

**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI
2018-YL-022**

**Ce KATKILI BOROGERMANAT CAMLARININ
SPEKTROSKOPİK KARAKTERİZASYONU**

Gözde BURGAZ

**Tez Danışmanı:
Dr. Öğretim Üyesi Melis GÖKÇE**

AYDIN

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı öğrencisi Gözde BURGAZ tarafından hazırlanan “Ce KATKILI BOROGERMANAT CAMLARININ SPEKTROSKOPİK KARAKTERİZASYONU başlıklı tez, ..././2018 tarihinde yapılan savunma sonucunda aşağıda isimleri bulunan jüri üyelerince kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı Soyadı	Kurumu	İmzası
Başkan :		
Üye :		
Üye :		

Jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu Yüksek Lisans Tezi, Enstitü Yönetim KurulununSayılı kararıyla tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Aydın ÜNAY
Enstitü Müdürü

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

Bu tezde sunulan tüm bilgi ve sonuçların, bilimsel yöntemlerle yürütülen gerçek deney ve gözlemler çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce, sonuç ve bilgilere bilimsel etik kuralların gereği olarak eksiksiz şekilde uygun atıf yaptığımı ve kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

...../...../2018

Gözde BURGAZ

ÖZET

Ce KATKILI BOROGERMANAT CAMLARININ SPEKTROSKOPİK KARAKTERİZASYONU

Gözde BURGAZ

Yüksek Lisans Tezi, Fizik Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Melis GÖKÇE
2018, 77 sayfa

Nadir toprak elementi katkıli lüminesans malzemeler dar yayınlanma bandları, yüksek renk saflıkları, geniş yayınlanma aralıkları (mor ötesinden kızıl ötesine), floresans için nanosaniyelerden milisaniyelere, fosforesans için ise dakikalara varan bozunma zamanları, ilginç optik ve manyetik özellikleri nedenleri ile günümüzde yüksek-teknoloji uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Nadir toprak elementleri arasında seryum elementi çok ilgi çekmiştir. Diğer nadir toprakların arasında Ce^{+3} iyonu $4f^{15}d \rightarrow 4f$ parite- izinli geçişleri ile birkaç nanosaniye mertebesinde hızlı bozunma zamanına sahip geniş bir yayınlanma bandı ile UV ve görünür bölgede daha yüksek lüminesans şiddeti gösterir. Hızlı Ce^{+3} ile aktive edilmiş cam ve kristal gibi inorganik malzemeler ekran ve aydınlatmalarda fosfor olarak kullanılmalarının yanı sıra yüksek enerji ve nükleer fizikte, medikal görüntüleme ve güvenlikte sintilatör olarak kullanılmaktadırlar. Silikat, borogermanat, borosilikat ve fosfat gibi cam sistemlerinde seryum iyonunun spektroskopik çalışmaları mevcuttur. Seryum elementi yapıda Ce^{+3} ve Ce^{+4} olmak üzere iki kararlı değerlik durumuna sahiptir ve lüminesans özelliklerinin iyileştirilmesi için Ce^{+4} iyonlarının Ce^{+3} 'e indirgenmesi gerekmektedir. Söz konusu indirgenme yapıya katkılanacak indirgeyici ajanlar ya da eritme işleminde kullanılacak indirgeyici atmosfer ile gerçekleştirilebilir. Bu tez çalışmasının ilk aşamasında farklı konsantrasyonlarda CeO_2 katkılanmış borogermanat camları ($B_2O_3-GeO_2-Gd_2O_3:CeO_2$) hazırlanmış ve optimum Ce^{+3} iyon konsantrasyonuna sahip cam kompozisyonu belirlenmiştir. İkinci aşamada ise belirlenen kompozisyona değişen oranlarda çeşitli indirgeyici ajanlar (Si_3N_4 , C, Sb_2O_3) katkılanmış ve elde edilen camların fiziksel, yapısal ve optik özellikleri incelenmiştir. Camların yapısal analizleri X-ışını kırınımı yöntemiyle yapılarak amorf doğaları doğrulanmıştır. Camların band aralığı enerjileri (E_g) ve kesme kenarı dalga boyları (λ_{kesme}) soğurma ve geçirgenlik spektrumlarından hesaplanmıştır. Cam örneklerin 300-700 nm aralığındaki geçirgenlikleri yaklaşık

