



**A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>7</sub> TİPİNDEKİ AKILLI MALZEMELERİN  
SENTEZ VE KARAKTERİZASYONU**

**Ebru SARILMAZ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İleri Teknolojiler Anabilim Dalı**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı**

**Yrd. Doç. Dr. Esra ÖZTÜRK**

**Eylül-2016**

**T.C**  
**KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>7</sub> TİPİNDEKİ AKILLI MALZEMELERİN SENTEZ VE**  
**KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Ebru SARILMAZ**

**Anabilim Dalı: İleri Teknolojiler**

**Programı : Metalurji ve Malzeme Mühendisliği**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Esra ÖZTÜRK**

**KARAMAN-2016**

## TEZ ONAYI

Ebru SARILMAZ tarafından hazırlanan “**A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Tipindeki Akıllı Malzemelerin Sentez ve Karakterizasyonu**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Esra ÖZTÜRK

Jüri Üyeleri

İmza:

Yrd. Doç. Dr. Volkan KALEM  
(Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fak.  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği)

Yrd. Doç. Dr. Aydın RÜŞEN  
(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fak.  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği)

Yrd. Doç. Dr. Esra ÖZTÜRK  
(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fak.  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği)

Tez Savunma Tarihi: 30.09.2016

**Yukarıdaki sonucu onaylıyorum**

Doç. Dr. Ahmet İPEK  
**Enstitü Müdürü**

## TEZ BİLDİRİMİ

Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Ebru SARILMAZ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### **A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>7</sub> TİPİNDEKİ AKILLI MALZEMELERİN SENTEZ VE KARAKTERİZASYONU**

**Ebru SARILMAZ**

**Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İleri Teknolojiler Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Esra ÖZTÜRK**

**Eylül, 2016, 81 sayfa**

Bu çalışmada,  $A_{1(2-x)}B_2O_7:xA_2^{+3}$  ( $A_{1,2}:+3$  yüklü nadir toprak elementleri,  $B:Ti^{+4}$ ) tipindeki malzemeler sentezlendi ve karakterize edildi. Sentez yöntemi olarak, uygulanışı kolay ve kirliliklere sebep olmayacak bir teknik olan yüksek sıcaklık katı hal yöntemi kullanıldı. Yüksek saflıktaki oksitlerden seçilen başlangıç maddeleri stokiometrik oranlarda ve homojen olarak karıştırıldıktan sonra değişen sıcaklık ve sürelerde ısıtım işlemi uygulandı. Başlangıç maddelerinden oluşan karışımların termal davranışları termal analiz yöntemleri (TG/DTA) ile incelendi. Isıtım işlemi uygulanan karışımların kristal sistemleri X-ışını toz difraksiyonu (XRD), numunelerin yüzey morfolojisi, tanecik boyutu dağılımı ve noktasal elementel analizleri taramalı elektron mikroskop (SEM-EDX) ile araştırıldı. Elde edilen kristal sistemlerin fotoluminesans spektrumları ve ışıma süreleri fotoluminesans spektrofotometre (PL) ile incelendi. Uyarma, ışıma dalga boyu, şiddeti, ışıma süreleri belirlenen malzemelerin dielektrik sabiti ( $\epsilon_{33}$ ), dielektrik kaybı ( $\tan\delta$ ) ve Curie sıcaklığı belirlendi.

Fotoluminesans ve dielektrik özellik kazandırılan sistemlerden  $La_{1.98}Nd_{0.02}Ti_2O_7$ 'ın kristal yapısının monoklinik, diğer sistemlerin ise kübik olduğu belirlendi. En iyi luminesans özellik gösteren sistemin  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  olduğu, optimum elektriksel özellik gösteren sistemin ise  $Eu_{1.98}Sb_{0.02}Ti_2O_7$  olduğu tespit edildi.

**Anahtar kelimeler:** A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, Luminesans malzemeler, Katı hal yöntemi.

## ABSTRACT

Ms. Thesis

### SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF $A_2B_2O_7$ TYPE SMART MATERIALS

Ebru SARILMAZ

Karamanoglu Mehmetbey University  
Graduate School of Natural and Applied Science  
Department of Advanced Technologies

Supervisor: Assistant Prof. Dr. Esra ÖZTÜRK

September, 2016, 81 pages

In this thesis,  $A_{1(2-x)}B_2O_7:xA_2^{+3}$  ( $A_{1,2}:3+$  charged rare earths,  $B:Ti^{4+}$ ) type materials were synthesized and characterized. As synthesis technique, high temperature solid state method is used that is easily applied and not cause impurity. High purity oxide starting materials were mixed homogeneously in a stoichiometric ratio. Heat treatments were performed at various temperatures. Thermal behaviors of mixtured starting materials were investigated by thermal analysis methods (TG/DTA). Crystal systems of heat treatment applied mixtures were determined by x-ray powder diffraction (XRD) method. Surface morphology, particle size distribution and elemental analysis of samples were investigated by scanning electron microscopy (SEM-EDX). Photoluminescence spectrums, wavelength and intensity of excitation, emission and life time of obtained crystal systems were studied by photoluminescence spectrophotometer (PL). Dielectric constant ( $\epsilon_{33}$ ), dielectric loss ( $\tan\delta$ ) and Curie temperature of materials were detected.

The systems have photoluminescence and dielectric properties, the crystal system of  $La_{1.98}Nd_{0.02}Ti_2O_7$  is determinated as a monoclinic crsytal system and the other crsytal system were a cubic crystal system. It was found that, the best photoluminescence and optimum electrical properties indicating systems are  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  and  $Eu_{1.98}Sb_{0.02}Ti_2O_7$  respectively.

**Key Words:**  $A_2B_2O_7$ , Luminescence materials, Solid state method.

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca benden hiçbir yardımı esirgemeyen saygı değer hocam Yrd. Doç. Dr. Esra ÖZTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Laboratuvar ortamındaki çalışmalarımda zamanını ve birikimini benden esirgemeyen, sabırlı bir şekilde göstermiş olduğu bütün katkılarından dolayı Arş. Gör. Erkul KARACAOĞLU'na teşekkür ederim.

Bu çalışmayı 114Z438 kodlu proje ile destekleyen TÜBİTAK' a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan ve bilgisini ve imkanlarını paylaşan saygı değer hocam Yrd.Doç. Dr.Volkan KALEM'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimine başlamamda beni destekleyen ve manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen sevgili eşime ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

EBRU SARILMAZ

Eylül-2016

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	3
2.1. Lüminesansın Tanımı ve Çeşitleri .....	3
2.1.1. Floresans ve Fosforesans .....	5
2.1.2. Singlet/Triplet Uyarılmış Haller .....	5
2.2. Enerji-Bandı Işıma Modeli .....	6
2.3. Terim Sembolleri .....	9
2.3.1. Temel Hal Terim Sembolleri ve Terimlerin Enerjileri .....	10
2.3.2. Seçicilik Kuralları .....	11
2.4. Aktivatörler .....	12
2.5. Curie Sıcaklığı .....	13
2.6. Dielektrik Özellikler .....	13
2.6.1. Dielektrik Sabiti .....	14
2.6.2. Dielektrik Kayıp .....	14
2.7. Tez Konusunun Literatürdeki Yeri .....	15
<b>3. MATERYAL VE METOT</b> .....	18
3.1. Materyal .....	18



3.1.1. Lantan (III) oksit ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ) .....	18
3.1.2. Samaryum (III) oksit ( $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ) .....	18
3.1.3. Europium (III) oksit ( $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ) .....	18
3.1.4. Erbiyum (III) oksit ( $\text{Er}_2\text{O}_3$ ) .....	18
3.1.5. Yitriyum (III) oksit ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) .....	18
3.1.6. Antimon (III) oksit ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) .....	19
3.1.7. Disporsiyum (III) oksit ( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ) .....	19
3.1.8. Lutesyum (III) oksit ( $\text{Lu}_2\text{O}_3$ ) .....	19
3.1.9. Neodimyum (III) oksit ( $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ) .....	19
3.1.10. Seryum (III) oksit ( $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ) .....	19
3.1.11. İndiyum (III) oksit ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) .....	19
3.1.12. Gadolinyum (III) oksit ( $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ) .....	20
3.1.13. İterbiyum (III) oksit ( $\text{Yb}_2\text{O}_3$ ) .....	20
3.1.14. Titanyum (II) oksit ( $\text{TiO}_2$ ) .....	20
3.2.2. X-Işını Toz Difraktometresi (XRD) .....	20
3.2.3. Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Termal Gravimetri (TG) .....	21
3.2.4. Analitik Terazî .....	21
3.2.5. Fotoluminesans Spektrofotometresi (PL) .....	21
3.2.6. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) .....	21
3.2.7. Hidrolik El Presi .....	22
3.2.8. Yoğunluk Ölçümleri .....	22
3.3. Metot .....	22
3.3.1. Takip Edilen Sistematik .....	22
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>27</b>
4.1. $\text{La}_{1,98}\text{Nd}_{0,02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi .....	27

4.2. $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi.....	33
4.3. $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi.....	38
4.4. $\text{Er}_{1.98}\text{Gd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi .....	42
4.5. $\text{Y}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi.....	46
4.6. $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi.....	50
4.7. $\text{Dy}_{1.98}\text{Yb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi.....	54
4.8. $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi.....	58
4.9. $\text{Lu}_{1.98}\text{Er}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi.....	63
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>67</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>73</b>
<b>7. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>81</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Işıldar sistemlerin başlangıç madde miktarları.....	23
Çizelge 3.2. Işıldar sistemlere uygulanan ısı işlemler .....	24
Çizelge 4.1. 1400 °C’de ısı işlem uygulanan $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin XRD deseni verileri.....	28
Çizelge 5.1. Işıldar sistemlerin kristal yapıları ve birim hücre parametreleri .....	67
Çizelge 5.2. Işıldar sistemlerin uyarma ve ışımaya dalga boyları ile ışımaya süreleri .....	70
Çizelge 5.3. Işıldar sistemlerin dielektrik sabiti, dielektrik kaybı ve Curie sıcaklığı.....	71

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Bant modeline göre lüminesans mekanizmasının enerji diyagramı .....	3
Şekil 2.2. Atomdaki elektron spinlerinin olası konumları .....	6
Şekil 2.3. Enerji-band modeli (Jablonski diyagramı) .....	7
Şekil 4.1. Stokiyometrik oranlardaki $\text{La}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{Nd}_2\text{O}_3$ başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı .....	27
Şekil 4.2. 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin XRD toz deseni .....	28
Şekil 4.3. $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin SEM görüntüsü .....	30
Şekil 4.4. $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin EDX analizi .....	30
Şekil 4.5. $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin uyarma ve ışımaya spektrumu.....	31
Şekil 4.6. $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin ışımaya süresi .....	32
Şekil 4.7. 1400 °C’ de ısıl işlem uygulanan $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ ’ın DTA/TG termogramı .....	32
Şekil 4.8. Stokiyometrik oranlardaki $\text{Sm}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{CeO}_2$ başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı .....	33
Şekil 4.9. 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin XRD toz deseni .....	34
Şekil 4.10. $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin SEM görüntüsü .....	34
Şekil 4.11. $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin EDX analizi.....	35
Şekil 4.12. $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin farklı dalga boylarındaki uyarma ve ışımaya spektrumu.....	36
Şekil 4.13. $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin ışımaya süresi.....	37
Şekil 4.14. 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ ’ın DTA/TG termogramı .....	37
Şekil 4.15. Stokiyometrik oranlardaki $\text{Eu}_2\text{O}_3$ , $\text{In}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı .....	38

<b>Şekil 4.16.</b> 1100 °C’de ısıtıl işlem uygulanan $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin XRD toz deseni .....	39
<b>Şekil 4.17.</b> $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin SEM görüntüsü .....	39
<b>Şekil 4.18.</b> $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin EDX analizi .....	40
<b>Şekil 4.19.</b> $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin uyarma ve ışınım spektrumu .....	40
<b>Şekil 4.20.</b> $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin ışınım süresi .....	41
<b>Şekil 4.21.</b> 1100 °C’de ısıtıl işlem uygulanan $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$ ’ın DTA/TG termogramı	41
<b>Şekil 4.22.</b> Stokiyometrik oranlardaki $\text{Er}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{Gd}_2\text{O}_3$ başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı .....	42
<b>Şekil 4.23.</b> 1400 °C’de ısıtıl işlem uygulanan $\text{Er}_{1.98}\text{Gd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin XRD toz deseni .....	43
<b>Şekil 4.24.</b> $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin SEM görüntüsü .....	43
<b>Şekil 4.25.</b> $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin EDX analizi .....	44
<b>Şekil 4.26.</b> $\text{Er}_{1.98}\text{Gd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin uyarma ve ışınım spektrumu .....	44
<b>Şekil 4.27.</b> $\text{Er}_{1.98}\text{Gd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin ışınım süresi .....	45
<b>Şekil 4.28.</b> 1100 °C’de ısıtıl işlem uygulanan $\text{Er}_{1.98}\text{Gd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ ’ın DTA/TG termogramı .....	45
<b>Şekil 4.29.</b> Stokiyometrik oranlardaki $\text{Y}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{Eu}_2\text{O}_3$ başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı .....	46
<b>Şekil 4.30.</b> 1400 °C’de ısıtıl işlem uygulanan $\text{Y}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin XRD toz deseni .....	47
<b>Şekil 4.31.</b> $\text{Y}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin SEM görüntüsü .....	47
<b>Şekil 4.32.</b> $\text{Y}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin EDX analizi .....	48
<b>Şekil 4.33.</b> $\text{Y}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin uyarma ve ışınım spektrumu .....	48
<b>Şekil 4.34.</b> $\text{Y}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin ışınım süresi .....	49
<b>Şekil 4.35.</b> 1400 °C’de ısıtıl işlem uygulanan $\text{Y}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ ’ın DTA/TG termogramı	49
<b>Şekil 4.36.</b> Stokiyometrik oranlardaki $\text{Sm}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{Eu}_2\text{O}_3$ başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı .....	50

<b>Şekil 4.37.</b> 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin XRD toz deseni .....	51
<b>Şekil 4.38.</b> $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin SEM görüntüsü .....	51
<b>Şekil 4.39.</b> $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin EDX analizi .....	52
<b>Şekil 4.40.</b> $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin uyarma ve ışımaya spektrumu .....	53
<b>Şekil 4.41.</b> $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin ışımaya süresi .....	53
<b>Şekil 4.43.</b> Stokiyometrik oranlardaki $\text{Dy}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{Yb}_2\text{O}_3$ başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı .....	55
<b>Şekil 4.44.</b> 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan $\text{Dy}_{1.98}\text{Yb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin XRD toz deseni .....	55
<b>Şekil 4.45.</b> $\text{Dy}_{1.98}\text{Yb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin SEM görüntüsü .....	56
<b>Şekil 4.46.</b> $\text{Dy}_{1.98}\text{Yb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin EDX analizi .....	56
<b>Şekil 4.47.</b> $\text{Dy}_{1.98}\text{Yb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin uyarma ve ışımaya spektrumu .....	57
<b>Şekil 4.48.</b> $\text{Dy}_{1.98}\text{Yb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin ışımaya süresi .....	57
<b>Şekil 4.50.</b> Stokiyometrik oranlardaki $\text{Eu}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{Sb}_2\text{O}_3$ başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı .....	59
<b>Şekil 4.51.</b> 1100 °C’de ısıl işlem uygulanan $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin XRD toz deseni .....	59
<b>Şekil 4.52.</b> $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin SEM görüntüsü .....	60
<b>Şekil 4.53.</b> $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin EDX analizi .....	60
<b>Şekil 4.54.</b> $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin uyarma ve ışımaya spektrumu .....	61
<b>Şekil 4.55.</b> $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin ışımaya süresi .....	62
<b>Şekil 4.56.</b> 1100 °C’de ısıl işlem uygulanan $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ ’in DTA/TG termogramı .....	62
<b>Şekil 4.57.</b> Stokiyometrik oranlardaki $\text{Lu}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ , $\text{Er}_2\text{O}_3$ başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı .....	63
<b>Şekil 4.58.</b> 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan $\text{Lu}_{1.98}\text{Er}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin XRD toz deseni .....	64
<b>Şekil 4.59.</b> $\text{Lu}_{1.98}\text{Er}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ sisteminin SEM görüntüsü .....	64

<b>Şekil 4.60.</b> Lu <sub>1.98</sub> Er <sub>0.02</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> sisteminin EDX analizi .....	65
<b>Şekil 4.61.</b> Lu <sub>1.98</sub> Er <sub>0.02</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> sisteminin uyarma ve ışma spektrumu.....	65
<b>Şekil 4.62.</b> Lu <sub>1.98</sub> Er <sub>0.02</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> sisteminin ışma süresi .....	66
<b>Şekil 4.63.</b> 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan Lu <sub>1.98</sub> Er <sub>0.02</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ’ın DTA/TG termogramı .....	66



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
<b>a, b, c</b>	Birim hücre parametreleri
<b><math>\alpha</math></b>	b ve c eksenleri arasındaki açı
<b><math>\beta</math></b>	a ve c eksenleri arasındaki açı
<b><math>\gamma</math></b>	a ve b eksenleri arasındaki açı
<b>Cu-K<math>\alpha</math></b>	X-ışınları bakır tüpüne ait spektral K $\alpha$ hattı
<b>h,k,l</b>	Miller indisleri
<b>Å</b>	Angström
<b>°C</b>	Santigrat derece
<b><math>\mu</math>s</b>	Mikro saniye
<b>g</b>	Gram
<b><math>\tau_c</math></b>	Sönüm süresi
<b>n</b>	Elektron sayısı
<b>nm</b>	Nanometre
<b>kHz</b>	Kilohertz
<b>Hz</b>	Hertz
<b>ns</b>	Nanosaniye
<b>n</b>	Elektron sayısı
<b>T<math>_c</math></b>	Curie sıcaklığı
<b>mm</b>	Milimetre
<b>F</b>	Farad
<b>m</b>	Metre
<b>TG</b>	Termogravimetrik Analiz
<b>DTA</b>	Diferansiyel Termal Analiz
<b>DTG</b>	Diferansiyel Termal Gravimetri
<b>XRD</b>	X-ışınları Difraksiyonu
<b>SEM</b>	Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>EDX</b>	Enerji Dağılımlı X-ışını



<b>PL</b>	Fotolüminesans Spektrofotometresi
<b>UV</b>	Morötesi
<b>IR</b>	Kızılötesi
<b>PVA</b>	Polivinil alkol



## 1. GİRİŞ

Fosforlar, uyarma etkisi ortadan kalktıktan sonra bile görünür bölgede ışığa yapmaya devam eden maddelerdir (Çırçır, 2011). Fosfor kelimesi ilk olarak 17. yy'da kimyacı Vincentinus Casciarolo'nun parlak yapıda bir kristal taşı (BaSO<sub>4</sub>) keşfetmesiyle ortaya atılmıştır. Bu keşiften sonra Avrupa'nın farklı bölgelerinde Casciarolo'nun keşfettiği parlak kristal taşlara benzer yapıda ışık yayan taşlara rastlanmıştır ve bu taşlar fosfor olarak adlandırılmıştır.

Lüminesans kelimesi ise ilk olarak, 1888 yılında Eilhardt Wiedemann tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Latince'de ışık anlamına gelen bu kelime Wiedemann tarafından farklı maddelerin soğurdukları enerjiyi ısı üretmeksizin ışık olarak yayması olarak tanımlanmıştır. Ayrıca floresans ve fosforesans, lüminesans içinde birleştirmiştir (Yen ve ark., 2006).

Lüminesans, gecikme süresine ( $\tau_c$ ) göre iki gruba ayrılır. Floresansta gecikme süresi  $10^{-8}$  saniyeye eşit veya daha küçüktür. Ayrıca uyarma süresince devam eder ve sönüm süresi sıcaklığa bağlı değildir. Fosforesansta ise gecikme süresi  $10^{-8}$  saniyeden büyüktür. Uyarıcı kaynak kapatıldıktan sonra belli bir süre daha devam eden ışığa türüdür ve sönüm süresi sıcaklığa bağlıdır (Sönmez, 2011).

Fotolüminesans özelliğinin gözlendiği anorganik ışıldar maddeler genelde oksit, oksisülfür, sülfür, selenür, borat, fosfat, gallat, germanat, vanadat, sülfat, molibdat, alüminat, silikat, titanat ve alüminasilikat türü bileşiklerdir. Bu ışıldar maddelerin başlıca kullanım alanları x-ışını sensörleri, aydınlatma, reklam ışıklandırma tüpleri, lazerler, ürün kodlama, diş hekimliği, kaza önleme, x-ışını görüntüleyicileri, optik hafızalar, katot ışını tüpleri, güvenlik, projeksiyon panelleri gibi düşük voltaj ekranları, plazma, alan emisyon ve fiber optik termometre uygulamalarıdır. Işıldar maddeler günümüzde yüksek teknolojinin yanı sıra günlük yaşamda çeşitli kullanım alanlarına sahip olduklarından birçok araştırmaya konu olmuşlardır (Çırçır, 2011).

Öte yandan, fosil enerji kaynaklarının tükenmek üzere olması, doğaya ve insan sağlığına zararlı olması nedeniyle alternatif enerji kaynakları büyük önem kazanmışlardır. Bu bakımdan, elektriksel özelliklere sahip malzemeler oldukça önem kazanmış olup, alternatif enerji kaynakları arasında gösterilmektedir (Usta, 2013). Bu tür malzemeler arasında piezoelektrik özellik gösterenler oldukça ön plana çıkmıştır.

“Piezoelektrik” kelimesi Yunanca’da basınç anlamına gelen “piezo” kelimesinden türetilmiştir ve ilk olarak kuvars kristallerinde keşfedilmiştir (Tıkız, 2010). Piezoelektrik etkiyi 1880’li yıllarda Curie kardeşler etraflıca tanımlamışlardır (Kurt, 2010). Piezoelektriklik, malzemeye uygulanan basınç sonrasında malzemede elektrik alan ya da elektrik potansiyeli elde edilmesidir (Usta, 2013) ve piezoelektrik malzemelere aynı zamanda “akıllı malzemeler” de denir ve bu tür bir malzeme Curie sıcaklığına kadar bu özelliğini korur.

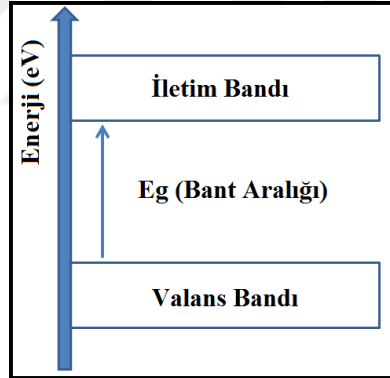
Bu çalışmada anorganik kristal yapıdaki malzemelerin, fotoluminesans ve elektriksel özellik gösterecek biçimde multifonksiyonel olarak tasarımı gerçekleştirildi. Bu akıllı malzemelerin sentezi yapılarak, TG/DTA, XRD, SEM-EDX, PL yöntemleri ve LCR-metre ile karakterizasyonu yapıldı.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Lüminesansın Tanımı ve Çeşitleri

Stokes yasasına göre bir malzeme herhangi bir radyasyona maruz kaldığında, üzerine gelen enerjinin bir kısmı soğurular ve daha uzun dalga boylu bir ışın olarak geri yayılır. Bu olay “lüminesans” olarak adlandırılır (Ertik, 2013). Yayımlanan ışığın dalga boyu gelen ışığın karakteristiği ile değil maddenin karakteristiği ile alakalıdır (Çırçır, 2011). Yani lüminesans, bir maddenin görünür, UV (mor ötesi) ve IR (kızıl ötesi) bölgede yaptığı ışımaya ile anlaşılır (Sönmez, 2011).

Lüminesans terimi ilk olarak Alman Fizikçi Eilhard Wiedemann tarafından kullanılmıştır. Lüminesans, maddenin sıcaklığında bir değişim meydana getirmediği için “soğuk ışık” olarak adlandırılır ve ısıtma sonucu bir maddeden yayımlanan ışık olarak bilinen “akkorlaşma”nın tam tersidir (Kotan Algın, 2013).



Şekil 2.1. Bant modeline göre lüminesans mekanizmasının enerji diyagramı (Güler, 2012).

Lüminesansın anlaşılabilmesi için Şekil 2.1’de verilen bant modeli hakkında bilgi sahibi olunması gerekir. Bohr atom modeline göre, çekirdeğin etrafında dönen bir elektronun yalnız belli enerji seviyelerinde bulunma olasılığı vardır. Bu kesikli enerji seviyeleri arasında enerji değerleri, atomdaki elektron için yasaklanmış haldedir. Bir katıda birbirine bağlı atomlar birbirleri üzerinde bir etkiye sahiptirler. Bu etkinin sonucunda, atomları birbirine bağlayan kuvvetler, elektronların davranışlarını büyük oranda etkilerler. Atomlar arasındaki bu etkileşim, bir atomdaki her bir enerji seviyesinin şekillenmesine ve ayrılmasına sebep olur. Bu ayrılmalar bantları oluşturur. Kristallerde bulunan iki bant, değerlik ve iletim bantıdır. Elektronlar için izinli enerji durumları

olarak bilinen bu iki bant yasaklanmış enerji aralığının araya girmesi ile ikiye ayrılır. İzin verilen durumların en düşük enerjili bandı değerlik bandıdır. Değerlik bandındaki en yüksek enerji seviyesi ise  $E_v$  ile ifade edilir. İletim bandı ise izin verilen en yüksek enerjili banttır. İletim bandındaki en düşük enerji seviyesi  $E_i$  ile ifade edilir.

İyonlaştırıcı radyasyon maddeyle etkileştiği zaman bir elektron değerlik bandından iletim bandına geçiş yapmak için yeterli enerjisi soğurur. Bu sayede, maddede enerji depolanmış olur. Elektron değerlik bandından iletim bandına geçtiği zaman değerlik bandında bir boşluk oluşur. Değerlik bandındaki elektronlar, uyarılan elektron tarafından boşaltılan yere hareket ederler. Böylece değerlik bandından iletim bandına bir elektron uyarıldığında bir elektron-boşluk çifti oluşur. Uyarılmış olan bu elektron değerlik bandına geri dönmeden ve uyarım enerjisini kaybetmeden önce iletim bandında sadece  $\leq 10$  ns (ortalama ömrü) kalır. Sonrasında bir boşluk ile alıcı denilen yeniden birleşme merkezinde tekrar birleşir. Bu tekrar birleşme süresince enerji ışık olarak (ışımali yeniden birleşme) salınır (Güler, 2012).

Işık yayılımının gerçekleştiği birleşme merkezlerine lüminesans merkezleri denir. Işık yayılımı olmadan da birleşme gerçekleşir fakat bu durum lüminesans olmadığı için ölü bölgedir ve fazla enerji ısı şeklinde (ışımaz yeniden birleşme) salınır. Fakat gerçek kristaller mükemmel olmadığı için atomların dizilişlerinde bölgesel olarak düzensizlikler ve çeşitli tipte kusurlar vardır. Bunlardan en yaygın olanı kristal içindeki bazı atomların hatalı konumda bulunmalarından kaynaklanır ve nokta hatası olarak isimlendirilen kusur tipidir. Gerçek bir kristal örgü temel olarak 3 tip kusura sahiptir. Bunlar sırasıyla içsel kusurlar, safsızlık kusurları ve örgü içindeki kristal atomlarının yüksek hızlı elektron, nötron veya protonun çarpması sonucunda yer değiştirmeleri veya örgü içinde buldukları noktalardan koparak bu noktalarda meydana getirdiği kusurlardır. Kristal atomlarındaki bu kusurların olması yasak bant aralıklarında izinli enerji seviyelerinin oluşmasını sağlamaktır. Kristal uyarıldığında serbest hale geçen elektronlar ya bu izinli enerji seviyelerini kullanarak ya da doğrudan bantlar arası geçişlerde bulunurlar (Ebiç, 2016).

Lüminesans, uyarılmanın ardından yayımlanma ömrü olarak bilinen bir  $\tau_c$  zamanda meydana gelir. Bu yayımlanma ömrü ( $\tau_c$ ) maddeye özgüdür. Bu parametreye göre lüminesans malzemeler ikiye ayrılır:  $\tau_c \leq 10^{-8}$  s “floresans” ve  $\tau_c \gg 10^{-8}$  s ise “fosforesans” tır (Ertik, 2013).

### **2.1.1. Floresans ve Fosforesans**

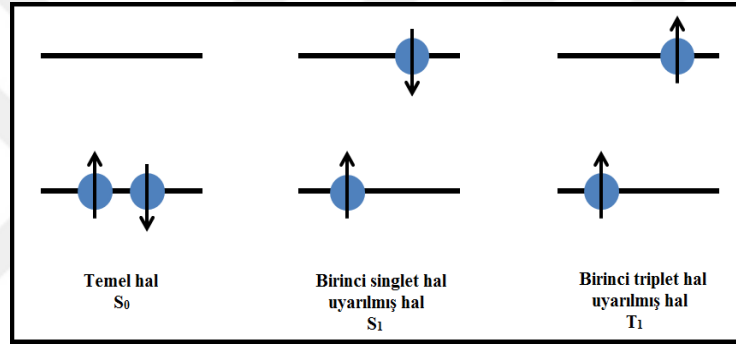
Floresans, maddenin radyasyon soğurmasından sonra  $10^{-8}$  saniyeden daha az bir sürede ışığın yayılmasıdır (Güler, 2012). Floresans uyarma boyunca devam eden ışıma türüdür ve sönüm süresi sıcaklıktan bağımsızdır. Floresansta, elektronlar uyarma boyunca bir üst enerji seviyesinde bulunurlar ve uyarma sona erdikten sonra görünür bölge ışığı yayarak tekrar temel seviyeye dönerler. Floresans elektronlar temel seviyede ters spinli olarak yerleşmişlerdir. Ters spinli olarak yerleşen bu elektronlar uyarma sırasında singlet konumuna geçerler ve uyarma bittikten sonra tekrar temel duruma geçerler. Burada yayılan ışığın dalga boyu uyaran ışığın dalga boyundan daha büyüktür. Yayılan ışığın enerjisi daha küçüktür çünkü enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşür (Sönmez, 2011).

Fosforesans ise  $10^{-8}$  saniyeden daha uzun sürede meydana gelir hatta bazen birkaç saniyeden birkaç saate kadar uzayabilir (Güler, 2012). Fosforesans, uyarıcı kaynak uzaklaştırıldıktan sonra da belirli bir süre devam eden ışıma türüdür. Fosforesans elektronlar uyarılmış singlet durumundan uyarılmış triplet durumuna geçebilirler (Sönmez, 2011) ve sönüm süresi sıcaklığa bağlı değildir. Işıma süresi; uyarılan elektronların yabancı maddeler, pozitif boşluklar veya diğer bozukluklardan dolayı eski yerine dönememesine bağlıdır (Çırçır, 2011).

