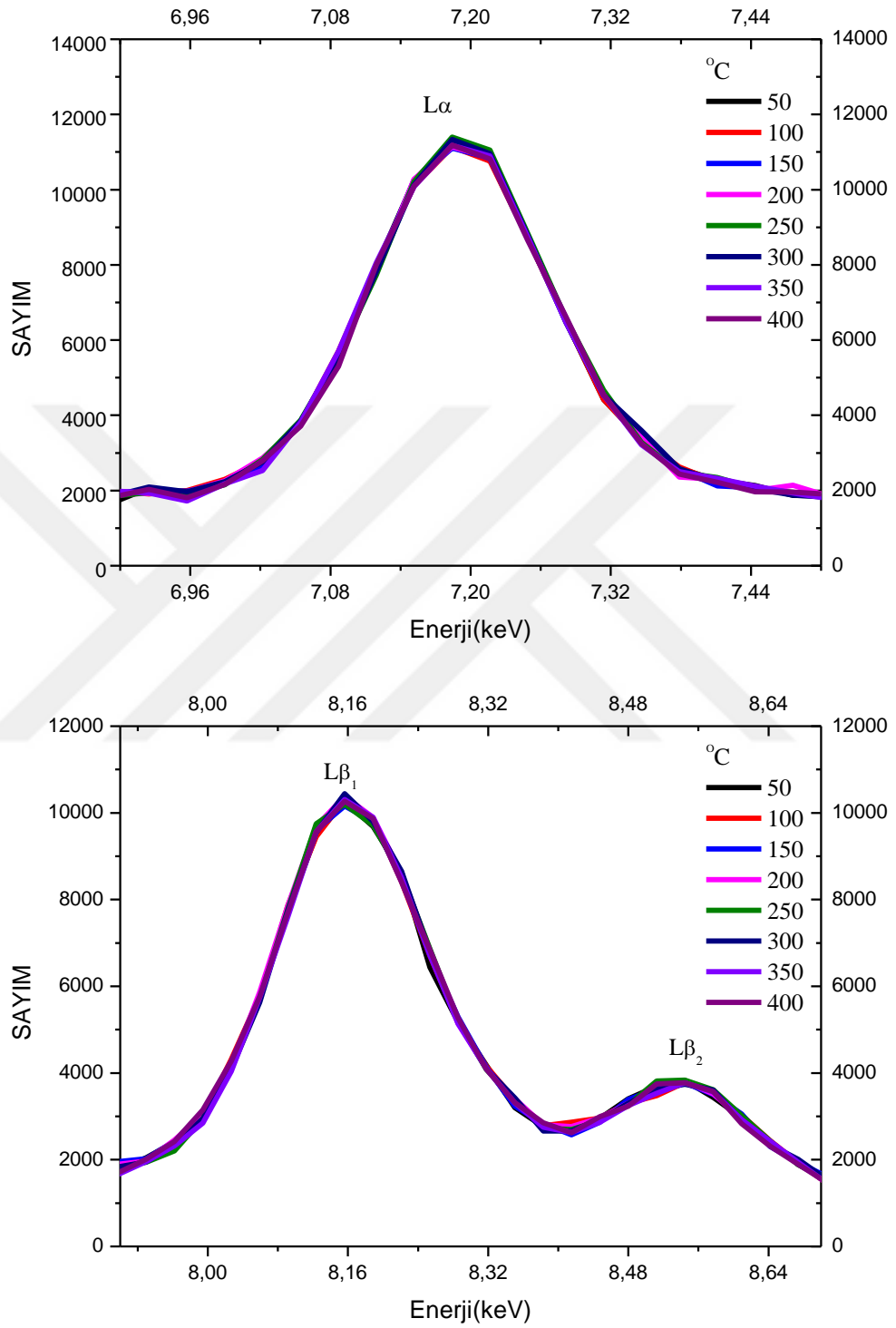
Şekil 4.12. (devam)



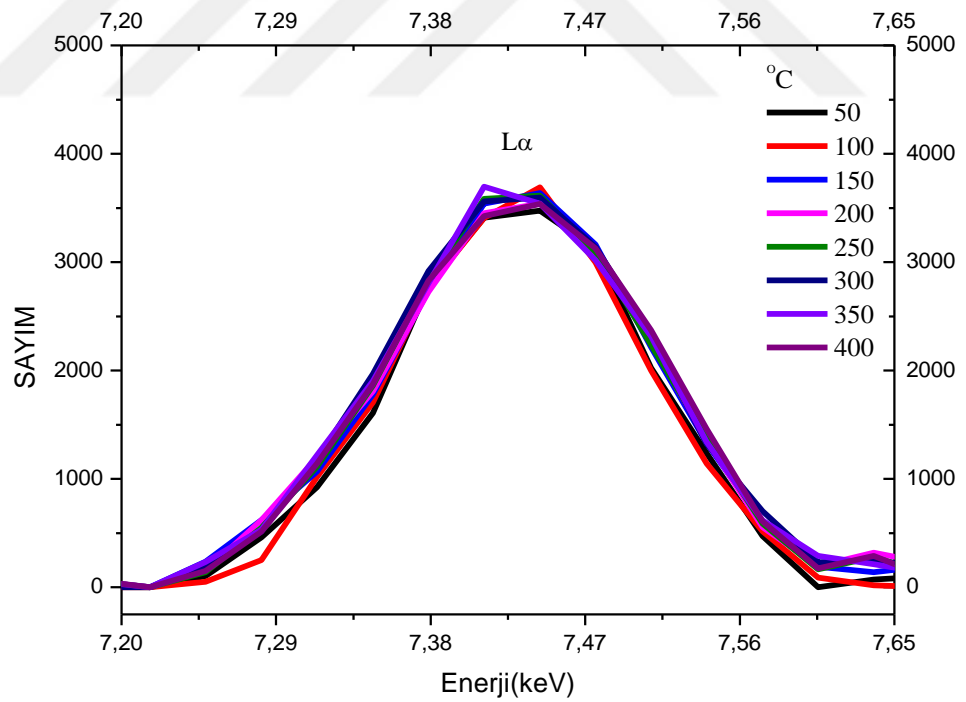
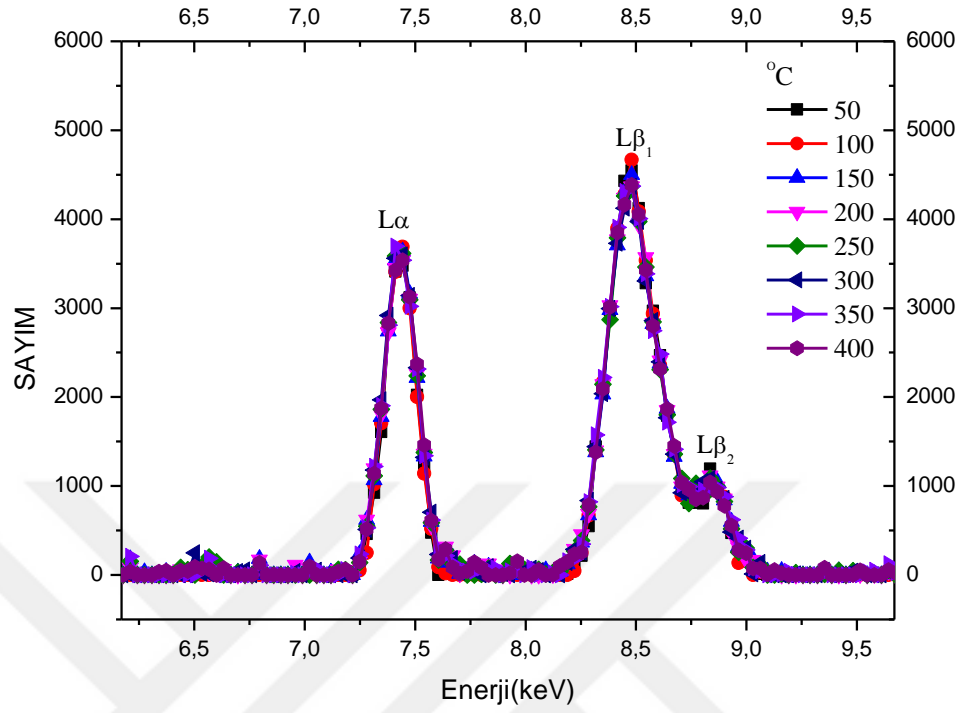
Şekil 4.12. Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları



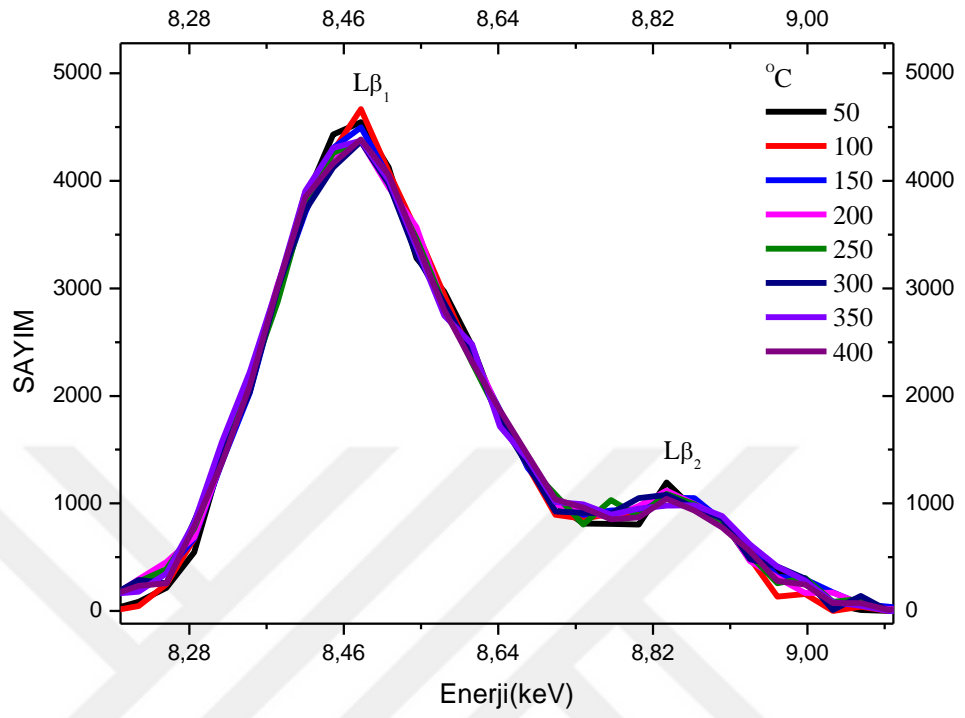
Şekil 4.13. (devam)



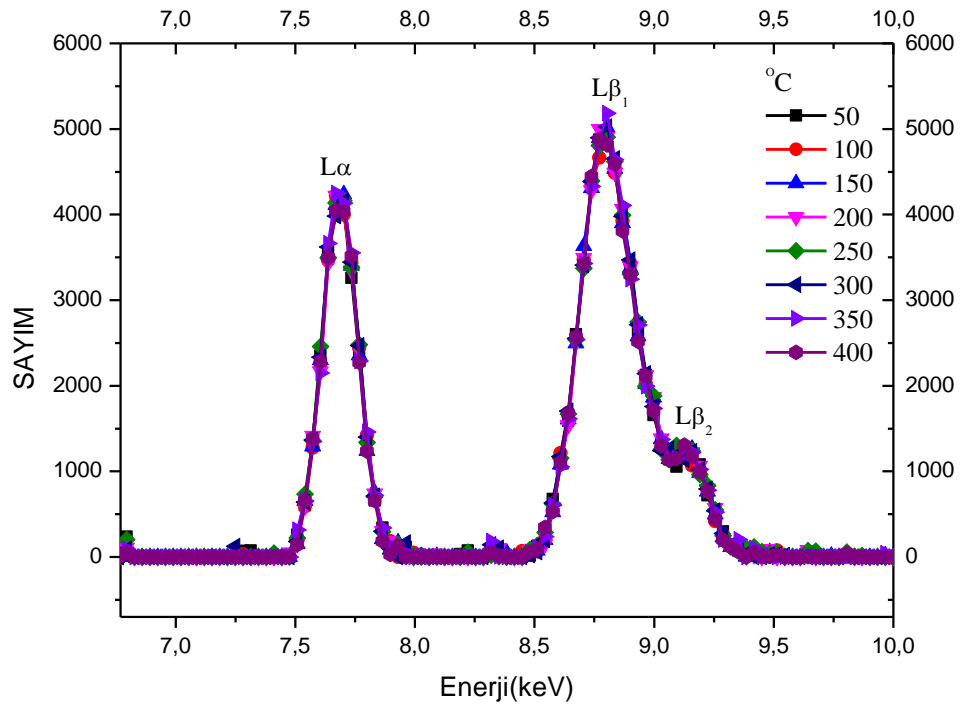
Şekil 4.13. Tm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları



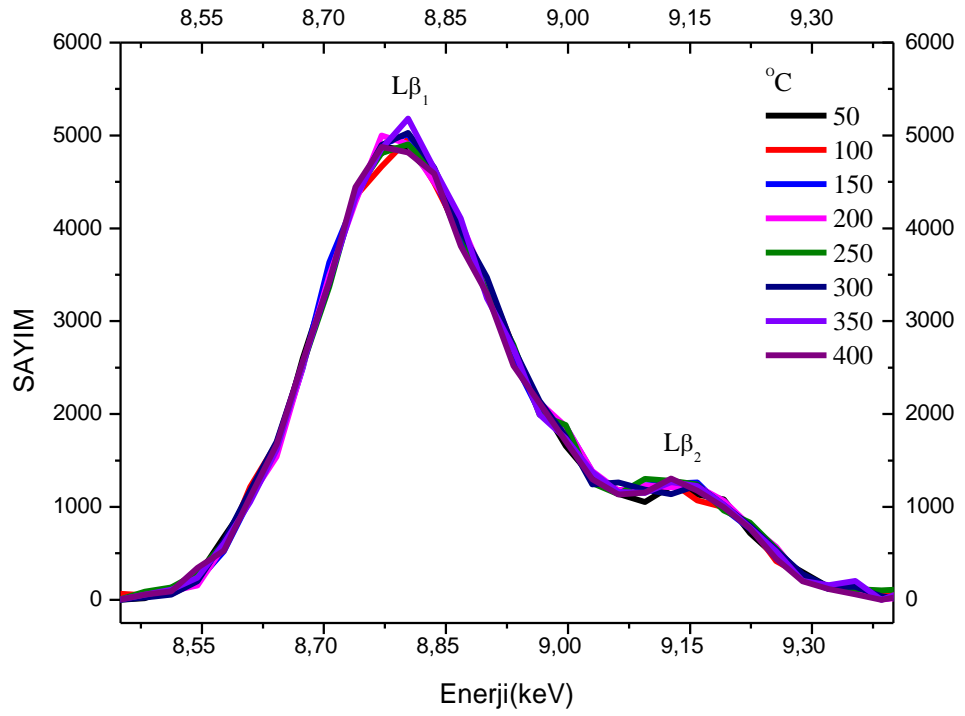
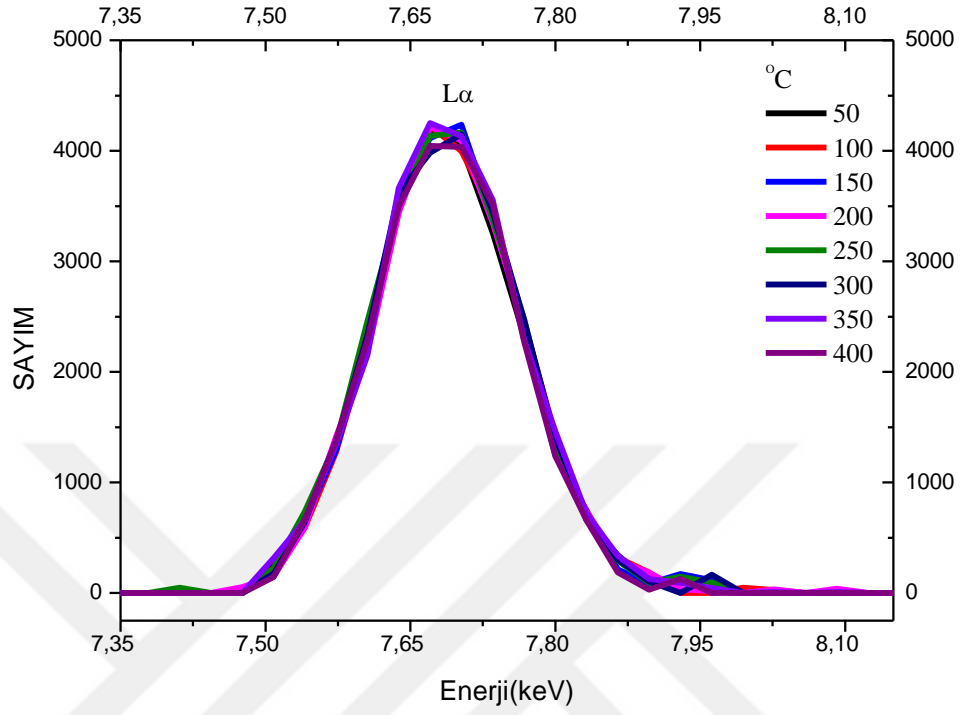
Şekil 4.14. (devam)



Şekil 4.14.  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları



Şekil 4.15. (devam)



Şekil 4.15.  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  bileşiği için farklı sıcaklıklarda elde edilen L X-ışını spektrumları



**Çizelge 4.4.** CeO<sub>2</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$ ,  $\sigma_{L\beta_2}$ (cm<sup>2</sup>/g),  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$  ve FWHM değerleri

CeO <sub>2</sub>								
Sıcaklık °C	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta_1}$	$\sigma_{L\beta_2}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$	FWHM (keV)		
						$L\alpha$	$L\beta_1$	$L\beta_2$
50	0,50895	0,32624	0,06110	1,56003	8,32964	5,23713	6,48612	4,78303
100	0,46623	0,31581	0,04841	1,47630	9,63097	5,18166	5,75509	5,12392
150	0,51047	0,33682	0,06036	1,51556	8,45694	5,41455	6,76335	5,15953
200	0,51859	0,34427	0,03360	1,50638	8,15427	5,47779	6,18725	5,38114
250	0,50245	0,31163	0,06084	1,61232	8,25790	5,24871	5,87493	5,26049
300	0,52108	0,33634	0,06161	1,54925	8,45768	5,41927	6,06348	4,77085
350	0,54627	0,33995	0,05799	1,60692	9,42076	5,32596	6,15551	4,93054
400	0,49283	0,32657	0,06146	1,50912	8,01837	5,26259	6,31752	5,16392

**Çizelge 4.5.** Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$ ,  $\sigma_{L\beta_2}$  (cm<sup>2</sup>/g),  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$  ve FWHM değerleri

Sıcaklık °C	Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>							
	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta_1}$	$\sigma_{L\beta_2}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$	FWHM (keV)		
						$L\alpha$	$L\beta_1$	$L\beta_2$
50	0,52396	0,34979	0,05908	1,49794	8,86898	5,87046	6,68431	5,20734
100	0,52622	0,35196	0,06889	1,49512	7,63870	5,97101	6,80907	5,77642
150	0,55723	0,36039	0,07078	1,54618	7,87263	5,96530	6,66842	5,63961
200	0,53037	0,36957	0,07075	1,43513	7,49612	5,66297	6,94094	5,61713
250	0,55430	0,35833	0,06854	1,54691	8,08780	6,16195	6,84644	5,60052
300	0,56232	0,36363	0,08287	1,54643	6,78566	6,17275	6,76116	6,14598
350	0,51987	0,35673	0,06310	1,45733	8,23827	5,63498	6,62315	5,87039
400	0,56980	0,35818	0,07149	1,59084	7,96995	6,30128	6,66024	5,91857

**Çizelge 4.6.**  $\text{Sm}_2(\text{SO}_4)_3$  bileşiği için farklı sıcaklıklarda  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$ ,  $\sigma_{L\beta2}$  ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ),  $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$  ve FWHM değerleri

$\text{Sm}_2(\text{SO}_4)_3$								
Sıcaklık °C	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta1}$	$\sigma_{L\beta2}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$	FWHM (keV)		
						$L\alpha$	$L\beta1$	$L\beta2$
50	0,69211	0,39053	0,10223	1,77225	6,77042	7,42607	7,05460	6,92005
100	0,67808	0,39534	0,09753	1,71515	6,95225	6,38776	6,31797	6,36476
150	0,69474	0,39535	0,10317	1,75727	6,73417	6,72128	6,32801	6,62516
200	0,69141	0,39518	0,09324	1,74961	7,41530	6,92259	6,25641	6,09711
250	0,67610	0,38107	0,09365	1,77419	7,21967	6,43687	5,96813	6,34288
300	0,68807	0,40589	0,10099	1,69522	6,81341	6,85381	6,40885	6,82530
350	0,71309	0,40445	0,11125	1,76310	6,40996	6,69971	6,26609	6,93927
400	0,64296	0,35237	0,09564	1,82466	6,72257	6,05378	5,44042	6,63231

**Çizelge 4.7.** Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$ ,  $\sigma_{L\beta_2}$  (cm<sup>2</sup>/g),  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$  ve FWHM değerleri

Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Sıcaklık °C	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta_1}$	$\sigma_{L\beta_2}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$	FWHM (keV)		
						$L\alpha$	$L\beta_1$	$L\beta_2$
50	0,73090	0,40542	0,14103	1,80282	5,18245	8,52562	7,67732	9,94995
100	0,71087	0,42705	0,11990	1,66459	5,92898	8,32812	8,10033	9,08845
150	0,71689	0,44136	0,10679	1,62429	6,71321	8,44856	8,29741	8,04401
200	0,69071	0,40808	0,13089	1,69258	5,27721	7,72792	7,69206	9,87819
250	0,72110	0,42088	0,12736	1,71332	5,66190	8,38636	7,85245	9,32912
300	0,72150	0,42400	0,12800	1,70164	5,63689	8,44024	8,09844	9,43182
350	0,69926	0,42275	0,11500	1,65406	6,08075	8,36030	8,05502	9,44576
400	0,71427	0,37803	0,14820	1,88945	4,81961	8,49193	7,23011	10,39207

**Çizelge 4.8.** Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$ ,  $\sigma_{L\beta_2}$  (cm<sup>2</sup>/g),  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$  ve FWHM değerleri

Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
Sıcaklık °C	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta_1}$	$\sigma_{L\beta_2}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$	FWHM (keV)		
						$L\alpha$	$L\beta_1$	$L\beta_2$
50	1,02294	0,74052	0,14750	1,38138	6,93513	7,46612	9,09997	7,40700
100	1,02636	0,74206	0,13633	1,38312	7,52844	7,48555	9,13546	6,63817
150	1,08185	0,73591	0,14969	1,47009	7,22710	8,24625	8,87517	7,59838
200	1,04582	0,72793	0,14111	1,43671	7,41149	7,67065	8,91614	6,85891
250	1,06604	0,73926	0,14345	1,44204	7,43171	7,84609	8,94081	7,46590
300	1,10229	0,75122	0,14281	1,46733	7,71837	8,04848	9,08931	6,67962
350	1,09745	0,74611	0,16445	1,47089	6,67366	8,10197	8,82249	8,08893
400	1,10620	0,74448	0,14286	1,48587	7,74343	8,30276	8,93656	7,04327

**Çizelge 4.9.** Tm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$ ,  $\sigma_{L\beta_2}$ (cm<sup>2</sup>/g),  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$  ve FWHM değerleri

Sıcaklık °C	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta_1}$	$\sigma_{L\beta_2}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$	FWHM (keV)		
						$L\alpha$	$L\beta_1$	$L\beta_2$
50	0,82101	0,64006	0,13969	1,28271	5,87725	7,37837	8,77784	6,89914
100	0,84007	0,64997	0,14068	1,29247	5,97157	7,71651	8,82581	7,00927
150	0,82659	0,64602	0,13714	1,27950	6,02718	7,47331	8,84173	6,89143
200	0,83368	0,65019	0,13876	1,28222	6,00811	7,60978	8,74151	6,98311
250	0,83930	0,64305	0,14144	1,30520	5,93417	7,51002	8,67974	6,82509
300	0,83626	0,64060	0,13757	1,30543	6,07874	7,57967	8,62213	6,85869
350	0,83580	0,64051	0,13912	1,30491	6,00788	7,51453	8,63816	6,92610
400	0,81834	0,64835	0,13885	1,26218	5,89354	7,40502	8,77632	6,93155