olarak %70-80 aralığındadır. Yayınlanma spektrumunun değeriendirilmesi sonucunda optimum CeO₂ konsantrasyonu % 0,5 mol olarak bulunmuştur. % 0,5 mol CeO₂ içeren borogermanat kompozisyonuna katılan indirgeyici ajanların camın fiziksel ve optik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Yayınlanma spektrumuna ayırıştırma yönteminin uygulanması ile yaklaşık olarak 390 nm de yer alan geniş yayınlanma bandının, Ce⁺³'ün $^2F_{7/2} \rightarrow ^5D_1$ ve $^2F_{5/2} \rightarrow ^5D_1$ optik geçişlerinden kaynaklandığı bulunmuştur. Soğurma ve yayınlanma spektrumları kullanılarak sözkonusu kompozisyonda Ce⁺⁴ iyonlarını Ce⁺³'e en etkin şekilde indirgeyen ajanın %5 mol grafit olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların daha yüksek lüminesans verimine sahip CeO₂ katkılı camların sentezlenmesinde yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Anahtar sözcükler: Nadir toprak, seryum, cam, indirgeyici ajan, fotolüminesans.

ABSTRACT

SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION OF Ce DOPED BOROGERMANATE GLASSES

Gözde BURGAZ

M.Sc. Thesis, Department of Physics

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Melis GÖKÇE

2018, 77 pages

Due to their narrow emission bands, high color purity, broad emission range (from ultraviolet to infrared), decay times for fluorescence from nanoseconds to milliseconds and for phosphorescence from seconds to minutes, interesting optical and magnetic properties rare earth doped luminescent materials are often used in high technology applications. Among rare earth elements, cerium element has received much attention. Ce^{3+} ion with parity-allowed $4f^{15}d \rightarrow 4f$ transitions shows a broad band emission with a typical fast decay time about few nanoseconds and stronger luminescence intensity in UV and visible ranges. Fast Ce^{3+} activated inorganic materials such as glasses and crystals are used as phosphors for displays and lightings, as well as scintillators in high energy and nuclear physics, medical imaging and security. The spectroscopic studies of the cerium ion are concerned in the silicate, borogermanate, borosilicate and phosphate-based glass systems. Cerium element has two stable valence states, Ce^{3+} and Ce^{4+} , and the Ce^{4+} ions must be reduced to Ce^{3+} in order to improve the luminescent properties. Aforementioned reduction can be carried out through the incorporation of reducing agents to be glass system or the reducing atmosphere used in the melting process. In the first part of this thesis, borogermanate (B_2O_3 - GeO_2 - Gd_2O_3 : CeO_2) glasses doped with various CeO_2 concentration were prepared and glass composition with optimum Ce^{3+} ion concentration has been determined. In the second step, different reducing agents (Si_3N_4 , C, Sb_2O_3) with various concentrations were doped to the determined composition and the physical, structural and optical properties of the obtained glasses were investigated. The structural analysis of glasses have been conducted by X-ray diffraction method and amorphous nature was confirmed. The band gap energy (E_g) and cut off edge wavelength ($\lambda_{cut-off}$) of glasses were determined by absorption and transmittance spectra. The transmittance of the glass samples in the range of 300-700 nm are approximately 70-80%. From the emission spectrum, the

optimum CeO₂ concentration was found to be 0.5 mol%. The effect of the reducing agents on the physical and optical properties of the borogermanate glasses containing 0,5 mol% CeO₂ were investigated. By applying the deconvolution method to the emission spectrum broad emission band at approximately 390 nm was found to be due to the $^2F_{7/2} \rightarrow 5D_1$ and $^2F_{5/2} \rightarrow 5D_1$ optical transitions of Ce³⁺. According to the results obtained from UV-Vis and photoluminescence spectra it is concluded that the most effective agent for reducing the Ce⁴⁺ ions into Ce³⁺ in the determined composition is 5 mol % graphite. The results obtained in this study thought to be helpful in the synthesis of CeO₂ doped glasses with higher luminescence yield.