### **2.1.2. Singlet/Triplet Uyarılmış Haller**

Bütün elektron spinlerinin eşleşmiş olduğu moleküler elektronik hale singlet hal denir. Molekül bir manyetik alana maruz kaldığında elektronik enerji seviyelerinde hiçbir yarıma meydana gelmez. Diğer yandan, bir serbest radikal için temel hal bir dublet halidir. Bu halde elektron çifti bulunmamakta ve tek elektronun bir manyetik alan

içinde, sisteme az çok farklı enerjilerde katkı yapan iki yönlenelemeye sahip olduğu kabul edilmektedir. Bir molekülün bir çift elektronundan biri daha yüksek enerji seviyesine uyarılırsa ya bir singlet hal ya da bir triplet hal meydana gelmiş olur. Singlet uyarılmış halde, elektron temel haldeki elektron ile eşleşmiş durumda ve dönme yönü olarak zıttır. Singlet uyarılmış halde, eşleşmiş elektronların dönme yönleri birbirine terstir. Böylece oluşturdukları manyetik alanlar birbirini sıfırlayacağından diamanyetik özelliktedirler. Triplet uyarılmış halde ise, elektron temel haldeki elektron ile eşleşmemiş ve paralel durumdadırlar. Böylece triplet hal, manyetik alandan etkilenir ve paramanyetik özellik gösterirler (İlhan, 2013). Atomdaki elektron spinlerinin olası konumları Şekil 2.2’de verilmiştir.

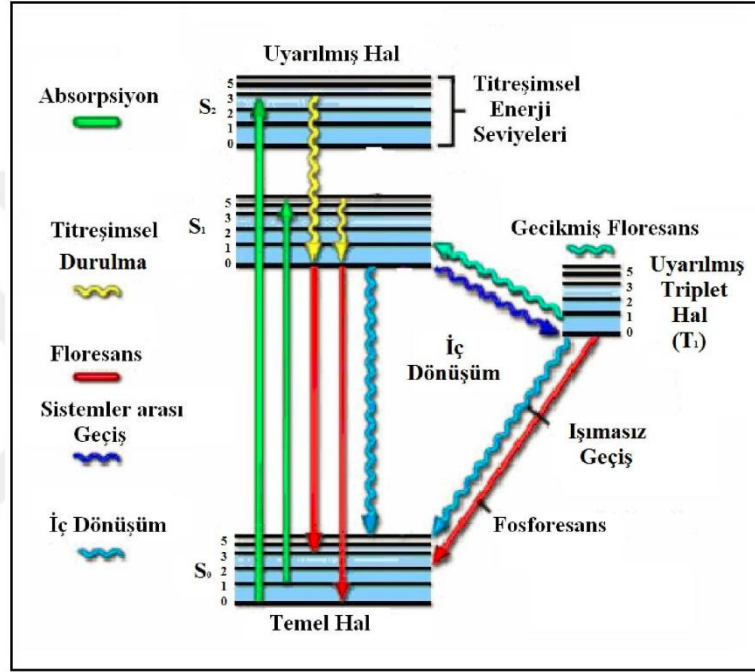


Şekil 2.2. Atomdaki elektron spinlerinin olası konumları (Uluç, 2008).

## 2.2. Enerji-Bandı Işıma Modeli

Işıldar maddelerde gözlenen uyarma ve ışımaya sadece bir merkez ya da atomda değil birçok merkezde meydana gelebilir. Bu yüzden de ışımaya mekanizmasının yapısı çok karmaşıktır. Işıma mekanizmasının karmaşık olması basitleştirilmiş ve uygulanabilir modeller kullanılarak açıklanabilir. En çok kullanılan modellerden biri “**Enerji-Band Modeli**” dir. Enerji band modeli *Jablonski diyagramı* olarak bilinir ve Şekil 2.3’de verilmiştir. Jablonski diyagramında;  $S_0$  singlet temel hali,  $S_1$  uyarılmış birinci singlet elektronik enerji seviyesini,  $S_2$  ikinci singlet uyarılmış hali ve  $T_1$  ise uyarılmış triplet hali temsil etmektedir. Uyarılmış ve temel hallerde 0, 1, 2, 3, ... ile tanımlanan çizgiler titreşim kuantum sayılarını ve enerji seviyelerini göstermektedir.

Jablonski diyagramına göre, soğurma olayı esnasında, singlet temel halden ( $^1S_0$ ) singlet herhangi bir uyarılmış hale ( $^1S_1^*$  veya  $^1S_2^*$ )  $10^{-15}$  saniye kadar kısa bir süre içerisinde elektronik bir geçiş meydana gelmektedir. Meydana gelen bu singlet→singlet geçişi izinli bir geçiştir. Singlet→triplet geçişi ise yasaklı bir geçiştir. Bu yasaklı geçişten dolayı, sistemin triplet uyarılmış hale geçiş yapabilmesi için singlet uyarılmış halden geçiş yapması gerekmektedir.



Şekil 2.3. Enerji-band modeli (Jablonski diyagramı)

İç Dönüşüm: Bu olay ışımaz gerçekleşmektedir. Bu işlem titreşim enerji seviyeleri ile uyarılmış enerji seviyeleri arasında olabileceği gibi, sistem uyarılmış halden temel hale geçerken de olabilir. Sistem almış olduğu uyarma enerjisini dışarıya ısı enerjisi olarak verdiği için sistemin sıcaklığı yerine sadece moleküllerin sıcaklığında bir artış gözlenir. Çünkü bu uyarma enerjisi sistemin sıcaklığını arttıracak kadar çok değildir. İç dönüşüm olayı yaklaşık olarak  $10^{-12}$  saniyelik bir zamanda meydana gelir. İç dönüşüm olayına izomerleşme özelliği olan veya rezonans halleri bulunan bileşik türlerinde rastlanır.



Sistemler Arası Geçiş: Triplet uyarılmış halden singlet uyarılmış hale ya da singlet uyarılmış halden triplet uyarılmış hale geçiş olayıdır. Bu olayın gerçekleşebilmesi için her iki halin titreşim enerji seviyelerinin çakışması gerekmektedir.

Titreşimsel Durulma: Elektronik enerji seviyeleri titreşim enerji seviyelerine, bunlar da dönme enerji seviyelerine yarılmıştır. Sistem uyarıldığı zaman molekül uyarılmış enerji seviyesindeki herhangi bir titreşimsel enerji seviyesine çıkar. Molekül tekrar temel hale dönebilmek için uyarılmış enerji seviyesindeki en düşük titreşim enerji seviyesine gelmek zorundadır. Bu olay ışımsız meydana gelir ve sistem enerjisini etrafındaki çözücü molekülleriyle veya diğer moleküllerle çarpışarak harcar.

Gecikmiş Floresans: Gecikmiş floresans normal floresansa göre daha uzun sürede meydana gelir. Oluşum şekline göre de ikiye ayrılır:

E-Türü Gecikmiş Floresans: Temel halden singlet uyarılmış hale çıkan molekül, sistemler arası geçişle triplet uyarılmış hale geçer. Sistemin sıcaklığı artırıldığında triplet uyarılmış haldeki molekül tekrar singlet uyarılmış hale geçer. Bu durumun olabilmesi için sadece sıcaklığın artırılması değil aynı zamanda uyarılmış singlet ve triplet hallerinin titreşim enerji seviyelerinin de çakışmış olması gerekir. Bu geri dönüşümle singlet uyarılmış haldeki molekül tekrar singlet uyarılmış hale döner. Bu dönüşüm ışımalı olarak gerçekleşir ve bu olaya E-türü gecikmiş floresans denir.

P-Türü Gecikmiş Floresans: Molekül singlet uyarılmış halden sistemler arası geçişle triplet uyarılmış hale geçer. Bu geçişten sonra triplet uyarılmış haldeki moleküllerin birbirinden etkilenmesiyle enerjilerini birbirlerine aktarırlar ve triplet uyarılmış haldeki moleküllerin bazıları singlet uyarılmış hale ışımsız olarak geri dönerler. Singlet uyarılmış haldeki moleküller ise ışımalı olarak geri dönerler ve bu olaya da P-türü gecikmiş floresans denir (Sönmez, 2011).

### 2.3. Terim Sembolleri

Tek elektronlu sistemlerde elektron orbitallere artan enerji seviyesine göre yerleşir. Temel haldeki en düşük enerjili orbitalde bulunan elektron uyarıldığında daha yüksek enerjili orbitallere geçer. Bu yüzden tek elektronlu atomlarda atomun enerji düzeyleri orbital enerji düzeyleriyle aynıdır.

Çok elektronlu sistemlerde ise elektron-elektron etkileşmesinden dolayı atomun elektronik enerji düzeyi elektronların orbitallerdeki düzenlenmesine bağlıdır. Çok elektronlu atomlarda belirli bir elektron dizilişi için elektronlar orbitallerde farklı şekillerde düzenlenebilir. Bu her bir düzenleme belirli enerji düzeyine karşılık gelebilir. Elektronların her bir düzenlenmesi haline “mikrohal” denir. Örneğin  $1s^2 2s^2 2p^1$  dizilişinde 2p alt kabuğundaki tek elektronun üç “p” orbitalinden birine yukarı veya aşağı spinli olarak yerleşmesinden kaynaklanan altı tane mikrohal vardır. Çok elektronlu atomlarda elektronların farklı düzenlenmesinden kaynaklanan mikrohallerin enerjilerine göre sınıflandırılması gerekmektedir. Bazı mikrohaller eş enerjili olabilir. Elektronun orbital ve spin açısal momentumlarının etkileşimi incelenerek mikrohallerin enerjilerine göre sınıflandırılması yapılır. Spin ve orbital açısal momentumlarının birbiriyle birleşmesiyle toplam açısal momentum oluşur. Oluşan toplam açısal momentum düzenlemenin enerjisini tanımlar.

Toplam açısal momentumu hesaplarırken, spin ve orbital momentum vektörleri kendi aralarında ayrı ayrı toplanır. Bulunan toplam orbital momentum ile toplam spin momentumları birleştirilir. Açısal momentum vektörlerinin birleştirilmesinde, bu vektörleri belirleyen kuantum sayıları toplanır. Orbital açısal momentum kuantum sayıları birleştirilerek toplam orbital açısal momentum kuantum sayılarının alabileceği değerler (L), spin açısal momentum kuantum sayıları birleştirilerek de toplam spin açısal momentum kuantum sayılarının alabileceği değerler (S) bulunur. Orbital manyetik kuantum sayısı  $-l, -(l-1), \dots, 0, \dots, +(l-1), +l$  değerlerini, spin manyetik kuantum sayısı ise “ $+1/2$ ” veya “ $-1/2$ ” değerlerini alabilir. Çok elektronlu bir atom için toplam orbital açısal momentum kuantum sayısı,  $L = (l_1 + l_2 + l_3 + \dots)$ ,  $(l_1 + l_2 + l_3 + \dots - 1)$ ,  $(l_1 + l_2 + l_3 + \dots - 2)$ , ...değerlerini, örneğin iki elektronlu bir sistem için,  $L =$

( $l_1 + l_2$ ), ( $l_1 + l_2 - 1$ ), ( $l_1 + l_2 - 2$ ), ..., [ $l_1 - l_2$ ] değerlerini alabilir. Toplam spin açısai momentumunu veren S kuantum sayısı ise,  $S = (s_1 + s_2 + s_3 + \dots)$ , ( $s_1 + s_2 + s_3 + \dots - 1$ ), ( $s_1 + s_2 + s_3 + \dots - 2$ ), ... değerlerini alabilir. Elektron sayısının tek olması halinde “S” nin en küçük değeri  $1/2$ , zıt spinli çift olması halinde de “0”dır. Toplam açısai momentum sayısı “J” ise, L ve S’nin birleştirilmesiyle oluşur. Toplam açısai momentum kuantum sayısı,  $J = (L + S)$ , ( $L + S - 1$ ), ( $L + S - 2$ ), ... [ $L - S$ ] değerlerini alabilir.

Bulunan bu toplam momentumlar, elektron dizilişine ait mikrohallerin oluşturduğu atomik enerji düzeylerini tanımlar. Bu atomik enerji düzeylerini göstermek için kullanılan simgelere “terim sembolleri” denir. Atomik enerji düzeylerini tanımlayan terim sembolleri L, S ve J’dir. Büyüklük cinsinden ise  $^{2S+1}L_J$  şeklinde gösterilir. Terim sembolü için  $L=0, 1, 2, 3, 4, \dots$  değerlerinin karşılığı olan S, P, D, F, G... harfleri kullanılır. Bu harflerin küçük karşılığı ise atom orbitallerinin belirtilmesinde kullanılır. Terim sembolünün sol üst kısmındaki “ $2S+1$ ” ifadesine spin çokluğu denir. Spin çokluğu bir haldeki eş enerjili düzeylerin sayısını gösterir. Semboldeki “J” ise toplam momentum kuantum sayısıdır.  $L > S$  olduğunda “J” için olası değerlerin sayısı  $2S+1$  kadardır (Ebiç, 2016).

### 2.3.1. Temel Hal Terim Sembolleri ve Terimlerin Enerjileri

Burada ilk olarak Pauli ilkesinden bahsetmek gerekir. Pauli ilkesine göre bir orbitalde en fazla iki elektron bulunabilir. Bu elektronların spinleri de zıt yöndedir. Elektronların orbitallere dağılımları yapılırken Pauli ilkesine aykırı olan olasılıklar seçilmelidir. Belirli bir elektron dizilişi için, mikrohallerin sayısı  $N!/e!(N-e)!$  formülü ile bulunur. Formüldeki “e” elektronların sayısını, “N” ise elektron için olası konumların sayısını gösterir. Bir orbitalde en fazla iki elektron olabileceğinden N, orbital sayısının iki katına eşittir. Elektron dizilişinde terim sembolleri enerji düzeylerini tanımlar. Fakat terim sembolleri enerjilerin mutlak değerini vermez. Sadece düzeylerin enerjilerine göre bağıl sıralamasını gösterir ve bu bağıl sıralama şu kurallara göre yapılır:

1. Çokluğu ( $2S+1$ ) en yüksek olan terimin enerjisi en düşüktür.

2. Çokluğu aynı olan terimler arasında büyük “L” değerine sahip olan düşük enerjilidir.
3. Elektron dizilişinde alt kabuktaki elektronların sayısı yarı doludan fazla ise, büyük “J” değerine sahip olan terim sembolünün enerjisi düşüktür. Alt kabuktaki elektron sayısının yarı doludan az olması halinde ise, küçük “J” değeri düşük enerjiyi gösterir.

İyonların temel hal terim sembolleri ve yalıtılmış serbest atom, uzun hesaplamalara gerek kalmadan aşağıdaki yöntemle de hesaplanabilir:

1. İlk olarak kısmen dolu alt kabuğun elektron dizilişi yazılır.
2. Bu alt kabuğun orbitalleri  $m_l$  değerleri soldan sağa azalacak şekilde sıralanır. Örneğin “d” alt kabuğu şu şekilde ifade edilir:  $m_l = +2 +1 0 -1 -2$
3. Hund kuralına göre elektronlar, yüksek  $m_l$  değerinden başlanarak orbitallere yerleştirilir.
4. Elde edilen dizilişte çiftlenmemiş elektronların  $m_l$  değerleri toplanarak  $M_L$  ve dolayısıyla da L değeri bulunur.
5. Çiftlenmemiş elektronların sayısı 1/2 ile çarpılarak S değeri bulunur ve çokluk  $2S+1$  ile hesaplanır.
6. Alt kabuk yarıdan fazla dolu ise  $J=L+S$ , yarı doludan az ise  $J=L-S$  ifadeleri kullanılarak temel halin toplam açısal momentum sayısı bulunur. Alt kabuk yarı dolu olursa  $L=0$  olur ve böylece de  $J=S$  olur (Ebiç, 2016).

Hund kuralı, elektronların eş enerjili orbitallere teker teker paralel spinde yerleşmesine denir.

### 2.3.2. Seçicilik Kuralları

Terim sembollerinin tanımladığı enerji düzeylerinin birinden diğerine elektron geçişi olabilir. Elektron düşük enerjili halden yüksek enerjili hale geçerken enerji soğrulur, tam tersi durumda ise enerji yayılır. Soğurma ve ışınım spektrumlarında gözlenen pikler

bu geçişlerden dolayı oluşur. Geçişlerden bazıları yasaktır. Bu geçişlerin yasaklı mı yoksa izinli mi olduğu seçicilik kuralları uygulanarak belirlenir:

1. Bütün baş kuantum sayıları arasındaki elektronik geçişler izinlidir. ( $\Delta n = n_2 - n_1 = 0, 1, 2, 3, \dots$ )
2. Toplam spinleri (S) veya spin çoklukları ( $2S+1$ ) aynı olan düzeyler arasında geçişler izinlidir. ( $\Delta S = 0$ ) Çokluğu farklı olan düzeyler arasındaki geçişler yasaktır.
3. Toplam orbital momentum kuantum sayıları (L) arasındaki farkın bire eşit olduğu düzeyler arasındaki geçiş izinlidir. ( $\Delta L = \pm 1$ ) Farkın birden büyük veya sıfır olduğu düzeyler arasındaki geçişler yasaktır.
4. Toplam momentum kuantum sayıları (J) aynı veya bir farklı olan düzeyler arasında geçiş izinlidir ( $\Delta J = 0, \pm 1$ ).  $\Delta J = 0$  olmasına rağmen  $J = 0$  düzeyleri arasındaki geçişler yasaktır.
5. Simetri merkezi olan iyon ve moleküllerde g-g ve u-u geçişleri yasaklı, g-u ve u-g geçişleri ise izinlidir. Bu kurala *Laporte denklik kuralı* denir. Bu kural düzgün dörtyüzlü yapıda olduğu gibi simetri merkezi bulunmayan molekül ve iyonlarda uygulanmaz (Ebiç, 2016).

#### 2.4. Aktivatörler

Aktivatör katkılanmış ışıldar malzeme ile katkılanmamış ışıldar malzeme fiziksel özellik olarak farklıdır. Konut kristalin, kristal alan içinde korunan ve kısmen dolu olan alt kabukları arasındaki geçişler ışımaya sebep olur. Aktivatörler ise konut kristal içerisinde dar bir bant oluştururlar. Aktivatörlerle katkılanmış ışıldarların ışıma kuantum verimlerinin genelde yüksek olmasının sebebi, konut kristal hücresi ile etkileşimlerinin düşük olmasından kaynaklanır. Genel olarak ilgi çeken aktivatörler nadir toprak elementleri iyonlarıdır (Korkmaz, 2010).

## 2.5. Curie Sıcaklığı

Piezoelektrik bir malzeme bu özelliğini Curie sıcaklığına ( $T_c$ ) kadar korur. Polar ve polar olmayan piezoelektrik malzemelerde Curie sıcaklığının kullanımı farklılık gösterir. Curie sıcaklığının altında, malzemelerin kristal yapısı merkezi simetriye sahip değildir ve bu malzemeler piezoelektrik özellik gösterirler. Ancak sıcaklık Curie sıcaklığının üzerine çıktığında malzemenin kristal yapısı merkezi simetri kazanır ve böylece piezoelektrik özellik yitirilir. Polar özellik gösteren piezoelektrik malzemelere ferroelektrik malzemeler de denir. Bu tür bir malzeme de Curie sıcaklığına ulaştığında faz değişikliği meydana gelir. Meydana gelen bu değişimle malzemede piezoelektrik özellik yitirilir.

Curie sıcaklığı her bir malzeme için karakteristik bir özelliktir ve tüm piezoelektrik malzemeler, Curie sıcaklığı altında piezoelektrik özellik gösterirler. (Korkmaz, 2015).

## 2.6. Dielektrik Özellikler

Dielektrik malzemeler, elektriği iletmezler fakat elektrik alandan etkilenirler (Erdağ, 2010). Elektron ve atomlar, bir elektrik alan etkisinde yer değiştirirler. Bu olay sonucunda, elektrik yük merkezleri kayar ve kutuplanma meydana gelir. Dielektrik malzeme yüzeyinde elektriksel yük birikimini sağlayan, elektriksel dipollerdir (Zorlu, 2009). Dipol, birbirlerine belirli mesafelerde bulunan birbirine eşit ancak zıt işaretli iki nokta yükünden oluşan sisteme denir (Erdağ, 2010). Bu malzemeler iletim ve değerlik bantları arasında geniş bir enerji aralığına sahiptirler. Yalıtkanlar ve kondansatörler dielektrik malzemenin iki önemli uygulama alanıdır. Yalıtkan olarak kullanılmalarının sebebi, elektrik devresinde yük transferini engelleyebilmeleridir (Zorlu, 2009).

Malzemeler arasında dielektrik özellikler bakımından farklılıklar olabilir. Bu özellikler uygulanan alan frekansı, sıcaklık, kristal yapı, nem ve diğer dış etkenlerden kaynaklanabilir (Berksoy, 2011).

### 2.6.1. Dielektrik Sabiti

Dielektrik sabiti ( $\epsilon_{ij}$ ), malzemenin polarize olma ya da yük depolayabilme yeteneği olarak tanımlanır.  $\epsilon_{33}$  ise, voltaj uygulanan z ekseninde doğrultusundaki dielektrik ötelenme ve elektrik alanının permitivesi. Dielektrik sabiti Eşitlik 2.1' de (Aydın, 2016) gösterilmiştir.

$$\epsilon_{33} = \frac{Cxt}{AX\epsilon_0} \quad (2.1)$$

$\epsilon_{33}$ = Dielektrik sabiti

$\epsilon_0$ = Vakumun geçirgenliği ( $8.85 \times 10^{-12}$  F/m)

C= Kapasitans (F)

t= Elektrotlar arasındaki mesafe (m)

A= Elektrotların yüzey alanı ( $m^2$ )

### 2.6.2. Dielektrik Kayıp

Bir malzemedeki kayıp açısı  $\delta$ , kayıp tanjantı ( $\tan\delta$ ) olarak ifade edilir (Erdağ, 2010).  $\tan\delta$  değeri, paralel devreye bağlanan ve empedans köprüsü kullanılarak ölçülen etkin iletkenliğin etkin doygunluğa olan oranıyla hesaplanır. Bu değer genellikle 1 kHz' de ölçülür. Ölçülen  $\tan\delta$  (kayıp tanjantı) yüksekse bir iletim vardır ve malzemedan akım geçiyor demektir (Olukkent, 2013).

İdeal bir malzemede akım ve voltaj arasındaki faz açısı  $90^\circ$  olması gerekir. Fakat gerçek bir malzemede bu açı hiçbir zaman  $90^\circ$  değildir. Bu durum gerçekte, malzemede sonlu bir direnç olduğunu ve bunun neden olduğu kayıpların varlığını gösterir. Ortaya çıkan bu kayıplar sızıntı akım veya açığa ısının çıkması şeklinde görülebilir (Erdağ, 2010).

## 2.7. Tez Konusunun Literatürdeki Yeri

Günümüzde hem algılama hem de aktüatör özelliği gösteren akıllı malzemeler konusunda yüksek bir talep vardır (Muto ve ark., 1996; Tokarev ve ark., 2009; Uchino 1997).

Daimi polarizasyona sahip maddeler multifonksiyonel malzemelerdir ve mükemmel piezo- ve piroelektrik özelliklere sahiptir. Son birkaç yılda, elektro-mekano, mekano-optik ve elektro-optik gibi çok işlevli nadir toprak elementleri katkılı seramikler üretilmiştir (Wang ve ark., 2005). Ferroelektrik malzemelerin eşsiz özellikteki kendiliğinden polarize olabilme yeteneği tek bir bileşiğin farklı alanlarda kullanımına fırsat vermektedir. Son çalışmalar polarizasyonun kontrol edilebilirliğini başarılı bir şekilde göstermiştir (Lee ve ark., 2011; Choi ve ark., 2009; Garcia ve ark., 2010; Wu ve ark., 2010).

Günümüze kadar piezoelektrik malzemelerin araştırılması  $ABO_3$  tipi perovskit yapılar üzerinde yoğunlaşmıştır. Günümüzde en çok kullanılan kristal yapıdaki seramik piezoelektrik malzeme  $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ 'dir ve ticari olarak PZT seramikleri olarak adlandırılır. Ancak kurşunun olumsuz etkileri bilinmekte ve giderek artan çevre ve insan sağlığı duyarlılığı sebebiyle yeni kurşunsuz piezoelektrik malzemelerin geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Kurşunsuz yapıları en iyi temsil eden kristaller  $Na_{1-x}Bi_xTiO_3$  (NBT),  $BaZr_{1-x}Ti_xO_3$  (BZT) ve bunların belli oranlarda karışımlarından oluşmaktadır (Gaoa ve ark., 2013; Setter ve ark., 2006).

Fakat  $ABO_3$  tipindeki piezoelektrik malzemelerin düşük Curie sıcaklıkları (piezoelektrik özelliğin korunduğu sıcaklık) kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Bu yüzden diğer kristal aileleri üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmanın da konusu olan  $A_2B_2O_7$  tipindeki kristaller, piezoelektrik özellikleri ile ön plana çıkan ve yüksek Curie sıcaklığına sahip (1000 °C üstü) kristallerdir. Bu yapıdaki PLS ailesi yaklaşık 50 yıl önce keşfedilmiştir ve en önemli üyelerinden biri ferroelektrik  $La_2Ti_2O_7$ 'dir (Aurivillius 1949; Fuierer ve Newnham 1991; Zhang ve ark.,



2007). Bu tür kristal yapılarda anizotropi bulunur ve bu özellik dielektrik, elektrik ve mekanik özelliklere öncülük eder (Venet ve ark., 2005; Kimura ve ark., 1974).  $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Nd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ 'e benzer şekilde oda sıcaklığında yüksek Curie sıcaklığına sahiptir ve piezoelektrik sabiti ( $d_{33}$ ) 2,6 pC/N'dir (Haixue ve ark., 2009).

$\text{Sr}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$  yapısı ise düşük dielektrik sabitine sahiptir ve ferroelektrik hafıza olarak kullanılması önerilmiştir. Bu yapı  $\text{Sr}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$  yapısına benzer şekilde PLS ailesine mensuptur ve 1342°C'lik yüksek Curie sıcaklığına sahiptir. (Ishizawa ve ark., 1975).  $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$  monoklinik kristal sistemine sahiptir, piezoelektrik özellik gösterir ve Curie sıcaklığı 1755 K civarındadır (Ishizawa ve ark., 1980).  $\text{Nd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  yapısı  $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  ile karşılaştırılır ise daha yüksek bir Curie sıcaklığına sahiptir, mükemmel ferroelektrik ve piezoelektrik özelliklere sahiptir ve oda sıcaklığında monoklinik yapıdadır (Yamamoto ve Bhalla 1991; Nanamatsu ve ark., 1974).

Ferroelektrik özellik gösteren  $\text{Pr}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  yapısının Curie sıcaklığı ise 1755 °C' dir (Gao ve ark., 2013). Pr-katkılı ferroelektrik malzemelerin, güçlü fotoluminesans performansa sahip olduğu belirlenmiştir (Titov ve ark., 1985; Sun ve ark., 2011). Ayrıca, Pr-katkılı, ortorombik perovskit yapısı ile yoğun kırmızı luminesans elde edilmiştir (Chen ve Chen 2009; Diallo ve ark., 2011).

Bizmut temelli seramikler; piezoelektrik, piroelektrik, elektro-optik, foto-katalitik ve biyosensörlerde potansiyel uygulamalarından dolayı yoğun olarak çalışılmaktadır. Bunun yanında fiziksel ve kimyasal özellikleri nadir toprak elementlerinin katkılanması ile büyük oranda geliştirilmiştir (Park ve ark., 1999; Araujo ve ark., 1995; Maeder ve ark., 2004; Hu ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2010). Başka bir çalışmada ise nadir toprak elementleri ışıldar maddelerin konut kristali içerisinde ışımaya merkezi oluşturmak için katkılanmıştır (Zhang ve Huang 2010). Bugüne kadar, nadir toprak elementlerinden Eu, Er ve Tm katkılı bizmut temelli ferroelektriklerden  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  (Villafuerte-Castrejón ve ark., 2007; Zhou ve ark., 2010; Zhou ve ark., 2010; Ruan ve ark., 2008; Ruan ve ark., 2008; Gao ve ark., 2009; Gao ve ark., 2011),  $\text{Bi}_3\text{TiNbO}_9$  (Ma ve ark., 2009),  $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$  (Volanti ve ark., 2009),  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  (Aizawa ve Ohtani 2007),  $\text{La}_2\text{Sn}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{3+}$  (Jin-yu ve ark., 2011; Ya-chun ve ark., 2000),  $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  (Vijay ve ark.,

2013),  $R_2Ti_2O_7$  ( $R = La, Nd$  ve  $Gd$ ) ((Lyjo, ve ark., 2008) sistemlerinin fotoluminesans özellikleri araştırılmış olup kristal yapıya yerleşen nadir toprak iyonlarının f-f yasaklı geçişleri sebebi ile ışığa elde edildiği bildirilmiştir. Bu katkılı sistemler göstermiştir ki ferroelektrik işlev bozulmadan fotoluminesans elde edilebilir. Bu tespit opto-elektronik uygulamalara yönelik önemli malzemeler tasarlanması için fırsattır.

Polarizasyon ile piezoelektriklerde luminesans incelemesi ise nispeten daha az çalışılmıştır. Er-katkılı  $BaTiO_3$  malzemelerine elektrik alan uygulanması sayesinde gelişmiş luminesans yayılımının varlığı fark edilmiş ancak bu yapının düşük Curie sıcaklığı ( $120^\circ C$ ) kısıtlayıcıdır (Hao ve ark., 2011).

Literatür bilgilerinden anlaşıldığı üzere;

- Kurşunsuz piezoelektrikler önem kazanmıştır.
- Geliştirilen kurşunsuz piezoelektrikler genellikle  $ABO_3$  yapısındadır ve bunlar düşük Curie sıcaklığına sahiptir.
- Yüksek Curie sıcaklığına sahip piezoelektriklere ihtiyaç vardır ve  $A_2B_2O_7$  tipi malzemelerin Curie sıcaklıkları yüksektir.
- Günümüzde birden çok amaca hizmet eden malzeme arayışı oldukça yoğundur.
- Opto-elektronik uygulamalar için piezoelektrik ve fotoluminesans özellik gösteren malzeme arayışı vardır.
- Multifonksiyonel piezoelektrik-fotoluminesans özellikli akıllı malzemeler hakkında az sayıda araştırma vardır.