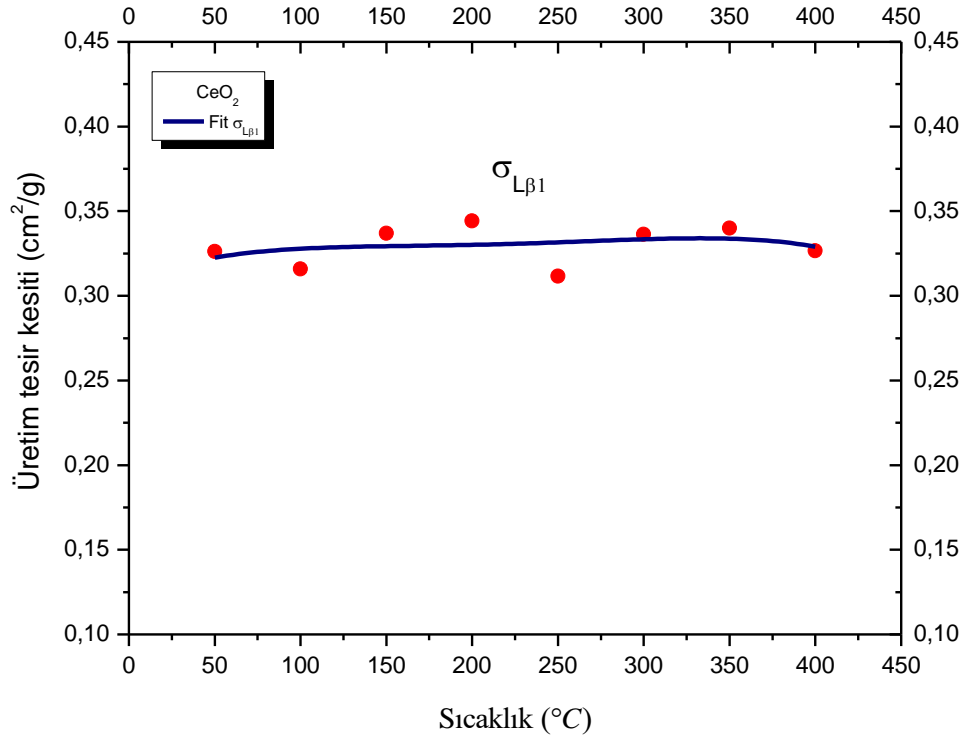
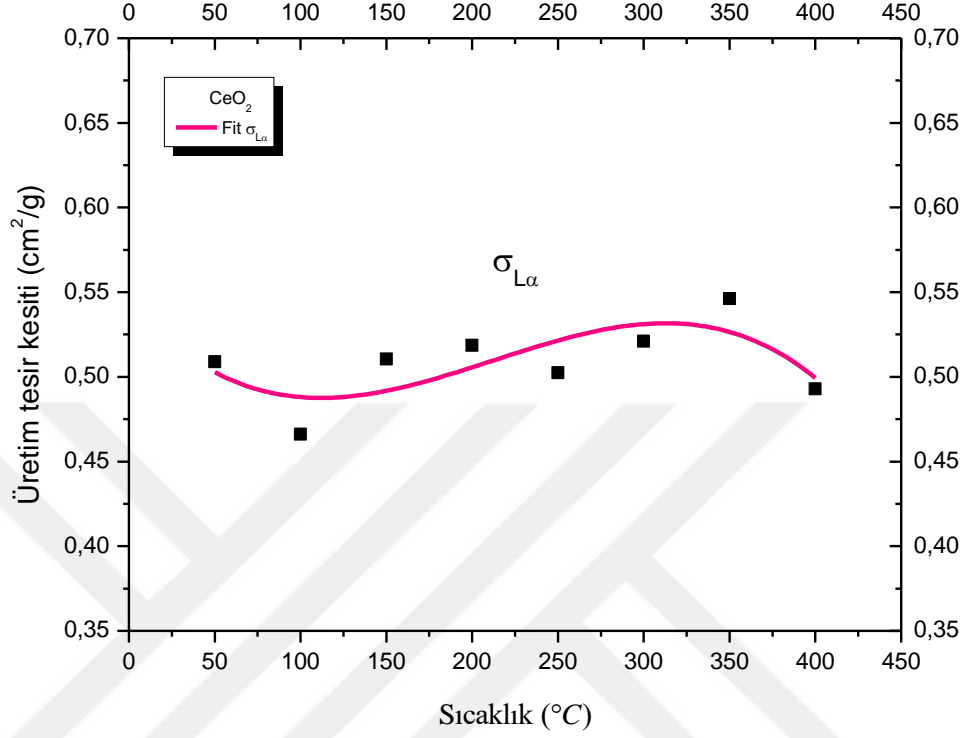
**Çizelge 4.10.** Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$ ,  $\sigma_{L\beta2}$  (cm<sup>2</sup>/g),  $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$  ve FWHM değerleri

Sıcaklık °C	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta1}$	$\sigma_{L\beta2}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$	FWHM (keV)		
						$L\alpha$	$L\beta_1$	$L\beta_2$
50	0,16388	0,19674	0,04580	0,83298	3,57821	5,15779	7,41433	9,12096
100	0,16415	0,20406	0,03934	0,80442	4,17268	5,08278	7,60628	7,55588
150	0,17282	0,19360	0,04602	0,89265	3,75544	5,37967	7,50061	8,91562
200	0,17339	0,20188	0,03907	0,85889	4,43777	5,52793	7,86325	7,58709
250	0,17460	0,19677	0,04198	0,88736	4,15959	5,41602	7,68816	8,23972
300	0,17886	0,19735	0,04060	0,90629	4,40493	5,53541	7,80121	7,82954
350	0,17953	0,19665	0,04602	0,91297	3,90108	5,52164	7,64423	9,10804
400	0,17602	0,19045	0,04728	0,92424	3,72305	5,55886	7,47572	9,52908

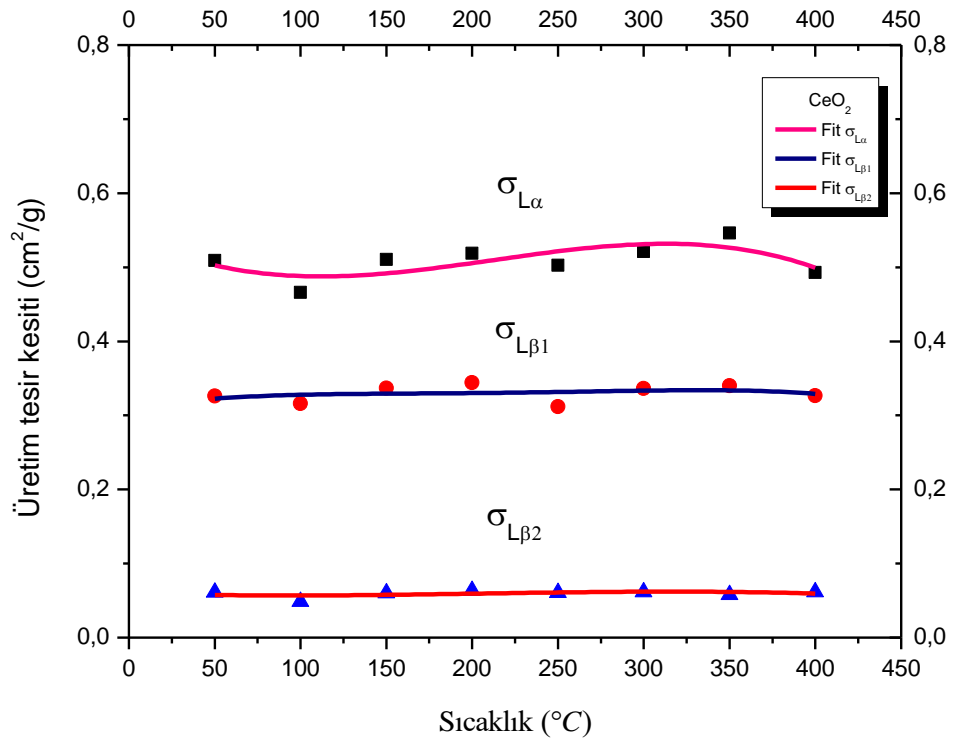
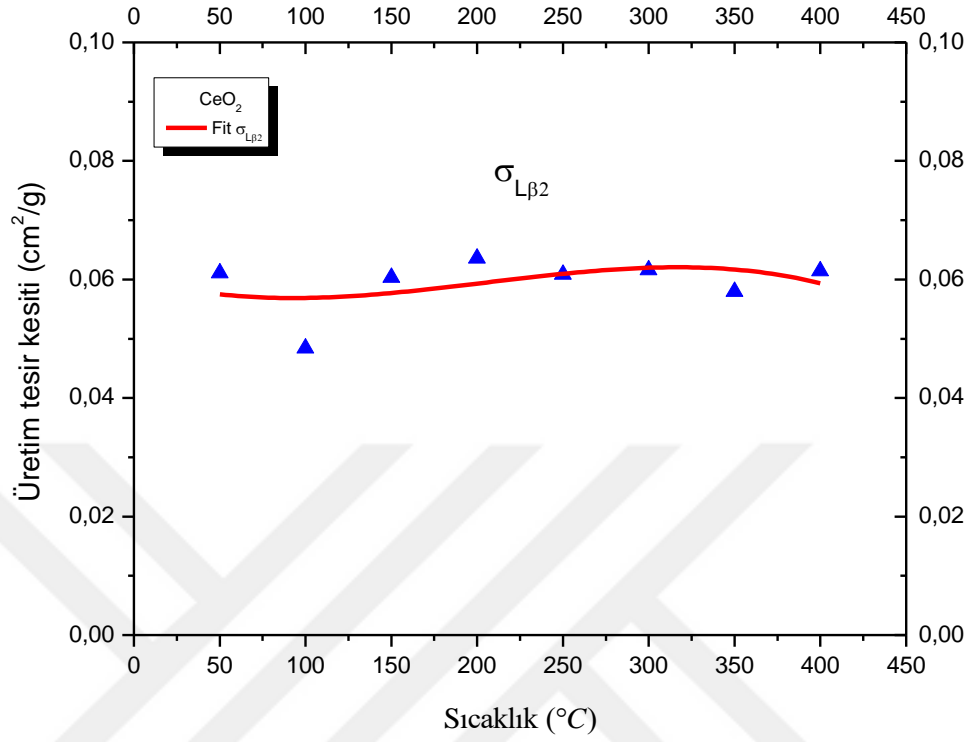
**Çizelge 4.11.** Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşiği için farklı sıcaklıklarda  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$ ,  $\sigma_{L\beta_2}$  (cm<sup>2</sup>/g),  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$  ve FWHM değerleri

Sıcaklık °C	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta_1}$	$\sigma_{L\beta_2}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$	FWHM (keV)		
						$L\alpha$	$L\beta_1$	$L\beta_2$
50	0,18962	0,21679	0,04821	0,87465	3,93331	5,42162	7,85039	8,42821
100	0,19012	0,21627	0,04771	0,87911	3,98525	5,42295	7,94172	8,27192
150	0,18670	0,20879	0,05522	0,89418	3,38114	5,31417	7,55585	8,82789
200	0,18882	0,21431	0,05466	0,88104	3,45412	5,38486	7,69920	8,74223
250	0,19189	0,21873	0,04935	0,87131	3,88864	5,51003	7,93984	7,99321
300	0,19053	0,22068	0,04780	0,86338	3,98570	5,49696	7,90550	8,17774
350	0,19323	0,21643	0,04975	0,89282	3,88428	5,39201	7,69315	8,17566
400	0,18765	0,21498	0,04959	0,87289	3,78395	5,36558	7,75697	8,16817

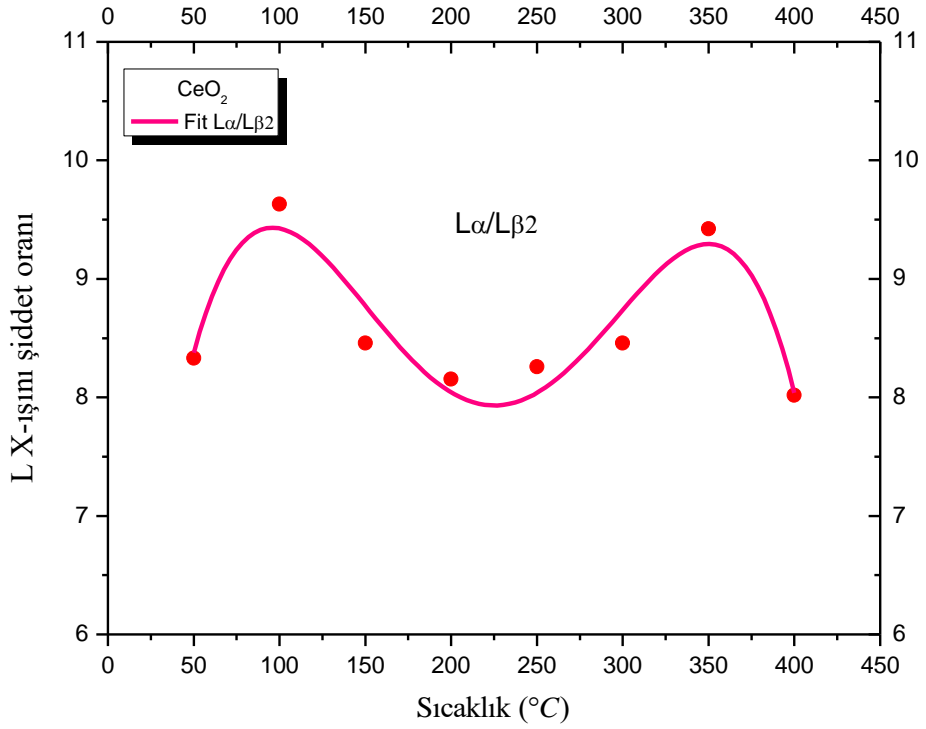
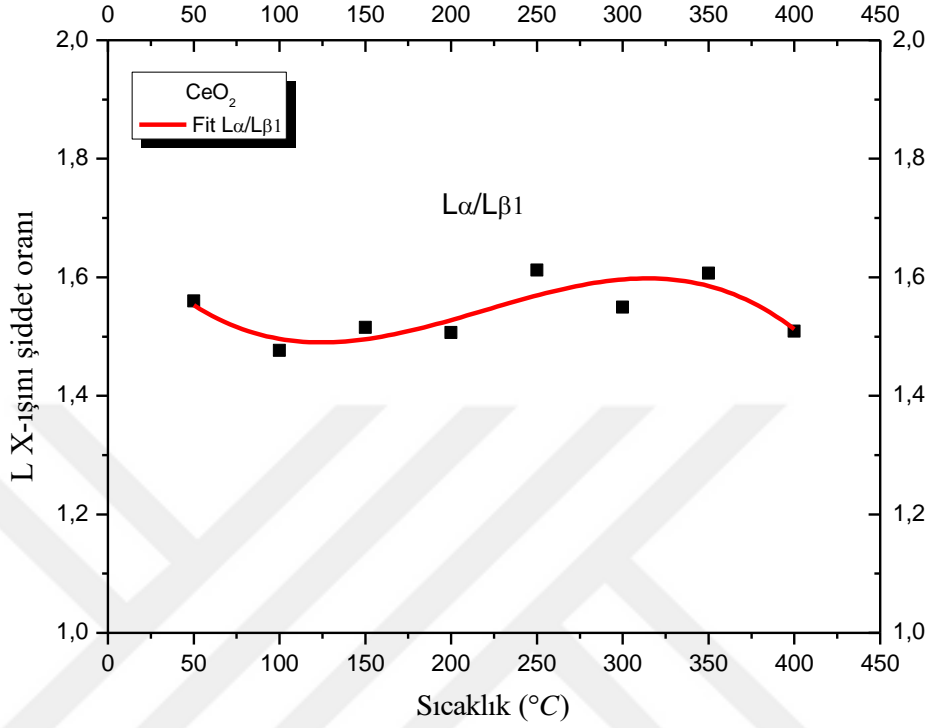




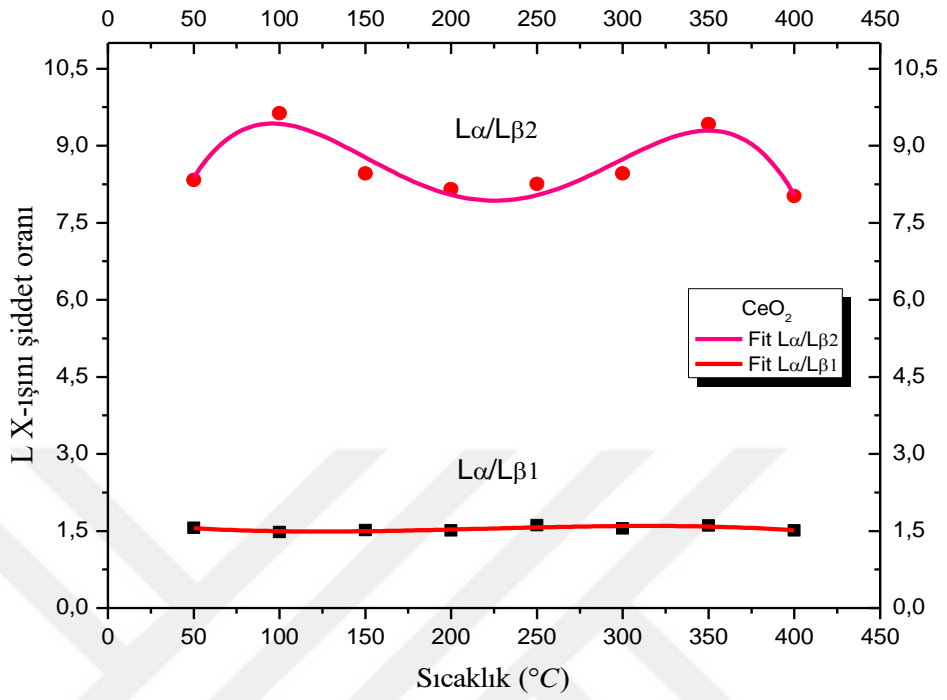
Şekil 4.16. (devam)



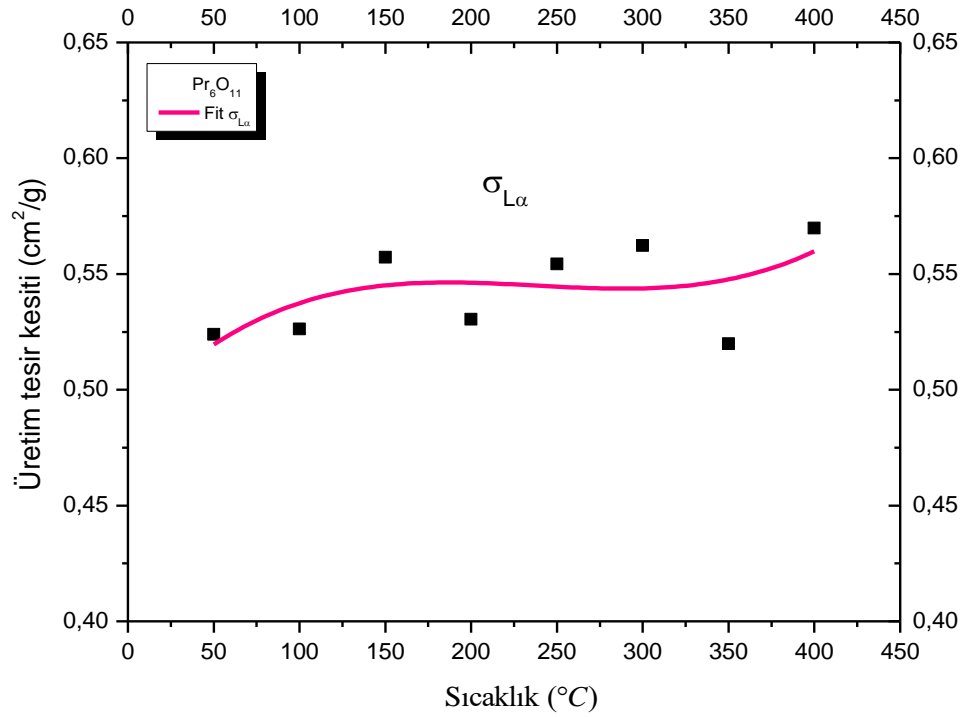
Şekil 4.16. (devam)



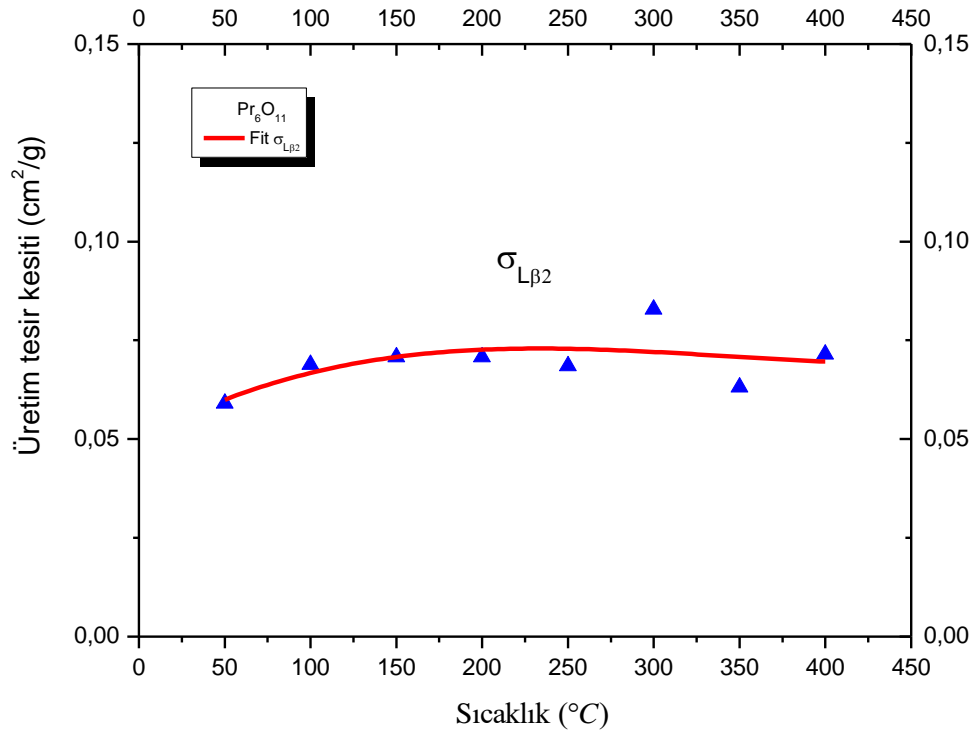
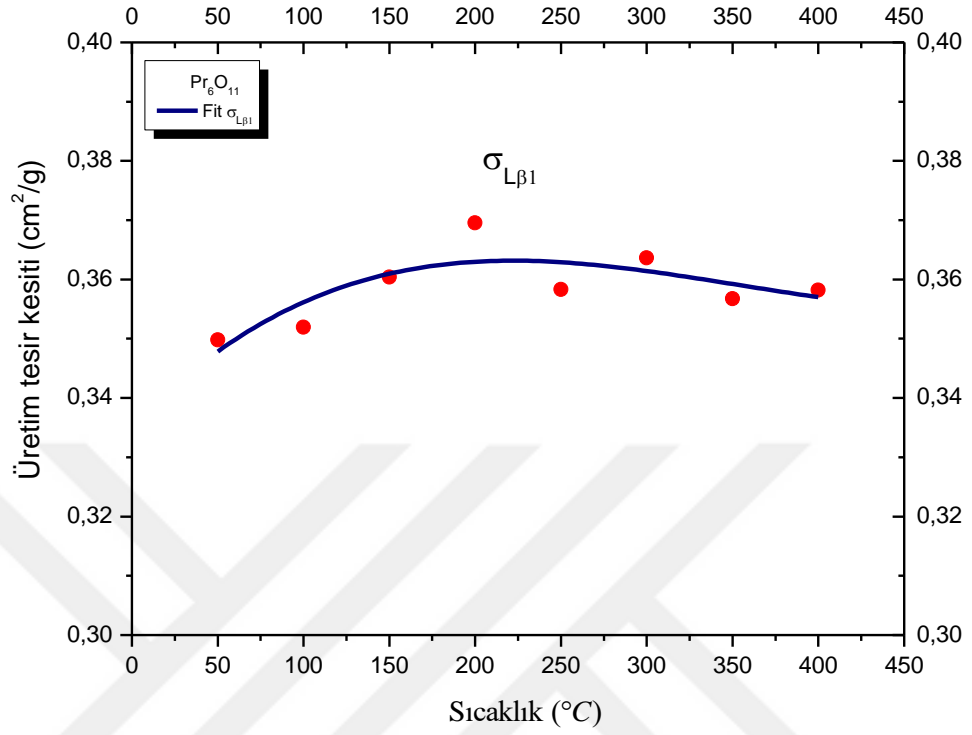
Şekil 4.16. (devam)