Key Words: Rare earth, cerium, glass, reducing agent, photoluminescence.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca öğretici ve güler yüzlü kişiliği ile bilgi ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen, her konuda yanımda ve yardımcı olan, bana çalışma azmi ve disiplini kazandıran, birlikte çalışmaktan mutlu olduğum çok kıymetli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Melis GÖKÇE' ye ve tez çalışmalarım boyunca gerek önerileri gerekse tecrübeleri ile desteğini ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocam Doç. Dr. Aytaç Gürhan GÖKÇE' ye en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım esnasında bilgi ve tecrübeleri ile beni aydınlatan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Yüksel ŞAHİN' e teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca beni destekleyen, her zaman yanımda olan ve motive eden çok değerli ADÜ Fizik Bölümü Lüminesans grubuna ve Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmalarımı gerçekleştirebilmem için FEF-17003 nolu tez projesi kapsamında gerekli olan imkânları sağladıkları için Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Komisyon Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Hayatım boyunca gösterdikleri sevgi, sabır ve fedakârlıklar ile benim bugünlere gelmemde büyük emek ve katkıya sahip olan, her konuda beni destekleyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Gözde BURGAZ

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI	v
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	ix
ÖNSÖZ	xi
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ.....	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xix
TABLolar DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Cam	3
2.2. Nadir Toprak İyonları.....	4
2.2.1. Seryum Oksit (CeO ₂)	8
2.3. Borogermanat Camları ve Özellikleri	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Cam Malzemelerin Sentezi	11
3.2. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi.....	14
3.3. Yapısal Özellikler.....	15
3.3.1. X-ışınları Kırınımı (XRD).....	15
3.4. Optik Özellikler.....	16
3.4.1. UV-Vis Spektroskopisi	16
3.4.2. Fotoluminesans (PL) Spektroskopisi	19
4. BULGULAR	23
4.1. Fiziksel Özellikler	23
4.2. Yapısal Analizler.....	25

4.2.1. XRD Analizleri.....	25
4.3. Optik Analizler	25
4.3.1. UV-Vis Analizleri	25
4.3.2. Fotolüminesans Analizleri.....	29
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	37
KAYNAKLAR.....	40
ÖZGEÇMİŞ.....	53

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

E_g	:Band Aralığı
E_g^i	:Dolaylı optik band aralığı
M_h	:Örneğin havadaki kütlesi
M_s	:Örneğin sudaki kütlesi
N_A	: Avagadro sayısı
V_m	: Molar hacim
k_i ve p_i	: kırılma katsayısı
r_i, R_c	: Kritik mesafe
r_p	: Polaron yarıçap
λ_{kesme}	:Kesme kenarı dalga boyu
ρ_h	: Havanın yoğunluğu
ρ_s	: Suyun yoğunluğu
${}_{21}\text{Sc}$: Skandiyum
${}_{39}\text{Y}$: İtriyum
B_2O_3	: Borat
C	: Karbon
CCT	: Renk sıcaklığı
Ce	: Seryum
CeO_2	: Seryumoksit
CIE	: Commission Internationale de l'Eclairage
CO	: Karbonmonoksit
D_2	: Döteryum
Dy	: Disprozyum
Er	: Erbyium
Eu	: Europiyum