Bu sebeplerden dolayı, bu tez çalışmasında da yüksek Curie sıcaklığına sahip  $A_{1(2-x)}B_2O_7:xA_2^{+3}$  kristalleri çok işlevli olarak sentezlendi. Sentezlenen malzemelerin fotoluminesans ve elektriksel özellikleri araştırıldı, karakterizasyonları yapıldı.

### **3. MATERYAL VE METOT**

#### **3.1. Materyal**

##### **3.1.1. Lantan (III) oksit (La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.99 saflıkta ve beyaz renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Molekül ağırlığı 325.809 g/mol, kaynama noktası 4200 °C, erime noktası 2315 °C, yoğunluğu 6.51 g/cm<sup>3</sup>'dür.

##### **3.1.2. Samaryum (III) oksit (Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.99 saflıkta ve soluk sarı renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Molekül ağırlığı 348.718 g/mol, erime noktası 2335 °C, yoğunluğu 7.60 g/cm<sup>3</sup>'dür.

##### **3.1.3. Europium (III) oksit (Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.99 saflıkta ve beyaz renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Molekül ağırlığı 351.926 g/mol, erime noktası 2350 °C, yoğunluğu 7.40 g/cm<sup>3</sup>'dür.

##### **3.1.4. Erbiyum (III) oksit (Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.99 saflıkta ve pembe renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Molekül ağırlığı 382.518 g/mol, erime noktası 2418 °C, yoğunluğu 8.64 g/cm<sup>3</sup>'dür.

##### **3.1.5. Yitrium (III) oksit (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.99 saflıkta ve beyaz renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Molekül ağırlığı 225.81 g/mol, erime noktası 2690 °C, kaynama noktası 4300 °C, yoğunluğu 5.03 g/cm<sup>3</sup>'dür.

### **3.1.6. Antimon (III) oksit (Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.99 saflıkta ve beyaz renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Molekül ağırlığı 291.52 g/mol, erime noktası 655 °C, kaynama noktası 1550 °C, yoğunluğu 5.67 g/cm<sup>3</sup>'dür.

### **3.1.7. Disporsiyum (III) oksit (Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.99 saflıkta ve beyaz renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Molekül ağırlığı 372.998 g/mol, erime noktası 2408 °C, yoğunluğu 7.80 g/cm<sup>3</sup>'dür.

### **3.1.8. Lutesyum (III) oksit (Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.9 saflıkta ve beyaz renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Molekül ağırlığı 397.93 g/mol, erime noktası 2487 °C, kaynama noktası 3980 °C, yoğunluğu 9.42 g/cm<sup>3</sup>'dür.

### **3.1.9. Neodimyum (III) oksit (Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.9 saflıkta ve gri renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Molekül ağırlığı 336.48 g/mol, erime noktası 2233 °C, kaynama noktası 3760 °C, yoğunluğu 7.24 g/cm<sup>3</sup>'dür.

### **3.1.10. Seryum (III) oksit (Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.95 saflıkta ve açık sarı renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Molekül ağırlığı 172.11 g/mol ve yoğunluğu 7.13 g/cm<sup>3</sup>'dür.

### **3.1.11. İndiyum (III) oksit (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.99 saflıkta ve sarı renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Erime noktası 156.6 °C, yoğunluğu 7.3 g/cm<sup>3</sup>'dür.

### **3.1.12. Gadolinyum (III) oksit (Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.99 saflıkta ve beyaz renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Molekül ağırlığı 362.498 g/mol, erime noktası 2420 °C, yoğunluğu 7.407 g/cm<sup>3</sup>'dür.

### **3.1.13. İterbiyum (III) oksit (Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

% 99.9 saflıkta ve beyaz renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür. Molekül ağırlığı 394.08 g/mol, erime noktası 2355 °C, kaynama noktası 4070 °C, yoğunluğu 9.17 g/cm<sup>3</sup>'dür.

### **3.1.14. Titanyum (II) oksit (TiO<sub>2</sub>)**

% 99.5 saflıkta ve beyaz renkte bulunan katı haldeki kristal Merck firmasının ürünüdür ve molekül ağırlığı 79.87 g/mol, erime noktası 1850°C, yoğunluğu 4.26 g/cm<sup>3</sup>'dür.

## **3.2. Kullanılan cihazlar**

### **3.2.1. Fırın**

Katı hal reaksiyonlarını gerçekleştirmek için KMÜ, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yer alan 1500 °C sıcaklığa kadar ulaşabilen Protherm Furnaces marka ve 1800 °C sıcaklığa kadar ulaşabilen Protherm Furnaces marka kül fırınları kullanıldı. Kül fırınlarının sıcaklık sapması ± 1°C'dir.

### **3.2.2. X-Işını Toz Difraktometresi (XRD)**

Kristal sistemi ve birim hücre parametrelerini (a, b, c, α, β, γ, V) belirlemek için KMÜ Merkezi Araştırma Laboratuvarında yer alan BRUKER marka AXD D8 ADVANCE model XRD cihazı kullanıldı. Cu-Kα tüpü içeren cihaz 2θ = 10°-90° ve 0.002°/s tarama adımında çalışmaktadır.

### **3.2.3. Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Termal Gravimetri (TG)**

Işıldar maddelerin termal davranışlarının ve sentez şartlarının belirlenebilmesi için KMÜ Merkezi Araştırma Laboratuvarında yer alan S II EXSTAR 630 marka 12 A, 100 V, 50 Hz özelliklerinde bulunan DTA/TG cihazı kullanılmıştır. Ölçümler azot gazı atmosferi altında, dakikada 10 °C ısıtma hızıyla gerçekleştirilmiştir.

### **3.2.4. Analitik Terazı**

Maddelerin stokiyometrik olarak hazırlanabilmesi için KMÜ, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yer alan Precisa marka XB 220 A model, maksimum 220 g, minimum 0.01 g tartım yapılabilen,  $\pm 0.0001$  g hassasiyete sahip terazi kullanılmıştır.

### **3.2.5. Fotoluminesans Spektrofotometresi (PL)**

Işıldar maddelerin uyarma ve ışımaya özellikleri ve ışımaya sürelerinin belirlenebilmesi için KMÜ, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yer alan PTI (Photon Technology International) Quanta Master 30 Phosphorescence/Fluorescence Spectrofluorometer marka fotoluminesans spektrofotometresi kullanılmıştır. Ksenon kaynaklı cihaz 200-900 nm aralığında ölçüm yapabilmektedir.

### **3.2.6. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM)**

Sentezlenen kristal sistemlerin yüzey incelemeleri ve EDX analizleri Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Merkezi'nde bulunan LEO marka LEO 440 model cihazla yapıldı. Cihaz 5x-300.000x arası büyütme kapasitesi (X= 100 mm, Y= 120 mm, Z= 60 mm, Tilt= 0-90°, Dönme= 360°) ile çalışmaktadır.

### **3.2.7. Hidrolik El Presi**

Numuneleri pelet yapmak için KMÜ, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yer alan maximum on beş ton basınç uygulayan Specac marka hidrolik el presi kullanıldı.

### **3.2.8. Yoğunluk Ölçümleri**

Sinterlenen numunelerin yoğunluk hesaplamalarını yapabilmek için Arşimet tekniği kullanıldı. Ölçümler Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde bulunan SHIMADZU marka AUX320 tipi hassas terazinin SMK-401 modeli yoğunluk ölçüm kitinde yapıldı.

### **3.2.9. LCR-metre**

Dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp ölçümleri Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Hioki IM3536 marka LCR metre ile yapıldı.

## **3.3. Metot**

Bu tez çalışmasında malzemeler klasik katı hal sentez yöntemi ile sentezlendi.

### **3.3.1. Takip Edilen Sistematik**

$A_{1(2-x)}B_2O_7 \cdot xA_2^{+3}$  tipindeki malzemeler ( $A_{1,2}:+3$  yüklü nadir toprak elementleri,  $B:Ti^{+4}$ ) stokiyoemrik oranlarda tartılan başlangıç maddelerinden oluşturuldu. Seçilen sistemler ve katkı oranları belirlenirken literatürde araştırılmamış olmalarına dikkat edilerek seçim yapıldı. Yüksek saflıktaki oksitlerden seçilen başlangıç maddeleri karıştırılarak, agat havanda yaklaşık 2 saat kadar öğütülerek homojenleşmesi sağlandı ve yaş veya kuru ortamda bilyalı öğütücü ile öğütüldü. Bu işlemin amacı, tanecik boyutlarını düzenli ve mümkün olan en küçük hale getirmektir. İşıldar sistemlerin başlangıç madde miktarları Çizelge 3.1' de verilmektedir.

**Çizelge 3.1.** Işıldar sistemlerin başlangıç madde miktarları

IŞILDAR SİSTEM			
$\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	$\text{La}_2\text{O}_3$ 4,6648 g	$\text{TiO}_2$ 2,2870 g	$\text{Nd}_2\text{O}_3$ 0,0482 g
$\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	$\text{Sm}_2\text{O}_3$ 4,7548 g	$\text{TiO}_2$ 2,2000 g	$\text{Ce}_2\text{O}_3$ 0,0452 g
$\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$	$\text{Eu}_2\text{O}_3$ 4,2783 g	$\text{TiO}_2$ 2,0440 g	$\text{In}_2\text{O}_3$ 0,1776 g
$\text{Er}_{1.98}\text{Gd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	$\text{Er}_2\text{O}_3$ 4,8904 g	$\text{TiO}_2$ 2,0628 g	$\text{Gd}_2\text{O}_3$ 0,0468 g
$\text{Y}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	$\text{Y}_2\text{O}_3$ 4,0456 g	$\text{TiO}_2$ 2,8907 g	$\text{Eu}_2\text{O}_3$ 0,0637 g
$\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	$\text{Sm}_2\text{O}_3$ 4,7526 g	$\text{TiO}_2$ 2,1989 g	$\text{Eu}_2\text{O}_3$ 0,0484 g
$\text{Dy}_{1.98}\text{Yb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	$\text{Dy}_2\text{O}_3$ 4,8502 g	$\text{TiO}_2$ 2,0980 g	$\text{Yb}_2\text{O}_3$ 0,0518 g
$\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	$\text{Eu}_2\text{O}_3$ 4,7722 g	$\text{TiO}_2$ 2,1879 g	$\text{Sb}_2\text{O}_3$ 0,0399 g
$\text{Lu}_{1.98}\text{Er}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	$\text{Lu}_2\text{O}_3$ 4,5931 g	$\text{TiO}_2$ 1,8623 g	$\text{Er}_2\text{O}_3$ 0,0446 g

Sentez yöntemi olarak, uygulanması kolay ve kirliliklere sebep olmayacak bir teknik olan yüksek sıcaklık katı hal yöntemi kullanıldı. Yüksek saflıktaki başlangıç maddeleri istenilen yapıya ulaşana kadar yüksek sıcaklıkta alumina kayık krozeler içerisinde



sinterlendi. Reaksiyon sonunda oluşan yeni kristal yapıda atomlar örgü noktalarına difüzyon yolu ile yerleşti ve faz oluşumu gerçekleşti.

Hazırlanan katı karışımlardan TG/DTA analizleri için ısıl işlemlerden önce 0.1 g ayrıldı ve TG/DTA sistemi ile oda sıcaklığından 1300°C' ye kadar 200 ml/dak akış hızındaki azot gazı atmosferinde ve 10°C / dak ısıtma hızı ile termal davranışları incelendi.

Bu karışımlardan  $La_{1.98}Nd_{0.02}Ti_2O_7$ ,  $Eu_{1.90}In_{0.10}Ti_2O_7$ ,  $Er_{1.98}Gd_{0.02}Ti_2O_7$ ,  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$ ,  $Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$ ,  $Lu_{1.98}Er_{0.02}Ti_2O_7$ ,  $Eu_{1.98}Sb_{0.02}Ti_2O_7$  sistemlerine önceden sabit tartıma getirilen alumina kayıklar içerisinde açık atmosfere bağlı kül fırınında 800°C sıcaklıkta 3 saat ve  $Sm_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$ ,  $Sm_{1.98}Ce_{0.02}Ti_2O_7$  sistemlerine de 800°C sıcaklıkta 2 saat ön ısıl işlem uygulandı. Işıldar sistemlere uygulanan ısıl işlemler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Işıldar sistemlere uygulanan ısıl işlemler

<b>İŞILDAR SİSTEM</b>	<b>ÖN ISIL İŞLEM</b>	<b>1.ISIL İŞLEM</b>	<b>2.ISIL İŞLEM</b>	<b>3.ISIL İŞLEM</b>	<b>4.ISIL İŞLEM</b>
$La_{1.98}Nd_{0.02}Ti_2O_7$	800°C-3h	1050°C-24h	1400°C-24h	-	-
$Sm_{1.98}Ce_{0.02}Ti_2O_7$	800°C-2h	1100°C-24h	1200°C-24h	1300°C-24h	1400°C-24h
$Eu_{1.90}In_{0.10}Ti_2O_7$	800°C-3h	1050°C-24h	1100°C-24h	-	-
$Er_{1.98}Gd_{0.02}Ti_2O_7$	800°C-3h	1050°C-24h	1400°C-24h	-	-
$Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$	800°C-3h	1050°C-24h	1400°C-24h	-	-
$Sm_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$	800°C-2h	1100°C-24h	1200°C-24h	1300°C-24h	1400°C-24h
$Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$	800°C-3h	1050°C-24h	1400°C-24h	-	-
$Eu_{1.98}Sb_{0.02}Ti_2O_7$	800°C-3h	1050°C-24h	1100°C-24h	-	-
$Lu_{1.98}Er_{0.02}Ti_2O_7$	800°C-3h	1050°C-24h	1400°C-24h	-	-

Yapılan ön ısıl işlemden sonra agat havanda öğütülen karışımlara tekrar ısıl işlemler uygulandı. Her ısıl işlem öncesinde ve sonrasında kütle değişimini kontrol etmek için tartım yapıldı.

Her bir ısıl işlem sonrasında agat havanda öğütülen karışımların  $2\theta = 10^\circ - 90^\circ$  tarama açısı ve  $0.002^\circ/s$  adım aralığında XRD toz desenleri kaydedildi. Kristal sistem oluşmayan yapılara Çizelge 3.4.'de belirtilen sıcaklıklarda tekrar ısıl işlem uygulandı. XRD Evaluation paket programıyla maddelere ait her bir toz deseni incelendi ve miller indisleri (h, k, l), kristal sistemi, birim hücre parametreleri (a, b, c,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , V) ve düzlemler arası uzaklık (d) değerleri belirlendi.

Tüm sistemlerin taramalı elektron mikroskop ile yüzey incelemeleri ve elementel analizleri, fotoluminesans spektrofotometresi ile de ışımaya özellikleri araştırıldı.

Dielektrik ölçümler için toz haldeki numunelere bağlayıcı olarak PVA (polivinil alkol) eklendi. 2.5 ton basınç altında hidrolik el presi ile çapı 1 cm olan peletler hazırlandı. Peletler  $1300^\circ C$  sıcaklıkta 3 saat sinterlendi, peletlerin sinterlenmeden önce ve sonra numune kalınlığı (t), ağırlığı (m), çapı (d) ölçüldü. Isıl işlem sonrasında peletlerin kuru ağırlıkları tartılıp saf su içinde en az 24 saat bekletildi. “*Arşimed metodu*” ile de askıdaki ağırlıkları tartılan numunelerin deneysel yoğunlukları Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2 (Aydın, 2016) yardımı ile hesaplandı.

$$\rho = \frac{W_{kuru} \times \rho_{saf\ su}}{W_{kuru} - W_{askı}} \quad (3.1)$$

$$\% \rho = \frac{\rho_{deneysel}}{\rho_{teorik}} \quad (3.2)$$

$\rho$  = Yoğunluk,  $W_{kuru}$  = Kuru ağırlık,  $W_{askı}$  = Askıdaki ağırlık,  $\rho_{saf\ su}$  = Saf suyun yoğunluğu

Malzemelerin hesaplanan deneysel yoğunluklarının, olması gereken teorik yoğunluğun % 98'i ve üstü değere sahip olduğu belirlendi. Deneysel yoğunluk değerinin, teorik yoğunluğun % 98' i ve üstü değere sahip olması elektriksel ölçümler için yeterli kabul edilmektedir. Yoğunlukları tespit edilen numunelere, 50 °C' de bulunan manyetik ısıtıcı üzerinde her iki yüzeye de ikişer kat olacak biçimde on dakika ara ile gümüş pasta uygulandı. Gümüş pasta uygulanan numuneler 650 °C sıcaklıkta 1 saat kül fırında sinterlendi. Sinterlenen numunelerin LCR-metre ile beş farklı noktasında kapasitans (Cs) ve kaçak akımı bulmak için kayıp faktörü (D) ölçüldü. Kayıp faktörü (D) Eşitlik 3.3. yardımıyla dielektrik kayıp (tanδ) olarak hesaplandı. Numunelerin dielektrik sabitleri Eşitlik 2.1. kullanılarak hesaplandı.

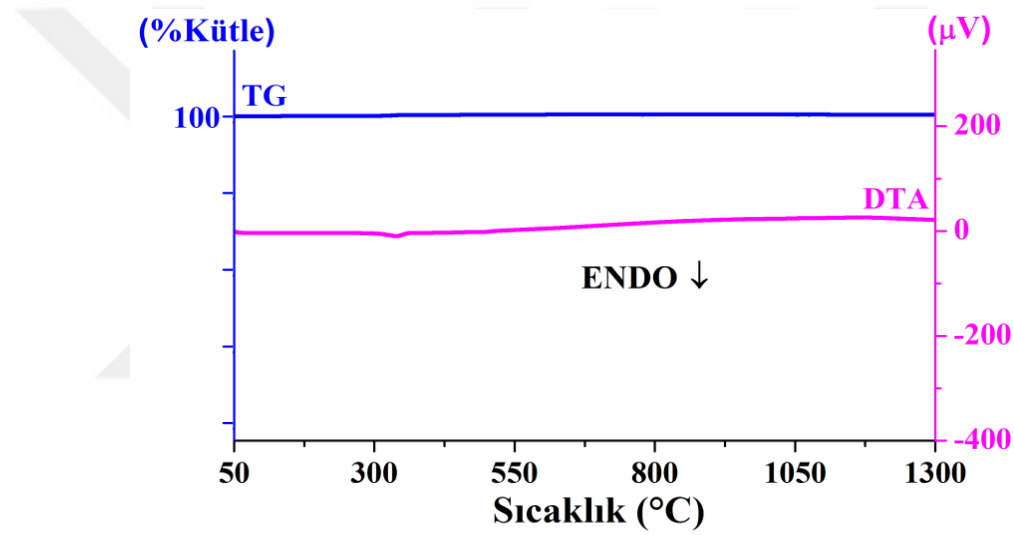
$$\tan\delta=\%10xD$$

(3.3)

## 4. BULGULAR

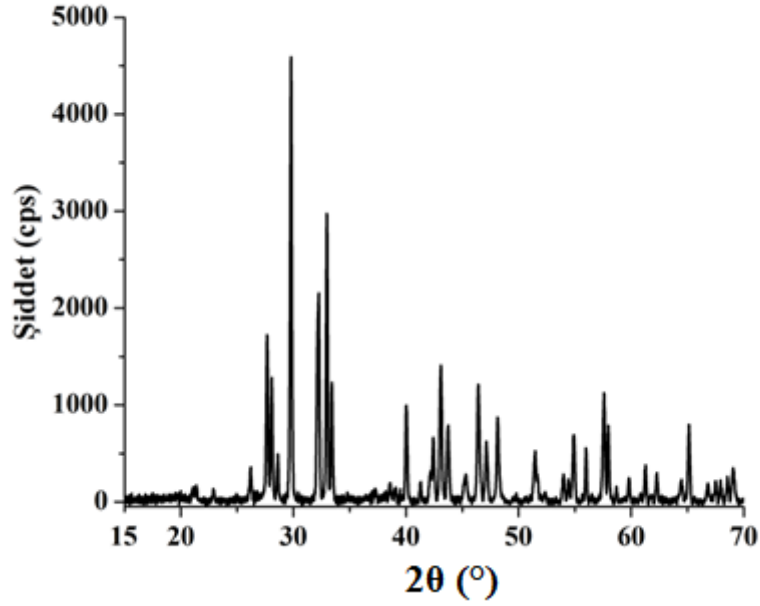
### 4.1. $\text{La}_{1,98}\text{Nd}_{0,02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi

$\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  başlangıç maddelerinden stokiyometrik oranlarda alınan katılar agat havanda 2 saat öğütüldü ve elde edilen karışımın DTA/TG sistemi ile termal davranışları incelendi. DTA/TG termal analiz sonuçları Şekil 4.1'deki termogramda görülmektedir. 50-1300 °C sıcaklıkları arasında bir kütle kaybı ve faz oluşumuna ait endoterm görülmemektedir.



Şekil 4.1. Stokiyometrik oranlardaki  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı

2 saat mekanik öğütme uygulanan karışıma, DTA/TG eğrilerinden elde edilen bilgilere göre 800 °C'de 3 saat ön ısıl işlem uygulandıktan sonra, 1150 °C ve 1400 °C ısıl işlem yapılması uygun görüldü. Elde edilen katı karışımın kaydedilen toz deseni Şekil 4.2'de görülmektedir.



**Şekil 4.2.** 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin XRD toz deseni

Tek fazlı monolinik kristal sisteminde kristallenen  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  için birim hücre parametreleri  $a=7.809 \text{ \AA}$ ,  $b=5.546 \text{ \AA}$ ,  $c=13.014 \text{ \AA}$ ;  $\alpha=90^\circ$ ,  $\beta=98.65^\circ$ ,  $\gamma=90^\circ$  olarak XRD Evaluation programı yardımı ile hesaplandı.  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ ’ın 1400°C’deki ısıl işleminden sonraki toz deseni verileri Çizelge 4.1’de verilmektedir.

**Çizelge 4.1.** 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin XRD deseni verileri

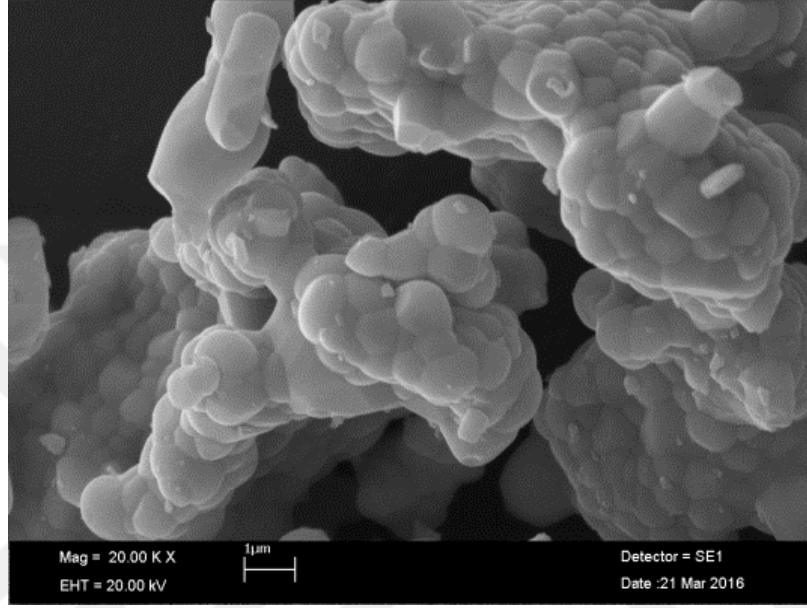
No	h	k	l	d (Å)	2θ (°)	I/I <sub>0</sub>
1	1	1	1	4.16691	21.3061	2.0
2	2	0	0	3.87692	22.9206	2.2
3	0	1	3	3.40047	26.1854	7.2
4	0	0	4	3.22266	27.6582	37.2
5	2	1	0	3.17602	28.0726	27.7
6	2	0	2	3.11640	28.6210	10.4
7	2	1	1	2.99768	29.7801	100.0
8	0	2	0	2.77442	32.2393	46.1

**Çizelge 4.1** (Devam).1400 °C’de ısıt işlem uygulanan  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin XRD deseni verileri

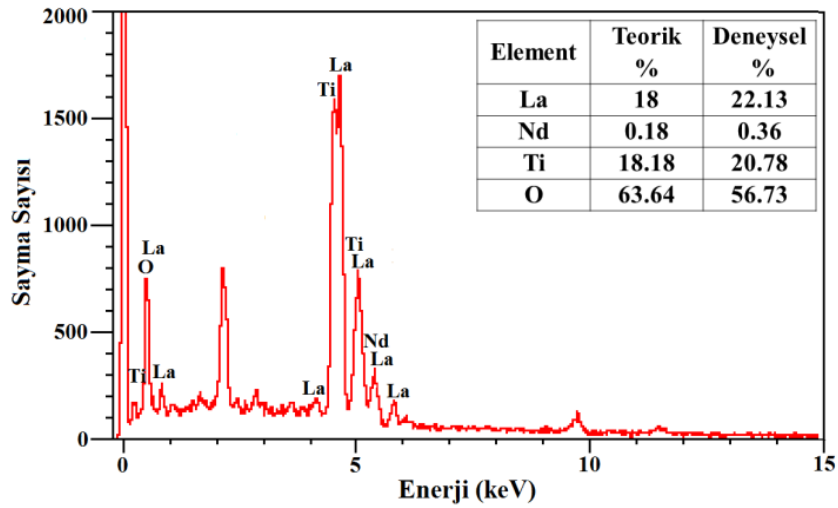
9	2	1	2	2.71482	32.9670	64.7
10	2	0	3	2.67968	33.4118	26.7
11	2	1	3	2.40889	37.2985	2.4
12	3	1	0	2.33166	38.5820	4.1
13	2	0	4	2.30429	39.0587	2.9
14	2	2	0	2.25082	40.0256	21.4
15	2	2	1	2.18635	41.2588	3.8
16	0	0	6	2.14152	42.1634	6.4
17	2	1	4	2.12904	42.4223	13.5
18	0	2	4	2.09731	43.0959	30.2
19	2	2	2	2.06798	43.7385	16.9
20	2	0	5	1.99853	45.3414	5.7
21	-4	0	1	1.95440	46.4244	26.1
22	2	2	3	1.92598	47.1504	13.4
23	2	1	5	1.88859	48.1424	18.9
24	0	3	2	1.77335	51.4912	10.9
25	0	1	7	1.74530	52.3808	2.0
26	0	3	3	1.69671	54.0007	5.6
27	2	1	6	1.68408	54.4389	4.6
28	2	3	0	1.67130	54.8901	14.8
29	1	3	3	1.64116	55.9861	11.7
30	4	1	3	1.59931	57.5859	24.4
31	2	3	2	1.58963	57.9698	17.1
32	2	0	7	1.57187	58.6879	3.3
33	5	0	0	1.54551	59.7900	5.3
34	2	1	7	1.51092	61.3037	6.6
35	2	2	6	1.49029	62.2465	5.7
36	2	3	4	1.44401	64.4772	4.9
37	4	2	3	1.43095	65.1378	17.3
38	3	0	7	1.39933	66.7996	3.6
39	0	4	0	1.38704	67.4704	4.4
40	0	4	1	1.37859	67.9400	4.5
41	2	2	7	1.36733	68.5773	5.1
42	2	3	5	1.35888	69.0636	7.5

$\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ 'ın 1400 °C ısıt işlem sonunda elde edilen toz formdaki fazının SEM ile yüzey analizi yapıldı ve sistemi oluşturan tanelerin 20.000 kat büyütülmüş görüntüsü

kaydedildi.  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin 20.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 4.3’de ve EDX analizi Şekil 4.4’de görülmektedir. Elementel analiz verilerine göre yapıda safsızlık atomu bulunmamakta, teorik ve deneysel yüzdeler birbiri ile uyum sağlamaktadır. SEM görüntüsüne göre tane boyutlarının 0.6-2.6  $\mu\text{m}$  civarında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3.  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin SEM görüntüsü



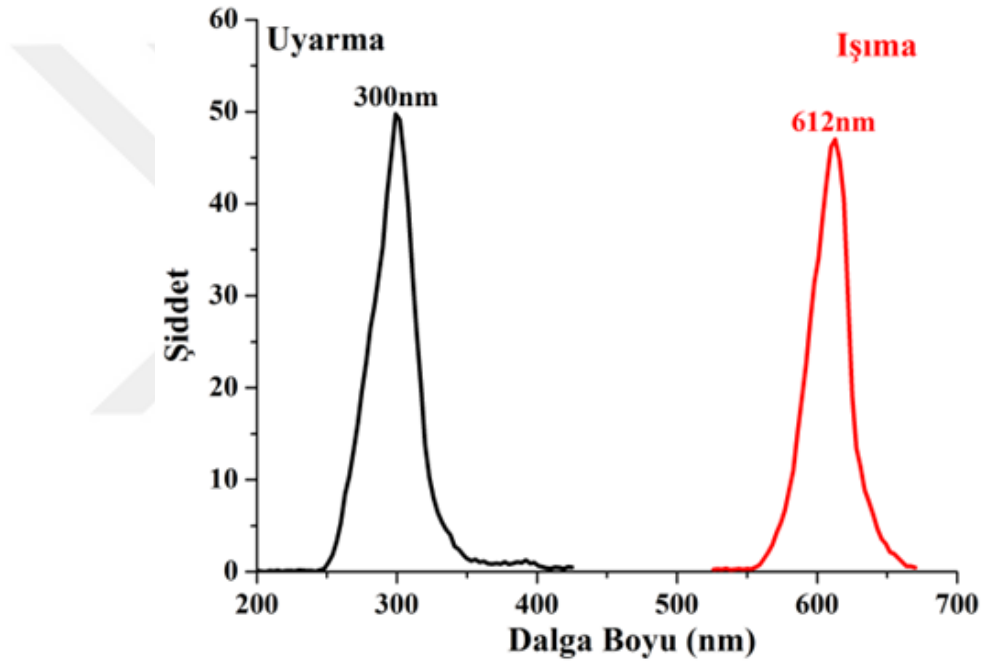
Şekil 4.4.  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin EDX analizi

$\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sistemi 1400 °C ısıtma işlemi sonrasında 200 nm ile 900 nm aralığında fotoluminesans spektrofotometre ile tarandı.  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin uyarılma ve ışınım spektrumu Şekil 4.5’de, ışınım süresi eğrisi Şekil 4.6’da görülmektedir. 300 nm’

de  $\text{La}^{+3}$  iyonlarının  $^1\text{S}_0 \rightarrow ^1\text{F}_3$  geçişi sebebiyle uyarılan sistem, 612 nm'de  $\text{Ti}^{+3}$  iyonlarının  $^2\text{E} \rightarrow ^2\text{T}_2$  geçişi ve  $\text{Nd}^{+3}$  iyonlarının  $^4\text{G}_{7/2} \rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$  geçişinden kaynaklanan ışıma bandına sahiptir (Shao ve ark., 2010; Joseph ve ark., 2008; Ming-Hui ve ark., 2013).  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  ışıma süresi Eşitlik 4.1 kullanılarak 5.224  $\mu\text{s}$  olarak hesaplandı.