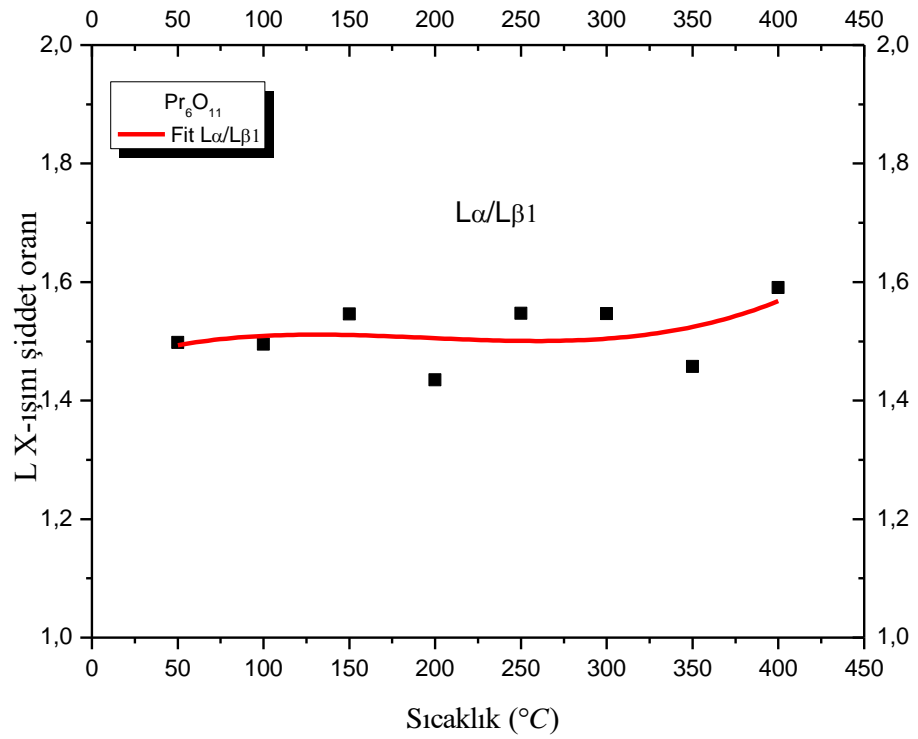
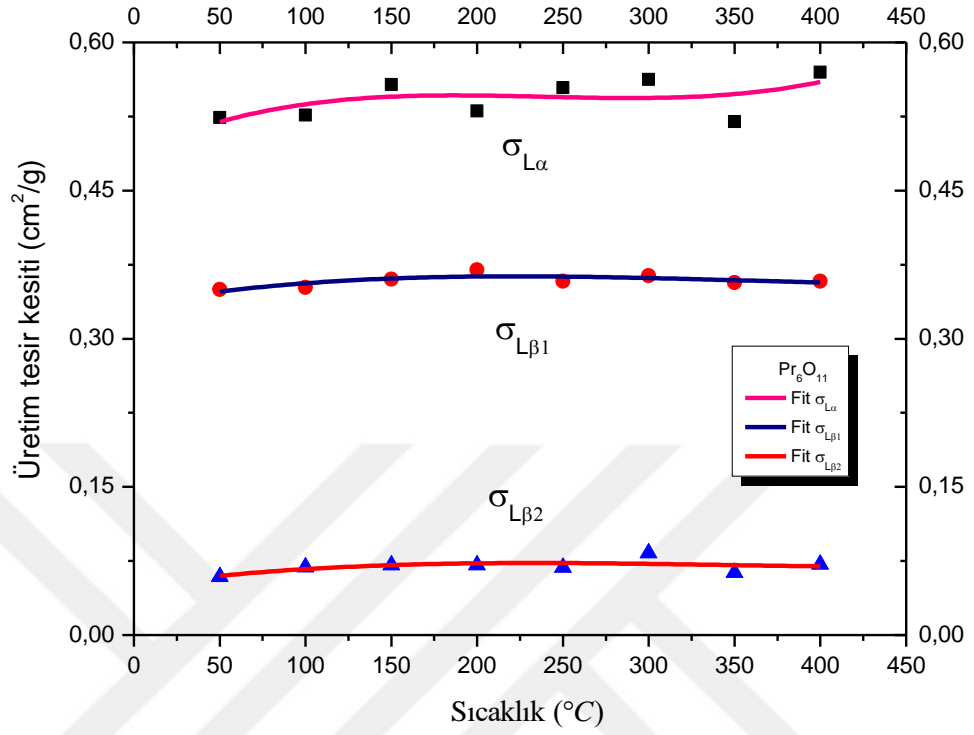
Şekil 4.16. CeO<sub>2</sub> için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak  $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ,  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$  ve  $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi



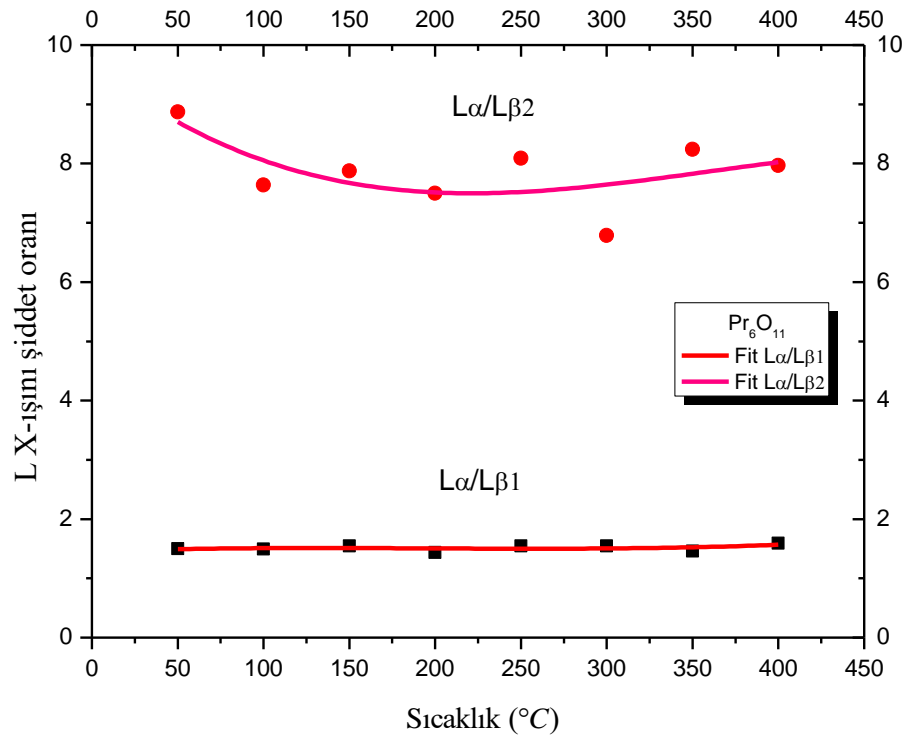
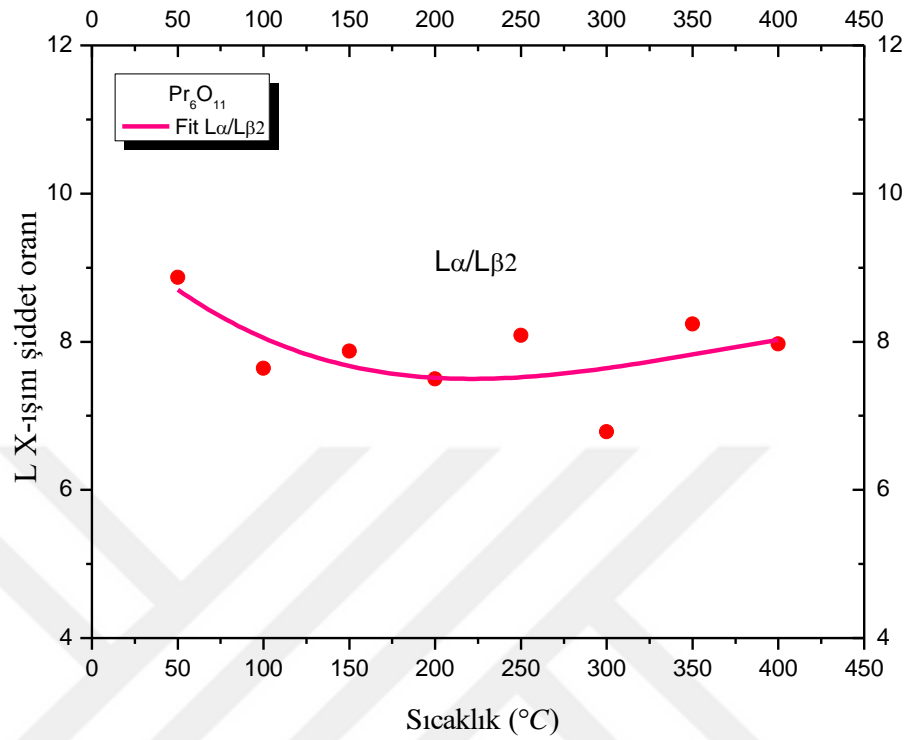
Şekil 4.17. (devam)



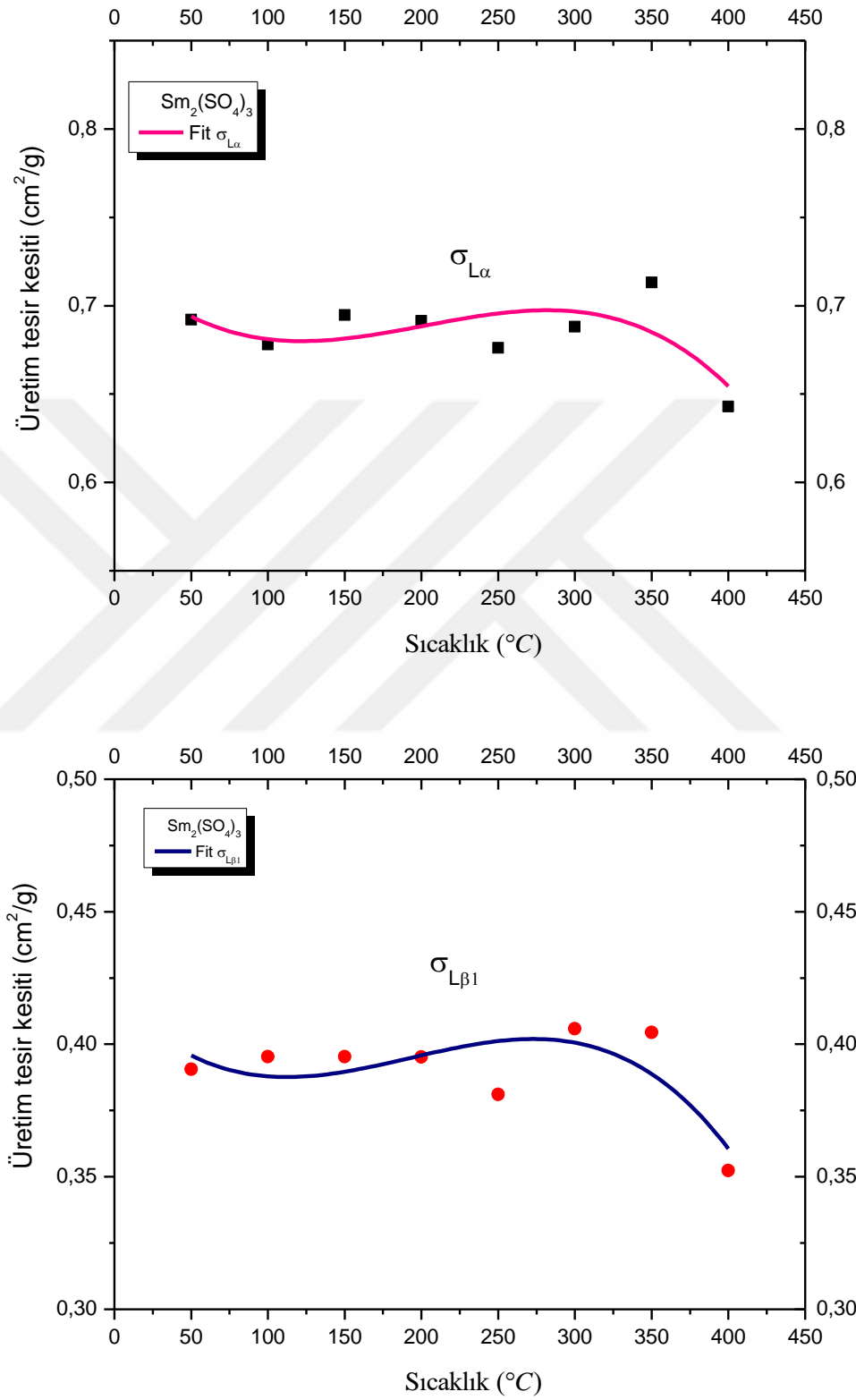
Şekil 4.17. (devam)



Şekil 4.17. (devam)

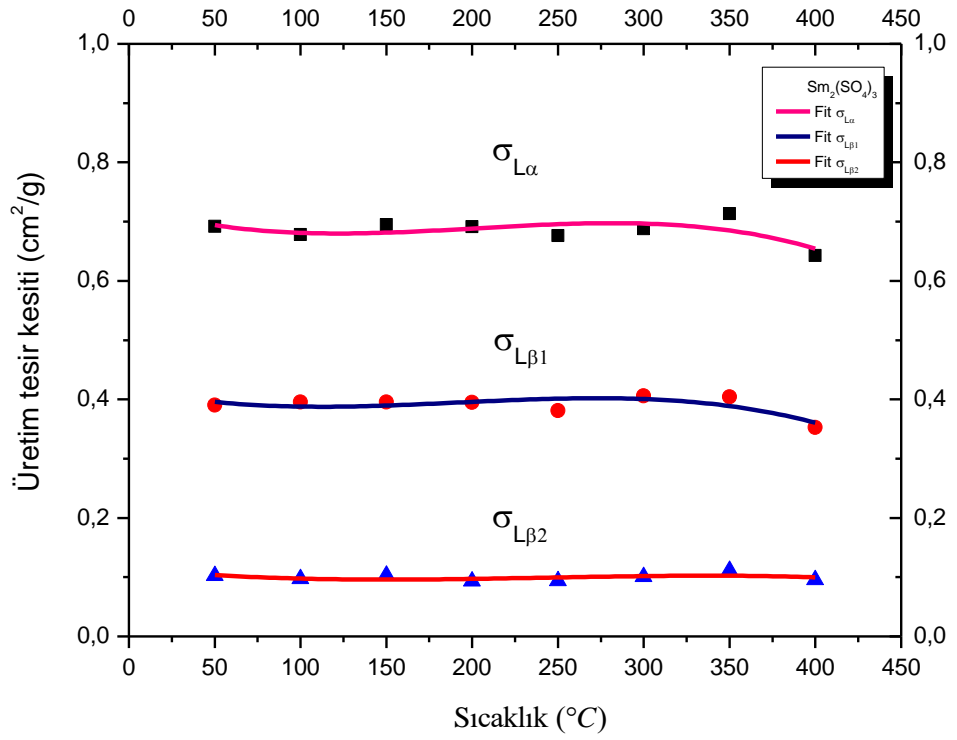
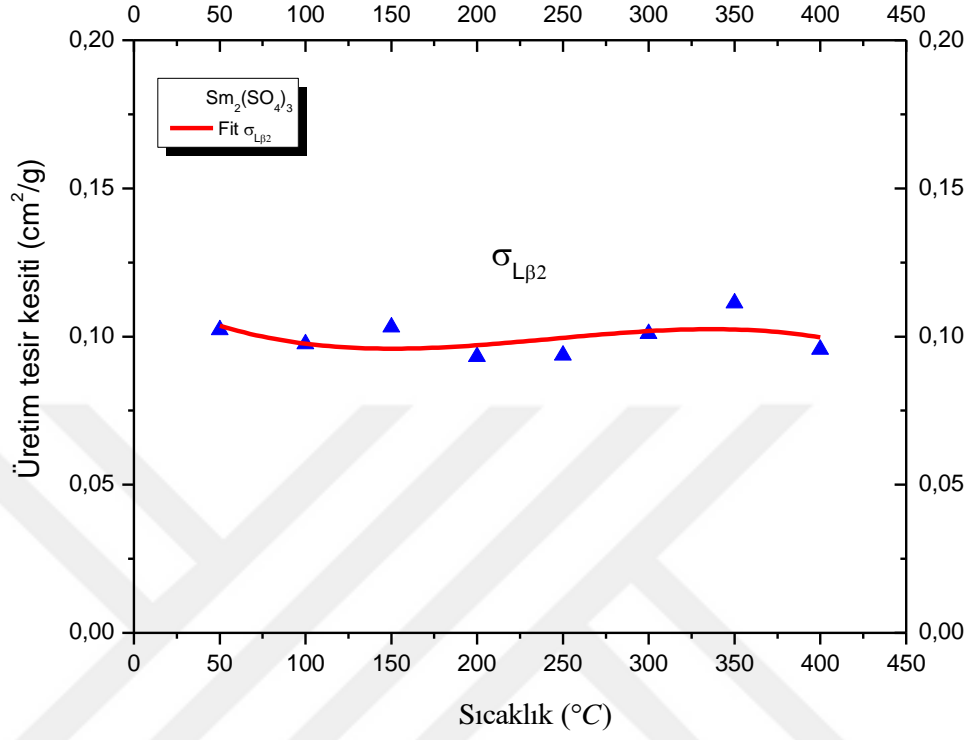


Şekil 4.17. Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub> için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak  $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ,  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$  ve  $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi

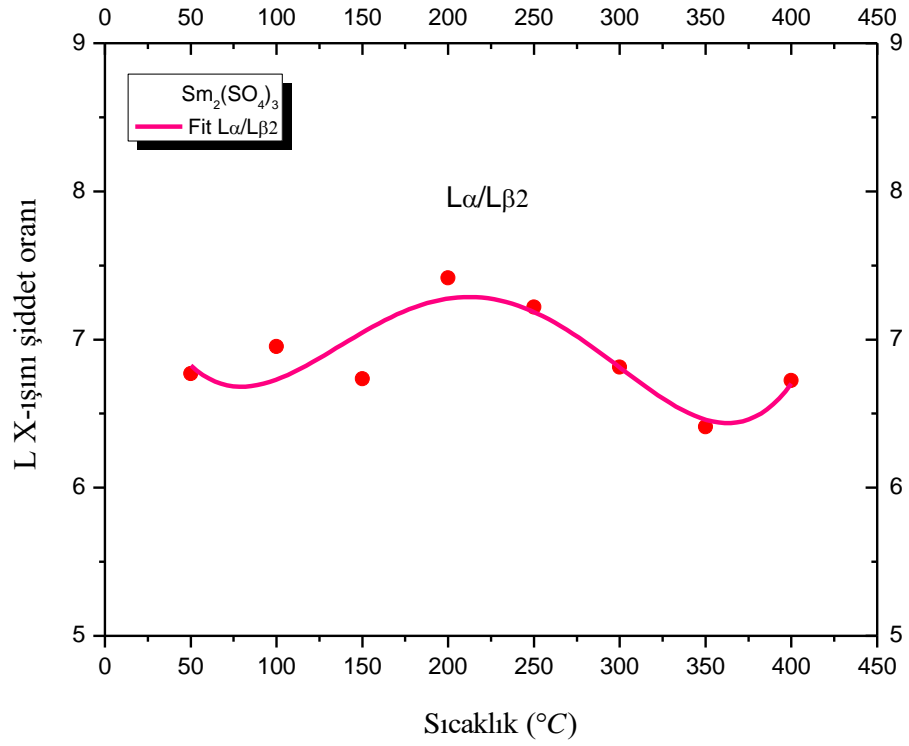
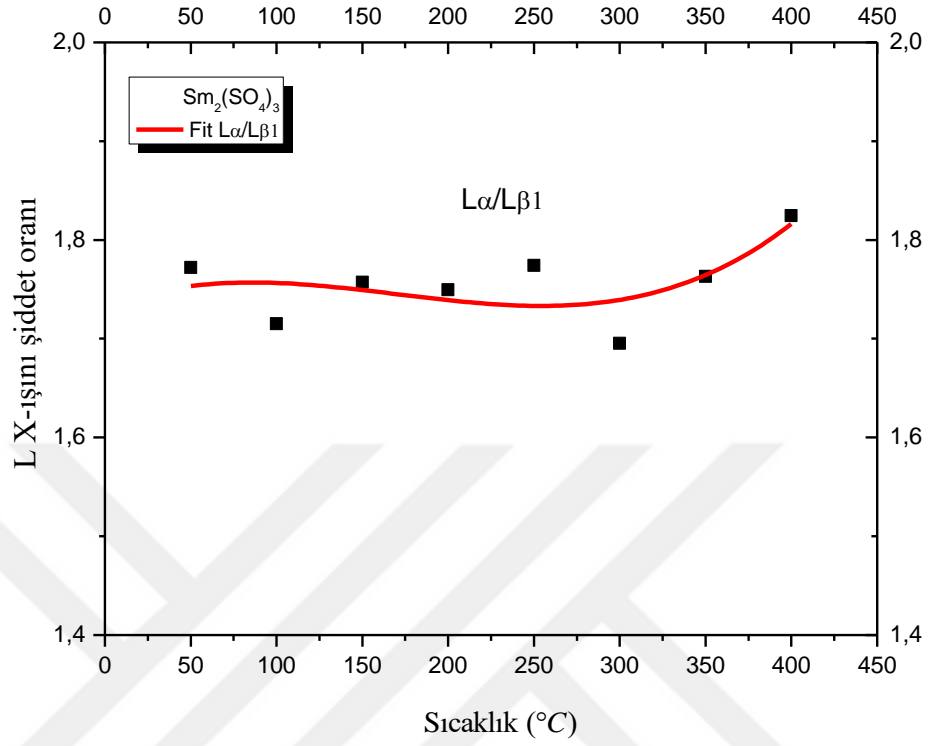


Şekil 4.18. (devam)