Gd : Gadolinyum

Gd₂O₃ : Gadolinyumoksit

GeO₂ : Germanat

H₂ : Hidrojen

Ho : Holmiyum

$h\nu$: Gelen foton enerjisi

IR : Kızılötesi bölge

J: Toplam açısal momentum

L : Yörüngesel açısal momentum

La : Lantanyum

LaCl₃ : Lantan klorür

Lu : Lütesyum

NIR : Yakın kızılötesi bölge

NT : Nadir Toprak

FWHM: Maksimum şiddetin yarıya düştüğü yerdeki genişlik

PET : Pozitron emisyon tomografisi

BT : Bilgisayarlı tomografi

NBO : Köprülenmemiş oksijen

Nd : Neodimyum

P₂O₅ : Fosfat

PL : Fotolüminesans

Pm : Prometyum

Pr : Praseodim

S : Toplam spin

Sb₂O₃ : Antimon

Si₃N₄ : Silisyumnitrat

SiO_2	: Silikat
Sm	: Samaryum
Tb	: Terbiyum
TeO_2	: Telürit
Tm	: Tülyum
UV-Vis:	Morötesi-görünür bölge
W	: Tungsten
Xe	: Ksenon
XRD	: X-ışınları kırınımı
Yb	: İterbiyum
N	: İyonik konsantrasyon
PD	:Paketleme yoğunluğu
n	:Kırılma indisi
t	:Kalınlık
x	:%mol
$\alpha(h\nu)$:Soğurma katsayısı
ρ	:Yoğunluk
λ_u	:Uyarma dalgaboyu
λ_y	:Yayınlanma dalgaboyu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Nadir Toprak elementleri.....	4
Şekil 2.2. NT iyonlarının enerji seviyelerini gösteren Dieke diyagramı.....	6
Şekil 3.1. Başlangıç malzemesi olarak kullanılan oksit tozlar.....	12
Şekil 3.2. Camları eritmek ve tavlama için kullanılan fırınlar.....	12
Şekil 3.3. Cam sentezinde kullanılan agat havan, kalıp, kroze ve maşalar.....	13
Şekil 3.4. Zımparalama-parlatma cihazı ve ekipmanları.....	13
Şekil 3.5. Yoğunluk ölçümlerinde kullanılan hassas terazi ve yoğunluk belirleme kiti.....	15
Şekil 3.6. UV-Vis spektrometresinin şematik yapısı.....	17
Şekil 3.7. UV-Vis spektrometresi.....	19
Şekil 3.8. Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) renk kromatiklik diyagramı.....	22
Şekil 3.9. Fotoluminesans spektrofluorometresi.....	22
Şekil 4.1. Sentezlenen örneklerin XRD desenleri (a) ve (b).....	25
Şekil 4.2. T-xC camlarının geçirgenlik (a) ve soğurma (b) spektrumları.....	26
Şekil 4.3. T-xSb camlarının geçirgenlik (a) ve soğurma (b) spektrumları.....	26
Şekil 4.4. T-xSi camlarının geçirgenlik (a) ve soğurma (b) spektrumları.....	27
Şekil 4.5. T-0.5Si, T-0.166Sb, T-5C camlarının geçirgenlik (a) ve soğurma (b) spektrumları.....	27
Şekil 4.6. BGG-xCe camlarının uyarma spektrumu ($\lambda_y=390$ nm) ve yayınlanma spektrumu ($\lambda_u=335$ nm).....	29
Şekil 4.7. CeO ₂ geçişlerini gösteren enerji diyagramı.....	30
Şekil 4.8. T-xC camlarının uyarma spektrumu ($\lambda_y=390$ nm) ve yayınlanma spektrumu ($\lambda_u=335$ nm).....	31
Şekil 4.9. T-xSb camlarının uyarma spektrumu ($\lambda_y=390$ nm) ve yayınlanma spektrumu ($\lambda_u=335$ nm).....	32

Şekil 4.10. T-xSi camlarının uyarma spektrumu ($\lambda_y=390$ nm) ve yayınlanma spektrumu ($\lambda_u=335$ nm).	32
Şekil 4.11. T-5C, T-0.166Sb, T-0.5Si camlarının uyarma spektrumu ($\lambda_y=390$ nm) ve yayınlanma spektrumu ($\lambda_u=335$ nm).	33
Şekil 4.12. T-5C örneğinin ayrıştırma yöntemi ile elde edilen yayınlanma spektrumu.	34
Şekil 4.13. T-0.166Sb örneğinin ayrıştırma yöntemi ile elde edilen yayınlanma spektrumu.	34
Şekil 4.14. T-0.5Si örneğinin ayrıştırma yöntemi ile elde edilen yayınlanma spektrumu.	35
Şekil 4.15. T-5C, T-0.166Sb, T-0.5Si camlarının CIE renk kromatiklik diyagramı.	36

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Üç değerklikli lantanit iyonlarındaki 4f elektron (n) sayısı	5
Tablo 3.1. Sentezlenen camlar ve isimleri.	12
Tablo 4.1. Sentezlenen camların hesaplanan fiziksel nicelikleri.....	24
Tablo 4.2. Sentezlenen camlarının optik özellikleri (n; kırıcılık indisi).....	28
Tablo 4.3. Sentezlenen camların FWHM değerkleri.....	31
Tablo 4.4. Elde edilen camların koordinat ve CCT değerkleri.....	36