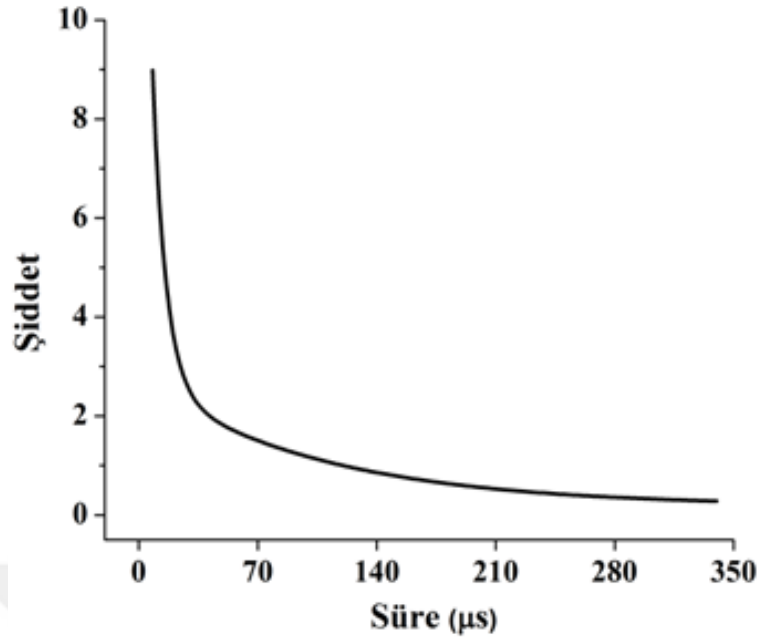
$$I = A_1 \exp(-t/\tau_1) + C \quad (4.1)$$

I: ışıma şiddeti,  $A_1, C$ : sabit, t: zaman,  $\tau_1$ : ışıma süresi



Şekil 4.5.  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin uyarma ve ışıma spektrumu

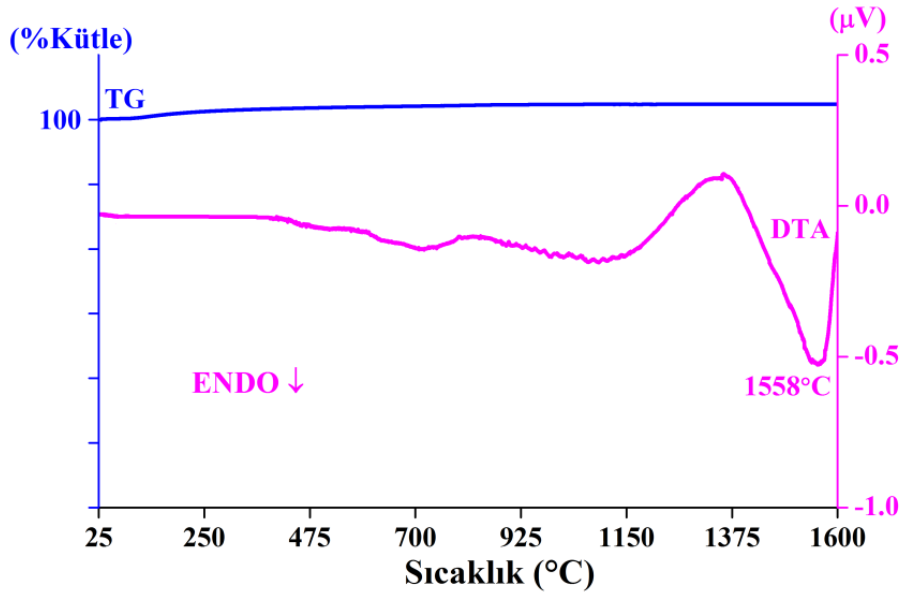




Şekil 4.6.  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin ışma süresi

Sistemin dielektrik sabiti ve kaybı Eşitlik 2.1 ve 3.3 kullanılarak  $\epsilon_{33}=12$  ve  $\tan\delta=\%8$  olarak hesaplandı.

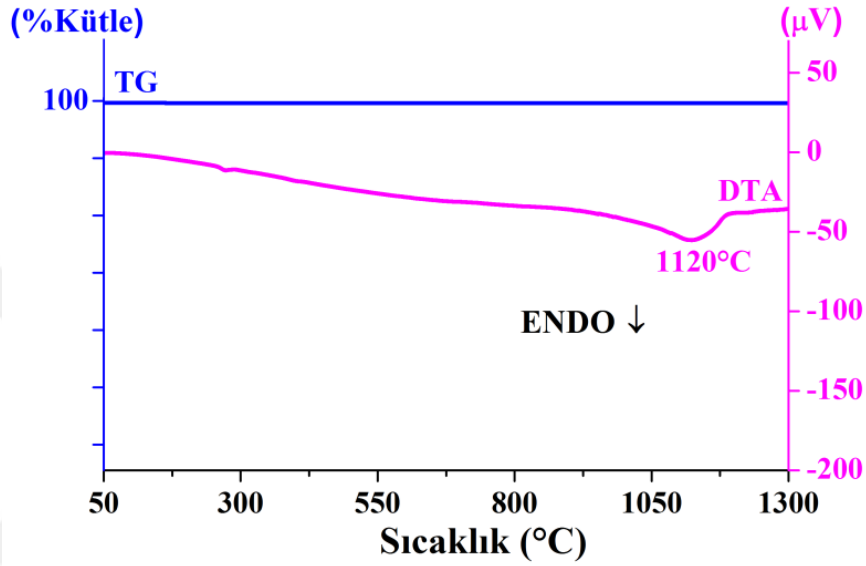
$\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin  $1400\text{ }^\circ\text{C}$  ısı işlem uygulandıktan sonra elde edilen fazının DTA/TG termogramı Şekil 4.7’de verilmektedir.  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin Curie sıcaklığı  $1558\text{ }^\circ\text{C}$ ’dir. Malzeme bu sıcaklığa kadar piezoelektrik özellik gösterirken, bu sıcaklıkta gerçekleşen endotermik faz değişimi ile bu özelliğini kaybetmektedir.



Şekil 4.7.  $1400\text{ }^\circ\text{C}$ ’ de ısı işlem uygulanan  $\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ ’ın DTA/TG termogramı

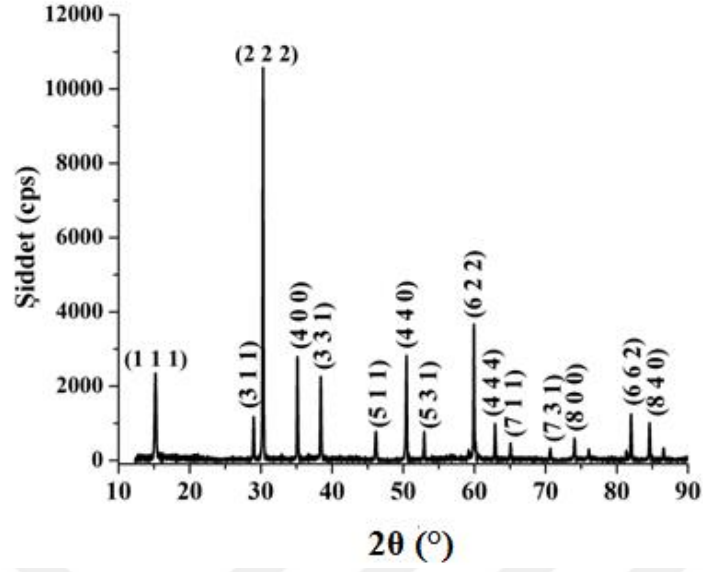
#### 4.2. $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi

$\text{Sm}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$  başlangıç maddeleri kullanılarak stokiyometrik oranlarda hazırlanan toz karışımının 50-1300°C arasında gerçekleştirilen DTA/TG eğrileri Şekil 4.8’de görülmektedir. Çalışılan 50-1300°C sıcaklık aralığında herhangi bir kütle değişimi gözlenmemekte, 1120 °C’de faz oluşumuna ait endotermik pik görülmektedir.



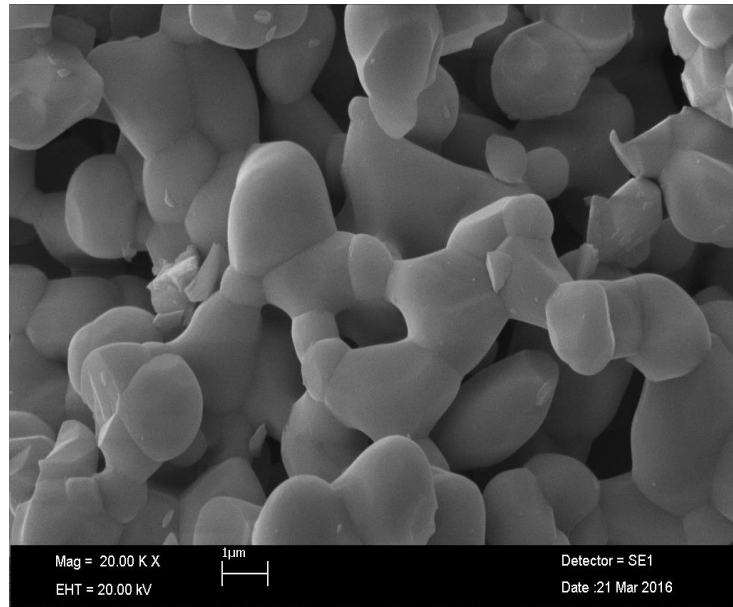
Şekil 4.8. Stokiyometrik oranlardaki  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$  başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı

Termal analiz verilerinden elde edilen bilgilere göre, mekanik olarak öğütülen başlangıç maddeleri karışımına 800 °C’de 2 saat ön ısıl işlem, 1100 °C, 1200 °C, 1300 °C ve 1400 °C’de 24 saat ısıl işlem uygulandı. 1400 °C’de uygulanan işlemde kaydedilen XRD toz deseni Şekil 4.9’da görülmektedir. Tek fazlı kübik kristal sistemine sahip malzemenin birim hücre parametreleri  $a=b=c=10.231 \text{ \AA}$  ve  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$  şeklindedir.

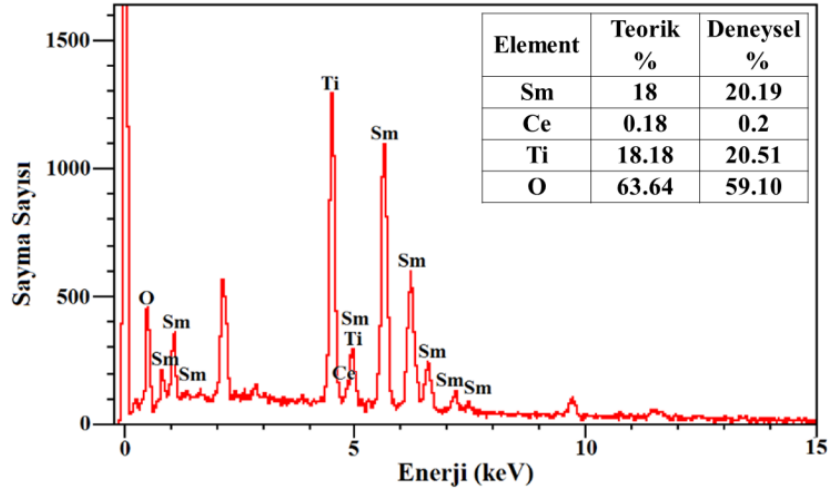


Şekil 4.9. 1400 °C’de ısıt işlem uygulanan  $Sm_{1.98}Ce_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin XRD toz deseni

$Sm_{1.98}Ce_{0.02}Ti_2O_7$ ’ın 1400 °C ısıt işlem sonunda elde edilen toz formdaki fazının SEM ile yüzey analizi yapıldı ve sistemi oluşturan tanelerin 20.000 kat büyütülmüş görüntüsü kaydedildi.  $Sm_{1.98}Ce_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin 20.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 4.10’da ve EDX analizi Şekil 4.11’de görülmektedir. Elementel analiz verilerine göre yapıda safsızlık atomu bulunmamakta, teorik ve deneysel yüzdeler birbiri ile uyum sağlamaktadır. SEM görüntüsüne göre tane boyutlarının 0.8-4.0  $\mu m$  civarında olduğu görülmektedir.

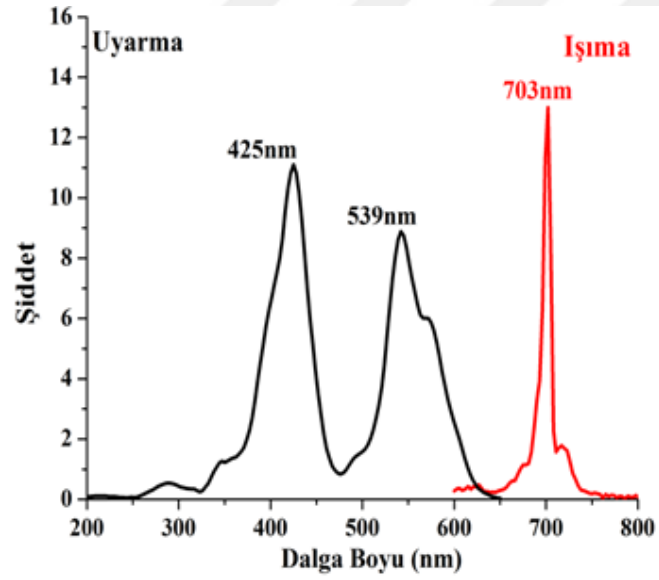
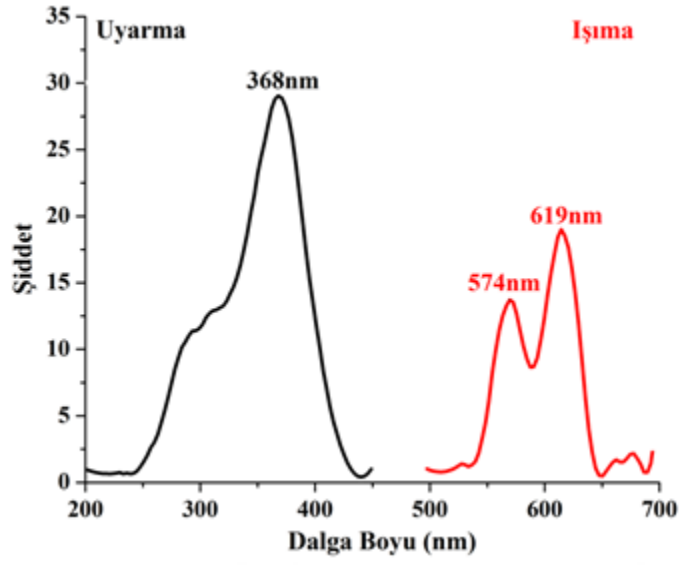


Şekil 4.10.  $Sm_{1.98}Ce_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin SEM görüntüsü

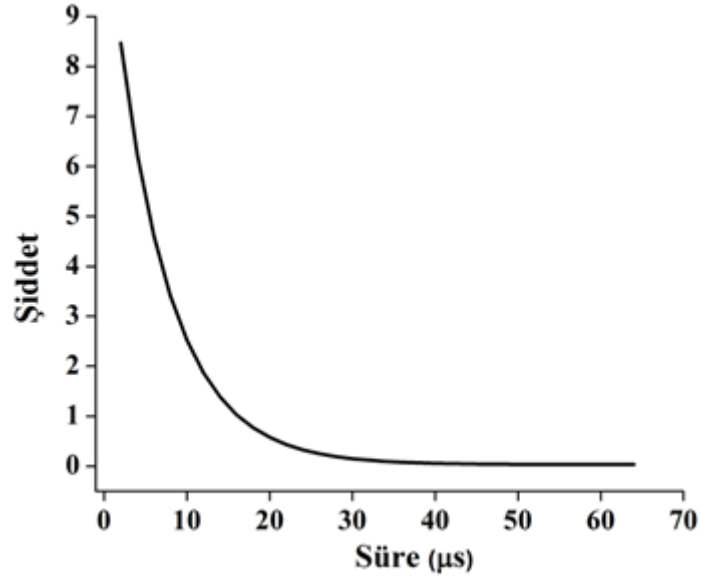


Şekil 4.11.  $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin EDX analizi

$\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin fotolüminesans spektrofotometre ile kaydedilen uyarma ve ışımaya spektrumu Şekil 4.12’de ve ışımaya süresi Şekil 4.13’de verilmektedir.  $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sistemi 368 nm ve 425-539 nm olmak üzere iki farklı bantta uyarılmaktadır. Söz konusu 368 nm, 425 nm ve 539 nm’deki uyarma bantları sırasıyla  $\text{Sm}^{+3}$  iyonlarının  ${}^6\text{H}_{5/2} \rightarrow {}^4\text{D}_{3/2}$ ,  ${}^6\text{H}_{5/2} \rightarrow {}^4\text{M}_{19/2}$ ,  ${}^6\text{H}_{5/2} \rightarrow {}^4\text{F}_{3/2}$  geçişlerinden kaynaklanmaktadır. 574 nm, 619 nm ve 703 nm’deki ışımaya bantları ise sırasıyla  ${}^4\text{G}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{5/2}$ ,  ${}^4\text{G}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{7/2}$ ,  ${}^4\text{G}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{11/2}$  geçişlerinden kaynaklanmaktadır (Li ve ark., 2007; Dor Devic ve ark., 2011; Naresh ve ark., 2014; Baur ve ark., 2013; Deng ve ark., 2015; Sobczyk ve ark., 2015).  $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin ışımaya süresi 2.0  $\mu\text{s}$  olarak hesaplandı.



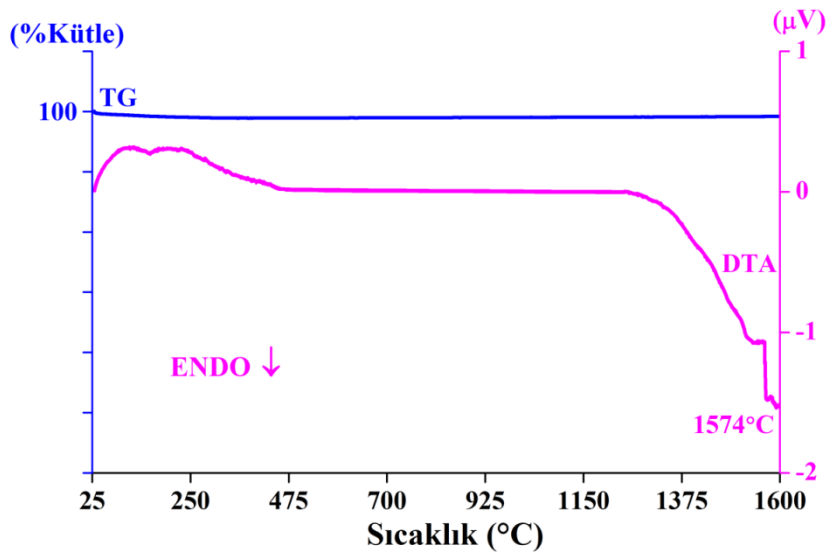
Şekil 4.12.  $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin farklı dalga boylarındaki uyarma ve ışımaya spektrumu



Şekil 4.13.  $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin ısıma süresi

Sistemin dielektrik sabiti ile kaybı Eşitlik 2.1 ve 3.3 kullanılarak  $\epsilon_{33}=36$  ve  $\tan\delta=\%1,2$  olarak hesaplandı.

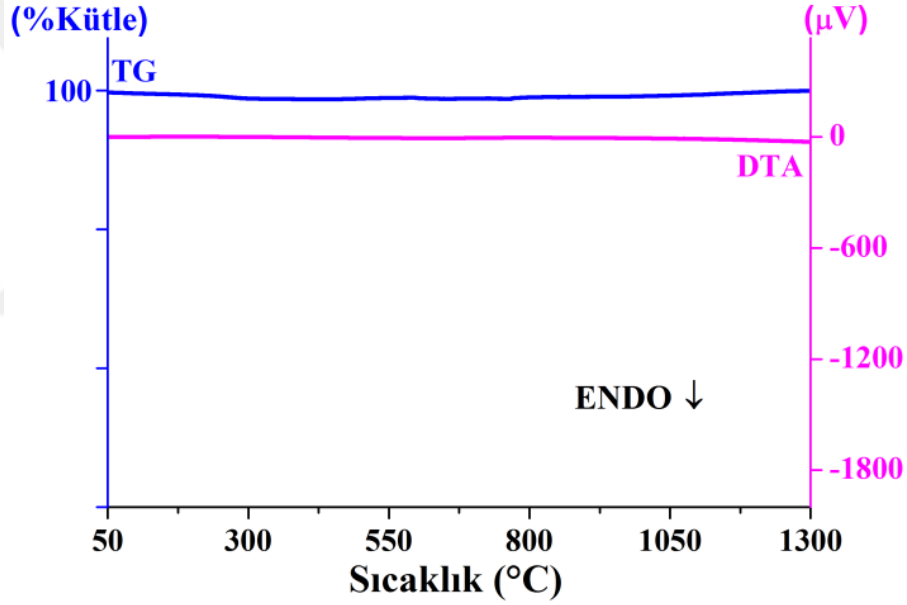
$\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin  $1400\text{ }^\circ\text{C}$  ısıtma işlemi uygulandıktan sonra elde edilen fazının DTA/TG termogramı Şekil 4.14’de verilmektedir.  $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin Curie sıcaklığı  $1574\text{ }^\circ\text{C}$ ’dir. Malzeme bu sıcaklığa kadar piezoelektrik özellik gösterirken, bu sıcaklıkta gerçekleşen endotermik faz değişimi ile bu özelliğini kaybetmektedir.



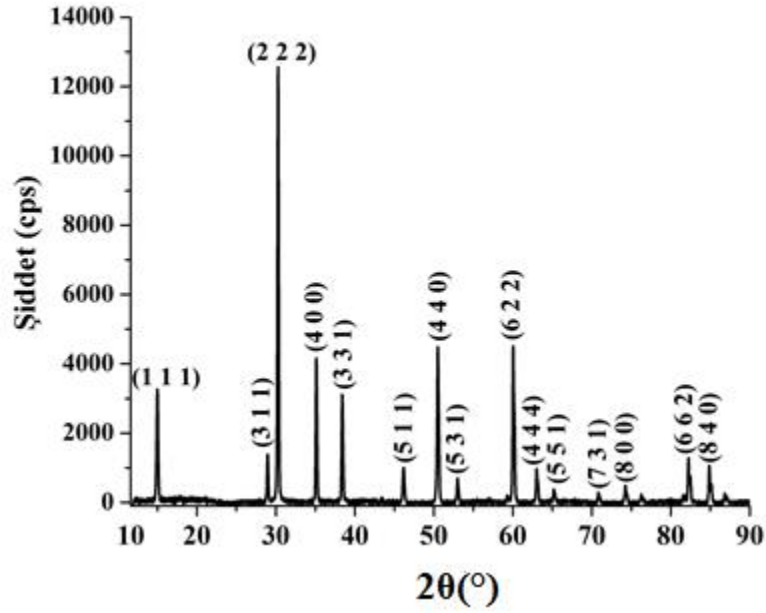
Şekil 4.14.  $1400\text{ }^\circ\text{C}$ ’de ısıtma işlemi uygulanan  $\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ ’ın DTA/TG termogramı

### 4.3. $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi

Stokiyometrik olarak tartılan  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  başlangıç maddelerinden mekanik olarak öğütüldükten sonra elde edilen karışımın DTA/TG termogramı Şekil 4.15’de görülmektedir. 50-1300 °C sıcaklık aralığında herhangi bir kütle kaybı ve faz dönüşümü gözlenmedi. DTA/TG verilerine göre başlangıç maddelerinden oluşan toz karışımı kül fırını içerisinde 800 °C’de 2 saat ön ısıl işlem ve 1100 °C’de 24 saat ısıl işlem uygulandı. 1100 °C’de 24 saat ısıl işlem uygulandıktan sonra kaydedilen toz deseni Şekil 4.16’da görülmektedir. Tek fazlı kübik kristal sisteminde kristallenen fazın birim hücre parametreleri  $a=b=c=10.193 \text{ \AA}$  ve  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$  olarak hesaplandı.

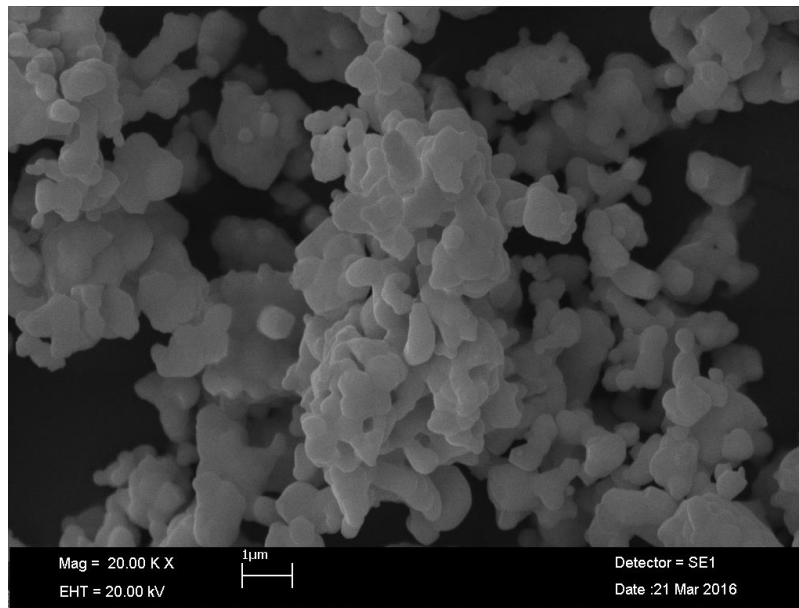


Şekil 4.15. Stokiyometrik oranlardaki  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı



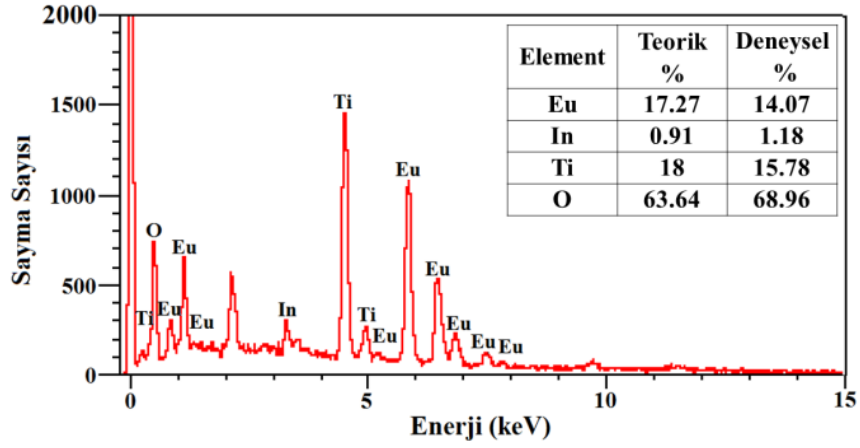
**Şekil 4.16.** 1100 °C’de ısıtıl işlem uygulanan  $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin XRD toz deseni

1100 °C’de 24 saat ısıtıl işlem uygulandıktan sonra elde edilen sistemin 20.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 4.17’de ve EDX analizi Şekil 4.18’de görülmektedir. Elementel analiz verilerine göre yapıda safsızlık atomu bulunmamakta, teorik ve deneysel yüzdeler birbiri ile uyum sağlamaktadır. Sistemi oluşturan tane boyutu 0.2-1.5 µm arasında değişmektedir.



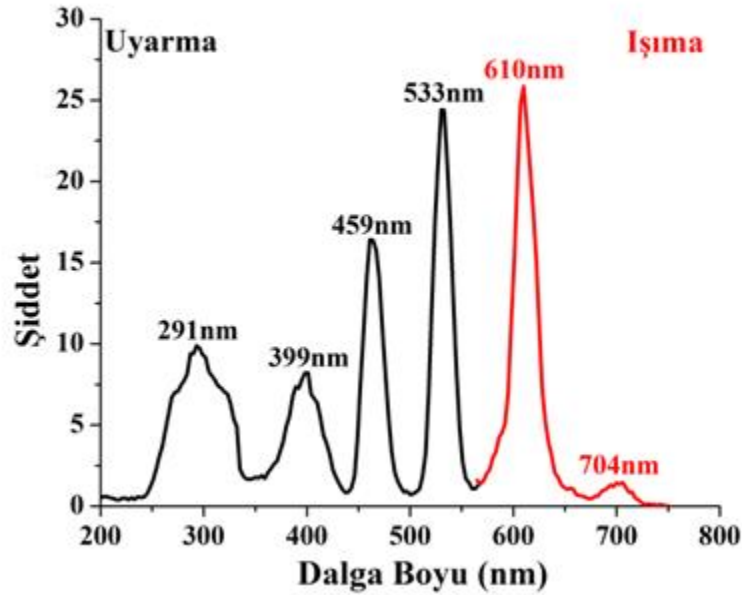
**Şekil 4.17.**  $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin SEM görüntüsü



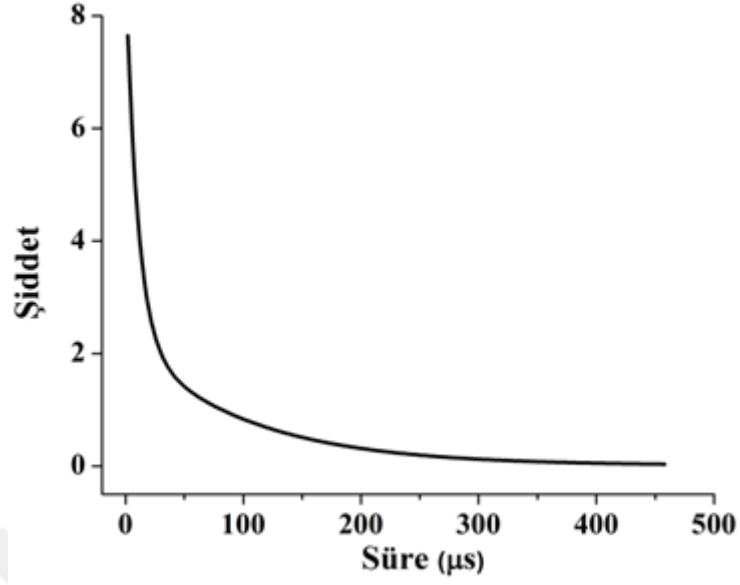


Şekil 4.18.  $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin EDX analizi

$\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin, fotoluminesans spektrofotometre ile kaydedilen uyarma, ışımaya spektrumu Şekil 4.19'da ve ışımaya süresi eğrisi Şekil 4.20'de verilmektedir. 291 nm, 399 nm, 459 nm ve 533 nm'de dört ayrı uyarma bandına sahip sistemin bu bantları sırası ile  $\text{Eu}^{+3}$  iyonlarının 291 liganttan metale yük transferi (LMCT),  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{L}_6$ ,  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_2$ ,  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_1$  geçişine aittir. 610 nm'deki ışımaya bandı,  $\text{Eu}^{+3}$  iyonlarının  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$  geçişine (Li ve ark., 2007), 704 nm'deki bant ise  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_4$  (Zhang ve ark., 2013) geçişine aittir.  $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sistemin ışımaya süresi 10.13  $\mu\text{s}$  olarak hesaplandı.