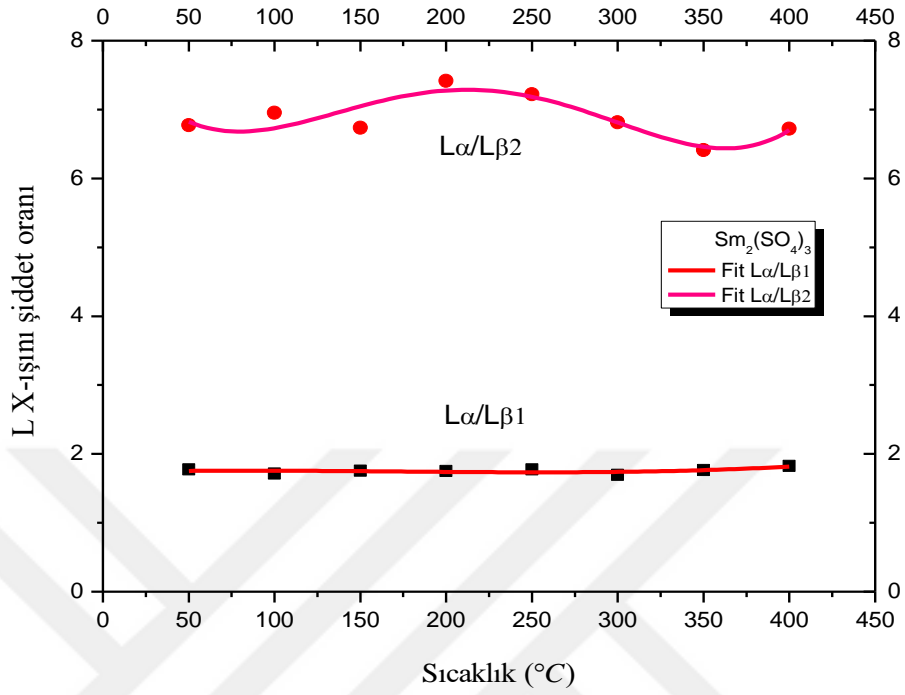




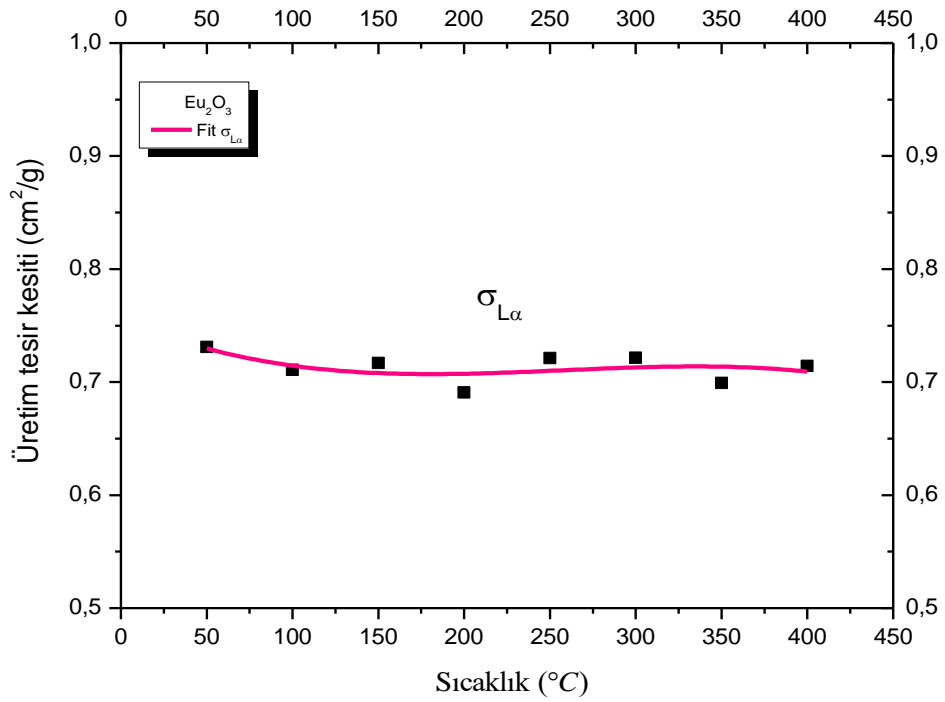
Şekil 4.18. (devam)



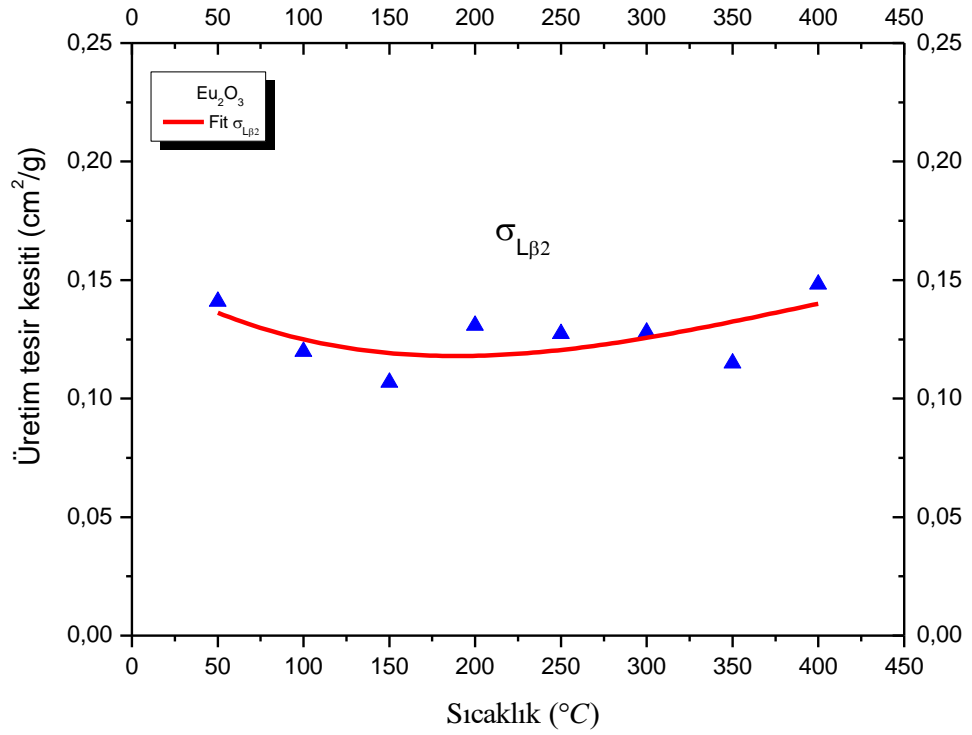
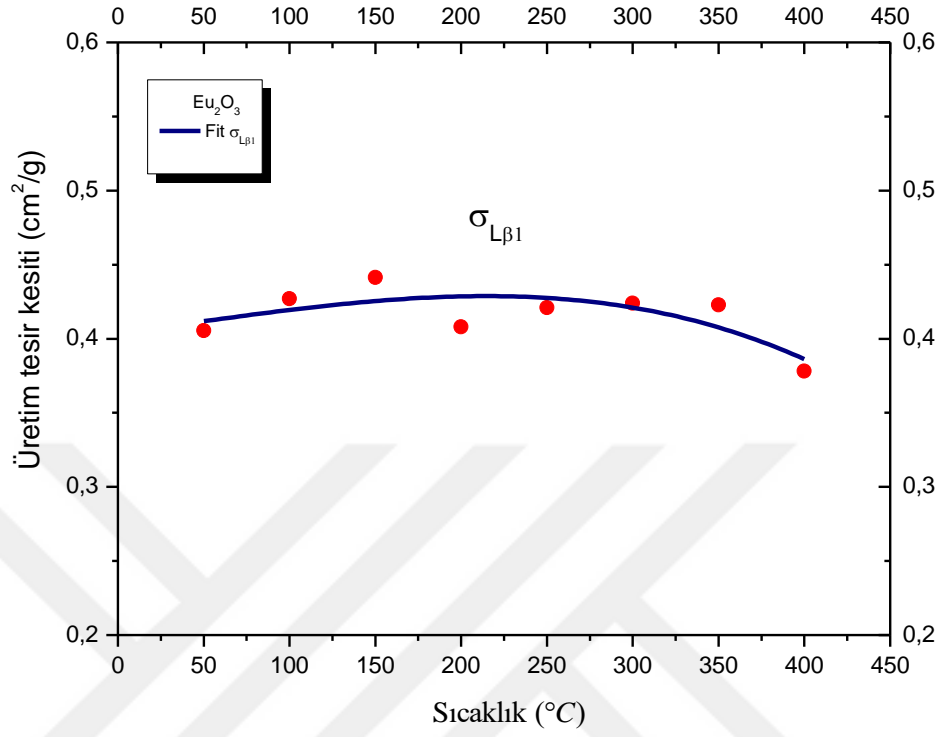
Şekil 4.18. (devam)



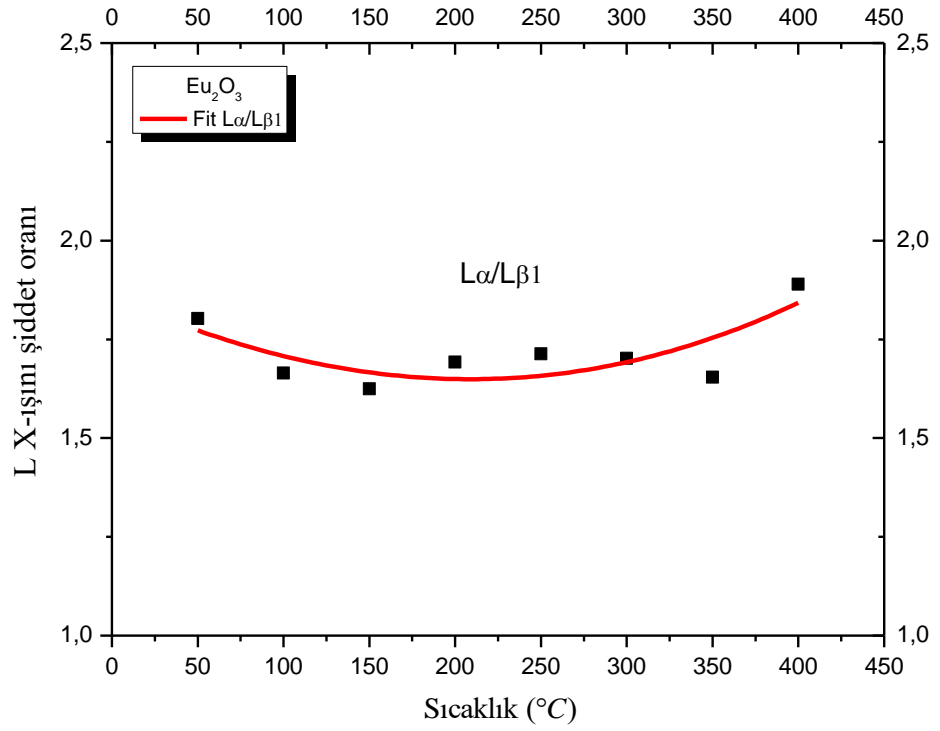
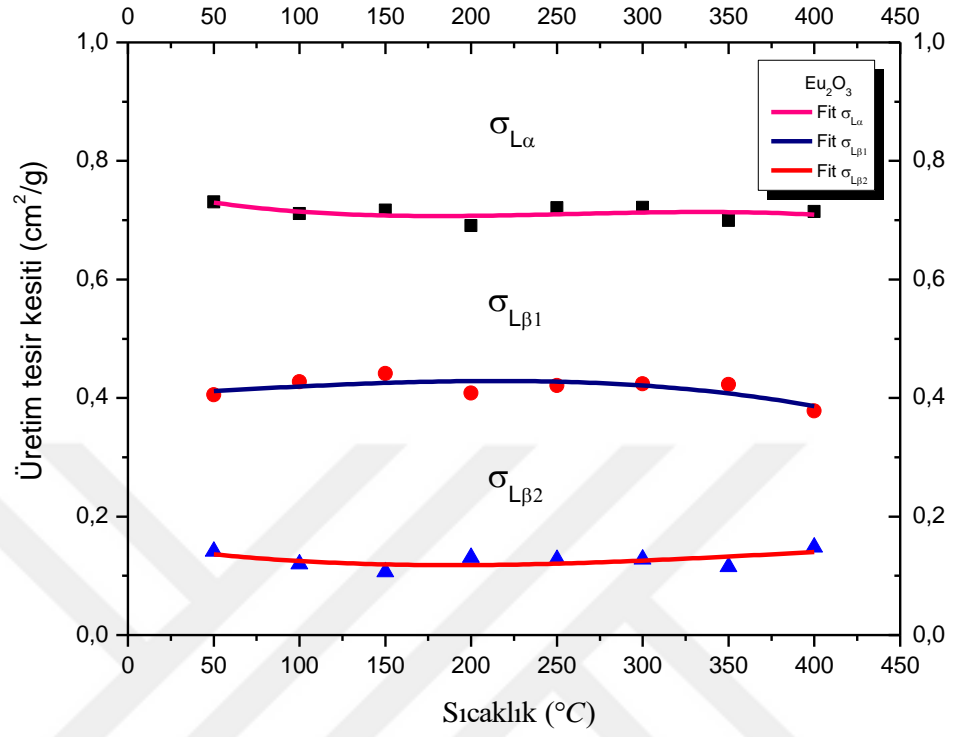
Şekil 4.18.  $Sm_2(SO_4)_3$  için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak  $I_{L\alpha}/I_{L\beta 1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta 2}$ ,  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta 1}$  ve  $\sigma_{L\beta 2}$ 'nin değişimi



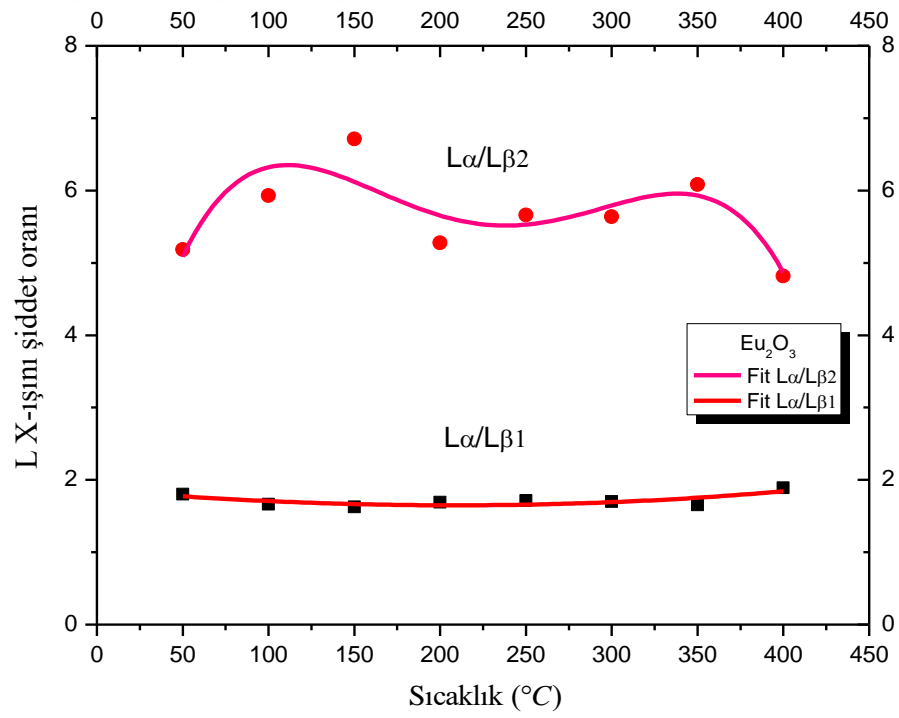
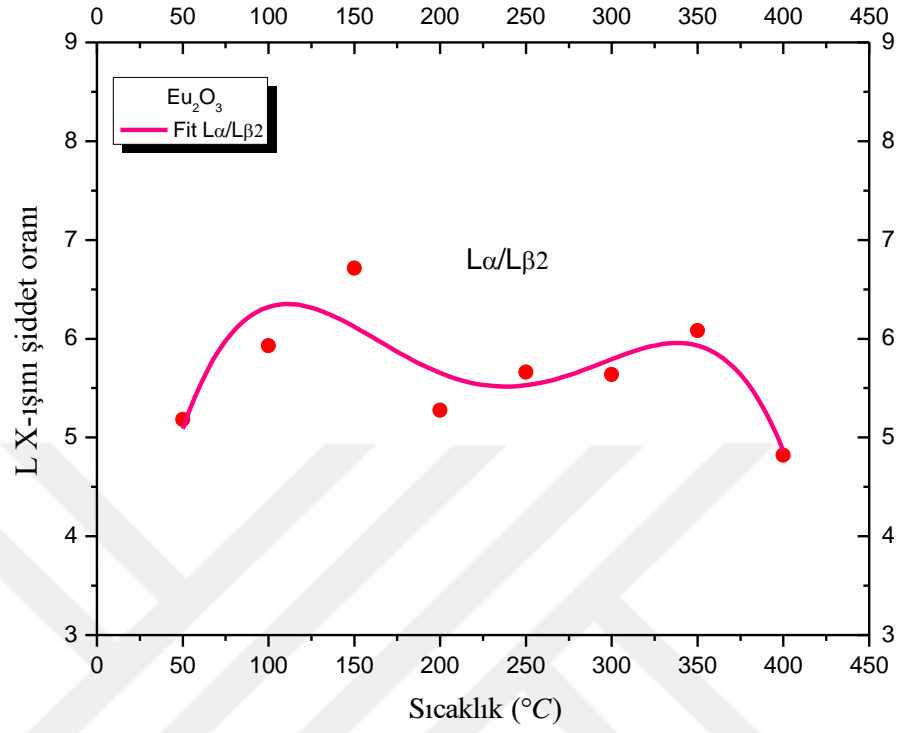
Şekil 4.19. (devam)



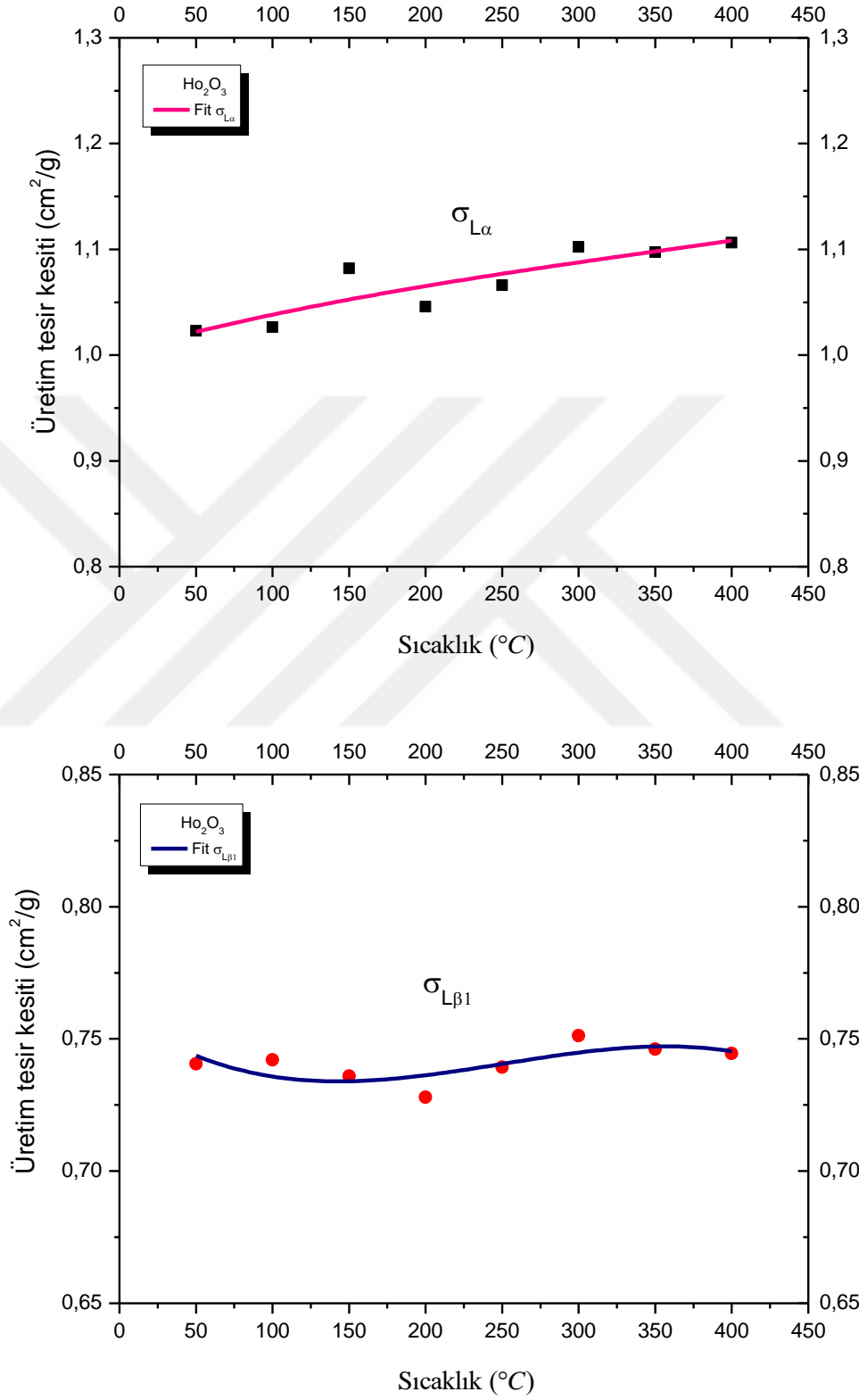
Şekil 4.19. (devam)



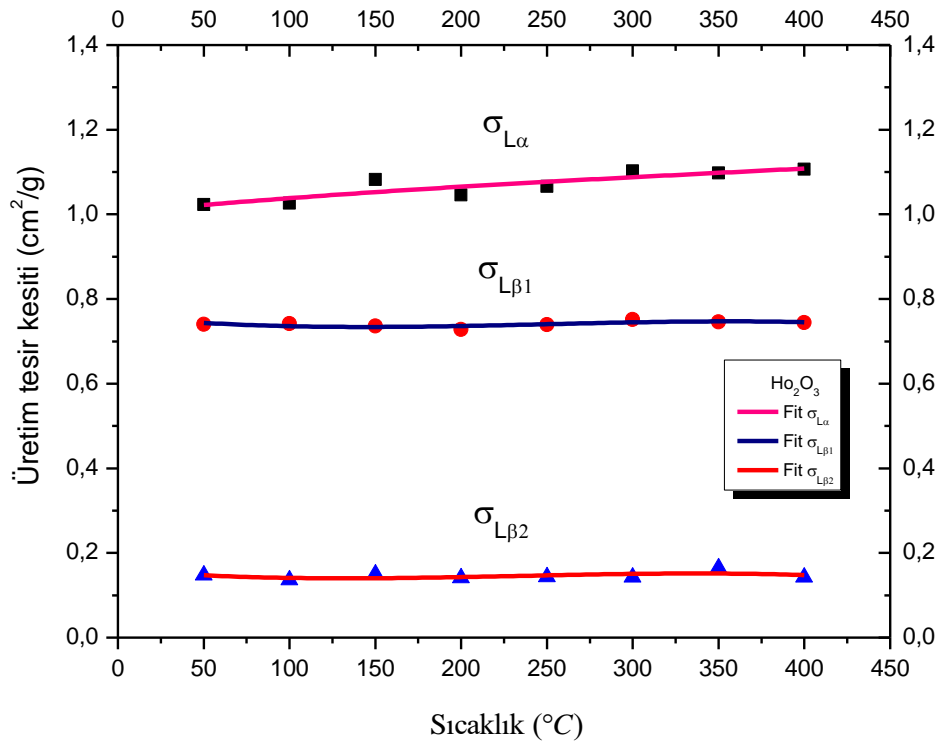
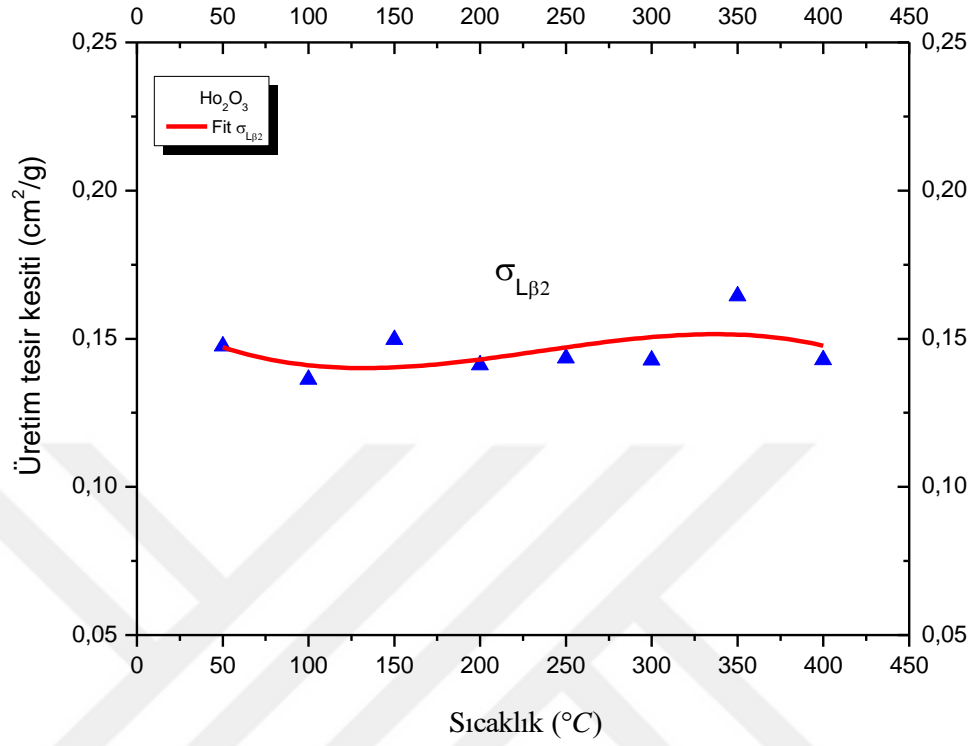
Şekil 4.19. (devam)