1. GİRİŞ

Camlar erimiş haldeki amorf yapısını koruyarak katılaştıran inorganik cisimler olarak tanımlanabilir. Üretimleri sırasındaki hızlı soğuma nedeniyle kristal yapı yerine amorf yapı oluşur. Cam malzemeler sahip oldukları amorf yapı, homojenlik, kararlılık, yüksek lüminesans verimi ve yüksek geçirgenlik gibi önemli özellikleri ile bilimsel ve teknolojik araştırmaların ilgi odağı haline gelmiştir. Fotonik uygulamada ve endüstriyel alanlarda kullanılmakta olan silikat (SiO_2) (Chewpraditkul vd., 2012), fosfat (P_2O_5) (Caldino vd., 2018), telürit (TeO_2) (Rao vd., 2018), borat (B_2O_3) (Kindrat vd., 2016) ve germanat (GeO_2) (Wang vd., 2018) yapısındaki cam malzemeler oksit tabanlı cam grubuna girmektedir. Oksit camlar nadir toprak (NT) iyonu katkısı için mükemmel matrislerdir. Borat grubu NT iyonları için büyük çözücü kapasitesi sayesinde, germanat grubu ise düşük fonon enerjisi ile birlikte ışımaz geçiş olasılıklarının azalması sayesinde yüksek lüminesans verimine sahiptir. Borat anyonik grubu ile germanat grubunun aynı malzeme içindeki kombinasyonu borogermanat olarak adlandırılır. Borogermanat camları, NT iyonlarının katkısı sonucunda gelişen lüminesans, ferroelektrik ve manyeto-optik özellikleri nedeniyle son yıllarda ilgi çekici bir malzeme sınıfı olmaya başlamıştır (Starobor vd., 2016).

Nadir toprak elementleri kendilerine özgü manyetik ve optik özelliklere sahiptir. Bu özellikleri nedeni ile mıknatıs üretimi, cam ve seramik sanayi, güneş enerjisi panelleri, bilgisayar ve ağlar, iletişim, yüksek enerji fiziği ve rüzgâr türbinleri gibi kullanım alanlarının yanı sıra lazerler, renkli ekranlar, sensörler, ışık dönüştürücüleri, yüksek yoğunluklu bellekler, optik fiberler ve amplifikatörler gibi birçok optoelektronik cihazın geliştirilmesinde önemli rol oynarlar (Kaur vd., 2016; Zhu vd.,2011; Mariselvam ve Kumar, 2016). Nadir toprak iyonu katkılı camların kompozisyonunun optimize edilmesi teknolojik uygulamalarının etkinliğinin artırılması için hayati önem taşımaktadır. Bu doğrultuda camın fiziksel, termal, yapısal ve optik özelliklerinin araştırılması gerekmektedir.

NT iyonlarından Ce^{+3} , parite izinli 5d-4f geçişinden dolayı sahip olduğu yüksek ışık verimi nedeni ile kristal ve cam gibi inorganik malzemelere katılarak ekran teknolojilerinde, katihal aydınlatmada ve yüksek enerjili radyasyon sintilatörlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Sontakke vd., 2016; Nagarkar vd., 2009; Chen vd.,2003). Bunun yanı sıra, çapraz sönüm mekanizmasının olmaması ve 5d-

4f enerji seviyeleri arasındaki geniş ayırmadan dolayı çoklu-fonon sönümünün de ihmal edilebilir olması Ce^{+3} 'ü lüminesans verimi yüksek NT iyonlarından biri haline getirir. Yüksek sıcaklıklarda eritildiğinde seryum iyonu, yapıda +3 ve +4 olmak üzere iki farklı değerlik durumunda bulunabilir (Wang ve Chen, 2014). Oksit cam sistemlerinde Ce^{+4} 'ün Ce^{+3} 'e indirgenmesi [$Ce^{+4} + e^- = Ce^{+3}$] önemli bir tepkimedir (Torimoto vd., 2017; Murata vd., 2005; Smythe vd., 2013). Bunların arasındaki oran ana malzemeye ve sentezlenme koşullarına bağlı olarak değişir (Torimoto vd., 2017; Chewpraditkul vd., 2011; Herrmann vd., 2015; Liu vd., 2016; Sontakke vd., 2016). Camlarda, Ce^{+4} yük transfer bandı yüksek dalga boylarında meydana gelip Ce^{+3} ün 4f-5d geçişi ile üst üste binebilir (Chewpraditkul vd., 2011). Bundan dolayı Ce^{+3} katkılı camların sentezinde indirgeyici atmosfer kullanımı ve/veya indirgeyici ajan katkısı gibi önlemlerin alınması gerekmektedir (Sontakke vd., 2016). CO atmosferi altında ve indirgeyici ajan kullanılarak sentezlenen camlarda Ce^{+3} miktarı artmış ve çok düşük bir Ce^{+4} içeriği olduğu gözlenmiştir (Takahashi vd., 2008; Zhu vd., 2011; Sontakke vd., 2016; Zuo vd., 2016a; Zuo vd., 2016b). Yakın zamanda borogermanat camları ile yapılan çalışmada ise CO atmosferinde ve/veya indirgeyici ajan katkılanarak sentezlenen camların optik özelliklerinin önemli miktarda iyileştiği görülmüştür (Sun vd., 2014). Buna karşın indirgeyici atmosferin sentez sürecini zorlaştırdığı ve üretim maliyetini arttırdığı görülmüştür (Sun vd., 2014). Bu nedenle bu çalışmada indirgeyici atmosfer yerine indirgeyici ajanlar (Si_3N_4 , Sb_2O_3 , C) kullanılarak CeO_2 katkılı borogermanat camları sentezlenmiş ve fiziksel ve optik özellikleri incelenmiştir.