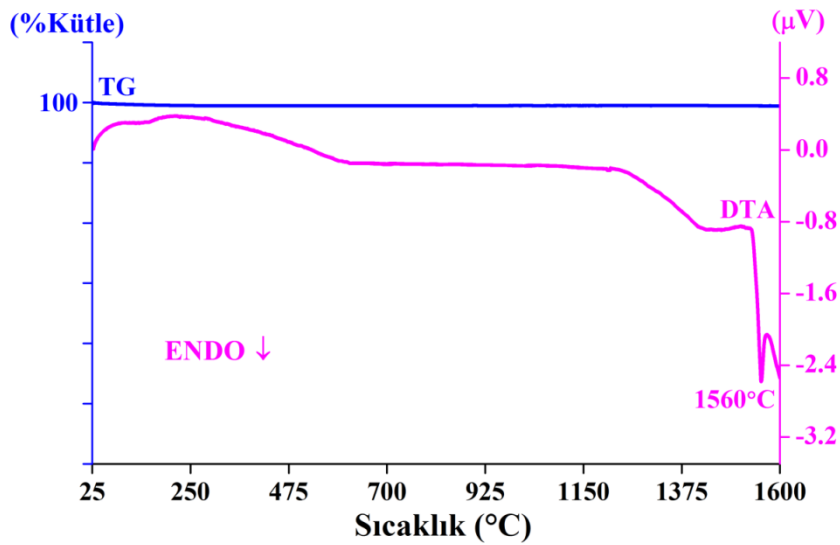
Şekil 4.19.  $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin uyarma ve ışımaya spektrumu



Şekil 4.20.  $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin ışınma süresi

Sistemin dielektrik sabiti ile kaybı Eşitlik 2.1 ve 3.3 kullanılarak  $\epsilon_{33}=20$  ve  $\tan\delta = \%20$  olarak hesaplandı.

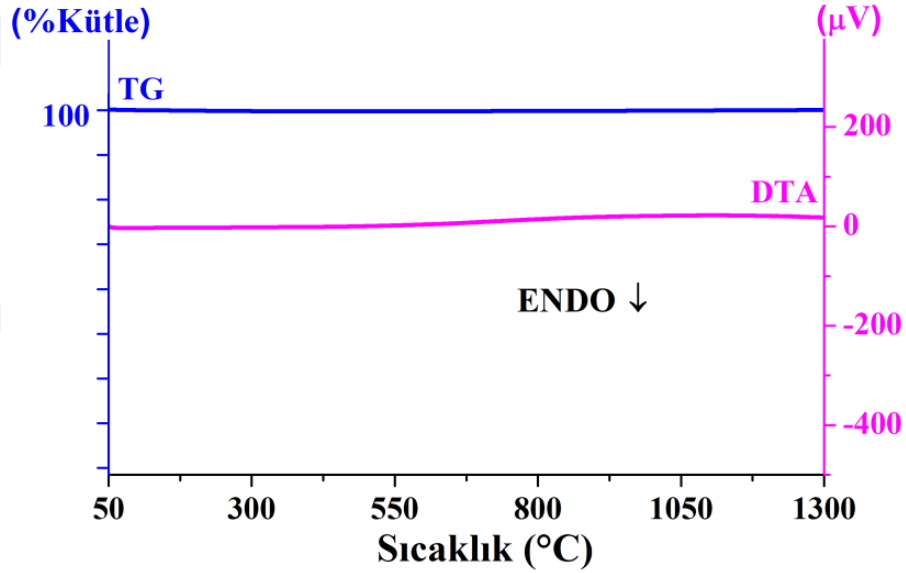
$\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  ısıtma işlem uygulandıktan sonra elde edilen fazının DTA/TG termogramı Şekil 4.21’de verilmektedir.  $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin Curie sıcaklığı  $1560\text{ }^\circ\text{C}$ ’dir. Malzeme bu sıcaklığa kadar piezoelektrik özellik gösterirken, bu sıcaklıkta gerçekleşen endotermik faz değişimi ile bu özelliğini kaybetmektedir.



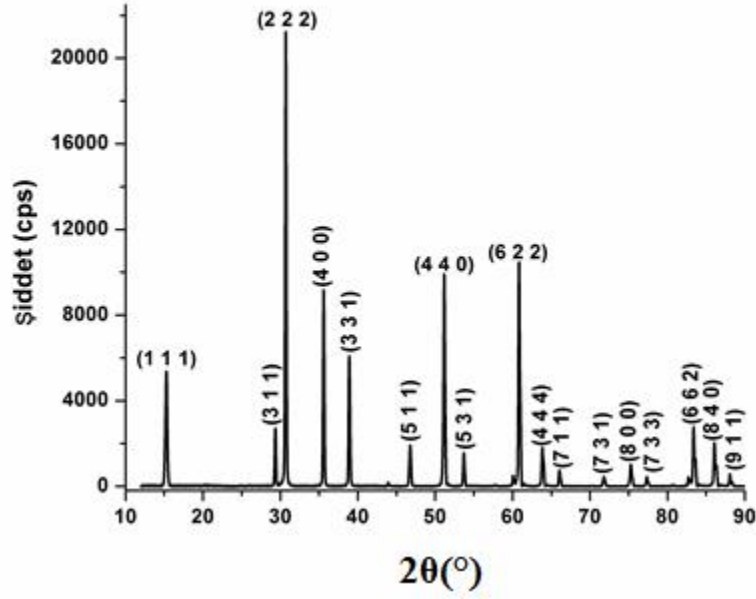
Şekil 4.21.  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ ’de ısıtma işlem uygulanan  $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$ ’ın DTA/TG termogramı

#### 4.4. Er<sub>1.98</sub>Gd<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Sisteminin İncelenmesi

Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> başlangıç maddelerinden stokiometrik oranlarda tartılarak hazırlanan toz karışımın öğütülüp homojenleştirildikten sonra kaydedilen DTA/TG termogramı Şekil 4.22’de görülmektedir. 50-1300 °C sıcaklıkları arasında kaydedilen termograma göre, herhangi bir kütle değişimi ve faz oluşumu gözlenmedi. Toz karışıma 800 °C’de 2 saat ön ısıl işlem uygulandıktan sonra 1050 °C ve 1400 °C’de 24 saat süreyle ısıl işlem uygulandı. Son ısıl işlem uygulandıktan sonra kaydedilen toz deseni Şekil 4.23’de görülmektedir. Tek fazlı kübik kristal sisteminde kristallenen malzemenin birim hücre parametreleri a=b=c=10.097 Å, α=β=γ=90° olarak hesaplandı.

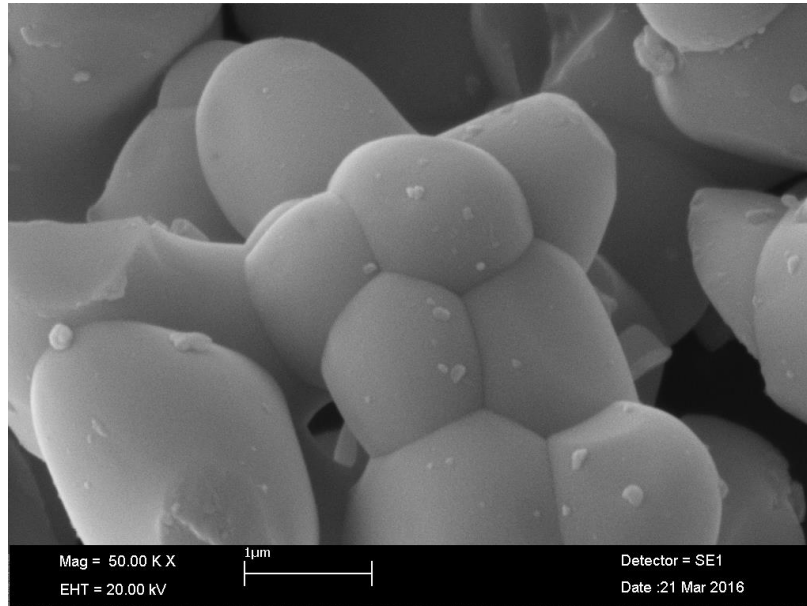


Şekil 4.22. Stokiometrik oranlardaki Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı

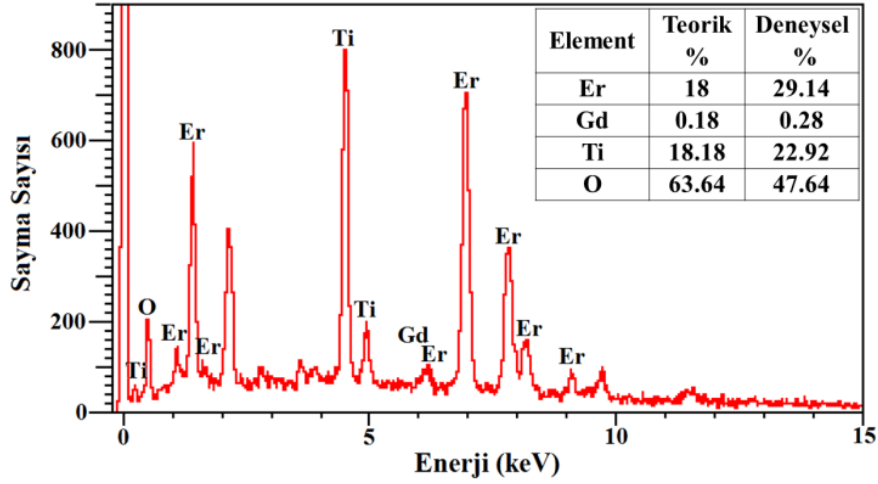


**Şekil 4.23.** 1400 °C’de ısıtıl işlem uygulanan  $Er_{1.98}Gd_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin XRD toz deseni

1400 °C’de 24 saat ısıtıl işlem uygulandıktan sonra elde edilen sistemin 50.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 4.24’de ve EDX analizi Şekil 4.25’de görülmektedir. Elementel analiz verilerine göre yapıda safsızlık atomu bulunmamakta, teorik ve deneysel yüzdeler birbiri ile uyum sağlamaktadır. Tane boyutu 1.4-2.6 µm arasında değişmektedir.

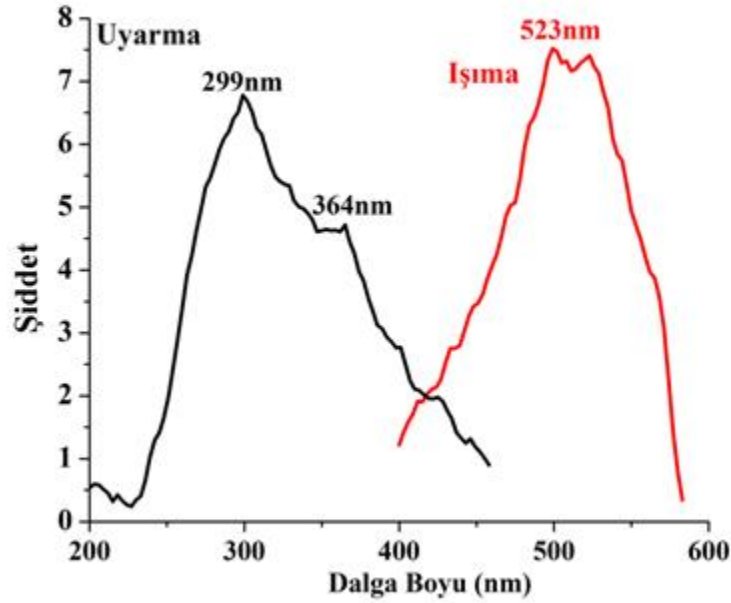


**Şekil 4.24.**  $Eu_{1.90}In_{0.10}Ti_2O_7$  sisteminin SEM görüntüsü

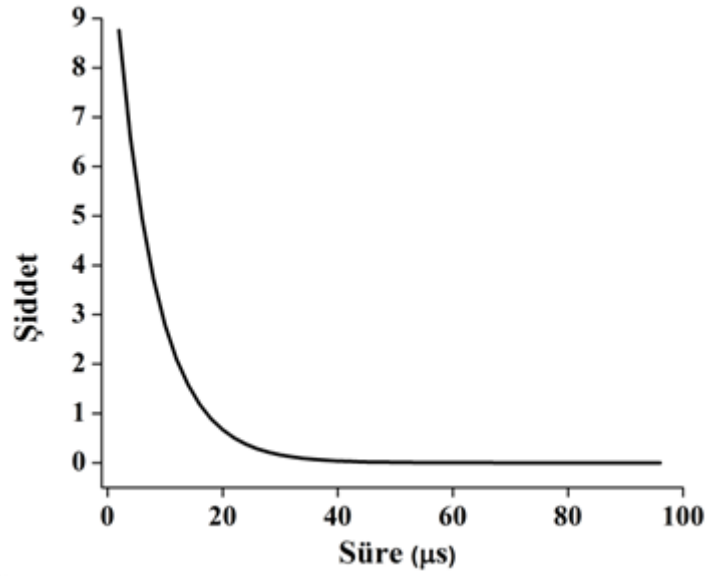


Şekil 4.25.  $\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin EDX analizi

1400°C'de 24 saat süreyle ısıl işlem uygulanan  $\text{Er}_{1.98}\text{Gd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin fotoluminesans spektrofotometre ile kaydedilen uyarma, ışımaya spektrumu Şekil 4.26'da ve ışımaya süresi grafiği Şekil 4.27'de görülmektedir.  $\text{Er}_{1.98}\text{Gd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sistemi 299 nm ve 364 nm'de iki maksimumu olan uyarma bantlarına sahiptir ve bu bantlar sırasıyla  $\text{Er}^{+3}$  iyonlarının  $^4\text{I}_{15/2} \rightarrow ^2\text{K}_{13/2}$ ,  $^4\text{I}_{15/2} \rightarrow ^4\text{G}_{9/2}$  geçişine, 523 nm'de maksimumu bulunan ışımaya bandı ise  $^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$  geçişine aittir (Li ve ark., 2006; Li ve ark., 2008).  $\text{Er}_{1.98}\text{Gd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin ışımaya süresi 6.022  $\mu\text{s}$  olarak hesaplandı.



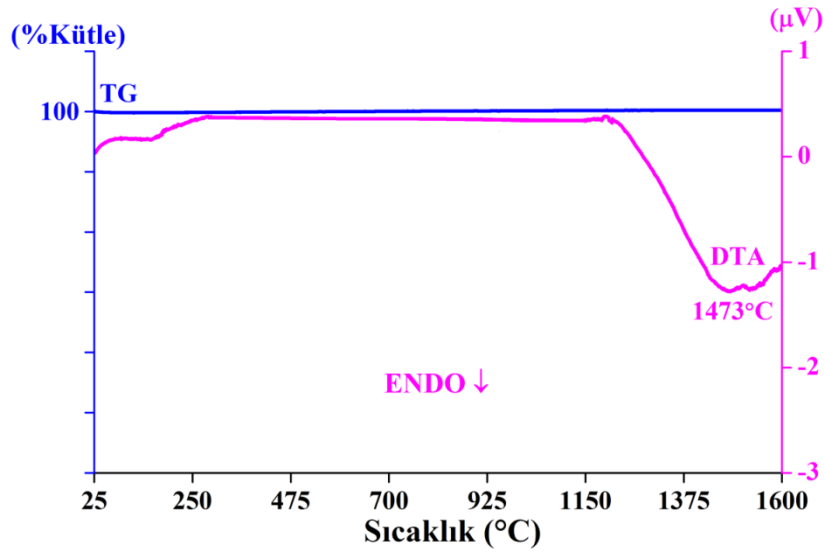
Şekil 4.26.  $\text{Er}_{1.98}\text{Gd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin uyarma ve ışımaya spektrumu



Şekil 4.27. Er<sub>1.98</sub>Gd<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sisteminin ışıma süresi

Sistemin dielektrik sabiti ile kaybı Eşitlik 2.1 ve 3.3 kullanılarak  $\epsilon_{33}=21,1$  ve  $\tan\delta=\%3,6$  olarak hesaplandı.

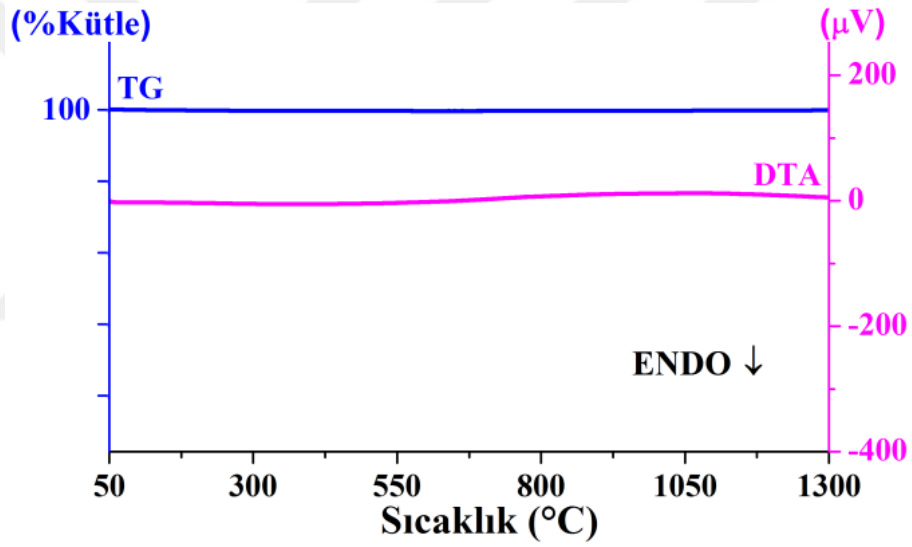
Er<sub>1.98</sub>Gd<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sisteminin 1400 °C ısıtma işlemi uygulandıktan sonra elde edilen fazının DTA/TG termogramı Şekil 4.28’de verilmektedir. Er<sub>1.98</sub>Gd<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sisteminin Curie sıcaklığı 1473 °C’dir. Malzeme bu sıcaklığa kadar piezoelektrik özellik gösterirken, bu sıcaklıkta gerçekleşen endotermik faz değişimi ile bu özelliğini kaybetmektedir.



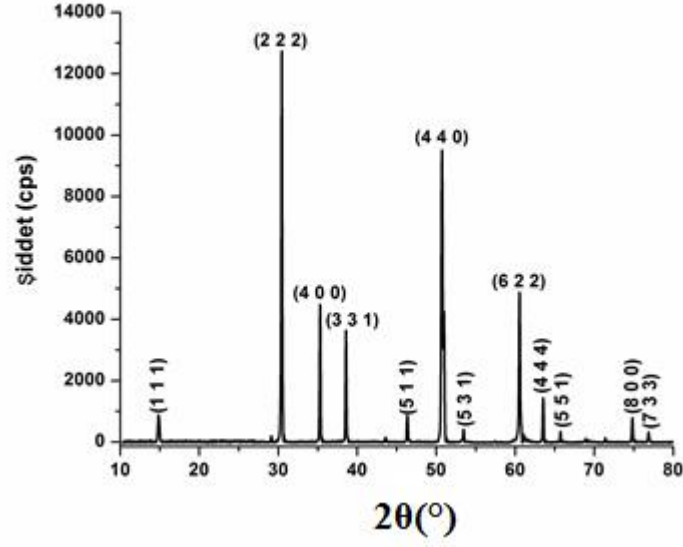
Şekil 4.28. 1100 °C’de ısıtma işlemi uygulanan Er<sub>1.98</sub>Gd<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>’ın DTA/TG termogramı

#### 4.5. $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$ Sisteminin İncelenmesi

Başlangıç maddesi olarak  $Y_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Eu_2O_3$  kullanılarak hazırlanan toz karışımın DTA/TG termogramı Şekil 4.29'da görülmektedir. Termogramda 50-1300 °C aralığında herhangi bir kütle kaybı ve faz dönüşümü görülmemektedir. DTA/TG verilerine göre, toz karışımına alumina kroze içerisinde 800 °C'de ön ısıl işlem, 1050°C ve 1400 °C'de ise ısıl işlem uygulandı. En son ısıl işlemden sonra kaydedilen XRD toz deseni Şekil 4.30'da görülmektedir.  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  sistemi birim hücre parametreleri  $a=b=c=10.161 \text{ \AA}$ ,  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$  olan tek fazlı kübik kristal sisteminde kristallenmektedir.

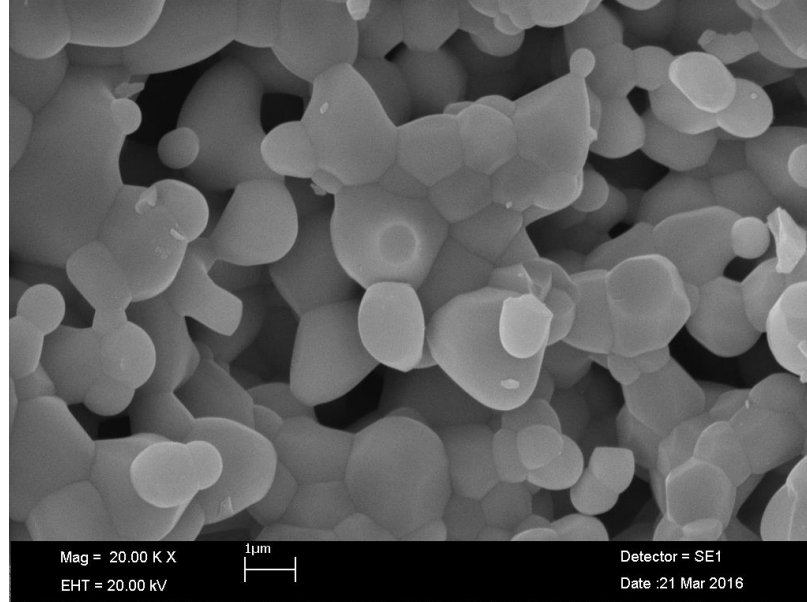


Şekil 4.29. Stokiyometrik oranlardaki  $Y_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Eu_2O_3$  başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı



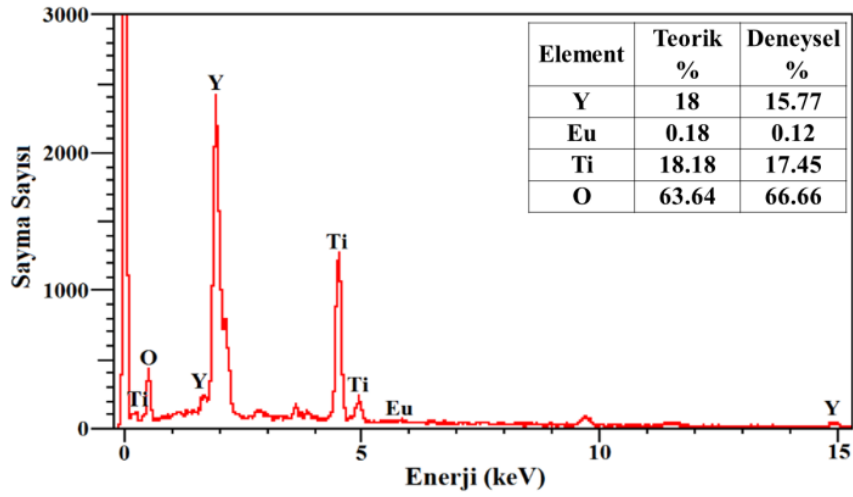
Şekil 4.30. 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin XRD toz deseni

1400 °C’de ısıl işlem uygulandıktan sonra elde edilen sistemin 20.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 4.31’de ve EDX analizi Şekil 4.32’de görülmektedir. Elementel analiz verilerine göre yapıda safsızlık atomu bulunmamakta, teorik ve deneysel yüzdeler birbiri ile uyum sağlamaktadır. Tane boyutu 0.8-2.4 µm arasında değişmektedir.



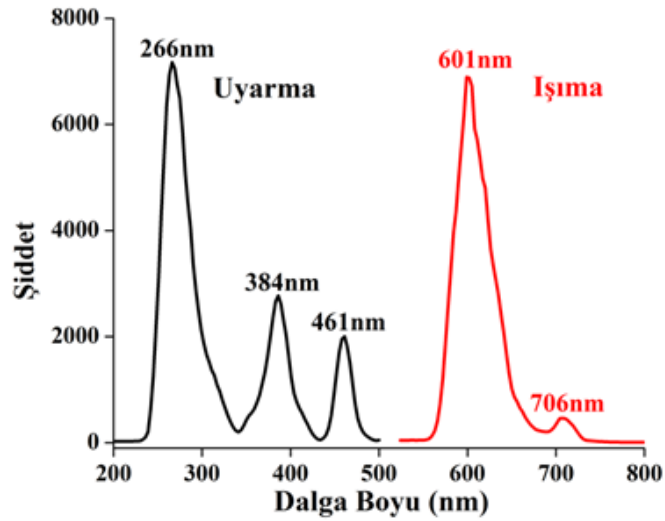
Şekil 4.31.  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin SEM görüntüsü



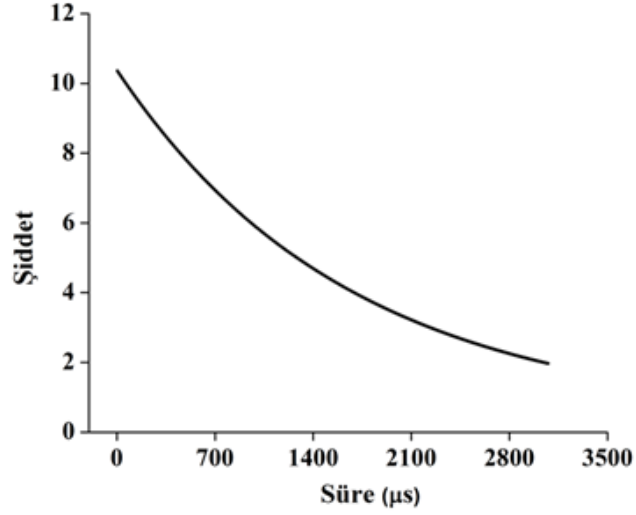


Şekil 4.32.  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin EDX analizi

$Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin 1400 °C’de ısıl işlem uygulandıktan sonra fotoluminesans spektrofotometre ile kaydedilen uyarma, ışınma spektrumu Şekil 4.33’de ve ışınma süresi grafiği Şekil 4.34’de görülmektedir. Spektrumda, 266 nm’de maksimumu bulunan geniş uyarma bandı  $Eu^{+3}$  iyonlarının yük transferinden (CT) kaynaklanmaktadır. 384 nm ve 461 nm’deki diğer uyarma bantları ise sırasıyla  $Eu^{+3}$  iyonlarının  ${}^7F_0 \rightarrow {}^5L_6$  ve  ${}^7F_0 \rightarrow {}^5D_1$  geçişlerinden kaynaklanmaktadır.  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin ışınma spektrumundaki 601 nm ve 704 nm’deki bantlar ise sırasıyla  $Eu^{+3}$  iyonlarının  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$  ve  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_4$  geçişinden kaynaklanmaktadır (Peimin ve ark., 2003; Sun ve ark., 2010).  $Sm_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin ışınma süresi 1656.0  $\mu s$  olarak hesaplandı.



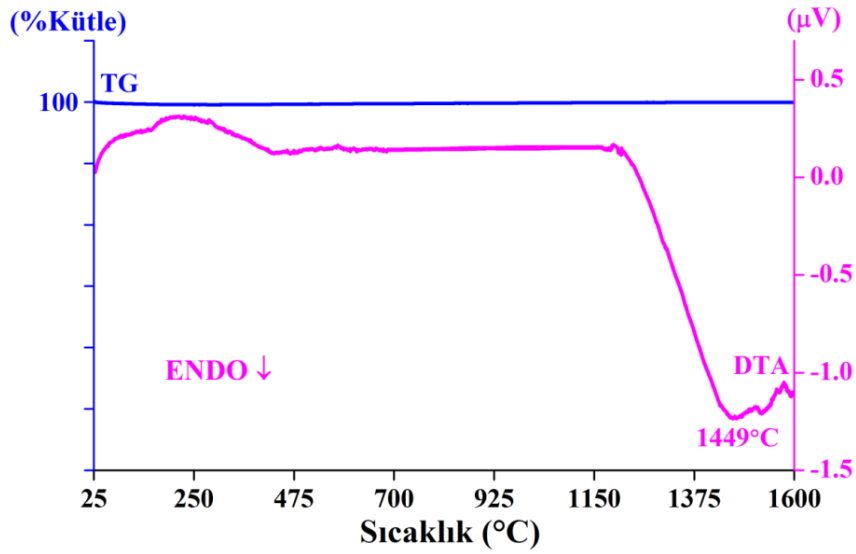
Şekil 4.33.  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin uyarma ve ışınma spektrumu



Şekil 4.34.  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin ışınma süresi

Sistemin dielektrik sabiti ile kaybı Eşitlik 2.1 ve 3.3 kullanılarak  $\epsilon_{33}=27,8$  ve  $\tan\delta=\%2,8$  olarak hesaplandı.

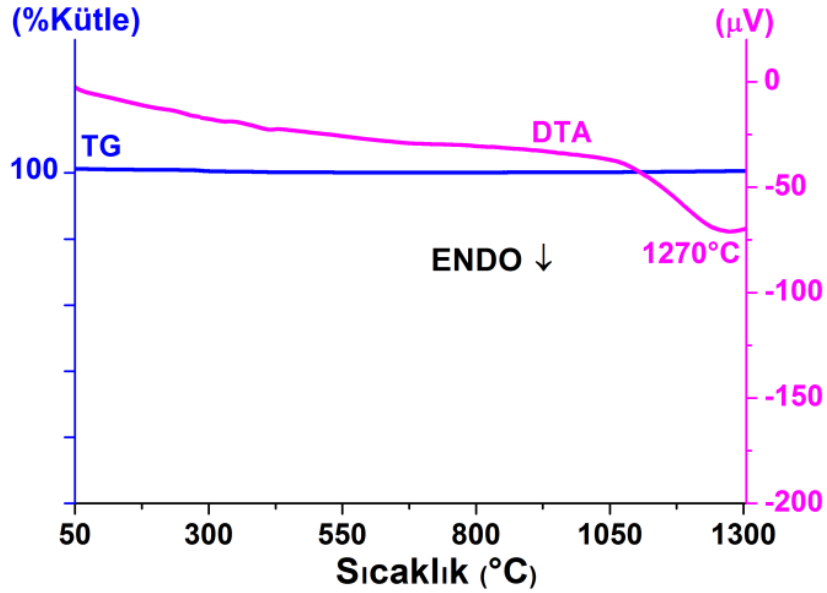
$Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin 1400 °C ısıtma işlemi uygulandıktan sonra elde edilen fazının DTA/TG termogramı Şekil 4.35’de verilmektedir.  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin Curie sıcaklığı 1449 °C’dir. Malzeme bu sıcaklığa kadar piezoelektrik özellik gösterirken, bu sıcaklıkta gerçekleşen endotermik faz değişimi ile bu özelliğini kaybetmektedir.