Şekil 4.19.  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak  $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ,  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$  ve  $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi

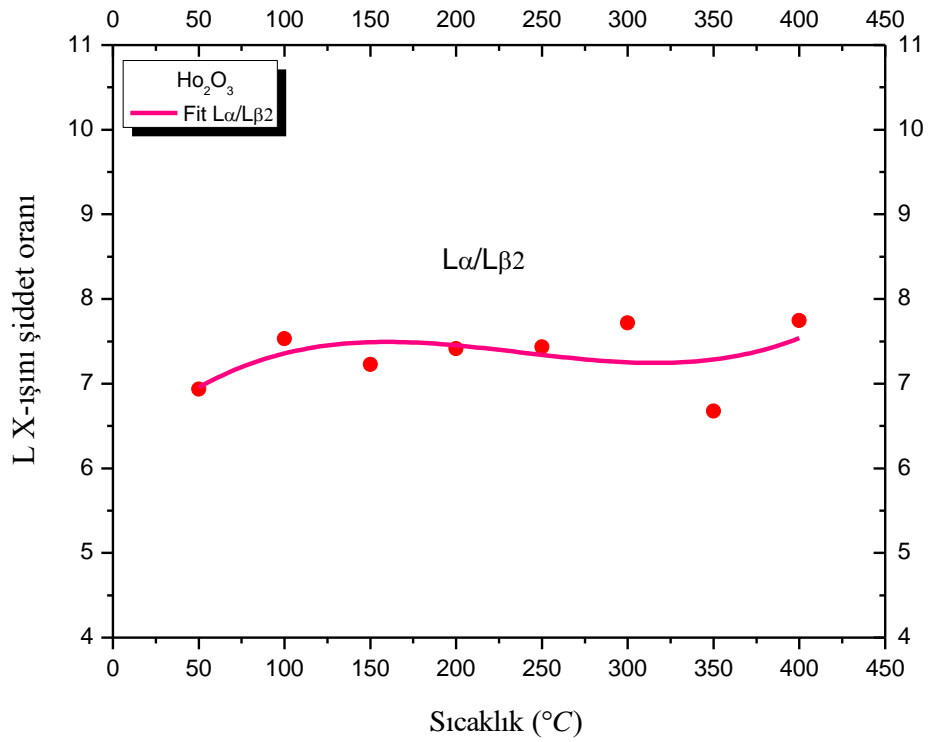
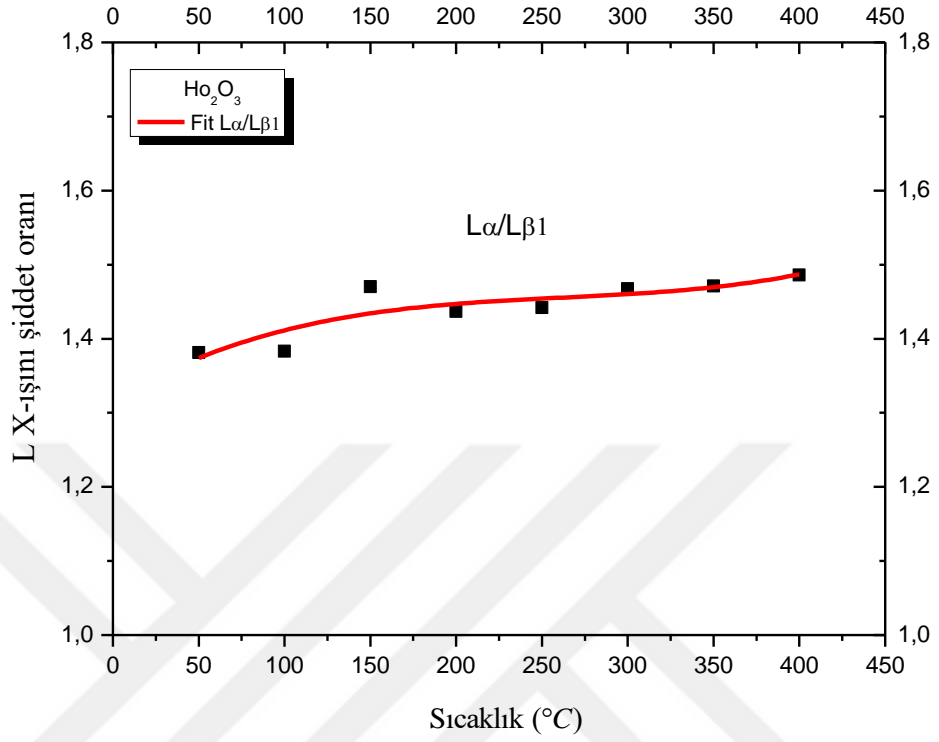


Şekil 4.20. (devam)

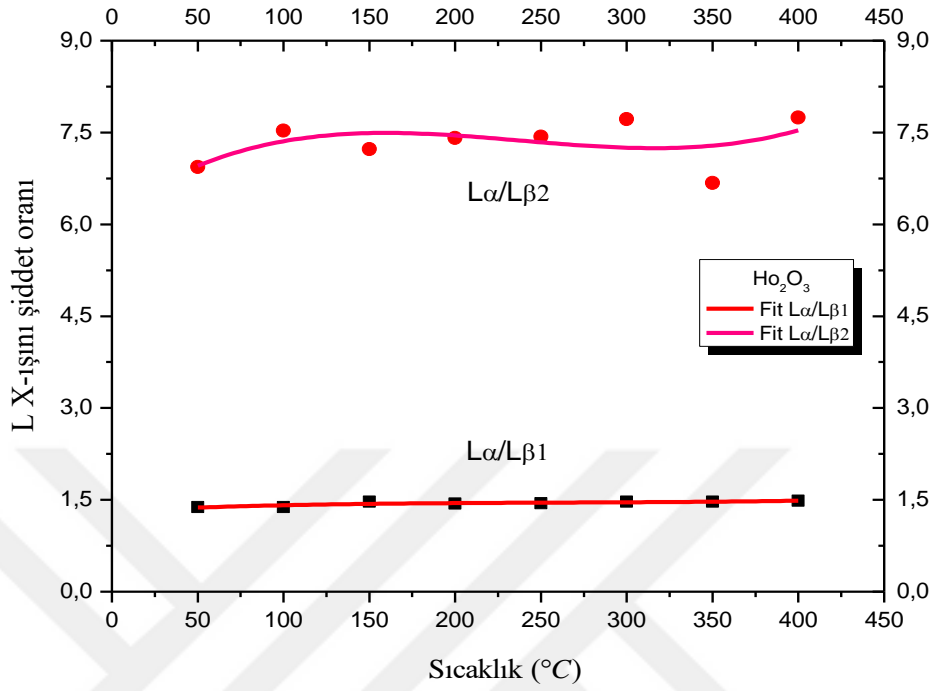


Şekil 4.20. (devam)

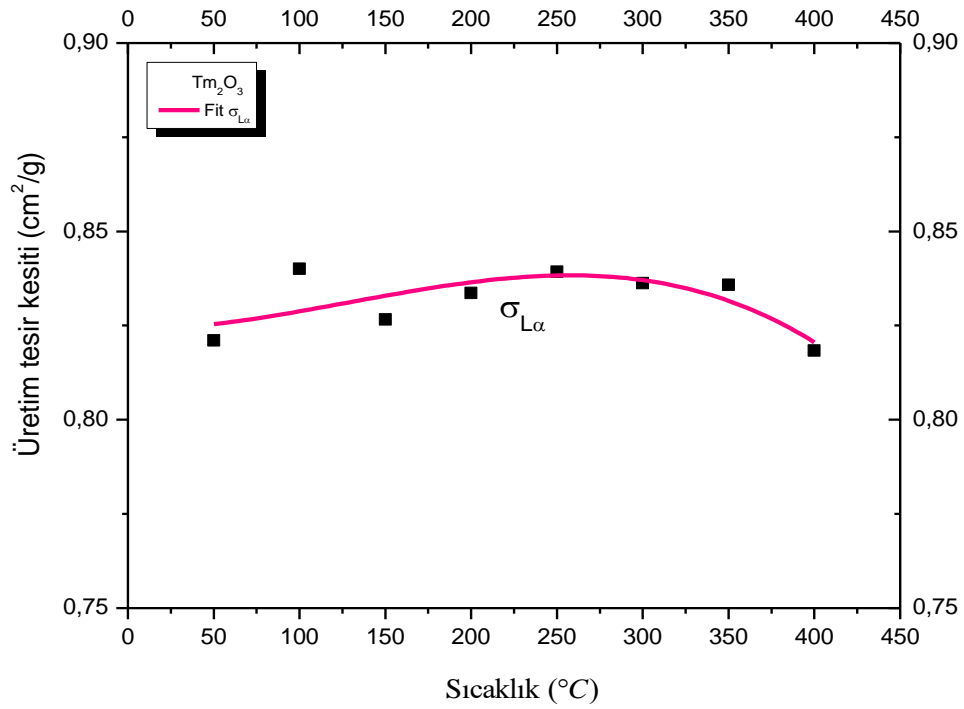




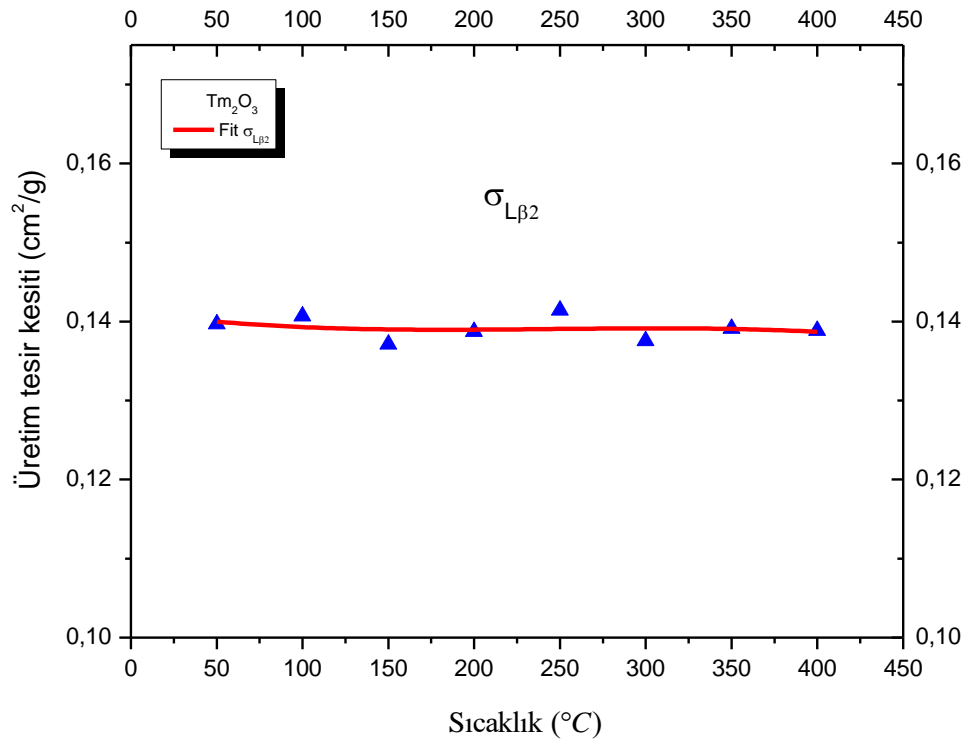
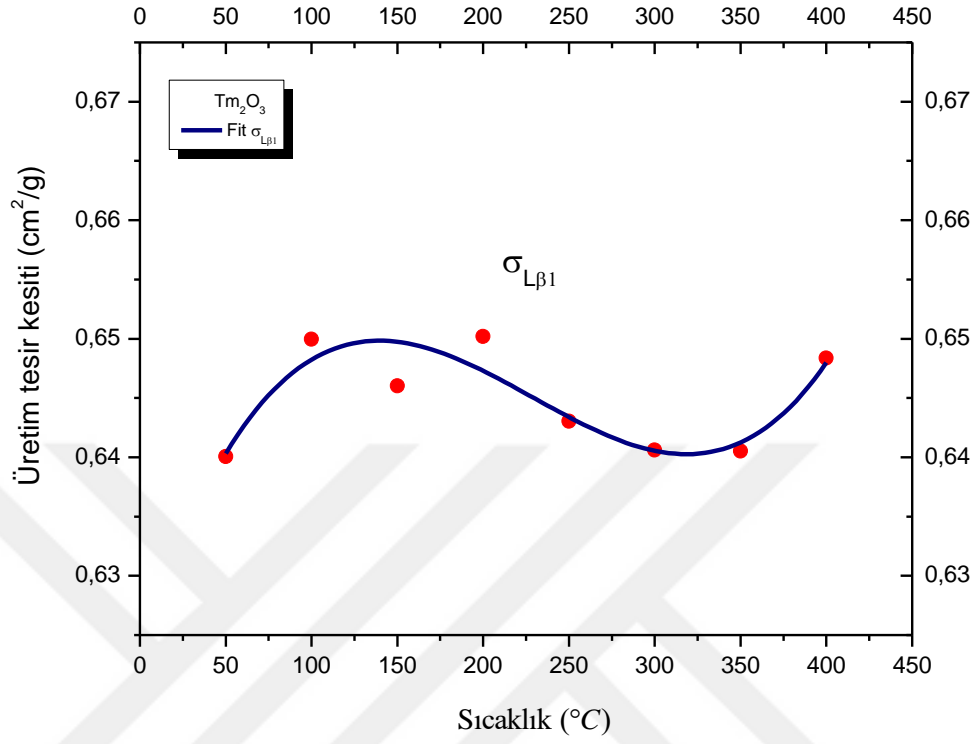
Şekil 4.20. (devam)



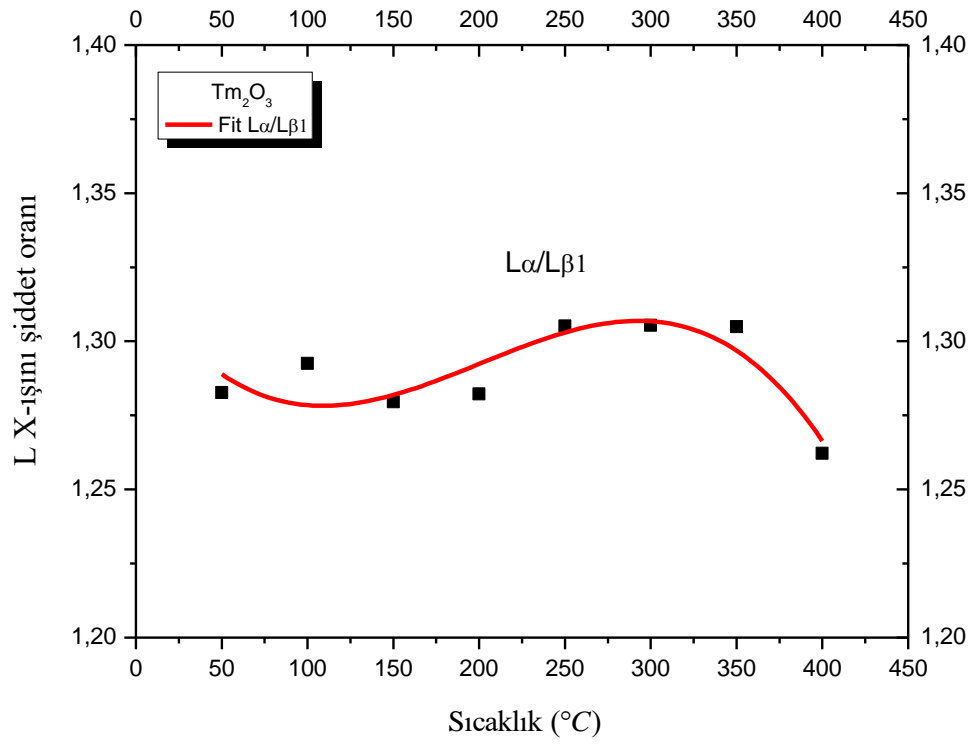
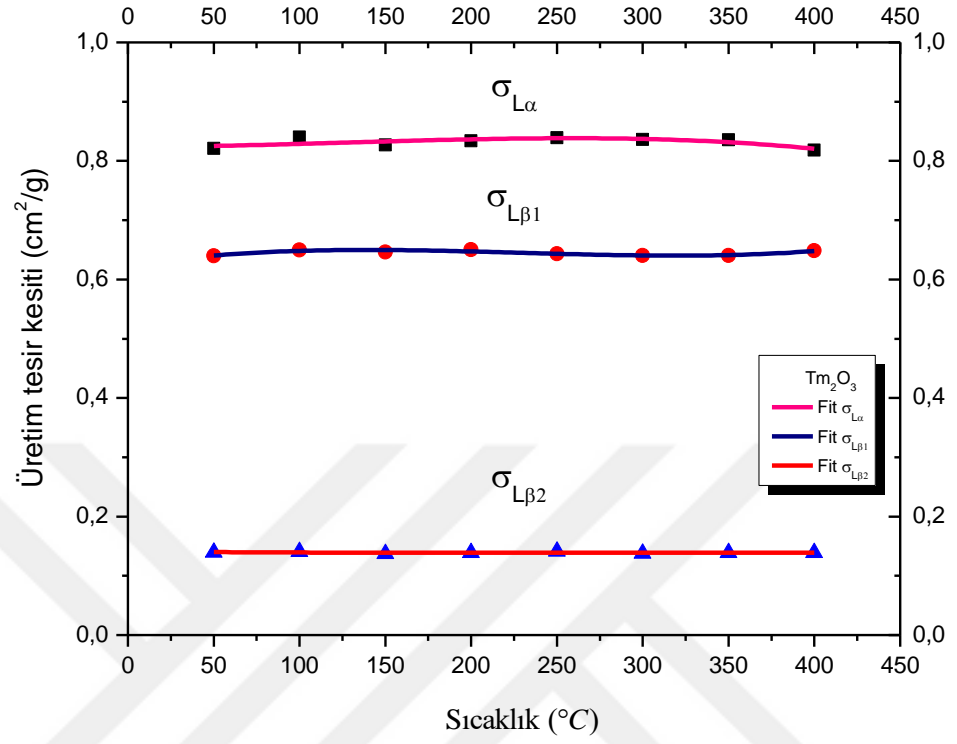
Şekil 4.20.  $Ho_2O_3$  için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak  $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ,  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$  ve  $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi



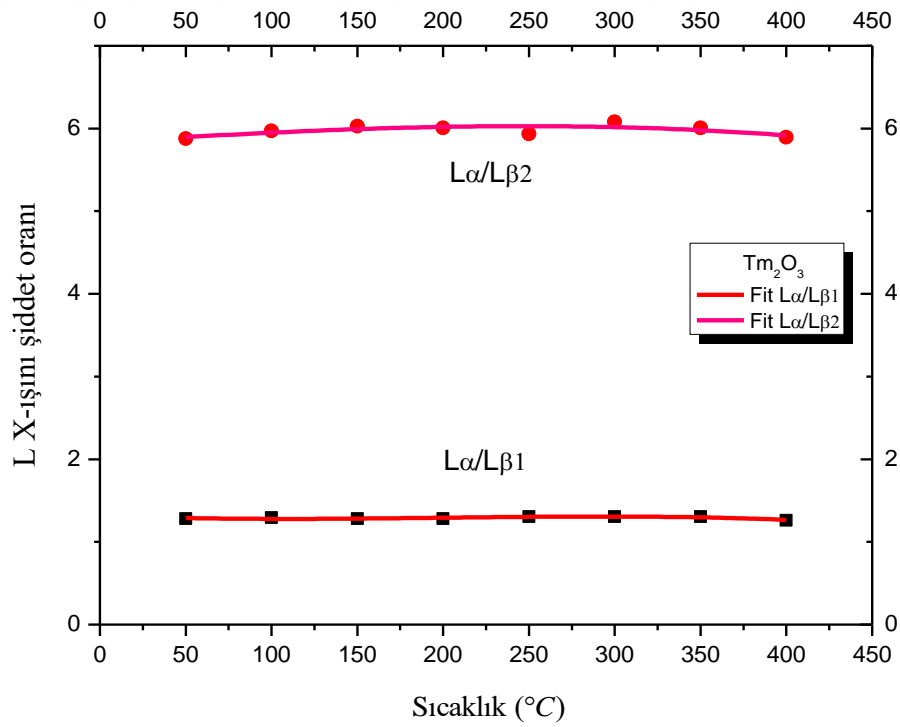
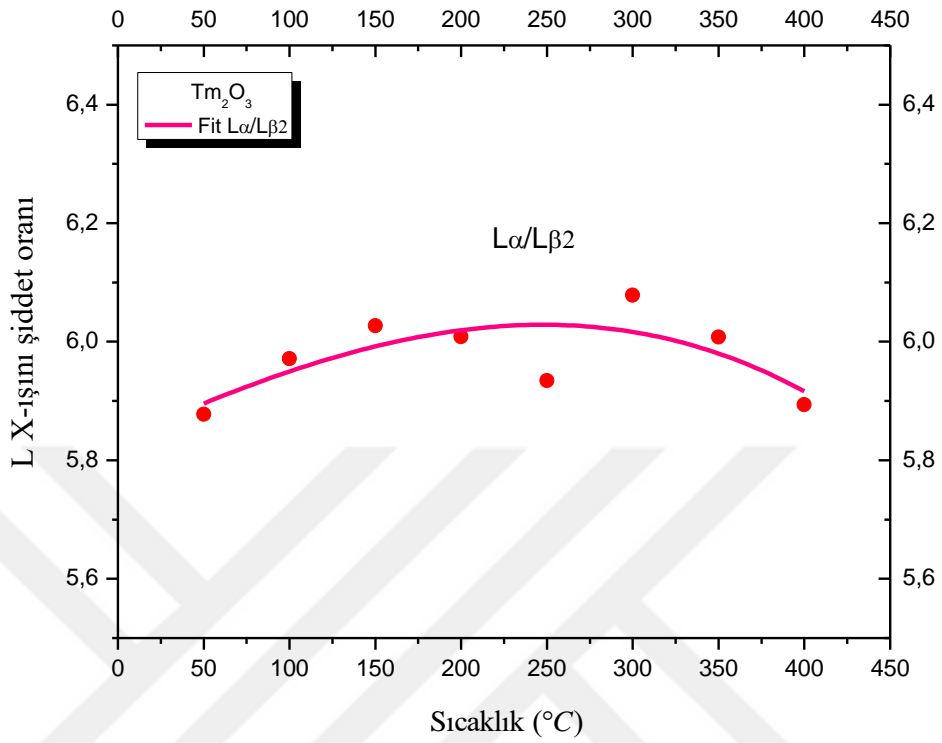
Şekil 4.21. (devam)