Literatürde cam sentezinde farklı indirgenme koşullarının kullanıldığı çeşitli çalışmalar mevcuttur. Ancak bunlar arasında değişen indirgeyici katkısı ve oranlarının Ce^{+3} 'ün lüminesans özellikleri üzerine etkisinin incelendiği sistematik bir çalışma mevcut değildir.

Bu çalışmada CeO_2 katkılı borogermanat camına üç farklı indirgeyici ajan (Si_3N_4 , Sb_2O_3 , C) katkılanmıştır. Farklı konsantrasyonlarda katkılanan ajanların sentezlenen camların fiziksel ve optik özellikleri üzerine etkileri sistematik olarak ilk defa incelenerek yüksek lüminesans verimi için optimum katkı oranları belirlenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Cam

Cam malzemeler tarihsel gelişim süresince önemini kaybetmemiş ve gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde önemli bir yer edinmiştir. Antik çağdan bu yana, inşaat malzemeleri, süs eşyaları, pencere camları, aynalar, dekorasyon, optik hafızalar, transistörler, cam lazerler ve optik fiberler gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Camın ilk kullanımı kesin olarak bilinmemekle beraber milattan önce bulunduğu düşünülmektedir. İnsanlar deniz kenarında yakılan ateşlerde, kumsalda bulunan ham maddelerin erimesi sonucu cam oluştuğunun farkına varmışlardır. Cam, keşfinden günümüze kadar bir taraftan çeşitleri, diğer taraftan da artan kullanım alanları ile vazgeçilmez, önemli bir tüketim maddesidir. Camlar doğada yapay ve doğal olarak bulunmaktadır. Kullandığımız camlar yapay camlar olup, bununla ilgili birçok tanım mevcuttur. Cam basit olarak kırılğan ve şeffaf bir malzemedir. Pürüzsüz yüzeyi sayesinde ışığı geçirme kapasitesine sahiptir ve diğer yüzeydeki görüntüleri algılamamızı sağlar. Kullanım yerine göre camın suya, asidik çözeltiliye, bazik çözeltiliye dayanıklılığı olmalıdır. Genel olarak cam, çeşitli hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılıp, yüksek sıcaklıklarda eritilmesiyle meydana gelen homojen ve saf eriyiğin, oda sıcaklığında kristallenmesi engellenerek ani bir şekilde soğutulmasıyla oluşan amorf yapıdaki malzemeye denir. Cam malzemenin üretimi esnasında hızlı soğuma nedeni ile kristal yapı yerine amorf yapı oluşur. Cam amorf yapısını koruyarak katılaştır. Cam malzemeler amorf yapıya sahip olabilmeleri, yüksek sıcaklıklarda kolay şekillendirilebilmeleri ve ışığın görünür dalga boylarını (400 – 700nm) geçirebilmeleri ve optik, elektriksel ve dielektrik özellikleri ve sahip oldukları homojenlik, kararlılık, iyi lüminesans verimi ve yüksek geçirgenlik gibi önemli özellikleri ile bilimsel ve teknolojik araştırmaların ilgi odağı haline gelmiştir (Morsi vd., 2016; Yamane ve Asahara, 2000).