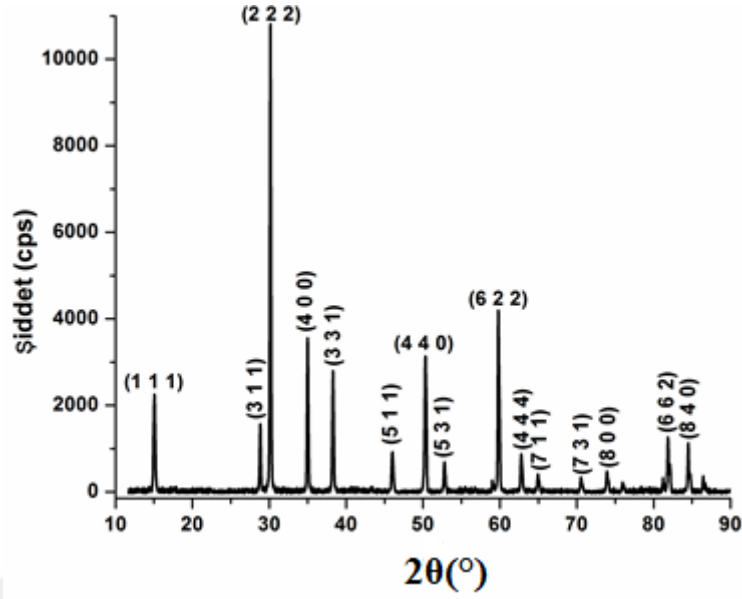
Şekil 4.35. 1400 °C’de ısıtma işlemi uygulanan  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$ ’ın DTA/TG termogramı

#### 4.6. $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi

$\text{Sm}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  başlangıç maddelerinden stokiometrik olarak tartılıp öğütülerek hazırlanan toz karışımının DTA/TG termogramı Şekil 4.36’da verilmektedir. Çalışılan sıcaklık aralığında kütle değişimi bulunmamakta, 1270 °C faz oluşumuna ait olan endotermik bir pik görülmektedir. Termal analiz verilerinden elde edilen bilgilere göre başlangıç maddelerine öncelikle 800 °C’de 2 saat ön ısıl işlem, ardından ise 1100°C, 1200°C, 1300 °C ve 1400 °C’de 24 saat ısıl işlem uygulandı. 1400 °C’de 24 saat ısıl işlem uygulanmasından sonra kaydedilen XRD toz deseni Şekil 4.37’de verilmektedir. Tek fazlı kübik kristal sistemine sahip olan  $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin birim hücre parametreleri  $a=b=c=10.231 \text{ \AA}$ ,  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$  olarak hesaplandı.

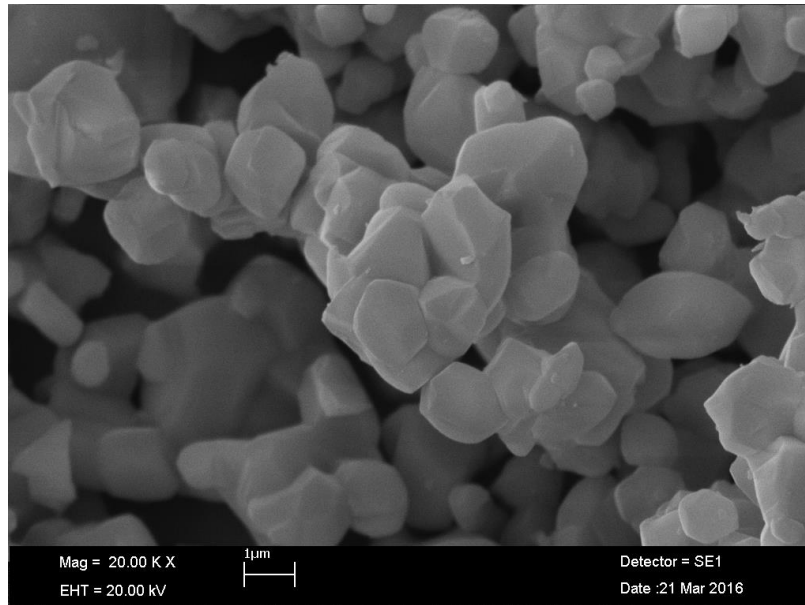


Şekil 4.36. Stokiometrik oranlardaki  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı

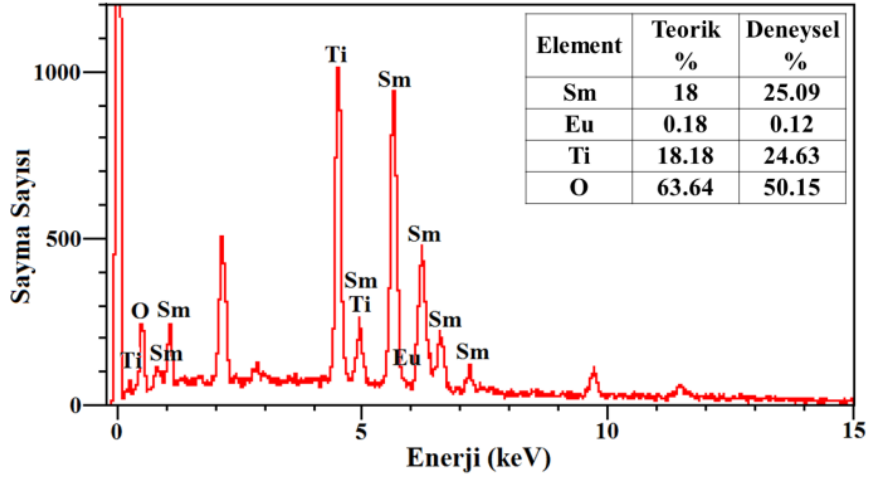


Şekil 4.37. 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan  $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin XRD toz deseni

$\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sistemini oluşturan tanelerin 20.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 4.38’de ve EDX analiz sonuçları Şekil 4.39’da görülmektedir. Sistemi oluşturan tane boyutları 0.8-2.7  $\mu\text{m}$  aralığında değişmektedir. Safsızlık atomu içermeyen sistemin teorik ve deneysel atom yüzdeleri uyumludur.

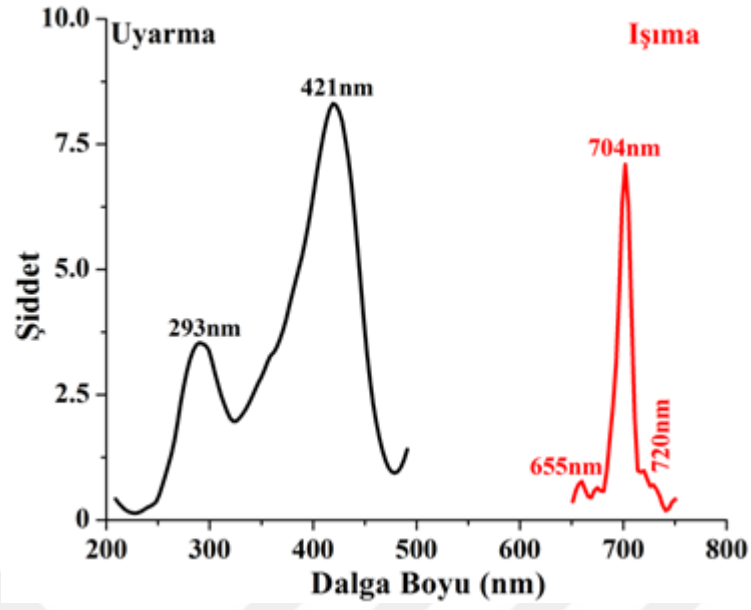


Şekil 4.38.  $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin SEM görüntüsü

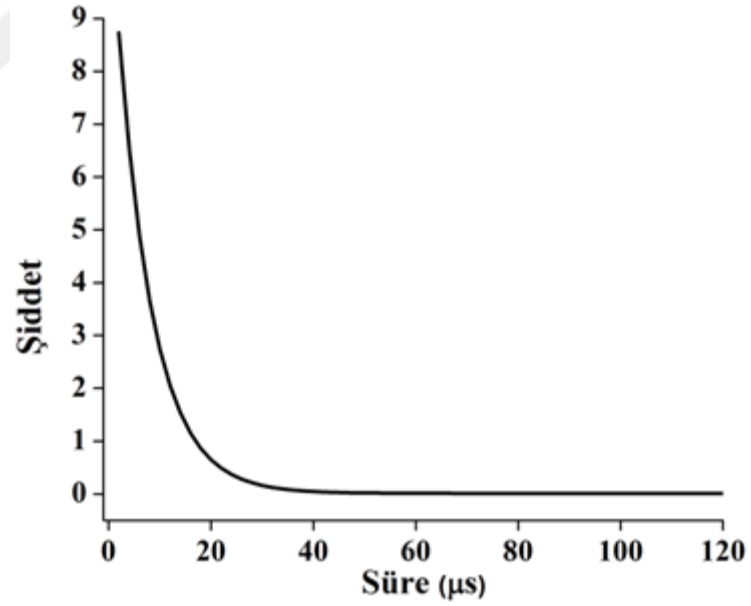


Şekil 4.39.  $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin EDX analizi

$\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin fotoluminesans spektrofotometre ile kaydedilen uyarma, ışımaya spektrumu Şekil 4.40'da ve ışımaya süresi grafiği Şekil 4.41'de görülmektedir. 293 nm'deki uyarma bandı  $\text{Sm}^{+3}$  iyonlarının yük transfer bandı olup, 421 nm'deki bant ise  ${}^6\text{H}_{5/2} \rightarrow ({}^6\text{P}, {}^4\text{P})_{5/2}$  geçişine karşılık gelen uyarma bandıdır. 421 nm'deki bu bant aynı zamanda  $\text{Eu}^{+3}$  iyonlarının  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_3$  geçişine de karşılık gelmektedir. Hem  $\text{Sm}^{+3}$  hem de  $\text{Eu}^{+3}$  iyonları ışımaya yaptığı için uyarma bandı her ikisine de ait olarak kabul edilmektedir. Işıma spektrumunda elde edilen 655 nm'deki ışımaya bandı  ${}^4\text{G}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{9/2}$  ( $\text{Sm}^{+3}$ ) (Naresh ve ark., 2014),  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$  ( $\text{Eu}^{+3}$ ) geçişlerine (Çırçır ve Ozpozan, 2012), 704 nm'deki ışımaya bandı  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_4$  ( $\text{Eu}^{+3}$ ) (Mingjiang ve ark., 2014; Nachimuthu ve ark., 1997),  ${}^4\text{G}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{11/2}$  ( $\text{Sm}^{+3}$ ) (Ngoc ve ark., 2014; Deng ve ark., 2015; Sobczyk ve ark., 2015; Öztürk and Karacaoglu, 2015) geçişlerine ve 720 nm'deki ışımaya bandı ise  ${}^4\text{G}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{11/2}$  ( $\text{Sm}^{+3}$ ) (Dor Devic ve ark., 2011) geçişine karşılık gelmektedir.  $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin ışımaya süresi 1.999  $\mu\text{m}$  olarak hesaplandı.



Şekil 4.40.  $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin uyarma ve ışımaya spektrumu

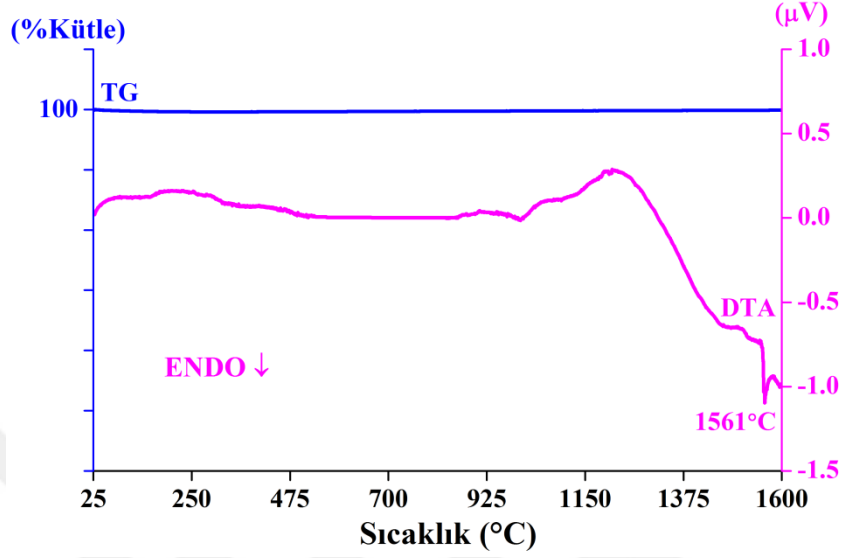


Şekil 4.41.  $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin ışımaya süresi

Sistemin dielektrik sabiti ile kaybı Eşitlik 2.1 ve 3.3 kullanılarak  $\epsilon_{33}=27,8$  ve  $\tan\delta=\%0,59$  olarak hesaplandı.

$\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin 1400 °C ısı işlem uygulandıktan sonra elde edilen fazının DTA/TG termogramı Şekil 4.42’de verilmektedir.  $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin Curie

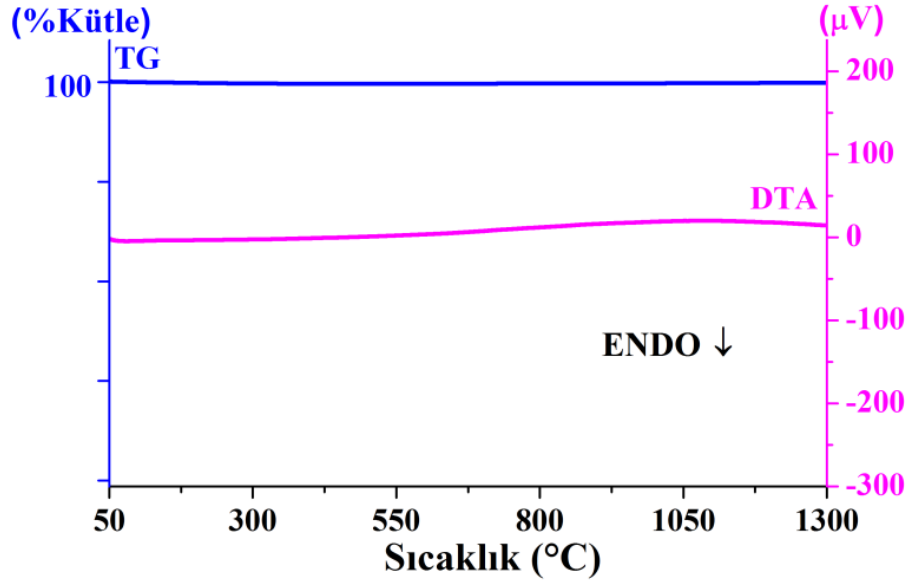
sıcaklığı 1561 °C'dir. Malzeme bu sıcaklığa kadar piezoelektrik özellik gösterirken, bu sıcaklıkta gerçekleşen endotermik faz değişimi ile bu özelliğini kaybetmektedir.



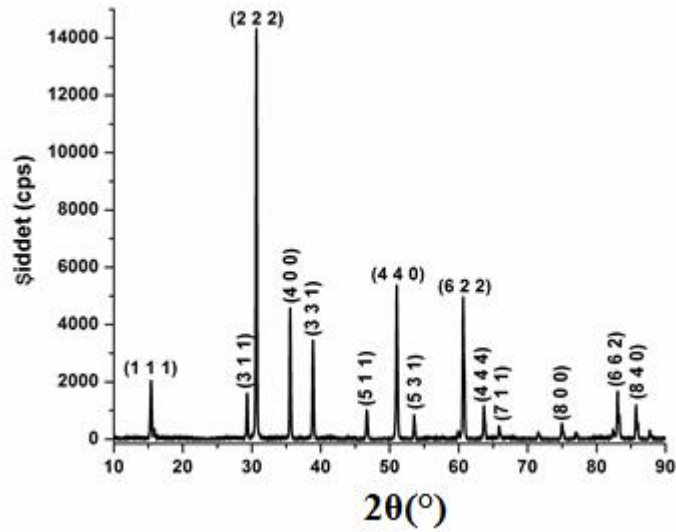
Şekil 4.42. 1400 °C'de ısıl işlem uygulanan  $\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  'ın DTA/TG termogramı

#### 4.7. $\text{Dy}_{1.98}\text{Yb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ Sisteminin İncelenmesi

Stokiyometrik oranlarda tartılan  $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  toz karışımına 50-1300 °C aralığında uygulanan termal analiz sonucunda elde edilen DTA/TG termogramı Şekil 4.43'de görülmektedir. Uygulanan sıcaklık aralığında herhangi bir kütle değişimi ve faz oluşumuna ait endoterm gözlenmedi. Başlangıç maddelerinden oluşan toz karışımına 800 °C'de 3 saat ön ısıl işlem uygulandıktan sonra 1050 °C ve 1400 °C'de 24 saat süreyle ısıl işlem uygulandı. Son ısıl işlemden sonra kaydedilen toz deseni Şekil 4.44'de verilmektedir. Toz deseni verilerine göre tek fazlı kübik kristal sisteme sahip olan  $\text{Dy}_{1.98}\text{Yb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin birim hücre parametreleri  $a=b=c=10.106 \text{ \AA}$ ,  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$  olarak hesaplandı.



Şekil 4.43. Stokiyometrik oranlardaki  $Dy_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Yb_2O_3$  başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı



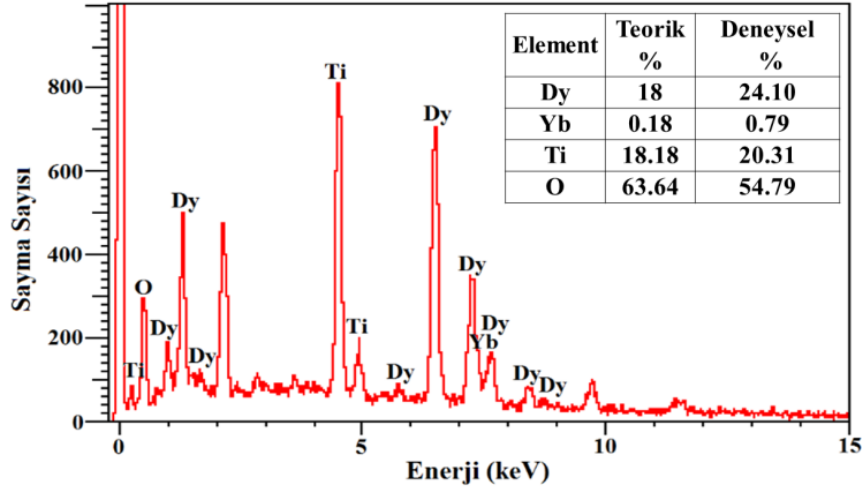
Şekil 4.44. 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan  $Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin XRD toz deseni

$Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$  sistemini oluşturan tanelerin 20.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 4.45’de ve EDX analiz sonuçları Şekil 4.46’da görülmektedir. Tane boyutları 0.5-4.0 μm aralığında değişmektedir. Safsızlık atomu içermeyen sistemin teorik ve deneysel atom yüzdeleri uyumludur.



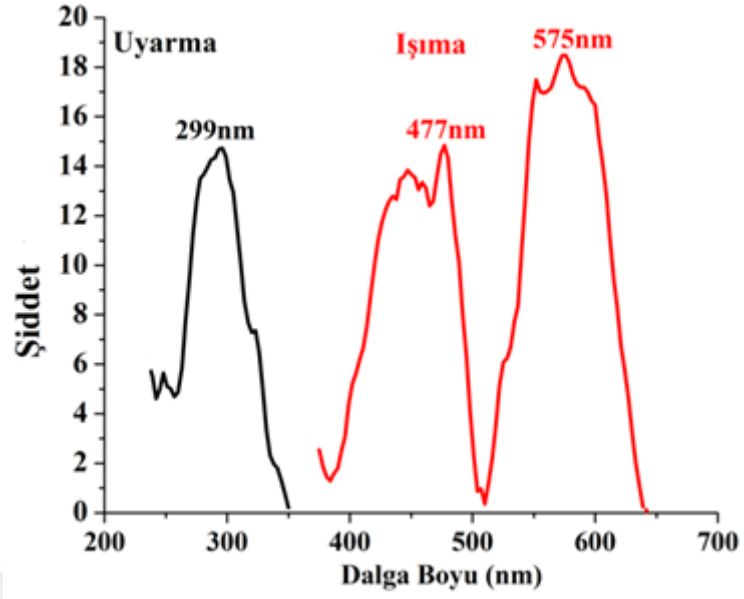


Şekil 4.45.  $Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin SEM görüntüsü

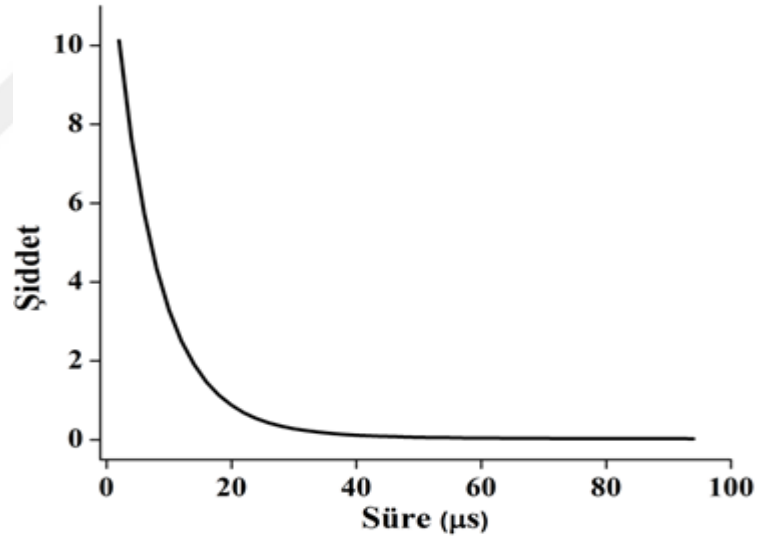


Şekil 4.46.  $Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin EDX analizi

$Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin uyarma, ışımaya spektrumu Şekil 4.47’de ve ışımaya süresi grafiği Şekil 4.48’de görülmektedir. 293 nm’de  $Dy^{+3}$  iyonlarının  ${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^4K_{13/2} + {}^4H_{13/2}$  geçişi ile uyarılan  $Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$  sistemi, 477 nm ve 575 nm’de maksimumları bulunan ışımaya bantları ile ışımaya yapmaktadır. Bu bantlar sırasıyla  $Dy^{+3}$  iyonlarının  ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{15/2}$  ve  ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$  geçişlerine karşılık gelmektedir (Li ve ark., 2007).  $Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin ışımaya süresi 8.255  $\mu s$  olarak hesaplandı.



Şekil 4.47.  $Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin uyarma ve ışımaya spektrumu

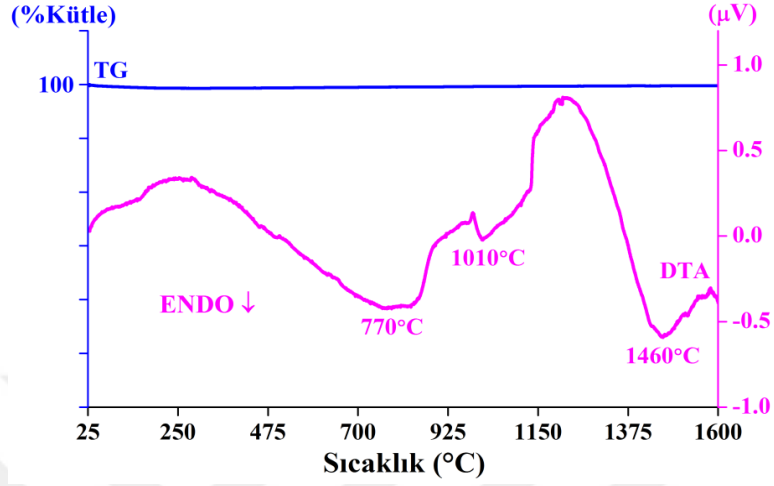


Şekil 4.48.  $Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin ışımaya süresi

Sistemin dielektrik sabiti ile kaybı Eşitlik 2.1 ve 3.3 kullanılarak  $\epsilon_{33}=44,1$  ve  $\tan\delta=\%6,7$  olarak hesaplandı.

$Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin 1400 °C ısıtma işlemi uygulandıktan sonra elde edilen fazının DTA/TG termogramı Şekil 4.49'da verilmektedir.  $Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin Curie sıcaklığı 770°C'dir çünkü ilk faz dönüşümü bu sıcaklıkta gerçekleşir. Malzeme bu

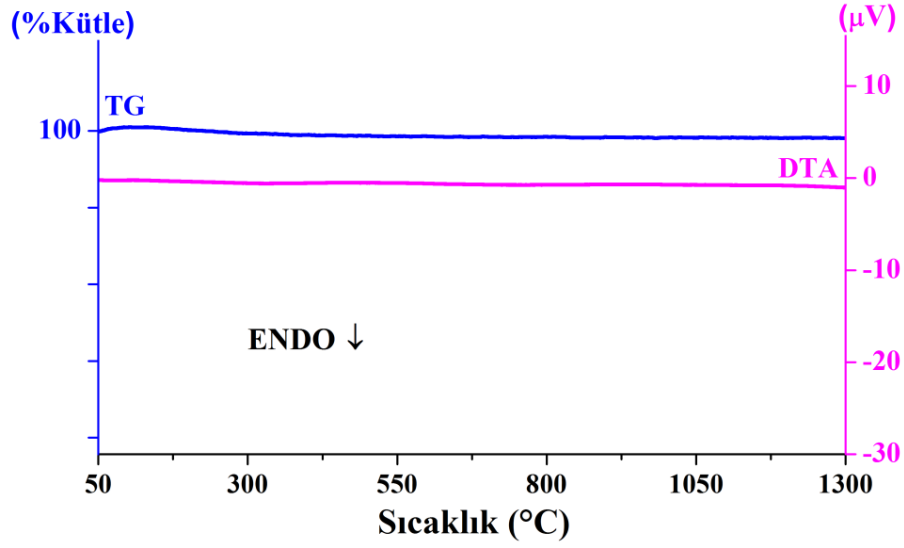
sıcaklığa kadar piezoelektrik özellik gösterirken, bu sıcaklıkta gerçekleşen endotermik faz değişimi ile bu özelliğini kaybetmektedir.



Şekil 4.49. 1400 °C’de ısıl işlem uygulanan Dy<sub>1.98</sub>Yb<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>’ın DTA/TG termogramı

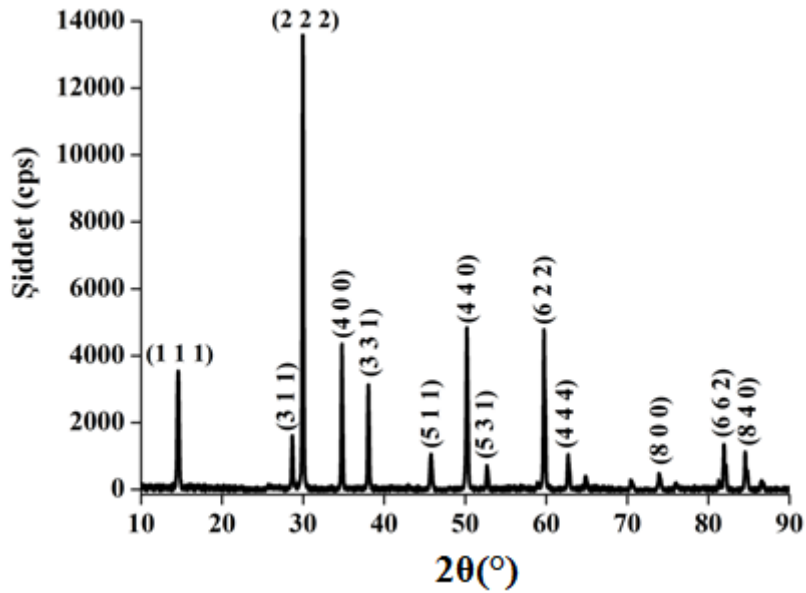
#### 4.8. Eu<sub>1.98</sub>Sb<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Sisteminin İncelenmesi

Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> başlangıç maddeleri kullanılarak stokiyometrik oranlarda hazırlanan toz karışımının 50-1300 °C arasında gerçekleştirilen DTA/TG eğrileri Şekil 4.50’de görülmektedir. Çalışılan 50-1300 °C sıcaklık aralığında herhangi bir kütle değişimi ve faz oluşumu gözlenmemektedir.



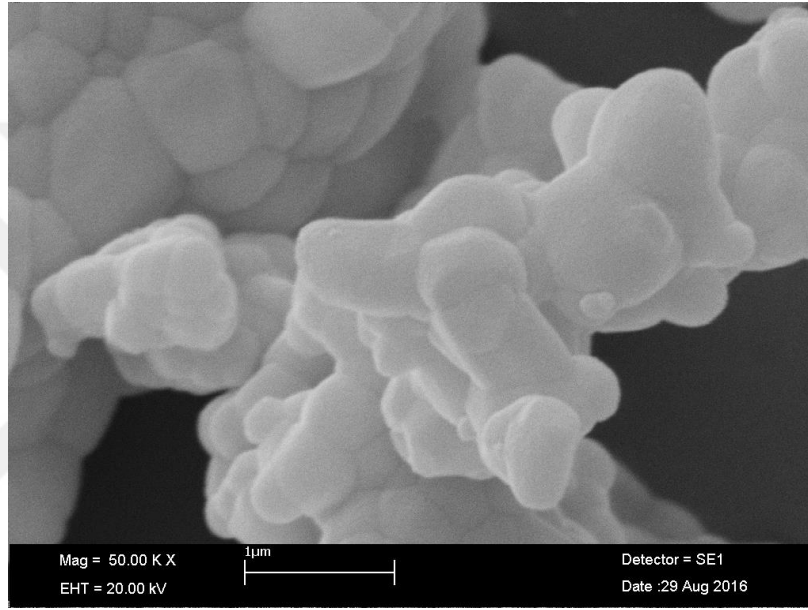
Şekil 4.50. Stokiyometrik oranlardaki  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı

Termal analiz verilerinden elde edilen bilgilere göre, mekanik olarak öğütülen başlangıç maddeleri karışımına 800 °C’de 3 saat ön ısıl işlem, 1050 °C ve 1100 °C’de 24 saat ısıl işlem uygulandı. 1100 °C’de uygulanan işlemden sonra kaydedilen XRD toz deseni Şekil 4.51’de görülmektedir. Tek fazlı kübik kristal sistemine sahip malzemenin birim hücre parametreleri  $a=b=c=10.193 \text{ \AA}$  ve  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$  şeklindedir.