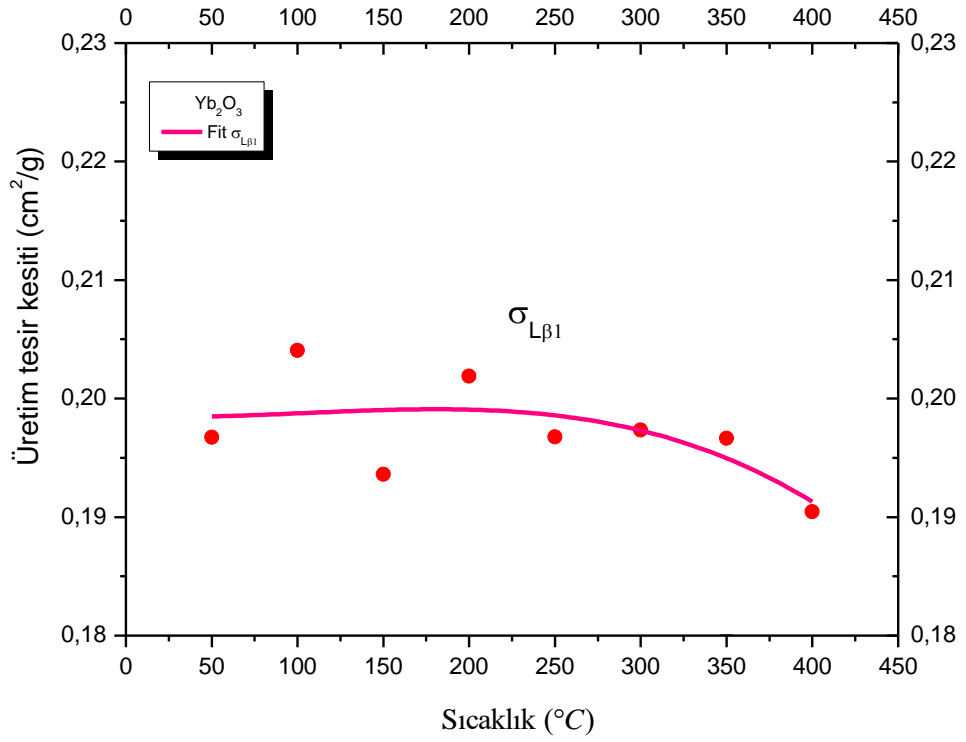
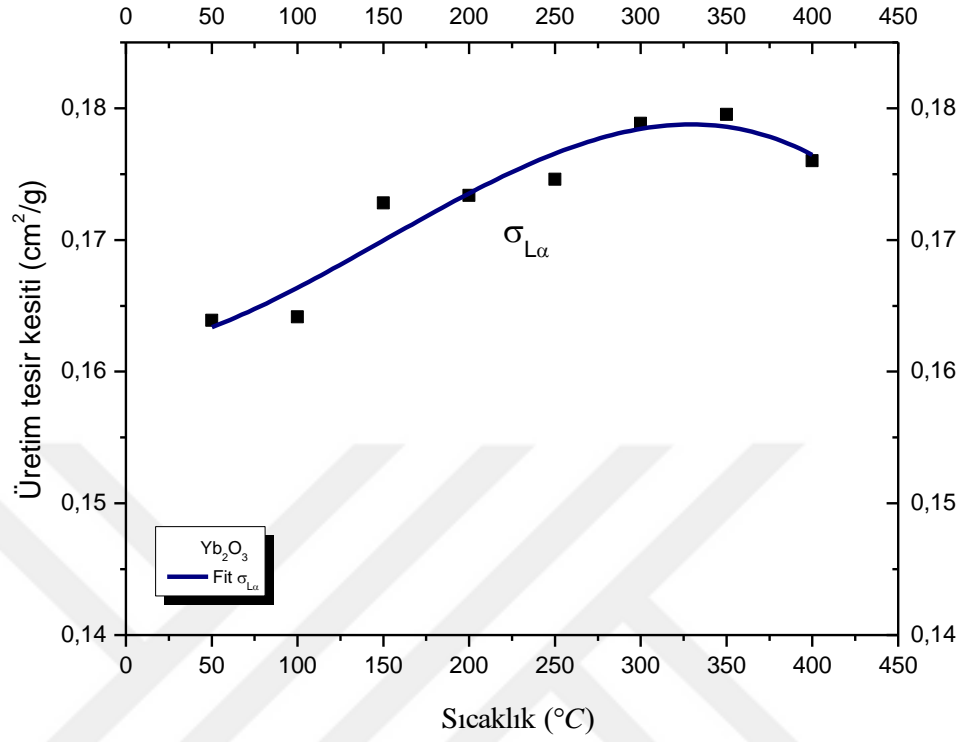
Şekil 4.21. (devam)



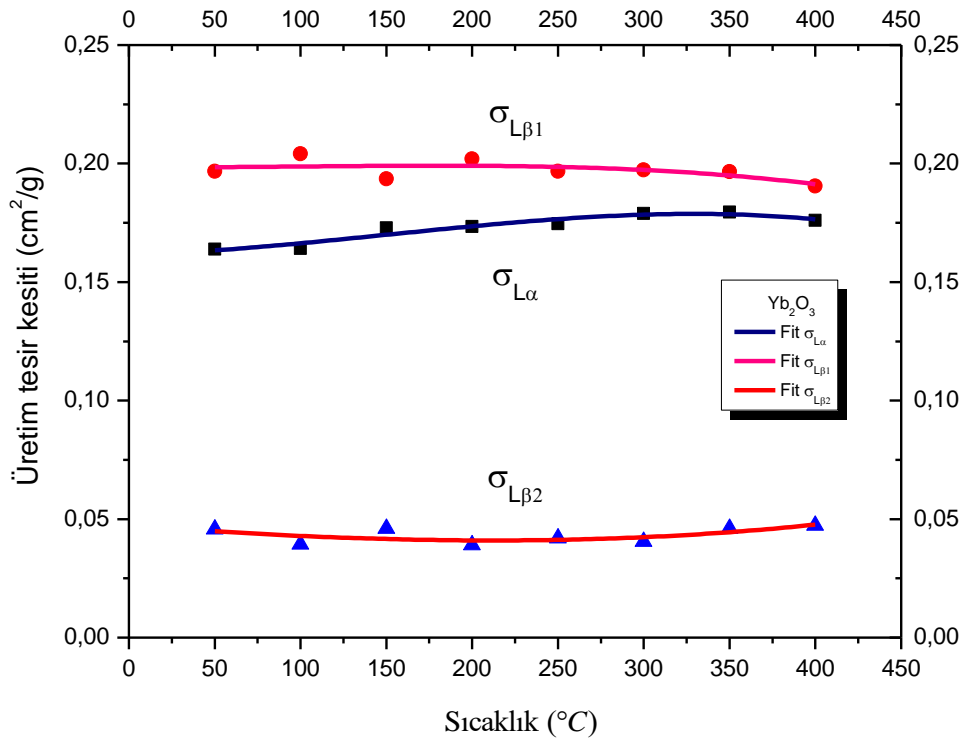
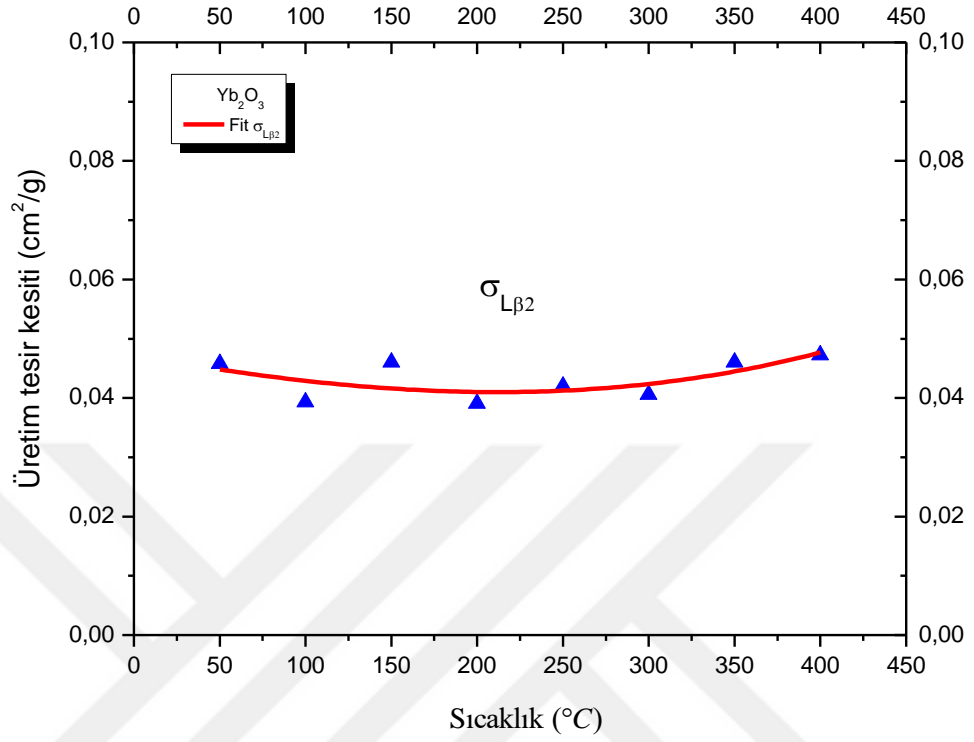
Şekil 4.21. (devam)



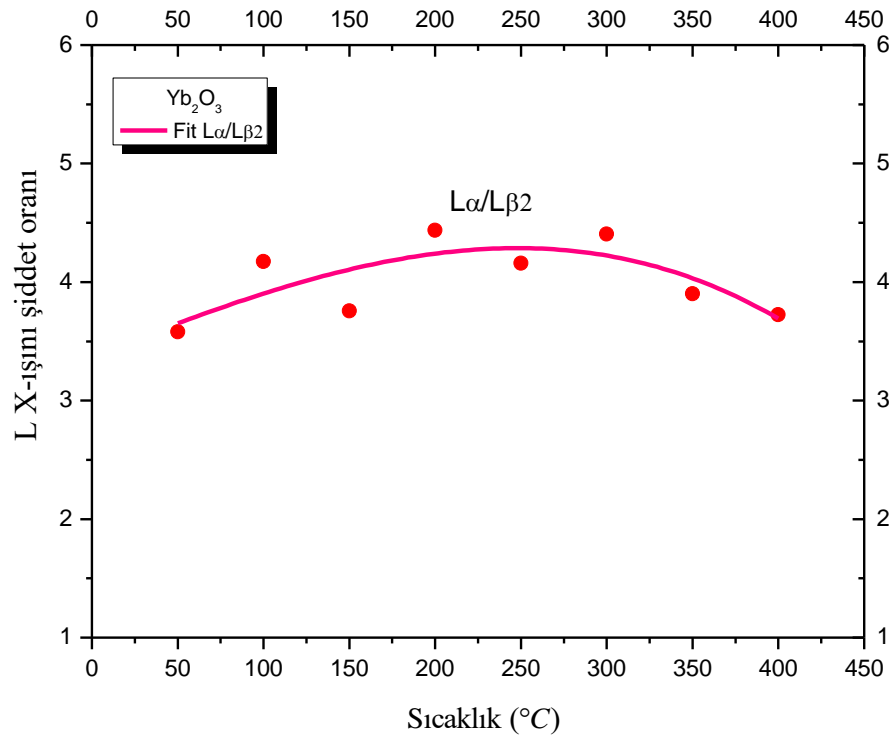
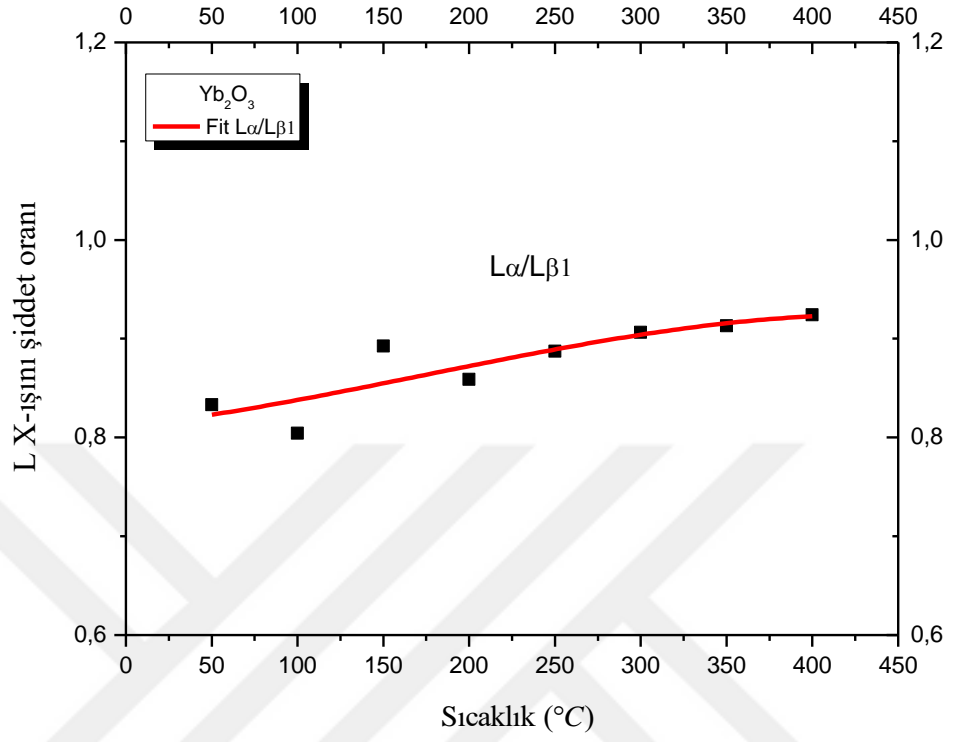
Şekil 4.21.  $Tm_2O_3$  için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta_2}$ ,  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$  ve  $\sigma_{L\beta_2}$ 'nin değişimi



Şekil 4.22. (devam)

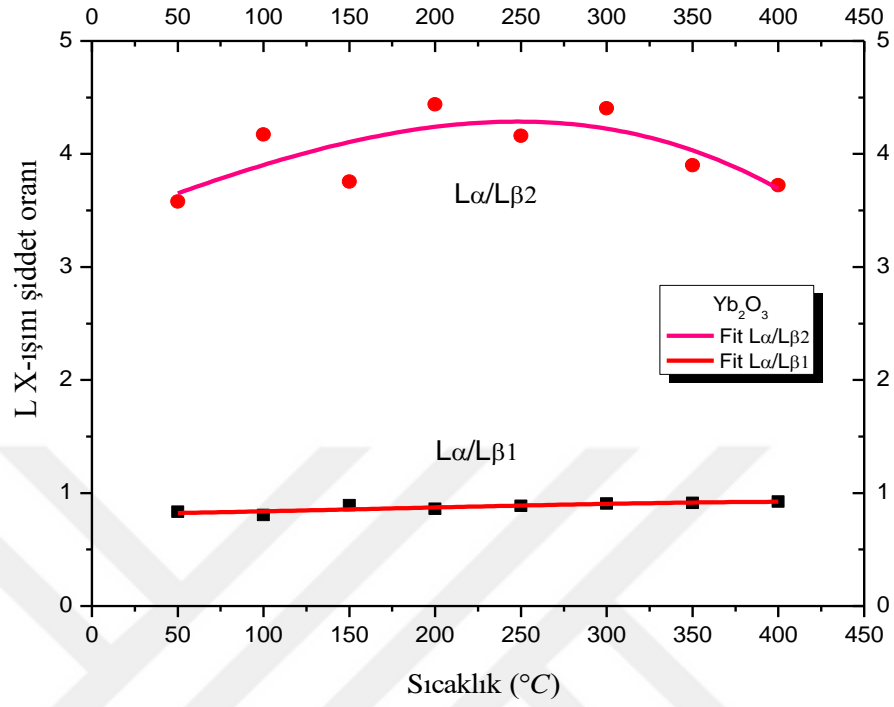


Şekil 4.22. (devam)

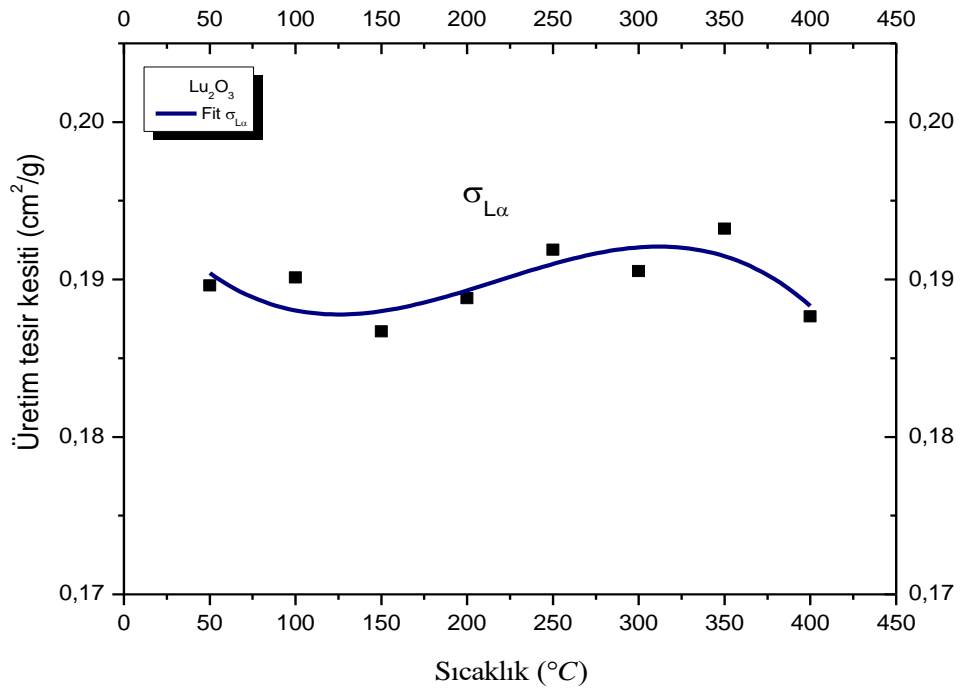


Şekil 4.22. (devam)

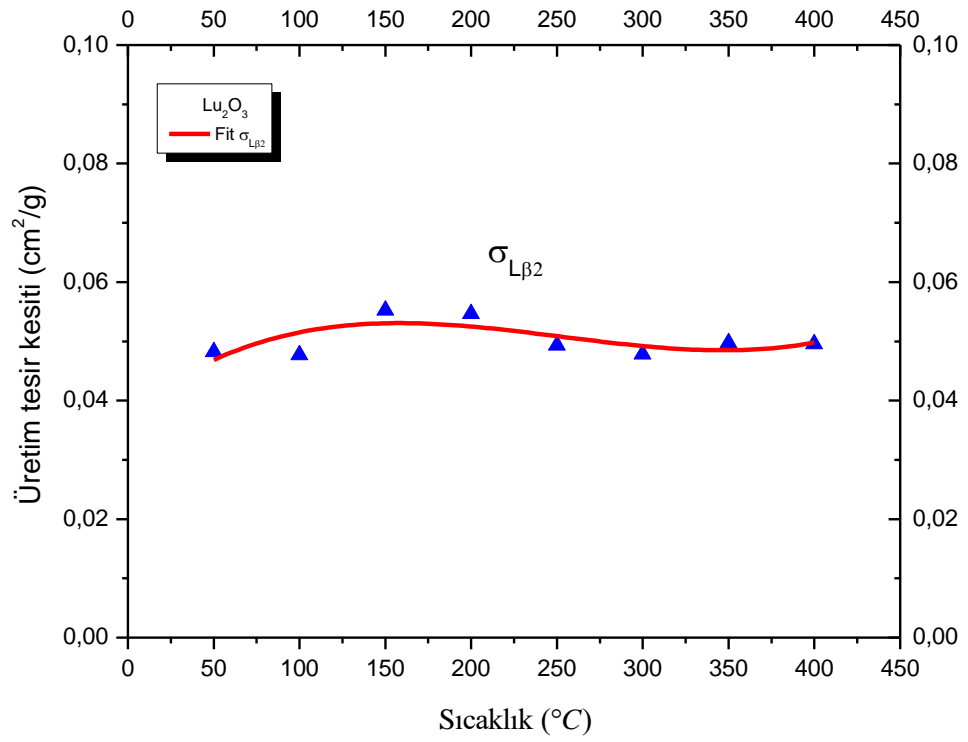
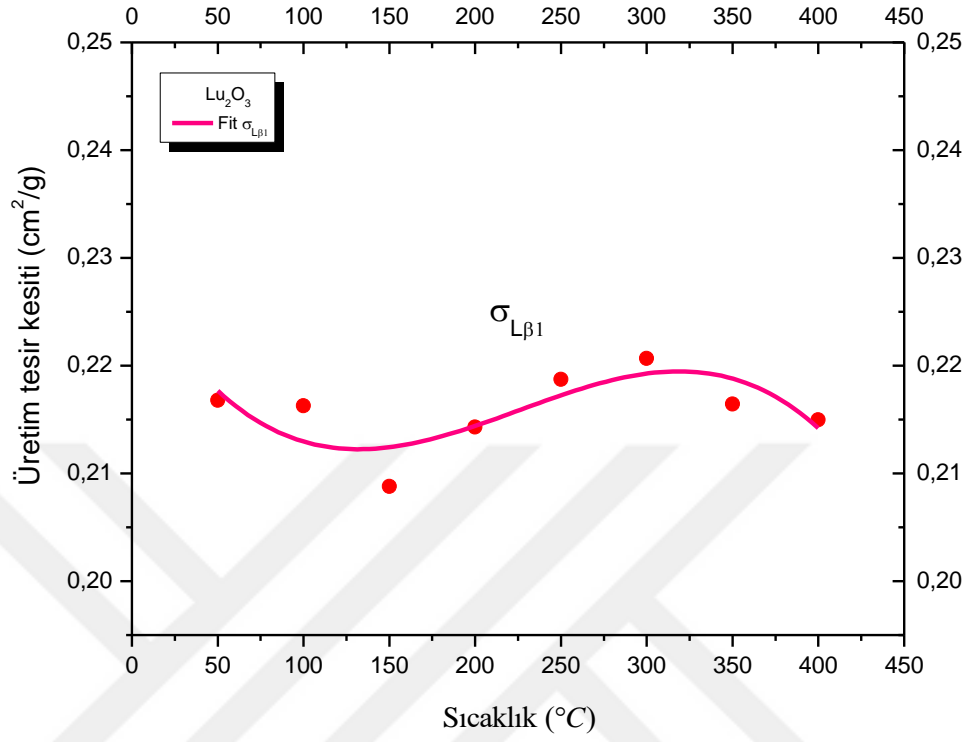




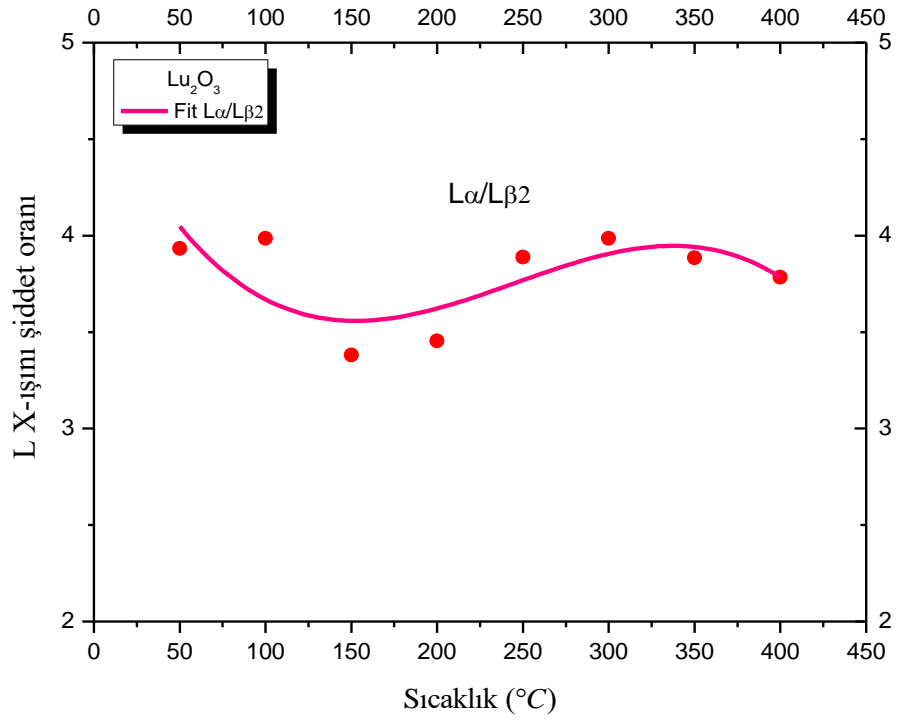
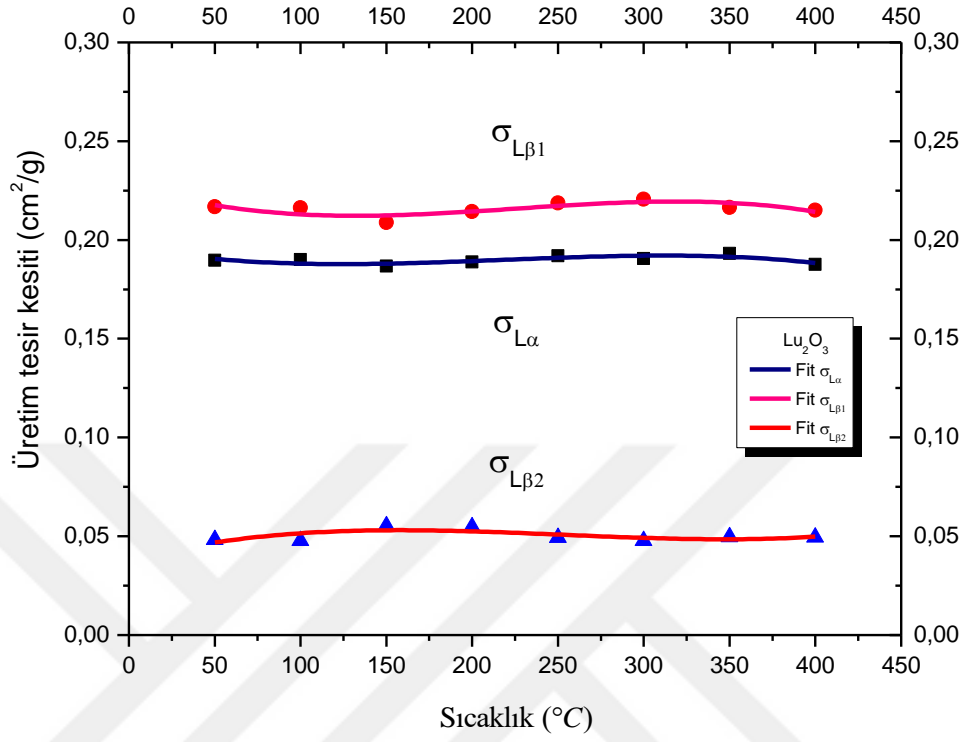
Şekil 4.22. Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak  $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ,  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$  ve  $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi



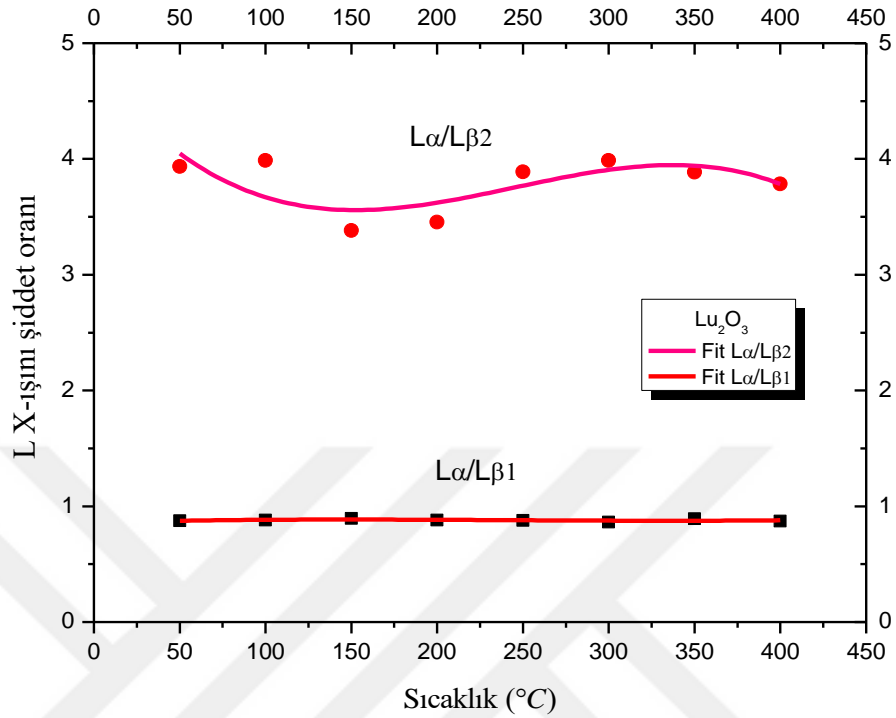
Şekil 4.23. (devam)



Şekil 4.23. (devam)



Şekil 4.23. (devam)



**Şekil 4.23.** Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak  $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ,  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$  ve  $\sigma_{L\beta2}$ 'nin değişimi

Lantanit bileşiklerinden CeO<sub>2</sub>, Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>, Sm<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Tm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için elde edilen L X-ışını spektrumları Şekil 4.8-15'te verilmiştir. Bu bileşiklerin Lα, Lβ<sub>1</sub> ve Lβ<sub>2</sub> X-ışını piklerinin şiddetine karşılık enerji olacak biçimde Origin 8.5 programı kullanılarak seçilen sıcaklık aralığındaki tüm ölçüler için çizilmiştir. Bu bileşikler için elde edilen spektrumların değerlendirilmesi ile hesaplanan L X-ışını şiddet oranları ( $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$  ve  $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$ ), Lα, Lβ<sub>1</sub> ve Lβ<sub>2</sub> X-ışını üretim tesir kesitleri ( $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$  ve  $\sigma_{L\beta2}$ ) ve FWHM değerleri Çizelge 4.4-11'de verilmiştir. Ayrıca lantanit bileşikleri için  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta1}$ ,  $\sigma_{L\beta2}$  ve  $I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$ ,  $I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$  parametrelerinin sıcaklıkla değişimi grafik formunda Şekil 4.16-23'de gösterilmiştir.

CeO<sub>2</sub> bileşiği için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4 ve Şekil 4.16'da verilmiştir.  $\sigma_{L\alpha}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 100°C'ye kadar küçük bir oranda azalmanın ardından 300°C'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir azalma

görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_1}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 350°C'ye kadar bir artmanın ardından 400°C'ye kadar bir azalma görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_2}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 100°C'ye kadar küçük bir oranda azalmanın ardından 300°C'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir azalma görülmüştür. Üretim tesir kesitlerindeki en fazla değişim sırasıyla  $\sigma_{L\beta_2}$  (%27,3),  $\sigma_{L\alpha}$  (%17,2) ve  $\sigma_{L\beta_1}$  (%10,5) olduğu görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_1$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 100°C'ye kadar küçük bir oranda azalmanın ardından 300°C'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir azalma görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_2$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 100°C'ye kadar küçük bir artmanın ardından 200°C'ye kadar bir azalma, bu noktadan sonra 350°C'ye kadar tekrar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar bir azalma görülmüştür. L X-ışını şiddet oranlarındaki en fazla değişim sırasıyla  $L\alpha/L\beta_2$  (%20,1) ve  $L\alpha/L\beta_1$  (%9,2) olup artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Piklerin FWHM değerleri ise düzenli bir değişim göstermeyip  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  için en büyük değişim sırasıyla 0,30, 1,00 ve 0,61 eV'dir.  $4d^{10}5p^6$  elektron dizilimine sahip olan  $Ce^{+4}$ 'ün tüm orbitalleri doludur.

$Pr_6O_{11}$  bileşiği için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5 ve Şekil 4.17'de verilmiştir.  $\sigma_{L\alpha}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 250°C'ye kadar bir artmanın ardından 300°C'ye kadar küçük bir oranda azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir artış görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_1}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 250°C'ye kadar bir artmanın ardından 400°C'ye kadar küçük bir azalma görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_2}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 250°C'ye kadar bir artmanın ardından 400°C'ye kadar küçük bir azalma görülmüştür. Üretim tesir kesitlerindeki en fazla değişim sırasıyla  $\sigma_{L\beta_2}$  (%40,0),  $\sigma_{L\alpha}$  (%9,6) ve  $\sigma_{L\beta_1}$  (%5,7) olduğu görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_1$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar küçük bir oranda artmanın ardından 300°C'ye kadar küçük bir oranda azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir artış görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_2$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 250°C'ye kadar bir azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar bir artış görülmüştür. L X-ışını şiddet oranlarındaki en fazla değişim sırasıyla  $L\alpha/L\beta_2$  (%30,7) ve  $L\alpha/L\beta_1$  (%10,8) olup artma eğiliminde olduğu görülmüştür. FWHM değerleri ise sıcaklığın yükselmesi ile artma eğiliminde olup  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  için

en büyük değişim sırasıyla 0,67, 0,32 ve 0,94 eV'dir. Muhtemeldir ki artan sıcaklık gauss eğrisinde az da olsa yayvanlaşmaya neden olmuştur.  $4f^2$  elektron dizilimine sahip olan  $Pr^{+3}$ 'ün iki yarı dolu f orbitali vardır.

$Sm_2(SO_4)_3$  bileşiği için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6 ve Şekil 4.18'de verilmiştir.  $\sigma_{L\alpha}$  değerlerinde artan sıcaklıkla  $150^\circ C$ 'ye kadar küçük bir oranda azalmanın ardından  $300^\circ C$ 'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra  $400^\circ C$ 'ye kadar tekrar bir azalma görölmüştür.  $\sigma_{L\beta_1}$  değerlerinde artan sıcaklıkla  $150^\circ C$ 'ye kadar küçük bir oranda azalmanın ardından  $300^\circ C$ 'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra  $400^\circ C$ 'ye kadar tekrar bir azalma görölmüştür.  $\sigma_{L\beta_2}$  değerlerinde artan sıcaklıkla  $250^\circ C$ 'ye kadar bir azalmanın ardından  $350^\circ C$ 'ye kadar bir artma ve bu noktadan sonra  $400^\circ C$ 'ye kadar tekrar bir azalma görölmüştür. Üretim tesir kesitlerindeki en fazla değişim sırasıyla  $\sigma_{L\beta_2}$  (%19,3),  $\sigma_{L\alpha}$  (%10,9) ve  $\sigma_{L\beta_1}$  (%6,5) olduğu görölmüştür.  $L\alpha/L\beta_1$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla  $100^\circ C$ 'ye kadar küçük bir oranda artmanın ardından  $250^\circ C$ 'ye kadar bir azalma ve bu noktadan sonra  $400^\circ C$ 'ye kadar tekrar bir artış görölmüştür.  $L\alpha/L\beta_2$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla  $100^\circ C$ 'ye kadar bir azalmanın ardından  $200^\circ C$ 'ye kadar bir artış, bu noktadan sonra  $350^\circ C$ 'ye kadar tekrar bir azalma ve bu noktadan sonra  $400^\circ C$ 'ye kadar bir artış görölmüştür. L X-ışını şiddet oranlarındaki en fazla değişim sırasıyla  $L\alpha/L\beta_2$  (%15,7) ve  $L\alpha/L\beta_1$  (%7,6) olup artma eğiliminde olduğu görölmüştür. FWHM değerleri ise sıcaklığın yükselmesi ile azalma eğiliminde olup  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  için en büyük değişim sırasıyla 1,37, 1,61 ve 0,84 eV'dir.  $4f^5$  elektron dizilimine sahip olan  $Sm^{+3}$ 'ün beş yarı dolu f orbitali vardır.

$Eu_2O_3$  bileşiği için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7 ve Şekil 4.19'da verilmiştir.  $\sigma_{L\alpha}$  değerlerinde artan sıcaklıkla  $200^\circ C$ 'ye kadar bir azalmanın ardından  $350^\circ C$ 'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra  $400^\circ C$ 'ye kadar tekrar bir azalma görölmüştür.  $\sigma_{L\beta_1}$  değerlerinde artan sıcaklıkla  $250^\circ C$ 'ye kadar bir artmanın ardından  $400^\circ C$ 'ye kadar bir azalma görölmüştür.  $\sigma_{L\beta_2}$  değerlerinde artan sıcaklıkla  $200^\circ C$ 'ye kadar bir azalmanın ardından  $400^\circ C$ 'ye kadar bir artma görölmüştür. Üretim tesir kesitlerindeki en fazla değişim sırasıyla  $\sigma_{L\beta_2}$  (%38,8),  $\sigma_{L\alpha}$  (%5,8) ve  $\sigma_{L\beta_1}$  (%8,9) olduğu görölmüştür.  $L\alpha/L\beta_1$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla  $200^\circ C$ 'ye kadar azalmanın ardından

400°C'ye kadar bir artış görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_2$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 100°C'ye kadar bir artmanın ardından 250°C'ye kadar bir azalma, bu noktadan sonra 350°C'ye kadar tekrar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar bir azalma görülmüştür. L X-ışını şiddet oranlarındaki en fazla değişim sırasıyla  $L\alpha/L\beta_2$  (%39,3) ve  $L\alpha/L\beta_1$  (%16,3) olup artma eğiliminde olduğu görülmüştür. FWHM değerleri ise sıcaklığın yükselmesi ile  $L\alpha$  azalma  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  artma eğiliminde olup en büyük değişim sırasıyla 0,80, 1,07 ve 2,35 eV'dir.  $4f^6$  elektron dizilimine sahip olan  $\text{Eu}^{+3}$ 'ün altı yarı dolu f orbitali vardır.

$\text{Ho}_2\text{O}_3$  bileşiği için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8 ve Şekil 4.20'de verilmiştir.  $\sigma_{L\alpha}$  değerlerinde artan sıcaklıkla bir artış görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_1}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar küçük bir azalmanın ardından 350°C'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir azalma görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_2}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar küçük bir azalmanın ardından 350°C'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir azalma görülmüştür. Üretim tesir kesitlerindeki en fazla değişim sırasıyla  $\sigma_{L\beta_2}$  (%20,6),  $\sigma_{L\alpha}$  (%8,1) ve  $\sigma_{L\beta_1}$  (%2,3) olduğu görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_1$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla bir artış görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_2$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 200°C'ye kadar bir artmanın ardından 350°C'ye kadar küçük bir oranda azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir artış görülmüştür. L X-ışını şiddet oranlarındaki en fazla değişim sırasıyla  $L\alpha/L\beta_2$  (%16,0) ve  $L\alpha/L\beta_1$  (%7,6) olup  $L\alpha/L\beta_1$  artmış  $L\alpha/L\beta_2$  ise artma eğiliminde olduğu görülmüştür. FWHM değerleri ise sıcaklığın yükselmesi ile  $L\alpha$  artma  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  azalma eğiliminde olup en büyük değişim sırasıyla 0,84, 0,31 ve 1,45 eV'dir.  $4f^{10}$  elektron dizilimine sahip olan  $\text{Ho}^{+3}$ 'ün dört yarı dolu f orbitali vardır.

$\text{Tm}_2\text{O}_3$  bileşiği için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9 ve Şekil 4.21'de verilmiştir.  $\sigma_{L\alpha}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 250°C'ye kadar bir artmanın ardından 400°C'ye kadar bir azalma görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_1}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar bir artmanın ardından 300°C'ye kadar bir azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir artma görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_2}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 200°C'ye kadar bir azalmanın

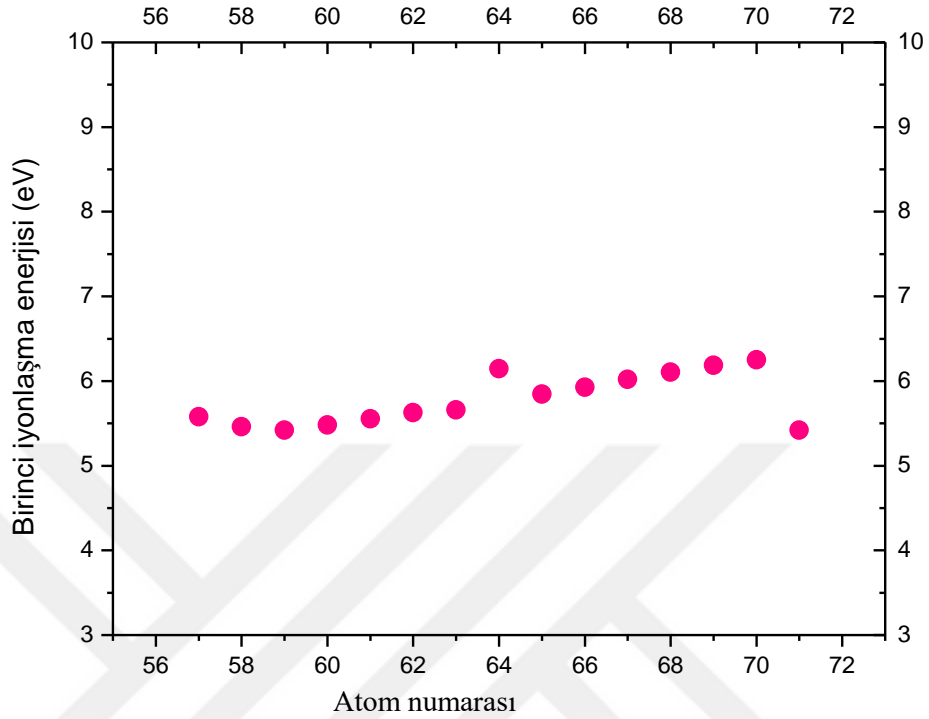
ardından 350°C'ye kadar küçük bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar küçük bir azalma görülmüştür. Üretim tesir kesitlerindeki en fazla değişim sırasıyla  $\sigma_{L\beta_2}$  (%3,1),  $\sigma_{L\alpha}$  (%2,7) ve  $\sigma_{L\beta_1}$  (%1,6) olduğu görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_1$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 100°C'ye kadar bir azalmanın ardından 300°C'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir azalma görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_2$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 250°C'ye kadar bir artmanın ardından 400°C'ye kadar bir azalma görülmüştür. L X-ışını şiddet oranlarındaki en fazla değişim sırasıyla  $L\alpha/L\beta_2$  (%3,4) ve  $L\alpha/L\beta_1$  (%2,0) olup artma eğiliminde olduğu görülmüştür. FWHM değerleri ise sıcaklığın yükselmesi ile  $L\alpha$  artma  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  hemen hemen sabit olup en büyük değişim sırasıyla 0,34, 0,22 ve 0,18 eV'dir.  $4f^{12}$  elektron dizilimine sahip olan  $Tm^{+3}$ 'ün iki yarı dolu f orbitali vardır.

$Yb_2O_3$  bileşiği için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10 ve Şekil 4.22'de verilmiştir.  $\sigma_{L\alpha}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 350°C'ye kadar bir artmanın ardından 400°C'ye kadar bir azalma görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_1}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 200°C'ye kadar bir artmanın ardından 400°C'ye kadar bir azalma görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_2}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 200°C'ye kadar bir azalmanın ardından 400°C'ye kadar bir artma görülmüştür. Üretim tesir kesitlerindeki en fazla değişim sırasıyla  $\sigma_{L\beta_2}$  (%21,0),  $\sigma_{L\alpha}$  (%9,5) ve  $\sigma_{L\beta_1}$  (%6,0) olduğu görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_1$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla bir artış görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_2$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 250°C'ye kadar bir artmanın ardından 400°C'ye kadar bir azalma görülmüştür. L X-ışını şiddet oranlarındaki en fazla değişim sırasıyla  $L\alpha/L\beta_2$  (%23,1) ve  $L\alpha/L\beta_1$  (%14,9) olup  $L\alpha/L\beta_1$  artmış  $L\alpha/L\beta_2$  ise artma eğiliminde olduğu görülmüştür. FWHM değerleri ise sıcaklığın yükselmesi ile  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  artma eğiliminde olup en büyük değişim sırasıyla 0,48, 0,45 ve 1,97 eV'dir.  $4f^{13}$  elektron dizilimine sahip olan  $Yb^{+3}$ 'ün bir yarı dolu f orbitali vardır.

$Lu_2O_3$  bileşiği için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11 ve Şekil 4.23'de verilmiştir.  $\sigma_{L\alpha}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar bir azalmanın ardından 350°C'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir azalma görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_1}$



değerlerinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar bir azalmanın ardından 300°C'ye kadar bir artış ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir azalma görülmüştür.  $\sigma_{L\beta_2}$  değerlerinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar bir artmanın ardından 350°C'ye kadar bir azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir artma görülmüştür. Üretim tesir kesitlerindeki en fazla değişim sırasıyla  $\sigma_{L\beta_2}$  (%15,7),  $\sigma_{L\alpha}$  (%3,5) ve  $\sigma_{L\beta_1}$  (%5,7) olduğu görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_1$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar bir artmanın ardından 350°C'ye kadar bir azalma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar tekrar bir artış görülmüştür.  $L\alpha/L\beta_2$  şiddet oranları incelendiğinde artan sıcaklıkla 150°C'ye kadar bir azalmanın ardından 350°C'ye kadar bir artma ve bu noktadan sonra 400°C'ye kadar bir azalma görülmüştür. L X-ışını şiddet oranlarındaki en fazla değişim sırasıyla  $L\alpha/L\beta_2$  (%17,9) ve  $L\alpha/L\beta_1$  (%3,6) olup artma eğiliminde olduğu görülmüştür. FWHM değerleri ise sıcaklığın yükselmesi ile  $L\alpha$ ,  $L\beta_1$  ve  $L\beta_2$  azalma eğiliminde olup en büyük değişim sırasıyla 0,20, 0,39 ve 0,83 eV'dir.  $4f^{14}$  elektron dizilimine sahip olan  $Lu^{+3}$ 'ün orbitalleri tam doludur.



Şekil 4.24. Lantanitleri atom numarasına göre birinci iyonlaşma enerjileri

Çizelge 4.12. Numunelerin L X-ışını şiddet oranlarının ve L X-ışını üretim tesir kesitlerinin sıcaklığa göre değişim yüzdeleri

Numune	$\sigma_{L\alpha}$	$\sigma_{L\beta1}$	$\sigma_{L\beta2}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta1}$	$I_{L\alpha}/I_{L\beta2}$
Gd	14,6	11,1	22,1	3,7	11,3
Dy	8,9	8,0	11,1	4,5	8,5
Er	5,0	2,2	9,5	3,0	14,8
CeO <sub>2</sub>	17,2	10,5	27,3	9,2	20,1
Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	9,6	5,7	40,0	10,8	30,7
Sm <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	10,9	6,5	19,3	7,6	15,7
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,8	8,9	38,8	16,3	39,3
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,1	2,3	20,6	7,6	16,0
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,7	1,6	3,1	2,0	3,4
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,5	21,0	6,0	14,9	23,1
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,5	5,7	15,7	3,6	17,9

$L\alpha$  X-ışınları  $M_5$ ,  $M_4-L_3$ ,  $L\beta_1$  X-ışınları  $M_4-L_2$  ve  $L\beta_2$  X-ışınları  $N_5-L_3$  tabakaları arasındaki geçişlerden doğar. Daha dış tabakadaki seviyeler daha düşük bağlanma

enerjisi ve daha fazla geçiş barındırdığı için i tabakalar arası geçişlere nazaran tesir kesitinde değişimin daha fazla olması beklenmektedir. Bu nedenle en fazla değişim  $L\beta_2$  de sonra  $L\alpha$  da ve en az değişim de  $L\beta_1$  X-ışınlarında beklenmektedir. Numunelerin L X-ışını şiddet oranlarının ve L X-ışını üretim tesir kesitlerinin sıcaklığa göre değişim yüzdeleri Çizelge 4.12’de verilmiştir. Sonuçlara göre beklentimiz karşılanmış olup,  $L\beta_2$  X-ışınları üretim tesir kesitlerindeki değişimin  $L\alpha$  X-ışını üretim tesir kesitlerindeki değişimden büyük olduğu,  $L\alpha$  X-ışını üretim tesir kesitlerindeki değişimin de  $L\beta_1$  X-ışınları üretim tesir kesitlerindeki değişiminden büyük olduğu ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  hariç) görülmektedir. Dolaylı olarak üretim tesir kesitindeki değişim şiddet oranlarına yansımış, lantanit element ve bileşiklerin  $L\alpha/L\beta_2$  X-ışını şiddet oranlarının değişim yüzdeleri incelendiğinde değişimin fazla olduğu,  $L\alpha/L\beta_1$  X-ışını şiddet oranlarının yüzde değişimin ise az olduğu görülmektedir. Bu değişimlerin lantanit elementlerine nazaran lantanit bileşiklerinde ( $\text{Tm}_2\text{O}_3$  hariç) daha fazla olduğu görülmüştür.