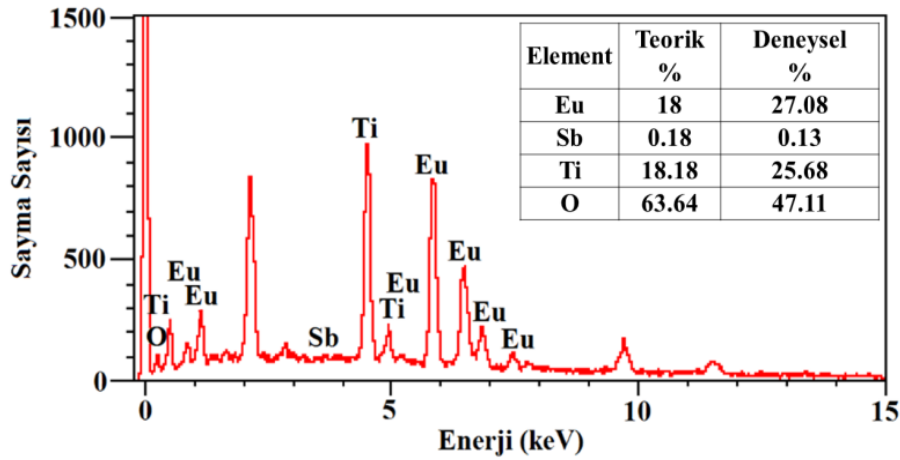


Şekil 4.51. 1100 °C’de ısıl işlem uygulanan  $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin XRD toz deseni

$\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ 'ın 1100 °C ısıtılma işlemi sonunda elde edilen toz formundaki fazının SEM ile yüzey analizi yapıldı ve sistemi oluşturan tanelerin 50.000 kat büyütülmüş görüntüsü kaydedildi.  $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin 50.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 4.52'de ve EDX analizi Şekil 4.53'de görülmektedir. SEM görüntüsüne göre tane boyutlarının 0.5-1.5  $\mu\text{m}$  civarında değiştiği görülmektedir. Noktasal elementel analiz sonucuna göre safsızlık atomu bulunmayan kristal yapının teorik ve deneysel atom yüzdeleri uyum içindedir.

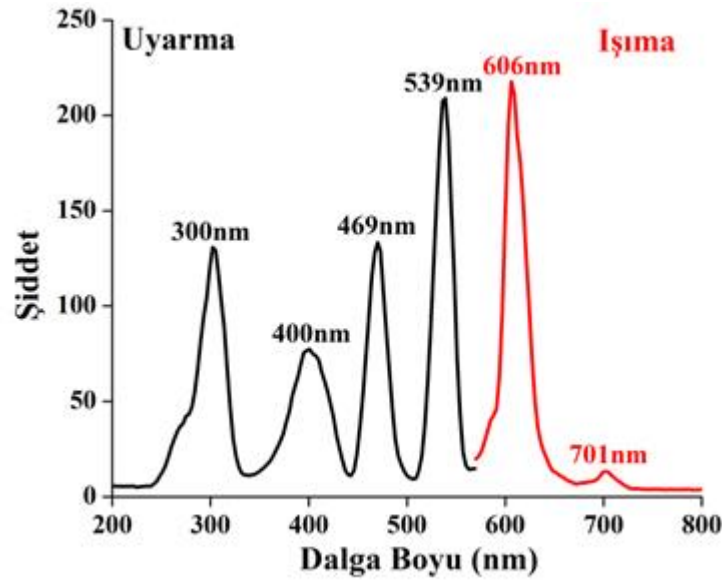


Şekil 4.52.  $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin SEM görüntüsü

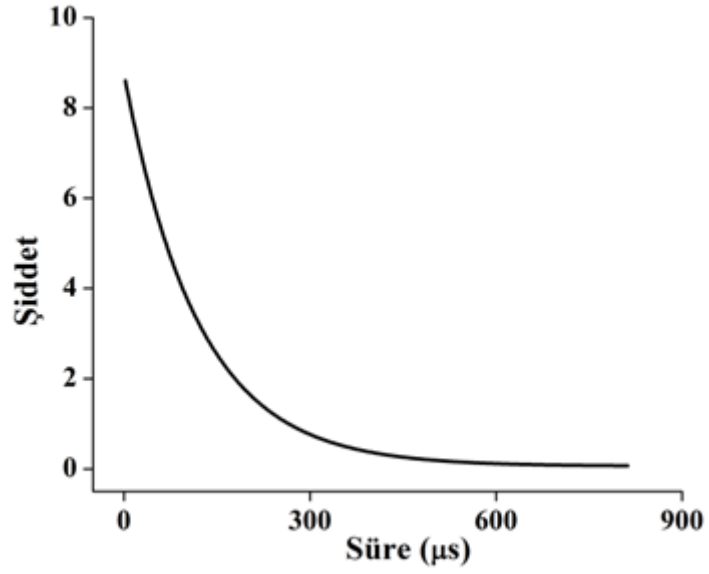


Şekil 4.53.  $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin EDX analizi

$\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin fotoluminesans spektrofotometre ile kaydedilen uyarma ve ışımaya spektrumu Şekil 4.54’de ve ışımaya süresi Şekil 4.55’de görülmektedir.  $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sistemi 300 nm’de  $\text{Eu}^{+3}$  iyonlarının yük transferi geçişi ile ve 400 nm, 469 nm ve 539 nm’de sırasıyla  $\text{Eu}^{+3}$  iyonlarının  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{L}_6$ ,  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_2$ ,  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_1$  geçişi ile uyarılmaktadır. 606 nm ve 701 nm’de  $\text{Eu}^{+3}$  iyonlarının  ${}^5\text{D}_1 \rightarrow {}^7\text{F}_2$  ve  ${}^5\text{D}_1 \rightarrow {}^7\text{F}_4$  geçişi ile ışımaya yapmaktadır (Li ve ark., 2007; Zhang ve ark., 2013; Sils ve ark., 2009, Öztürk and Karacaoglu 2015).  $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin ışımaya süresi 2.0  $\mu\text{s}$  olarak hesaplandı.



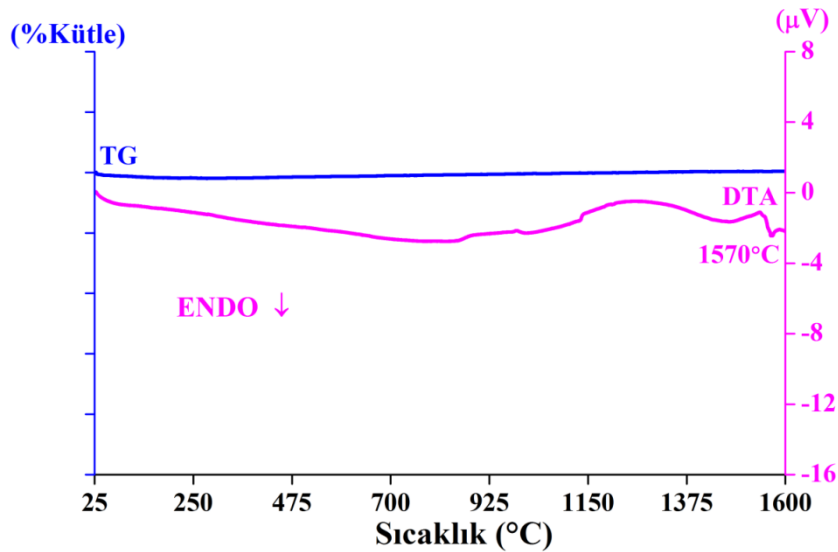
Şekil 4.54.  $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin uyarma ve ışımaya spektrumu



Şekil 4.55.  $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin ışınma süresi

Sistemin dielektrik sabiti ile kaybı Eşitlik 2.1 ve 3.3 kullanılarak  $\epsilon_{33}=80,6$  ve  $\tan\delta=\%3,1$  olarak hesaplandı.

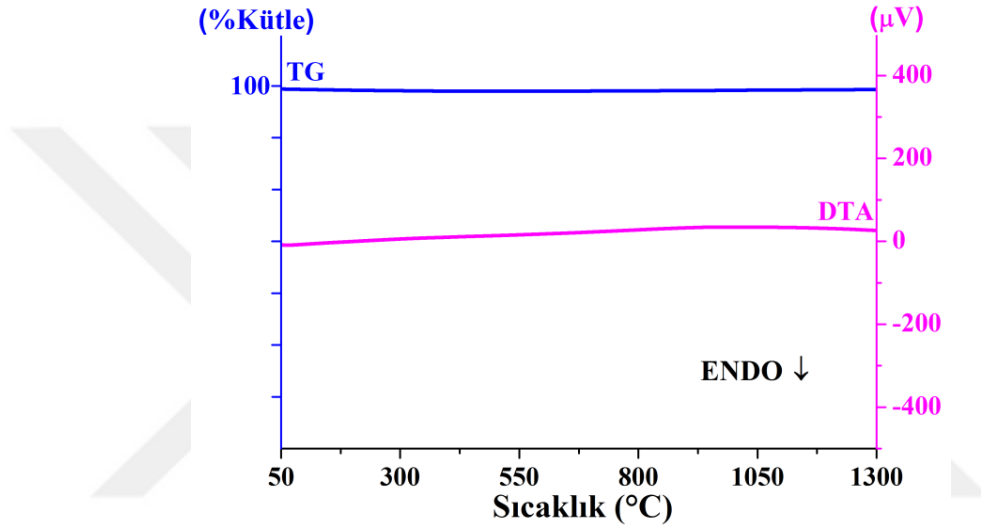
$\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  ısı işlem uygulandıktan sonra elde edilen fazının DTA/TG termogramı Şekil 4.56’da verilmektedir.  $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin Curie sıcaklığı  $1570\text{ }^\circ\text{C}$ ’dir. Malzeme bu sıcaklığa kadar piezoelektrik özellik gösterirken, bu sıcaklıkta gerçekleşen endotermik faz değişimi ile bu özelliğini kaybetmektedir.



Şekil 4.56.  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ ’de ısı işlem uygulanan  $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$ ’ın DTA/TG termogramı

#### 4.9. Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Sisteminin İncelenmesi

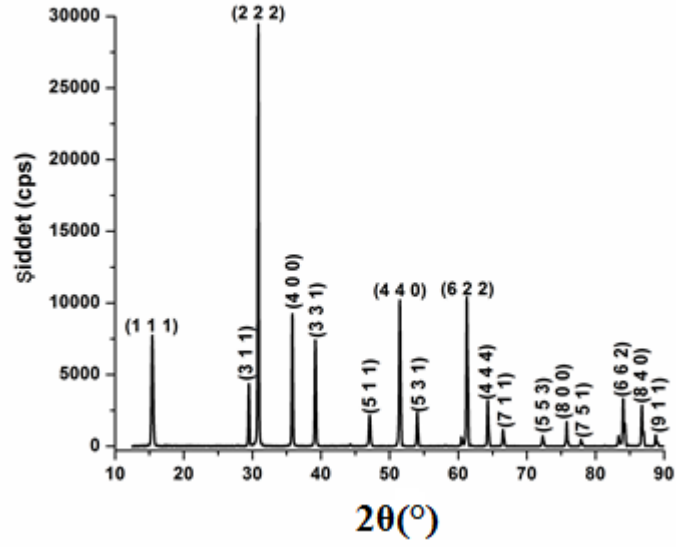
Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sistemi, Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ve Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> başlangıç maddelerinden stokiometrik oranlarda tartılıp, öğütülüp homojenleştirilerek hazırlandı. Başlangıç maddelerinden oluşan toz karışıma uygulanan termal analize ait DTA/TG termogramı Şekil 4.57’de görülmektedir. Termogramda, çalışılan 50-1300 °C sıcaklık aralığında herhangi bir kütle değişimi ve faz oluşumu gözlenmemektedir.



Şekil 4.57. Stokiometrik oranlardaki Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> başlangıç maddelerinin DTA/TG termogramı

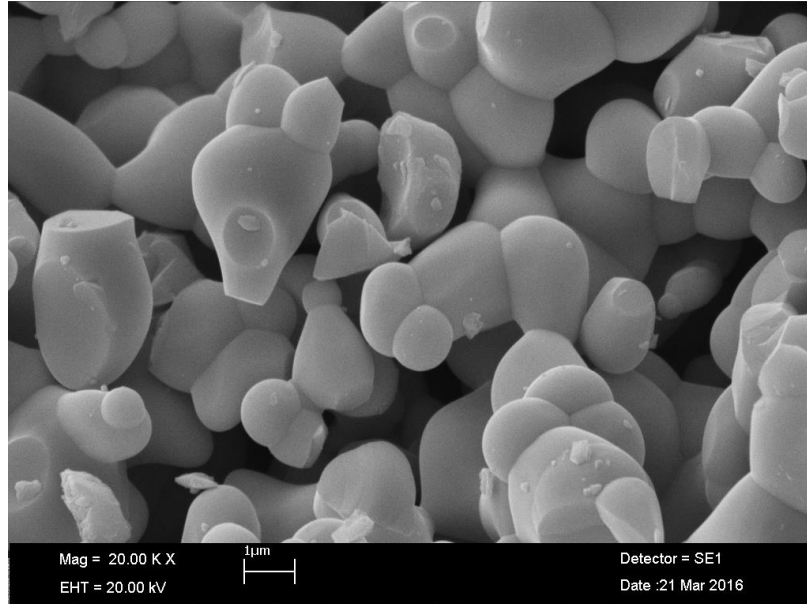
Termal analiz sonuçlarına göre başlangıç maddelerinden oluşan toz karışıma alumina krozede kül fırınında 800 °C’de ön ısıl işlem uygulandıktan sonra 1050 °C ve 1400 °C’de 24 saat süreyle uygulanan ısıl işlem sonucunda elde edilen XRD toz deseni Şekil 4.58’de görülmektedir. Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sistemi, tek fazlı kübik kristal sisteme sahiptir ve birim hücre parametreleri a=b=c=10.041 Å , α=β=γ=90° olarak hesaplandı.



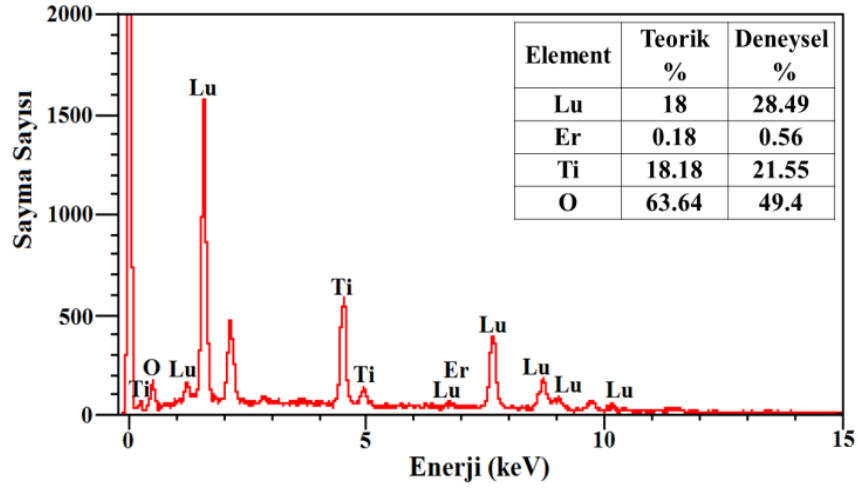


**Şekil 4.58.** 1400 °C’de ısıtım işlemı uygulanı Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sisteminin XRD toz deseni

Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sistemini oluştıran tanelerin 20.000 kat büyütölmüş SEM görüntüsü Şekil 4.59’da ve EDX analiz sonuçları Şekil 4.60’da görölmektedir. Tane boyutları 0.5-3.5 µm aralığında değışmektedir. Safsızlık atomu içermeyen sistemin teorik ve deneysel atom yüzdeleri uyumludur.

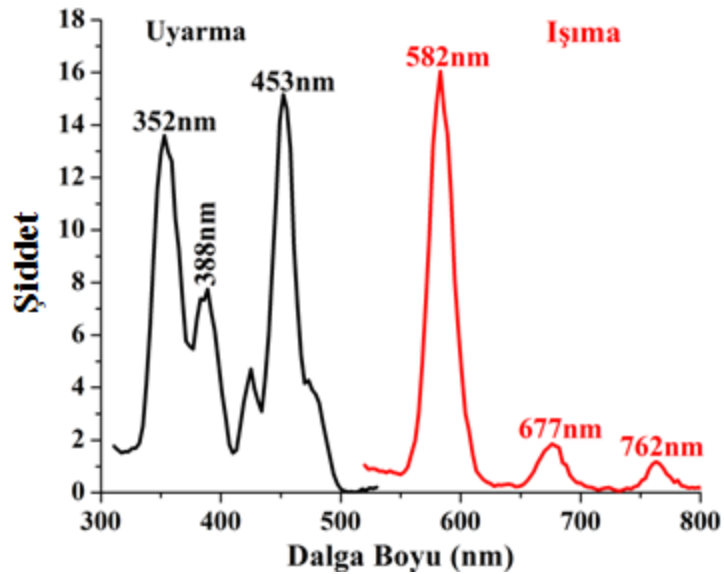


**Şekil 4.59.** Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sisteminin SEM görüntüsü

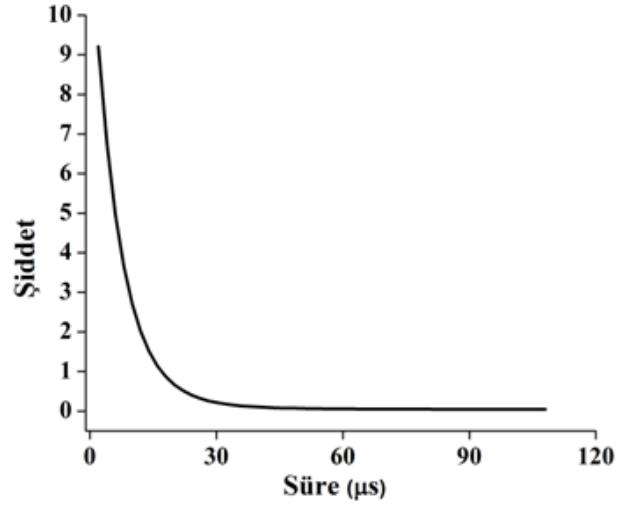


Şekil 4.60. Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sisteminin EDX analizi

Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sisteminin uyarma, ışımaya spektrumu Şekil 4.61’de ve ışımaya süresi grafiği Şekil 4.62’de verilmektedir. Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sistemi 352 nm, 388 nm ve 453 nm’de sırasıyla Er<sup>+3</sup> iyonlarının <sup>4</sup>I<sub>15/2</sub>→<sup>2</sup>G<sub>7/2</sub>, <sup>4</sup>I<sub>15/2</sub>→<sup>4</sup>G<sub>11/2</sub> Er<sup>+3</sup> ve <sup>4</sup>I<sub>15/2</sub>→<sup>4</sup>F<sub>5/2</sub> Er<sup>+3</sup> (Li ve ark., 2006) geçişleri ile uyarıldıktan sonra, 582 nm, 677 nm ve 762 nm’de Er<sup>+3</sup> iyonlarının sırasıyla <sup>2</sup>H<sub>11/2</sub>, <sup>4</sup>S<sub>3/2</sub>→<sup>4</sup>I<sub>15/2</sub>, <sup>4</sup>F<sub>9/2</sub>→<sup>4</sup>I<sub>15/2</sub>, <sup>4</sup>I<sub>9/2</sub>→<sup>4</sup>I<sub>15/2</sub> geçişlerine karşılık gelen emisyon bantlarında ışımaya vermektedir (Biljan ve ark., 2008; Venkatramu ve ark., 2008). Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sisteminin ışımaya süresi 3.420 µs’dir.



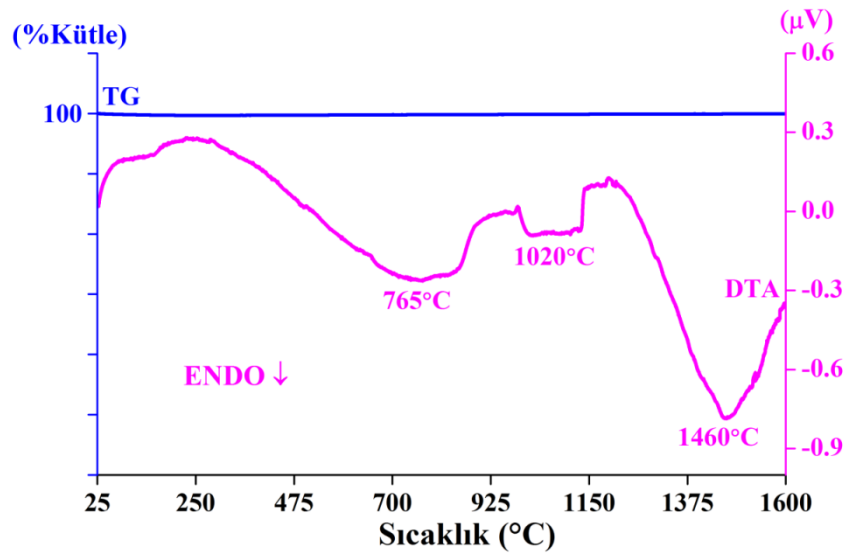
Şekil 4.61. Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sisteminin uyarma ve ışımaya spektrumu



Şekil 4.62. Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sisteminin ışım süresi

Sistemin dielektrik sabiti ile kaybı Eşitlik 2.1 ve 3.3 kullanılarak  $\epsilon_{33}=55,84$  ve  $\tan\delta=\%6,8$  olarak hesaplandı.

Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>sisteminin 1400 °C ısıtım işlem uygulandıktan sonra elde edilen fazının DTA/TG termogramı Şekil 4.63’de verilmektedir. Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sisteminin Curie sıcaklığı ilk faz dönüşümünün gerçekleştiği 765 °C’dir. Malzeme bu sıcaklığa kadar piezoelektrik özellik gösterirken, bu sıcaklıkta gerçekleşen endotermik faz değişimi ile bu özelliğini kaybetmektedir.



Şekil 4.63. 1400 °C’de ısıtım işlem uygulanan Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>’ın DTA/TG termogramı

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, literatürde büyük eksikliği bulunan, hem fotoluminesans hemde piezoelektrik özellik gösteren multi-fonksiyonel  $A_{1(2-x)}B_2O_7:xA_2^{+3}$  tipinde malzemeler ( $A_{1,2}:+3$  yüklü nadir toprak elementleri,  $B:Ti^{+4}$ ) stokiyometrik oranlarda tartılan başlangıç maddelerinden sentezlendi ve karakterize edildi.

Uygulanan sentez şartlarının belirlenmesi ve malzemelerin termal davranışları termal analiz yöntemleri (DTA/TG) ile araştırıldı. Kristal sistemi belirleme çalışmaları x-ışını toz difraksiyonu (XRD) tekniği ile gerçekleştirildi. Yüzey morfolojisi incelemeleri ve noktasal elementel analizler (SEM-EDX) ile gerçekleştirildi. Işıma özellikleri fotoluminesans spektrofotometresi (PL) ile belirlenen sistemlerin dielektrik kayıp ve dielektrik sabitleri LCR-metre ile Curie sıcaklıkları ise (DTA/TG) sistemi ile ölçüldü.

Sentezlenen malzemelerin kristal yapıları ve birim hücre parametreleri Çizelge 5.1' de verilmektedir.

**Çizelge 5.1.** Işıldar sistemlerin kristal yapıları ve birim hücre parametreleri

Işıldar Sistemler	Kristal Sistem	a (Å)	b (Å)	c (Å)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$\gamma$ (°)
$La_{1,98}Nd_{0,02}Ti_2O_7$	Monoklinik	7.809	5.546	13.014	90	98.65	90
$Sm_{1,98}Ce_{0,02}Ti_2O_7$	Kübik	10.231	10.231	10.231	90	90	90
$Eu_{1,90}In_{0,10}Ti_2O_7$	Kübik	10.193	10.193	10.193	90	90	90
$Er_{1,98}Gd_{0,02}Ti_2O_7$	Kübik	10.097	10.097	10.097	90	90	90
$Y_{1,98}Eu_{0,02}Ti_2O_7$	Kübik	10.161	10.161	10.161	90	90	90
$Sm_{1,98}Eu_{0,02}Ti_2O_7$	Kübik	10.231	10.231	10.231	90	90	90
$Dy_{1,98}Yb_{0,02}Ti_2O_7$	Kübik	10.106	10.106	10.106	90	90	90
$Eu_{1,98}Sb_{0,02}Ti_2O_7$	Kübik	10.193	10.193	10.193	90	90	90
$Lu_{1,98}Er_{0,02}Ti_2O_7$	Kübik	10.041	10.041	10.041	90	90	90

$La_{1.98}Nd_{0.02}Ti_2O_7$  sisteminin monoklinik, diğer sistemlerin ise kübik kristal yapıya sahip oldukları tespit edildi. Sentezlenen malzemelerin yapılan elementel analizleri sonucunda safsızlık atomu içermedikleri, deneysel ve teorik atomik yüzdelerinin uyumlu olduğu tespit edildi. Elementel analiz, numune yüzeyinde ve noktasal olduğundan dolayı miktar olarak çok az katkılanan aktivatör iyonların deneysel ve teorik yüzdelerinde sapmalar görülebilir. Katkı oranının az olması ve elementel analizin noktasal olması sebebi ile bu tür sapmalar normal kabul edilir. Bunun yanında bu tür oksitli numuneler için oksijenin hesaplanan ve teorik atom yüzdelerinde sapmalar olması muhtemeldir.

300 nm'de  $La^{+3}$  iyonlarının  $^1S_0 \rightarrow ^1F_3$  geçişi ile uyarılan  $La_{1.98}Nd_{0.02}Ti_2O_7$  sistemi, 612 nm'de  $Ti^{+3}$  iyonlarının  $^2E \rightarrow ^2T_2$  geçişi ve  $Nd^{+3}$  iyonlarının  $^4G_{7/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$  geçişinden kaynaklanan ışımaya bantlarına sahiptir ve ışımaya süresi 5.224  $\mu s$ 'dir.

$Sm_{1.98}Ce_{0.02}Ti_2O_7$  sistemi, 368 nm ve 425-539 nm olmak üzere iki farklı bantta uyarılmaktadır. 368 nm'de  $^6H_{5/2} \rightarrow ^4D_{3/2}$ , 425 nm'de  $^6H_{5/2} \rightarrow ^4M_{19/2}$  ve 539 nm'de  $^6H_{5/2} \rightarrow ^4F_{3/2}$  uyarım bantları  $Sm^{+3}$  iyonlarının geçişlerinden kaynaklanmaktadır. 574 nm, 619 nm ve 703 nm'deki ışımaya bantları ise sırasıyla,  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{7/2}$ ,  $^4G_{5/2} \rightarrow ^6H_{11/2}$  geçişlerinden kaynaklanmakta olup, sistemin ışımaya süresi 2.0  $\mu s$ 'dir.

$Eu_{1.90}In_{0.10}Ti_2O_7$  sistemi,  $Eu^{+3}$  iyonlarının 291 nm'de liganttan metale yük transferi (LMCT), 399 nm'de  $^7F_0 \rightarrow ^5L_6$ , 459 nm'de  $^7F_0 \rightarrow ^5D_2$  ve 533 nm'de  $^7F_0 \rightarrow ^5D_1$  geçişleri sebebi ile uyarılmakta, 610 nm'de  $Eu^{+3}$  iyonlarının  $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$  geçişi, 704 nm'de  $^5D_0 \rightarrow ^7F_4$  geçişi ile ışımaya yapmaktadır ve sistemin ışımaya süresi 10.13  $\mu s$ 'dir.

$Er_{1.98}Gd_{0.02}Ti_2O_7$  sistemi,  $Er^{+3}$  iyonlarının 299 nm'de  $^4I_{15/2} \rightarrow ^2K_{13/2}$  ve 364 nm'de  $^4I_{15/2} \rightarrow ^4G_{9/2}$  geçişinden kaynaklanan uyarım bantlarına sahiptir. 523 nm'de maksimumu bulunan ışımaya bandı ise  $^2H_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$  geçişine aittir. Sistemin ışımaya süresi 6.022  $\mu s$ 'dir.

$Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  sistemi, 266 nm'de  $Eu^{+3}$  iyonlarının yük transferinden (CT), 384 nm'de  $^7F_0 \rightarrow ^5L_6$  ve 461 nm'de  $^7F_0 \rightarrow ^5D_1$  geçişinden kaynaklanan uyarım bandına sahiptir.  $Eu^{+3}$  iyonlarının 601 nm'de  $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$  ve 704 nm'de  $^5D_0 \rightarrow ^7F_4$  geçişinden kaynaklanan ışımaya bantlarına sahip sistemin ışımaya süresi 1656.0  $\mu s$ 'dir.

*Sm<sub>1.98</sub>Eu<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sistemi*, 293 nm'deki uyarma bandı Sm<sup>+3</sup> iyonlarının yük transfer bandı olup, 421 nm'deki bant ise  ${}^6\text{H}_{5/2} \rightarrow ({}^6\text{P}, {}^4\text{P})_{5/2}$  geçişine karşılık gelen uyarma bandıdır ve bu bant aynı zamanda Eu<sup>+3</sup> iyonlarının  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_3$  geçişine de karşılık gelmektedir. Hem Sm<sup>+3</sup> hem de Eu<sup>+3</sup> iyonları ışıma yaptığı için uyarma bandı her ikisine de ait olarak kabul edilmektedir. 655 nm'deki ışıma bandı  ${}^4\text{G}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{9/2}$  (Sm<sup>+3</sup>) geçişine, 704 nm'deki ışıma bandı  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_4$  (Eu<sup>+3</sup>),  ${}^4\text{G}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{11/2}$  (Sm<sup>+3</sup>) geçişlerine ve 720 nm'deki ışıma bandı ise  ${}^4\text{G}_{5/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{11/2}$  (Sm<sup>+3</sup>) geçişine karşılık gelmektedir. Sistemin ışıma süresi 1.999 µs'dir.