Atom numarası 57 olan lantandan atom numarası 71 olan lütesyuma kadar olan lantanitlerin birinci iyonlaşma enerjileri 5,58-6,25 eV arasında değişmektedir. Bu değişim Şekil 4.24’te gösterilmektedir. Sıcaklık artmasıyla elektronlara  $E_k=3/2kT$  kadar bir enerji vermiş oluruz. Burada k Boltzmann sabiti ve T sıcaklıktır. Dolayısıyla eğer verilen enerji yeterli ise iyonlaşma olabilir. Lantanitlerin birinci iyonlaşma enerjileri atom numarasına göre Şekil 4.24’te görülmektedir. Burada iyonlaşma enerjisi 5,58-6,25 eV arasında değişmektedir. Sıcaklıkla bizim verdiğimiz enerji ise 0,04-0,09 eV arasında değişmektedir. Buradan iyonlaşma olmayacağı anlaşılabilir; ancak verilen bu enerji iyonlaşma enerjilerinin biraz daha düşmesine sebep olabilir. Bu da enerji seviyelerinin genişlemesine sebep olur. Bu etki geçiş olasılıklarını da değiştirir. Geçiş olasılıklarının değişmesi de tesir kesitinin ve buna bağlı parametrelerinin de değişmesine neden olur. Bu geçiş olasılıklarının ne yönde ve nasıl değiştğine dair literatürde teorik bir model olmadığı için düzensiz olarak değişebilir. Elektronik konfigürasyonlara göre bu etki bazılarında artma bazılarında ise azalma olarak etki edebilir. Bu çalışmada tesir kesitlerinde ve şiddet oranlarında düzensiz artış ve azalışların olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin geçiş olasılıklarının düzensiz olarak değişmesi olduğu düşünölmektedir.

Sıcaklık artması soğurma kıyılarının da değişimine sebep olur. Bizim verdiğimiz enerjinin soğurma kıyılarının yanında küçük olması sebebiyle bu değişim  $K$ 'nın çizgi genişliğinde yüzdesel olarak çok az etki yaparken daha üst tabakaların çizgi genişliğinde daha fazla etki yapar.

Spektral çizgilerin genişlemesine neden olan olaylar belirsizlik etkisi (doğal genişleme), izotop etkisi, doppler etkisi, basınç artması etkisi (çarpışma etkisi) ve elektrik manyetik alan etkisi (zeeman etkisi)'dir. Bunların içerisinde sıcaklıkla değişim gösteren etki basınç artması etkisi ve doppler etkisidir. Doppler genişlemesi atomların ışınmayı salarken veya absorplarken hızlı bir şekilde hareket etmelerinden kaynaklanır. Hızlı hareket eden atomların absorpladığı veya yaydığı ışının dalga boyunun dedektöre doğru giderken azalması, ters yöne giderken artması olayına dayanır. Sıcaklık artarken atomların hızları da artacağından, bu tür genişleme daha da büyür. Çarpışma genişlemesi, temel halde bulunan ve tayini yapılan atomlarla öteki atom veya moleküllerin çarpışmalarından ileri gelir. Çarpışma sonucu temel halde bulunan atomlar farklı enerji seviyelerine çıkarlar ve dolayısıyla farklı ışınlar absorplarlar. Doppler genişlemesi gibi, basınç genişlemesi de sıcaklıkla artar. Dolayısıyla, yüksek sıcaklıklarda her zaman için absorpsiyon ve emisyon pikleri daha genişlemiş olarak gözlenir. Basınç genişlemesi sonucu doğal çizgi kalınlaşmasından yüzlerce hatta binlerce kat daha büyük çizgi genişlemesi olur. Bu etkiler FWHM değerlerinin değişmesine de sebep olmaktadır; ancak bu değişmelerde de yine düzensizlik görülebilir. FWHM değerleri tabii çizgi genişliği, sıcaklıktan kaynaklı genişlemeler ve diğer genişlemelerin toplamıdır. Elde edilen sonuçlarda bu etkiler nedeniyle değişimler görülmektedir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada; lantanit elementlerinin ve bileşiklerinin sıcaklık değişimi in-situ yapılmak suretiyle 50-400°C aralığında 50°C'lik adımlarla değiştirilerek  $L\beta_1$ ,  $L\beta_2$  ve  $L\alpha$  emisyon spektrumları elde edildi ve FWHM'ları,  $L\beta_1$ ,  $L\beta_2$  ve  $L\alpha$  ve tüm L pikleri altında kalan alanların durumu incelendi. Tüm numuneler için  $\sigma_{L\alpha}$ ,  $\sigma_{L\beta_1}$  ve  $\sigma_{L\beta_2}$ , L X-ışını şiddet oranları ve FWHM değerleri hesaplandı.

$M_4-L_2$  tabakaları arasındaki geçişler sonucu oluşan  $L\beta_1$  X-ışınları,  $M_5$ ,  $M_4-L_3$  tabakaları arasındaki geçişler sonucu oluşan  $L\alpha$  X-ışınlarına nazaran artan sıcaklıktan daha az etkilenmiştir.  $L\alpha$  X-ışınları da  $N_5-L_3$  tabakaları arasındaki geçişler sonucu oluşan  $L\beta_2$  X-ışınlarına nazaran artan sıcaklıktan daha az etkilenmiştir.

Temel haldeki atomların hızlandırılmış elektronlarla bombardıman edilmesi, sıcaklıklarının artırılması veya fotonlarla bombardıman edilmesi sonucu uyarılma enerjisi elde edilebilir. Yayınlanan enerji başlangıç ve son durumlar arasındaki enerji farkı ile ilgilidir. Eğer numune hem radyoaktif bir kaynak yardımıyla uyarılır hem de sıcaklığa maruz kalırsa numunenin emisyon spektrumunu uyarılmış durumdaki atomların sayısına bağlı olduğundan etkilenir. Bir atomlaştırmacıda uyarılmış ve uyarılmamış atomların sayısı arasındaki oran sıcaklığa bağlıdır ve Boltzmann eşitliği ile verilir. Bu eşitliğe göre atomlaştırmacının sıcaklığı yükselirse uyarılmış atomların sayısı artmaktadır. Bu da emisyon spektrumdaki piklerin şiddetini artırır. Ancak termal olarak uyarılmış atomlardan ziyade başlangıçta uyarılmamış atomlar sıcaklıktan daha az etkilenir. Lantanit elementlerindeki değişimlerin bileşiklere göre daha az olmasının sebebi de bu olabilir.

Sıcaklığın spektral çizgilerin genişlemesi, iyonlaşma enerjilerine olan etkisi ve soğurma kıyılarına olan etkisi sebebiyle geçiş olasılıkları ve buna bağlı olarak şiddet oranları ve tesir kesitlerinde bir değişim gözlenmiştir. FWHM değerlerinde de sıcaklığa bağlı değişim gözlenmiştir.

Yapılan literatür taraması sonucunda lantanit element ve bileşiklerinin L X-ışını şiddet oranları, L X-ışını üretim tesir kesitleri ve FWHM değerleri üzerine sıcaklığın etkisinin in-situ olarak incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada elde edilen bulguların başka çalışmaların sonuçları ile kıyaslanması mümkün olmamıştır.



**KAYNAKLAR**

- Ahmadi, N., 2016. X-Işını Haritalama Tekniği ile Numunelerin Haritalanması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Akkuş, T., 2016. U, Pb, Hf, Sm ve Sb Elementlerinin Bazı L Alt Tabaka X-ışınlarının Açılma Dağılımlarının Deneysel Tayini. . Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Akman, F., Durak, R., Kaçal, M.R. and Turhan, M.F., 2015. Measurement of Li X-ray Fluorescence Production Cross-Sections and Intensity Ratios of Some Elements at 59.54 keV. Canadian Journal of Physics, 93, 1057.
- Bansal, H., Tiwari, M.K. and Mittal, R., 2017. L X-ray Intensity Ratio Measurements Using Selective L Sub-Shell Photo-ionisation on Synchrotron. Radiation Physics and Chemistry, 139, 22-26
- Barrea, R.A. and Bonzi, E.V., 2001. Hf, Ta, W and Re Experimental L X-ray Fluorescence Cross-Sections at 12, 13 and 14 keV with Synchrotron Radiation. Spectrochimica Acta Part B, 56, 2429-2437.
- Baydaş, E., Ekinci, N., Büyükkasap, E. and Şahin, Y., 1998. Chemical Effects on La/L $\beta$  X-ray Intensity Ratios of Ba, La and Ce. Spectrochimica Acta Part B, 53, 151-154.
- Baydaş, E., 2000. Atom Numarası  $22 \leq Z \leq 29$  Elementlerin Halojenli Bileşiklerinde Uyarma Enerjisine Bağlı Olarak K Tabakası Flöresans Tesir Kesitleri Üzerine Kimyasal Etkiler. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Beckhoff, B., Kanngießer, B., Langhoff, N., Wedell, R., Wolff, H., 2006. Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis. Springer-Verlag, 899 p, Heidelberg.
- Berke, N. S., 2014. Eskişehir-Beylikahır Kompleks Cevheri Lantanit Grubu Elementlerin Toryum ve Uranyumdan Metalurjik Proseslerle Ekstraksiyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Binzat, G., 2015. Temiz Enerji ve İleri Teknoloji Üretiminde Nadir Toprak Elementlerin (NTE) Önemi ve Küresel Güçlerin Gizli Mücadelesi. Enerji ve Enerji Güvenliği Araştırmaları Merkezi, <http://www.21yyte.org/tr/arastirma/enerji-ve-enerji-guvenligi-arastirmalari-merkezi/2015/02/13/8054/temiz-enerji-ve-ileri-teknoloji-uretiminde-nadir-toprak-elementlerin-nte-onemi-ve-kuresel-guclerin-gizli-mucadelesi> (13.11.2017).
- Bonfiglioli, T.A., Olsina, R.A., Fernandez, L.P. and Masi, A.N., 2003. Europium Preconcentration by Filtration of Ternary Complexes Prior Their Determination by XRF Spectrometry. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 18(10), 1263-1266.
- Bulcar, K., 2014. Zn<sub>1-(y+x)</sub>Mn<sub>y</sub>Gd<sub>x</sub>O (y = 0.01; x = 0.02, 0.03, 0.04) Bileşiklerinin Yapısal ve Manyetik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman.
- Bulun, G., 2010. 3d-Geçiş Metali Ni Katkılı Zn<sub>1-x</sub>Ni<sub>x</sub>O ve 4f-Lantanit Gd Katkılı Zn<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>O Bileşiklerinin Yapısal ve Manyetik Özellikleri. Doktora Tezi, Çukurova

- Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Büyükkasap, E., Baydaş, E., Söğüt, Ö. and Şahin, Y., 2001. L X-ray Intensity Ratios of Some Elements in the Region of  $56 \leq Z \leq 83$ . *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 247(3), 487-489.
- Büyükkasap, E., Söğüt, Ö. and Küçükönder, A., 2005. Measurements of  $L_{\alpha}/L_{\beta}$  X-ray Intensity Ratios. *Canadian Journal of Physics*, 83(9), 951-955.
- Castor, S.B. and Hedrick, J. B., 2006. Rare Earth Elements. 7th Edition Industrial Minerals & Rocks, Kogel, J. E., Trivedi, N. C., Barker, J. M. and Krukowski, S. D..Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), USA, 769-792.
- Cotton, S., 2006. Lanthanide and Actinide Chemistry. John Wiley and Sons, Ltd, 280 p, Uppingham School, Uppingham, Rutland, U.K..
- Çelik, S., 2012. X Işınlardan Korunmada Yeni Bir Kompozit Materyalin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Doku Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Debertin K. and Helmer, R.G., 1988. Gamma and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors. North-Holland, 402 p, Amsterdam.
- Demir, D., 2005. Dış Elektrik ve Manyetik Alanların Compton Saçılması ile K ve L X-Işınlının Açılmal Dağılımına Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Demir, D. and Şahin, Y., 2007.  $L_1/L_{\alpha}$  X-ray Intensity Ratios for Elements in the Range  $73 \leq Z \leq 92$  Excited by 59.54 keV Photons in An External Magnetic Field. *Radiation Physics and Chemistry*, 77, 121-124.
- Demir, D. and Şahin, Y., 2008.  $L_1/L_{\alpha}$  X-ray Intensity Ratios for Elements in the Range  $73 \leq Z \leq 92$  Excited 59.54 keV Photons in An External Magnetic Field. *Radiation Physics and Chemistry*, 77, 121-124.
- De Vito, I.E., Olsina, R.A. and Masi, A.N., 2000. Enrichment Methods for Trace Amounts of Rare Earth Elements Using Chemofiltration and XRF Determination. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 368(4), 392-396.
- Doğu, E., 2016. Periyodik Çizelge. Slide Player, <http://slideplayer.biz.tr/slide/8911943/> (14.12.2017).
- Durak, R., Özdemir, Y. and Şahin, Y., 2001. Measurement of  $K_{\alpha}$  to  $L_{\alpha}$  and  $K_{\beta}$  to  $L_{\beta}$  Intensity Ratios of Seven Elements in the Atomic Number Range  $56 \leq Z \leq 66$  Using Photoionization at 59.54 Kev. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 70, 333-340.
- Durak, R. and Özdemir, Y., 2001. Measurement of  $L_{\alpha}/L_1$ ,  $L_{\alpha}/L_{\beta}$  and  $L_{\alpha}/L_{\gamma}$  X-ray Intensity Ratios for Elements in the Atomic Range  $57 \leq Z \leq 92$  Using Radioisotope X-ray Fluorescence . *Physics Letters A*, 284, 43-48.
- Durdağı, S.P., 2013. Effect of Applied External Magnetic Field on the L X-ray Emission Line Structures of the Lanthanide elements. *Radiation Physics and Chemistry*, 92, 1-7.
- Durdağı, S.P., 2017. Chemical Environment Change Analysis on L X-ray Emission Spectra of Some Lanthanide Compounds. *Microchemical Journal*, 130, 27–32.
- Durdu, B. G., 2001. Re, Pt ve Au L X-Işını Şiddet Oranlarının Enerjiye Bağımlılığı. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Ertuğrul, M., 1995. Measurement of  $K_{\alpha}$  to  $L_{\alpha}$  intensity Ratio of Lanthanides Following Photoionization at 59.5 keV. *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and*



- Optical Physics, 28, 4037-4040.
- Ertuğrul, M., 1996. Measurement of Cross-Section and Coster-Kroning Transition Effecet on L Subshell X-ray of Some Heavy Elements in the Atomic Range  $79 \leq Z \leq 92$  at 59.5 keV. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 119, 345-351.
- Evcin, A., 2006. Mühendislik Kimyası Ders Notları. Afyonkarahisar Üniversitesi, <https://tr.scribd.com/document/252442619/Genel-Kimya-Afyonkarahisar-Universitesi-Muhendislik-Kimyas%C4%B1-Ders-Notlar%C4%B1> (12.12.2017).
- Gray, T.J., 1980. Energy Dependence of  $L\alpha$ -to- $L_1$  X-ray Intensity Ratios for Yb and Pb Produced by Heavy-ion Bombardment. Physical Review A, 22(4), 1758-1759.
- Han, İ., 2009. Geçiş Metallerinin Valens Elektron Yapılarının X-Işını Şiddet Oranları Vasıtasıyla Belirlenmesi, X-Işını Şiddet Oranlarının Tavlama Sıcaklığına Bağlı Davranışlarının İncelenmesi, Alaşım İçin Etkin Atom Numaraları ve Elektron Yoğunluklarının Tayini. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Han, I. and Demir, L., 2010. Effect of Annealing Treatment on  $K\beta$ -to- $K\alpha$  Intensity Ratios of 3d Transition-metal Alloys. Physical Review A, 81, 062514.
- Han, I., Porikli, S., Şahin, M. and Demir, L., 2010. Measurement of  $L\alpha$ ,  $L\beta$  and Total L X-ray Fluorescence Cross-Sections for Some Elements with  $40 \leq Z \leq 53$ . Radiation Physics and Chemistry, 79, 393–396.
- Haxel, G. B., Hedrick, J. B., Orris, G. T., Stauffer, P. H. and Hendley, J. W., 2002. Rare Earth Elements: Critical Resources for High Technology. USGS Numbered Series.
- Hubbell J.H., Trehan, P.N., Singh N., Chand B., Mehta D., Garg M.L., Garg R.R., Singh S., Puri S., 1994, A Review, Bibliography and Tabulation of K, L and Higer Atomic Shell X-ray Fluorescence Yields, Journal of Physical and Chemical Reference Data, 23, (2), 339–364.
- Gerward, L., Guilbert, N., Bjorn J.K., Leving, H., 2001. X-ray Absorption in Matter, Reengineering XCOM, Radiation Physics and Chemistry, 60, 23–24.
- Gurur, 2016. Atomun Uyarılması. NKFU, <http://www.nkfu.com/atomun-uyarilmasi-nedir-hakkinda-bilgi/> (24.03.2018).
- Gülsün, Z., Yıldırım, H. ve Çetin, M., 1989. Çağdaş Fiziğin Kavramları. Dicle Üniversitesi Yayınları, 488 s, Diyarbakır.
- Kaçal, M.R., Durak, R., Akman, F., Turhan, M.F. and Han, I., 2011. Measyrement of L Subshell Fluorescence Cross Section and Intensity Ratios of Heavy Elements at 22.6 keV. Radiation Physics and Chemistry, 80, 692-700.
- Karabulut, A. and Gürol, A., 2006. Measurements of L XRF Fluorescence Cross-Section and Relative Intensity Ratios for Some Elements in the Atomic Range  $73 \leq Z \leq 92$ . Nuclear Instruments and Methods B, 244, 303-306.
- Karaçoban, B., 2011. Bazı Lantanit Atomlarının Atomik Yapı Hesaplamaları. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kaur, M., Mohan, H., Jain, A.K., Singh, P.S., Vohra, N. and Sharma, S., 2015. Investigation of L X-ray Intensity Ratios in Pt Induced by Proton Collisions. Advanced Materials and Radiation Physics, 1675(020055).
- Kavaz, E., 2016. 3d ve Bazı 4d Geçiş Metallerinin K X-Işını Şiddet Oranlarının ve Xrf Parametrelerinin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Kittel, C., 1996. Introduction to Solid State Physics. Wiley, 673 p, USA.
- Koçak, S. B., 2017. Kim 433 Metaller Kimyası. Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri, [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/6600/mod\\_resource/content/0/%287.%20Konu%29.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/6600/mod_resource/content/0/%287.%20Konu%29.pdf) (01.11.2017).
- Kurucu, Y., 1990. 59,4 keV Gama Işınları Kullanılarak Al, Sn ve Ta'da Atom Başına Toplam Compton Saçılması Diferansiyel Tesir Kesitlerinin Farklı Açılarda Ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Küçükönder, M., Söğüt, Ö., Büyükkasap, E. and Ertuğrul, M., 1997. Chemical Effect on L X-ray Intensity Ratios of Mercury, Lead and Bismuth. Applied spectroscopy reviews, 32, 167-173.
- Man, K.S. and Allawadhi, K.L., 1998. L Subshell X-ray Intensity Ratios in Sm, Eu, Gd and Tb. X-ray Spectroscopy and Allied Areas, 59-61.
- Mohan, H., Jain, A.K. and Sharma, S., 2009. L X-ray Intensity Ratios in Pb with Protons. Application of Accelerators in Research and Industry, 1099, 191.
- Özarslan, S., 2012. Ağır Atomlarda Atomik Yapı Hesaplamaları. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Raghavaiah, C.V., Rao, N.V. Reddy, S.B., Satyanarayana, G., Murty, G.S.K., Rao, M.V.S.C. and Sastry, D.L., 1990.  $L\alpha/L\beta$ ; and  $L\alpha/L\gamma$  X-ray Intensity Ratios for Elements in the Range  $Z= 55-80$ . X-ray Spectrometry, 13.
- Rao, D.V., Cesareo, R. And Gigante, G.E., 1993. Measurement of  $L_1$ ,  $L\alpha$ ,  $L\beta$  and  $L\gamma$  X-ray Fluorescence Cross-Sections in Heavy Elements Excited by 36.62, 43.69, 48.30, 50.20 and 53.50 keV Photons. X-ray Spectrom, 22, 401-405.
- Rao, D.V., Cesareo, R. And Gigante, 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. Radiation Physics and Chemistry, 46(1), 17-22.
- Rao, D.V., Cesareo, R. And Gigante, G.E., 1996.  $L_1$ ,  $L\alpha$ ,  $L\beta$  and  $L\gamma$  X-ray Fluorescence Cross-Section for Ce, Pr and Sm Excited by Y and Mo  $K\alpha$  X-ray Photons. X-ray Spectrometry, 25, 74-77.
- Scofield, J.H., 1973, Theoretical Photoionization Cross-Section From 1-1500 keV, Lawrence Livermore Laboratory Report No. UCRL-51326.
- Scofield, J.H., 1974, Relativistic Hartree-Slater Values for K and L X-ray Emission Rates Lawrence Livermore Laboratory Report No. UCRL-94550 Atomic Data and Nuclear Data Tables, 14, 121-137.
- Shatendra, K., Allawadhi, K.L. and Sood, B.S., 1983. Energy Dependence of Photon-Induced L-shell X-ray Intensity Ratios in Some High-Z Elements. Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics, 16, 23.
- Singh, G., Gupta, M.K., Dhaliwal, A.S. and Kahlon, K.S., 2015. Measurement of Attenuation Coefficient, Effective Atomic Number and Electron Density of Oxides of Lanthanides by Using Simplified ATM-Method. Journal of Alloys and Compounds, 619, 356-360.
- Sitko, R., Zawisza, B. and Czaja, M., 2005. Fundamental Parameters Method for Determination of Rare Elements in Apatites by Wavelength-dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 20(8), 741-745.
- Şahin, Y., Kurucu, Y., 2005. Atom Fiziği, Pegem A Yayıncılık, 248 s, Erzurum.

- Şahin, Y. ve Demir, D., 2013. X-ışını Spektroskopisi. Çimke Yayınları No: 6, 260 s, Konya.
- Şen, P., Kuşçu, E. ve Ak, S., 2012. Nadir Toprak Elementler, Özellikleri, Cevherleşmeleri ve Türkiye Nadir Toprak Element Potansiyeli. MTS Ekonomi Bülteni, [http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2012\\_13/MTA\\_EkonomiBulteni\\_13\\_1-pinarsen.pdf](http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2012_13/MTA_EkonomiBulteni_13_1-pinarsen.pdf) (13.11.2017).
- Şimşek, T., 2015. Değiş-Tokuş Etkileşimi Çiftlenimli Nanomiknatisların Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Taşcı, A., 2007. Lantanit Tetrakloroaurat Bileşiklerinin Sentezi ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Taşpolat, A., 2015. Lantanit Grubu Bileşiklerde Kimyasal Etkinin Dalga Boyu Ayrımlı X-ışını Spektrometresi Kullanılarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell Scientific Publications, 307 p, Australia.
- Turgut, U. and Ertuğrul, M., 2004. L X-ray Intensity Ratios for Elements in the Range  $74 \leq Z \leq 92$  at 31.635 keV. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 222, 432–436.
- Yalçın, P., Porikli, S., Kurucu, Y. and Şahin, Y., 2008. Measurement of relative L X-ray Intensity Ratio Following Radioactive Decay and Photoionization. Physics Letters B, 663, 186–190.
- Yüce, K., 2006. Nadir Toprak Elementleri. Bilim ve Teknik Dergisi, 39(468), 64-66.
- Wang, X., Xu, Z. and Zhang, Y., 2017. On the Angular Dependence of L X-ray Intensity Ratios for Au Following Photoionization. Radiation Physics and Chemistry, 133, 28-30.
- Williams, K. L., 1987. An Introduction to X-Ray Spectrometry: X-Ray Fluorescence and Electron Microprobe Analysis. Allen and Ulwin, 370 p, London, U. K..

## ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Yozgat'ta doğan Esra CİNAN ilköğrenimini Sorgun Feyzullah Bektaş İlköğretim Okulu'nda ve lise öğrenimini Arhavi Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi'nde tamamladı. 2006 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümü'nden bir yıl erken mezun olarak 2010 yılında birincilikle bitirdi. 2011 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen görevine devam etmektedir. 2012 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı'nda direkt doktora eğitimine başladı. 2012-2017 yılları arasında TÜBİTAK 2211-Yurtiçi Doktora Bursu ile ödüllendirilmiştir. Evli ve bir çocuk annesidir.