*Dy<sub>1.98</sub>Yb<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sistemi*, 293 nm'de Dy<sup>+3</sup> iyonlarının  ${}^6\text{H}_{15/2} \rightarrow {}^4\text{K}_{13/2} + {}^4\text{H}_{13/2}$  geçişi ile uyarılmaktadır. Dy<sup>+3</sup> iyonlarının 477 nm'de  ${}^4\text{F}_{9/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{15/2}$  ve 575 nm'de  ${}^4\text{F}_{9/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{13/2}$  geçişlerine karşılık gelen dalga boyunda ışıma bantlarına sahiptir. Sistemin ışıma süresi 8.255 µs'dir.

*Eu<sub>1.98</sub>Sb<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sistemi*, 300 nm'de Eu<sup>+3</sup> iyonlarının yük transferi geçişi ile ve 400 nm'de  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{L}_6$ , 469 nm'de  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_2$  ve 539 nm'de  ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_1$  geçişi ile uyarılmakta olup, 606 nm'de  ${}^5\text{D}_1 \rightarrow {}^7\text{F}_2$  ve 701 nm'de  ${}^5\text{D}_1 \rightarrow {}^7\text{F}_4$  Eu<sup>+3</sup> iyonlarının geçişi ile ışıma yapmaktadır. Sistemin ışıma süresi 2.0 µs'dir.

*Lu<sub>1.98</sub>Er<sub>0.02</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sistemi*, Er<sup>+3</sup> iyonlarının geçişleri 352 nm'de  ${}^4\text{I}_{15/2} \rightarrow {}^2\text{G}_{7/2}$ , 388 nm'de  ${}^4\text{I}_{15/2} \rightarrow {}^4\text{G}_{11/2}$  ve 453 nm'de  ${}^4\text{I}_{15/2} \rightarrow {}^4\text{F}_{5/2}$  ile uyarılmaktadır. Er<sup>+3</sup> iyonlarının 582 nm'de  ${}^2\text{H}_{11/2}, {}^4\text{S}_{3/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$ , 677 nm'de  ${}^4\text{F}_{9/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$  ve 762 nm'de  ${}^4\text{I}_{9/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$  geçişlerine karşılık gelen ışıma vermektedir. Sisteminin ışıma süresi 3.420 µs'dir.

İşıldar sistemlerin uyarma ve ışıma dalga boyları ile ışıma süreleri Çizelge 5.2'de verilmektedir.

**Çizelge 5.2.** Işıldar sistemlerin uyarma ve ışımaya dalga boyları ile ışımaya süreleri

<b>Işıldar Sistemler</b>	<b>Uyarma Dalga Boyu (nm)</b>	<b>Işıma Dalga Boyu (nm)</b>	<b>Işıma Süresi (µs)</b>
$\text{La}_{1.98}\text{Nd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	300	612	5.224
$\text{Sm}_{1.98}\text{Ce}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	368	574	2.0
	425	619	
	539	703	
$\text{Eu}_{1.90}\text{In}_{0.10}\text{Ti}_2\text{O}_7$	291	610	10.13
	399	704	
	459		
	533		
$\text{Er}_{1.98}\text{Gd}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	299	523	6.022
	364		
$\text{Y}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	266	601	1656.0
	384	706	
	461		
$\text{Sm}_{1.98}\text{Eu}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	293	655	1.999
	421	704	
		720	
$\text{Dy}_{1.98}\text{Yb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	299	477	8.255
		575	
$\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	300	606	2.0
	400	701	
	469		
	539		
$\text{Lu}_{1.98}\text{Er}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$	352	582	3.420
	388	677	
	453	762	

Tüm ışıldar sistemler arasında  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  1656.0  $\mu s$  ile en uzun ışımaya süresine,  $Sm_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  ise 1.999  $\mu s$  ile en kısa ışımaya süresine sahiptir.

$Eu^{+3}$  katkılı sistemler olan  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  ve  $Sm_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  karşılaştırıldığında  $Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$ 'in ışımaya süresi daha uzundur. Bu sebeple  $Eu^{+3}$  katkısının  $Y_2Ti_2O_7$  konut kristalinde daha uzun ışımaya süresi gösterdiğini söyleyebiliriz.

$Eu_2Ti_2O_7$  kristali incelendiğinde,  $Sb^{+3}$  iyonları katkılı olduğunda 2.0  $\mu s$  olan ışımaya süresi  $In^{+3}$  iyonları katkılı olduğunda 10.13  $\mu s$ 'ye yükselmiştir. Dolayısıyla  $In^{+3}$  iyonlarının  $Eu_2Ti_2O_7$  kristali içerisinde daha uzun bir ışımaya süresine sahip olduğunu söyleyebiliriz.

Işıldar sistemlerin dielektrik sabiti, dielektrik kaybı ve Curie sıcaklığı Çizelge 5.3'de verilmektedir.

**Çizelge 5.3.** Işıldar sistemlerin dielektrik sabiti, dielektrik kaybı ve Curie sıcaklığı

Işıldar Sistemler	Dielektrik sabit ( $\epsilon_{33}$ )	Dielektrik kaybı ( $\tan\delta$ )	Curie sıcaklığı ( $T_c$ )
$La_{1.98}Nd_{0.02}Ti_2O_7$	12.0	8.0	1558
$Sm_{1.98}Ce_{0.02}Ti_2O_7$	36.0	1.2	1574
$Eu_{1.90}In_{0.10}Ti_2O_7$	20.0	20.0	1560
$Er_{1.98}Gd_{0.02}Ti_2O_7$	21.1	3.6	1473
$Y_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$	27.8	2.8	1449
$Sm_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$	27.8	0.6	1561
$Dy_{1.98}Yb_{0.02}Ti_2O_7$	44.1	6.7	770
$Eu_{1.98}Sb_{0.02}Ti_2O_7$	80.6	3.1	1570
$Lu_{1.98}Er_{0.02}Ti_2O_7$	55.8	6.8	765

Sentezlenen malzemeler arasında en yüksek dielektrik sabitine  $Eu_{1.98}Sb_{0.02}Ti_2O_7$ , en düşük dielektrik kaybına  $Sm_{1.98}Eu_{0.02}Ti_2O_7$  ve en yüksek Curie sıcaklığına  $Sm_{1.98}Ce_{0.02}Ti_2O_7$  sistemi sahiptir. Tüm malzemelerin bu üç özelliğine aynı anda



bakıldığında en iyi elektriksel özellik gösteren  $\text{Eu}_{1.98}\text{Sb}_{0.02}\text{Ti}_2\text{O}_7$  sisteminin olduğu görülmektedir.

Tez konusunun literatürdeki öneminden (bkz. kısım 2.7) ve literatür bilgilerinden anlaşıldığı üzere;

- Kurşunsuz piezoelektrikler önem kazanmıştır.
- Geliştirilen kurşunsuz piezoelektrikler genellikle  $\text{ABO}_3$  yapısındadır ve bunlar düşük Curie sıcaklığına sahiptir.
- Yüksek Curie sıcaklığına sahip piezoelektriklere ihtiyaç vardır ve  $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$  tipi malzemelerin Curie sıcaklıkları yüksektir.
- Günümüzde birden çok amaca hizmet eden malzeme arayışı oldukça yoğundur.
- Opto-elektronik uygulamalar için piezoelektrik ve fotoluminesans özellik gösteren malzeme arayışı vardır.
- Multifonksiyonel piezoelektrik-fotoluminesans özellikli akıllı malzemeler hakkında az sayıda araştırma vardır.

Bu tez çalışması sonucunda ise, literatürde ve uygulamada eksikliği bulunan, kurşunsuz, yüksek Curie sıcaklığına sahip, dielektrik ve fotoluminesans özelliklere aynı anda sahip olan multifonksiyonel  $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$  tipinde dokuz adet yeni kristal malzeme elde edildi. Bu malzemelerin opto-elektronik uygulamalarda kullanılabileceği öngörülmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Aizawa, K., Ohtani, Y., 2007. Ferroelectric and Luminescent Properties of Eu-doped SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> Films. *Japan Journal of Applied Physics*, 46, 10, 6944–6947.
- Araujo, P., Cuchiaro, C. A., McMillan, J. D., Scott, L. D. M. C. ve Scott, J. F., 1995. Fatigue-free Ferroelectric Capacitors with Platinum Electrodes. *Nature (London)*, 374, 627–629.
- Aurivillius, B., 1949. Mixed Bismuth Oxides with Layer Lattices. *Arkiv for Kemi*, 1:463–70.
- Aydın, H., 2016. PMN-PT [Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-PbTiO<sub>3</sub>] Esaslı Piezoelektrik Seramiklerin Üretimi ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*.
- Baur, F., Katelnikovas, A., Petry, R., Pöttgen, R. ve Jüstel, T., 2013. A Novel Sm<sup>3+</sup> Activated Orange Emitting Molybdate. *Rare Earths Conference*, Münster, Germany.
- Berksoy, A., 2011. Bakır Oksit ve Lityum Oksit Katkılı Kurşunsuz Piezoelektrik Potasyum Sodyum Niyobatın Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze*.
- Biljan, T., Gajovic, A. ve Meic, Z., 2008. Visible And NIR Luminescence of Nanocrystalline Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Er<sup>3+</sup> Prepared by Solution Combustion Synthesis. *Journal of Luminescence*, 128, 377–382.
- Chen, R. ve Chen, D., 2009. Synthesis by Microwave-assisted and Luminescence Properties of CaTiO<sub>3</sub>:Pr<sup>3+</sup> Phosphor. *Journal of Alloys and Compounds*, 476, 1-2, 671-674.
- Choi, T., Lee, S., Choi, Y. J., Kiryukhin, V. ve Cheong, S. W., 2009. Switchable Ferroelectric Diode and Photovoltaic Effect in BiFeO<sub>3</sub>. *Science*, 324, 5923, 63-66.
- Çırçır, E., 2011. Aluminasilikat Bazlı Yeni Işıldar Maddelerin Sentezi ve Karakterizasyonu. *Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri*.
- Çırçır E. ve Ozpozan Kalaycioglu N., 2012. Host-sensitized Phosphorescence of Mn<sup>4+</sup>, Eu<sup>3+</sup> and Yb<sup>3+</sup> in MgAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 110, 1179-1183.

- Deng, H., Zhao, Z., Wang, J., Hei, Z., Li, M., Noh, H. M., Jeong, J. H. ve Yu, R., 2015. Photoluminescence Properties of A New Orange-red Emitting  $\text{Sm}^{3+}$ -doped  $\text{Y}_2\text{Mo}_4\text{O}_{15}$  Phosphor. *Journal of Solid State Chemistry*, 228, 110–116.
- Diallo, P. T., Jeanlouis, K., Boutinaud, P., Mahiou, R. ve Cousseins, J.C., 2011. Improvement of the Optical Performances of  $\text{Pr}^{3+}$  in  $\text{CaTiO}_3$ . *J. Alloys Comp*, 323, 218-222.
- Dor Devic, V., Nikolic, M. G., Antic, Ž., Mitric, M. ve Dramicanin, M. D., 2011.  $\text{LaYO}_3:\text{Sm}^{3+}$  Nanocrystalline Phosphor: Preparation and Emission Properties. *Acta Physica Polonica A*, 120(2), 303-305.
- Ebiç, M., 2016. Molibdat Temelli Yeni Işıldar Maddelerin Sentezi ve Lüminesans Özelliklerinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karaman.
- Erdağ, İ., 2010. Kurşun Esaslı Elektronik Seramiklerin Dielektrik Piezoelektrik ve Elektromanyetik Özelliklerinin Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze.
- Ertik, T., 2013. Farklı Lüminesans Teknikleri Kullanılarak Sitrinin Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa.
- Fuierer, P. A. ve Newnham, R. E., 1991.  $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  Ceramics. *Journal of American Ceramic Society*, 74, 2876–81.
- Gao, F., Ding, G. J., Zhou, H., Wu, G. H., Qin, N. ve Bao, D. H., 2011. Bright up-conversion Photoluminescence of  $\text{Bi}_{4-x}\text{Er}_x\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  Ferroelectric Thin Films. *Journal of Applied Physics*, 109, 043106.
- Gao, F., Wu, G. H., Zhou, H. ve Bao, D. H., 2009. Strong Upconversion Luminescence Properties of  $\text{Yb}^{3+}$  and  $\text{Er}^{3+}$  codoped  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  Ferroelectric Thin Films. *Journal of Applied Physics*, 106, 126104.
- Gao, Z. P., Yan, H. X., Ning, H. P., Wilson, R., Wei, X. Y., Shi, B., Ye, H. ve Reece, M. J. 2013. Piezoelectric and Dielectric Properties of Ce Substituted  $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ . *Journal of the European Ceramic Society*, 33,1001–1008.

- Garcia, V., Bibes, M., Bocher, L., Valencia, S., Kronast, F., Crassous, A. ve Moya, X., 2010. Ferroelectric Control of Spin Polarization. *Science*, 327, 5969, 1106-1110.
- Güler, S. 2012. Rubellit'in Lüminesans ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa.
- Haixue, Y., Huanpo, N., Yanmei, K., Peiling, W. ve Michael, J. R., 2009. Piezoelectric Ceramics with Super-High Curie Points. *Journal of American Ceramic Society*, 92, 10, 2270–2275.
- Hao, J., Zhang, Y. ve Wei, X., 2011. Electric-induced Enhancement and Modulation of Upconversion Photoluminescence in Epitaxial BaTiO<sub>3</sub>:Yb/Er Thin Films. *Angew. Chem.*, 50, 30, 6876-6880.
- Hu, J. Q., Yu, Y., Guo, H., Chen, Z. W., Li, A. Q., Feng, X. M., Xi, B. M. ve Hu, G. Q., 2011. Sol-gel Hydrothermal Synthesis and Enhanced Bio Sensing Properties of Nanoplated Lanthanum-substituted Bismuth Titanate Microspheres. *Journals of Materials Chemistry*, 21, 5352–5359.
- Ishizawa, N., Marumo, F., Kawamura, T. ve Kimura, M., 1975. The Crystal Structure of Sr<sub>2</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, a Compound with Perovskite-types Lobs. *Acta Crystallographica Section B*, 31, 1912-1915.
- Ishizawa, N., Marumo, F., Iwai, S., Kimura, M. ve Kawamura, T., 1980. Compounds with Perovskite-types Lobs. III. The Structure of a Monoclinic Modification of Ca<sub>2</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. *Acta Crystallographica Section B*, B36, 763-766.
- İlhan, M., 2013. Mekanokimyasal Sentez Yöntemiyle BaTa<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Üretimi, Fe Giderimi, Lüminesans ve Termodinamik Özellikler. *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Jin-yu, Y., Yu-chang, S. ve Xue-ying, L., 2011. Hydrothermal Synthesis, Characterization and Optical Properties of La<sub>2</sub>Sn<sub>2</sub>O<sub>7</sub>:Eu<sup>3+</sup> Micro-octahedra. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21, 3, 535-543.
- Joseph, L. K., Dayas, K. R., Damodar, S., Krishnan, B., Krishnankutty, K., Nampooria, V. P. N. ve Radhakrishnan, P., 2008. Photoluminescence Studies on Rare Earth Titanates Prepared by Self-propagating High Temperature Synthesis Method. *Spectrochimica Acta Part A*, 71, 1281–1285.
- Kimura, M., Nanamatsu, S., Kawamura, T. ve Matsushita, S., 1974. Ferroelectric, Electrooptic and Piezoelectric Properties of Nd<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Single Crystal. *Japanese Journal of Applied Physics*, 13, 1473-4.

- Korkmaz, E., 2010. Titanat Bazlı Yeni Işıldarların Sentezi ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.*
- Korkmaz, Z., 2015. Mems Teknikleri Kullanılarak Esnek Piezoelektrik Dokunsal Algılayıcı Dizi Üretimi. *Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*
- Kotan Algın, Z., 2013. Nadir Toprak Elementi Katkılı  $\text{SrSnO}_3$  ve  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$ : Mn Fosforlarının Sentezlenmesi ve Lüminesans Karakterizasyonları. *Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.*
- Kurt, İ., 2010. Akıllı Malzemeler Yardımıyla Plak Titreşimlerinin Aktif Kontrolü. *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Lee, J. H., Fang, L., Vlahos, E., Ke, X., Jung, Y. W., Kourkoutis, L. F., Kim, J. ve Ryan, P.J., 2011. A Strong Ferroelectric Ferromagnet Created by Means of Spin-lattice Coupling. *Nature*, 476, 7358, 114.
- Li, Y.-C., Chang, Y.-H. ve Lin, Y.-F., Lin, Y.-J., 2006. High Color Purity Phosphors of  $\text{LaAlGe}_2\text{O}_7$  Doped with  $\text{Tm}^{3+}$  and  $\text{Er}^{3+}$ . *Applied Physics Letters*, 89, 081-110.
- Li, Y.-C., Chang, Y.-H., Lin, Y.-F., Chang, Y.-S. ve Lin, Y.-J., 2007. Synthesis And Luminescent Properties of  $\text{Ln}^{3+}$  ( $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$ )-doped Lanthanum Aluminum Germanate  $\text{LaAlGe}_2\text{O}_7$  Phosphors. *Journal of Alloys and Compounds*, 439, 367–375.
- Li, A., Sun, L., Zheng, Z., Wu, W., Liu, W., Yang, Y., Lu, T. ve Su, W., 2008. Spectroscopic Analysis of  $\text{Er}^{3+}$  Transition in Mg/Er-codoped  $\text{LiNbO}_3$  Crystal. *Journal of Luminescence*, 128, 239–244.
- Lyjo, K. Joseph, K.R., Dayas, Soniya, D., Bindu K., Krishnankutty, V. P. N. ve Nampoory, Radhakrishnan, P., 2008. Photoluminescence Studies on Rare earth Titanates Prepared by Self-propagating High Temperature Synthesis Method. *SpectrochimicaActa Part A*, 71, 1281–1285.
- Ma, Q., Zhou, Y. Y., Lu, M. K., Zhang, A. Y. ve Zhou, G. J., 2009. Synthesis and Luminescence of Pure and  $\text{Eu}^{3+}$ -activated Aurivillius-type  $\text{Bi}_3\text{TiNbO}_9$  Nanophosphors. *Materials Chemistry and Physics*, 116, 315–318.
- Maeder, M. D., Damjanovic, D. ve Setier, N., 2004. Lead Free Piezoelectric Materials. *Journal of Electroceramics*, 13, 385–392.

- Ming-Hui, Z., Jian-Ding, Y., Xiu-Hong, P., Yu-Xing, C. ve Yan, L., 2103. Preparation and Upconversion Luminescence of  $\text{Nd}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$  Co-doped  $\text{La}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-ZrO}_2$  Glass-ceramics. *Journal of Inorganic Materials*, 28(8), 896-900.
- Muto, N., Yanagida, H., Nakatsuji, T., Sugita M., Ohtsuka, Y. ve Arai, Y., 1996. Self-Diagnosis of Fracture in CFGFRP Composites and CFGFRP-Reinforced Concrete. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 100, 12, 1429-1434.
- Nachimuthu, P., Jagannathan, R., Nirmal Kumar, V. ve Narayana Rao, D., 1997. Absorption And Emission Spectral Studies of  $\text{Sm}^{3+}$  and  $\text{Dy}^{3+}$  Ions in  $\text{PbO-PbF}_2$  Glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 217, 215-223.
- Nanamatsu, S., Kimura, M., Doi, K., Matsushita, S. ve Yamada, N., 1974. A new ferroelectric:  $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ . *Ferroelectrics*, 8, 511-3.
- Naresh, V. ve Buddhudu, S., 2014. Analysis of Energy Transfer Based Emission Spectra of ( $\text{Sm}^{3+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$ ):  $\text{Li}_2\text{O-LiF-B}_2\text{O}_3\text{-CdO}$  Glasses. *Journal of Luminescence*, 147, 63-71.
- Ngoc, T., Tuyen, V. P. ve Do, P. V., 2014. Optical Properties of  $\text{Sm}^{3+}$  Ions in Borate Glass. *VNU Journal of Mathematics – Physics*, 30(1), 24-31.
- Olukkent, R., 2013. Yarım Küre Formundaki Piezoelektrik Dönüştürücülerin Asılı Döküm Yöntemi ile Üretilmesi ve Elektriksel Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.*
- Öztürk, E. ve Karacaoglu, E., 2015. Investigation of Phase Formation Dependency of Photoluminescence Properties of  $\text{Eu}^{3+}$  in  $\text{Mg}_4\text{Al}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{3+},\text{Dy}^{3+}$  and  $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{3+},\text{Dy}^{3+}$  Red-emitting Phosphors. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 120, 1139–1143.
- Park B. H., Kang B. S., Bu S. D., Noh T. W. ve Lee J. W., 1999. Lanthanum-substituted Bismuth Titanate for Use in Non-volatile Memories. *Journal of Nature (London)*, 401, 682–684.
- Peimin, G., Zhao, F., Li, G., Liao, F., Tian, S. ve Jing, X., 2003. Novel Phosphors of  $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$  or  $\text{Bi}^{3+}$  Activated  $\text{Gd}_2\text{GeO}_5$ . *Journal of Luminescence*, 105, 61-67.
- Ruan, K. B., Chen, X. M., Tong, L., Wu, G. H. ve Bao, D. H., 2008. Photoluminescence and Electrical Properties of Highly Transparent  $(\text{Bi},\text{Eu})_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  Ferroelectric Thin Films on Indium-tin-oxide-coated Glass Substrates. *Journal of Applied Physics*, 103, 074101.

- Ruan, K. B., Chen, X. M., Tong, L., Wu, G. H. ve Bao, D. H., 2008. Improved Photoluminescence and Electrical Properties of Eu- and Gd-codoped Bismuth Titanate Ferroelectric Thin Films. *Journal of Applied Physics*, 103, 86-104.
- Setter, N., Damjanovic, D., Eng, L., Fox, G., Gevorgian, S. ve Hong, S., 2006. Ferroelectric Thin Films: Review of Materials, Properties and Applications. *Journal of Applied Physics*, 100, 051606.
- Shao, Z., Saitzek, S., Roussel, P., Mentre, O., Gheorghiu, F. P., Mitoseriu, L. ve Desfeux, R., 2010. Structural and Dielectric / ferroelectric Properties of  $(\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x)_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  Synthesized by Sol-gel Route. *Journal of Solid State Chemistry*, 183, 1652-1662.
- Sils, J., Hausfeld, S., Clauß, W., Pahl, U., Lindner, R. ve Reichling, M., 2009. Impurities in Synthetic Fluorite for Deep Ultraviolet Optical Applications. *Journal of Applied Physics*, 106, 063-109.
- Sobczyk, M. ve Szymański, D., 2015. Optical properties of  $\text{Sm}^{3+}$ -doped  $\text{Y}_2\text{Te}_4\text{O}_{11}$ . *Journal of Luminescence*, 166, 40-47.
- Sönmez, S., 2011. Aydınlatmada Kullanılan Işıldar Maddelerin Sentezi ve İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.*
- Sun, Z., Zhang, Q., Li, Y. ve Wang, H., 2010. Thermal Stable  $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{3+}$  Phosphors for Blue-chip White LEDs with High Color Rendering Index. *Journal of Alloys and Compounds*, 506, 338-342.
- Sun, H., Peng, D., Wang, X., Tang, M., Zhang, Q. ve Yao, X., 2011. Strong Red Emission in Pr-doped  $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_3$  Ferroelectric Ceramics. *Applied Physics*, 110, 1, 016102.
- Tıkız, S., 2010. Çevre Dostu Kurşunsuz Piezoelektrik Seramiklerin Üretimi ve Kullanım Güvenilirliğinin Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Afyonkocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.*
- Titov, Y. A., Leonov, A. P., Sych, A. M. ve Stefanovich, Yu. S., 1985. Crystallization and Ferroelectric Properties of Lithium-niobate Powder Obtained by the Alkoxy Method. *Inorganic Materials*, 21, 1739-1743.
- Tokarev, I., Motornov, M. ve Minko, S., 2009. Molecular-engineered Stimuli-responsive Thin Polymer Film: a Platform for the Development of Integrated Multifunctional Intelligent Materials. *Journal of Materials Chemistry*, 19, 38, 6932-6948.

- Uchino, K., 1997. Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors. *Kluwer Academic*, Boston.
- Uluç, V. A., 2008. Synthesis and Characterization of Phosphorescent Strontium Aluminate Compounds. *Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Usta, R., 2013. Eğri Eksenli Piezoelektrik Kirişlerde Deformasyon Analizi. *Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya.
- Venet, M., Vendramini, A., Santos, I.A., Eiras, J. A. ve Garcia, D., 2005. Texturing and Properties in Hot Forged SBN63/37 Ceramics. *Materials Science and Engineering: B*, 117, 254–60.
- Venkatramu, V., Falcomer, D., Speghini, A., Bettinelli, M. ve Jayasankar, C. K., 2008. Synthesis and Luminescence Properties of Er<sup>3+</sup>-doped Lu<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub> Nanocrystals. *Journal of Luminescence*, 128, 811–813.
- Vijay, S., Gobburu, S., Rao, J. L. ve Sang Hwan, K., 2013. “Optical and EPR Studies of Gd<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Phosphors Prepared Via Solution Combustion Method. *Physica B*, 416, 101–105.
- Villafuerte-Castrejón, M. E., Camacho-Alanís, F., González, F., Ibarra-Palos, A., González, G., Fuentes, L. ve Bucio, L., 2007. Luminescence and Structural Study of Bi<sub>4-x</sub>Eu<sub>x</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> Solid solution. *Journal of European Ceramic Society*, 27, 545–549.
- Volanti, D. P., Rosa, L. V., Paris, E. C., Paskocimas, C. A., Pizani, P. S., Varela, J. A. ve Longo, E., 2009. The Role of the Eu<sup>3+</sup> Ions in Structure and Photoluminescence Properties of SrBI<sub>2</sub>nB<sub>2</sub>O<sub>9</sub> Powders. *Optical Materials*, 31, 995–999.
- Wang, X., Xu, C., Yamada, H., Nishikubo, K. ve Zheng, X., 2005. Electro-mechano-optical Conversions in Pr<sup>3+</sup>-doped BaTiP<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub> Ceramics. *Advanced Materials*, 17, 10, 1254.
- Wu, S. M., Cybar, S. A., Yu, P., Rossell, M. D., Zhang, J. X., Ramesh, R. ve Dynes, R. C., 2010. Reversible Electric Control of Exchange Bias in a Multiferroic Field-effect Device. *Natural Materials*, 9, 9, 756-761.
- Ya-chun, M., Guang-she, L., Wei, X. ve Shou-hua, F., 2000. Hydrothermal Synthesis and Characterization of Nanocrystalline Pyrochlore Oxides M<sub>2</sub>Sn<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(M=La, Bi, Gd or Y). *Journal of Materials Chemistry*, 10, 2, 479–482.



- Yamamoto, H. ve Matsuzawa, T., 1997. Mechanism of Long Phosphorescence of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Dy}^{3+}$  and  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{Nd}^{3+}$ . *Journal of Luminescence*, 72-74, 287.
- Yen, W. M., Shionaya, S. ve Yamamoto, H., 2006. Second Edition Phosphor Handbook. CRC Press, 445 p, Tokyo.
- Zhang, F. X., Lian, J., Becker, U., Ewing, R. C., Wang, L. M. ve Hu, J. et al., 2007. Structural Change of Layered Perovskite  $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  at High Pressures. *Journal of Solid State Chemistry*, 180, 571–6.
- Zhang, Q. Y. ve Huang, X. Y., 2010. Recent Progress in Quantum Cutting Phosphors. *Progress in Materials Science*, 55, 5, 353–427.
- Zhang, Z. J., Wang, W. Z., Yin, W. Z., Shang, M., Wang, L. ve Sun, S. M., 2010. Inducing Photocatalysis by Visible Light Beyond the Absorption Edge: Effect of Upconversion Agent on the Photocatalytic Activity of  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$ . *Applied Catalysis B: Environmental*, 101, (1–2), 68–73.
- Zhang, F., Wang, Y. ve Tao, Y., 2013. VUV Spectroscopic Properties of  $\text{Ba}_2\text{Gd}_2\text{Si}_4\text{O}_{13}:\text{Re}^{3+}$  ( $\text{Re}^{3+} = \text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}, \text{Dy}^{3+}, \text{Eu}^{3+}, \text{Sm}^{3+}$ ). *Materials Research Bulletin*, 48, 1952–1956.
- Zhou, H., Chen, X. M., Wu, G. H., Gao, F., Qin, N. ve Bao, D. H., 2010. Significantly Enhanced Red Photoluminescence Properties of Nanocomposite Films Composed of a Ferroelectric  $\text{Bi}_{3.6}\text{Eu}_{0.4}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  Matrix and Highly c-Axis-Oriented ZnONanorods on Si Substrates Prepared by a Hybrid Chemical Solution Method. *Journal of American Ceramic Society*, 132, 1790–1791.
- Zhou, H., Wu, G. H., Qin, N. ve Bao, D. H., 2010. Dual Enhancement of Photoluminescence and Ferroelectric Polarization in  $\text{Pr}^{3+}/\text{La}^{3+}$ -Codoped Bismuth Titanate Thin Films. *Journal of American Ceramic Society*, 93, 8, 2109–2112.
- Zorlu, H., 2009. Katkılı  $\text{Bi}_{1.5}\text{Zn}_{0.92}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_{6.92}$  Dielektrik Seramiklerin Üretimi ve Karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.

## 7. ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ebru SARILMAZ  
Doğum Tarihi ve Yer : 10.08.1989/ BAKIRKÖY  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : -  
Telefon : 05072854714  
e-mail : ebruaktas2910@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	-
Lisans	Balıkesir Üniversitesi	2012
Lise	Akşemsettin Lisesi	2006

### Bildiriler

1. Sarılmaz, E., Karacaoğlu, E. ve Öztürk, E., 2016. Synthesis of Gd<sup>3+</sup>-Doped Ruthenium Pyrochlore Eu<sub>2</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>7</sub> and Photoluminescence Properties. *10. Uluslararası Lüminesans ve ESR Dozimetri Kongresi (LumiDoz-10)*, Adana, TÜRKİYE.
2. Sarılmaz, E., Karacaoğlu, E. ve Öztürk, E., 2016. Synthesis and Photoluminescence Properties of Stannate Based Pyrochlore Type Er<sub>1.98</sub>Yb<sub>0.02</sub>Sn<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. *10. Uluslararası Lüminesans ve ESR Dozimetri Kongresi (LumiDoz-10)*, Adana, TÜRKİYE.
3. Sarılmaz, E., Karacaoğlu, E. ve Öztürk, E., 2016. Synthesis of Eu<sub>1.90</sub>In<sub>0.10</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Pyrochlore and Its Photoluminescence Properties. *10. Uluslararası Lüminesans ve ESR Dozimetri Kongresi (LumiDoz-10)*, Adana, TÜRKİYE.