Uygulama ve kullanım alanlarına göre renkli camlar, buzlu camlar, pencere camı, cam elyaf, telli cam, optik cam, silis camları ve borat camları olmak üzere birçok cam çeşidi vardır. Teknolojik amaçla üretilen cam malzemeler oksit, oksit olmayan ve organik polimerik cam malzemeler olarak sınıflandırılabilir. Silikat (SiO_2), fosfat (P_2O_5), telürit (TeO_2), borat (B_2O_3) ve germanat (GeO_2) yapısındaki cam malzemeler oksit cam grubuna girmektedir. Oksit camlar, cam oluşturmada en yaygın ve en önemli gruplardan biridir. Sahip oldukları ticari önem sırasıyla

SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 ve GeO_2 şeklindedir (Duran vd., 2011). Oksit camlar metal, oksit ve tuz olarak çeşitli formlarda kullanılabilen nadir toprak iyonları katkısı için mükemmel matrislerdir. Camlar, kristallere göre birçok doğal avantaja sahip oldukları için fotonik malzeme sınıfında yararlı olan boyut esnekliği, geçirgenlik ve kolay şekil alabilme gibi özellikleri ile nadir toprak iyonları için umut verici ana malzeme haline gelmiştir (Kaur vd., 2016)

2.2. Nadir Toprak İyonları

Periyodik tablo, s ve p blok elementleri, geçiş elementleri, lantanitler ve aktinidlerden meydana gelmektedir. Lantanitler diğer bir isimle NT iyonları olarak bilinmektedir. Şekil 2.1’ de görülen NT iyonları, periyodik tabloda atom numarası 57 olan lantanyum (La) ile atom numarası 71 olan lütesyum (Lu) arasında yer almaktadırlar. NT iyonları ile benzer kimyasal özellikler gösteren, itriyum (${}_{39}\text{Y}$) ve skandiyum (${}_{21}\text{Sc}$) da bu grubun içinde yer almaktadır.



Şekil 2.1. Nadir Toprak elementleri.

Nadir toprak elementlerinin tarihi 1788 yılında Yttria ve 1803 yılında Ceria olarak adlandırılan minerallerin bulunuşu ile başlar. İlerleyen zamanlarda, Ceria mineralinin, Lantanyum, Ceryum, Samaryum, Europiyum ve Gadolinyum’dan, Yttria mineralinin ise, Terbiyum, Erbiyum, Holmiyum, Tulyum, Disprosiyum ve Lutesyum’dan oluştuğu ortaya çıkmıştır (Gun, 1995).

NT iyonları genellikle +3 değerliğe sahip olmasına rağmen bunların arasında Ce, Tb ve Pr +4; Sm, Eu, Tm ve Yb +2 değerlik de alabilmektedir ve bütün NT iyonları metal olup, suda çözüldüklerinde kuvvetli elektrolit özelliği gösteren tuzlar oluşturmaktadırlar. Ayrıca NT iyonları iyonik yarıçaplarındaki farklılıklardan kaynaklanan özelliklerine göre hafif ve ağır olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Lantan (La), seryum (Ce), praseodim (Pr), neodimyum (Nd), prometyum (Pm) ve samaryum (Sm) hafif NT iyonu olarak kabul edilirken itriyum (Y), europiyum (Eu), gadolinyum (Gd), terbiyum (Tb), disprozyum (Dy), holmiyum (Ho), erbyium (Er), tulyum (Tm), iterbiyum (Yb) ve lutesyum (Lu) ağır NT iyonları olarak kabul edilmektedir.

Üç değerlikli lantanit iyonları $5s^25p^64f^n$ (burada n, 1'den 13'e değişir) dış elektronik konfigürasyonuna sahiptir ve n, dolu olmayan 4f kabuğundaki elektronların sayısını gösterir. $4f^n$ elektronları aslında optik geçişlerden sorumlu olan değerlik elektronlarıdır (Sole vd., 2005). NT iyonları, 4f elektronik seviyeleri tamamen dolu olmadığı için bu seviyedeki elektronlar tarafından belirlenen farklı özelliklere sahiptirler. En kararlı iyonizasyon durumu +3 değerlikte olduğu için, 5s ve 5p elektronları 4f elektronlarının enerji seviyelerinin çevreden etkilenmesini engeller.

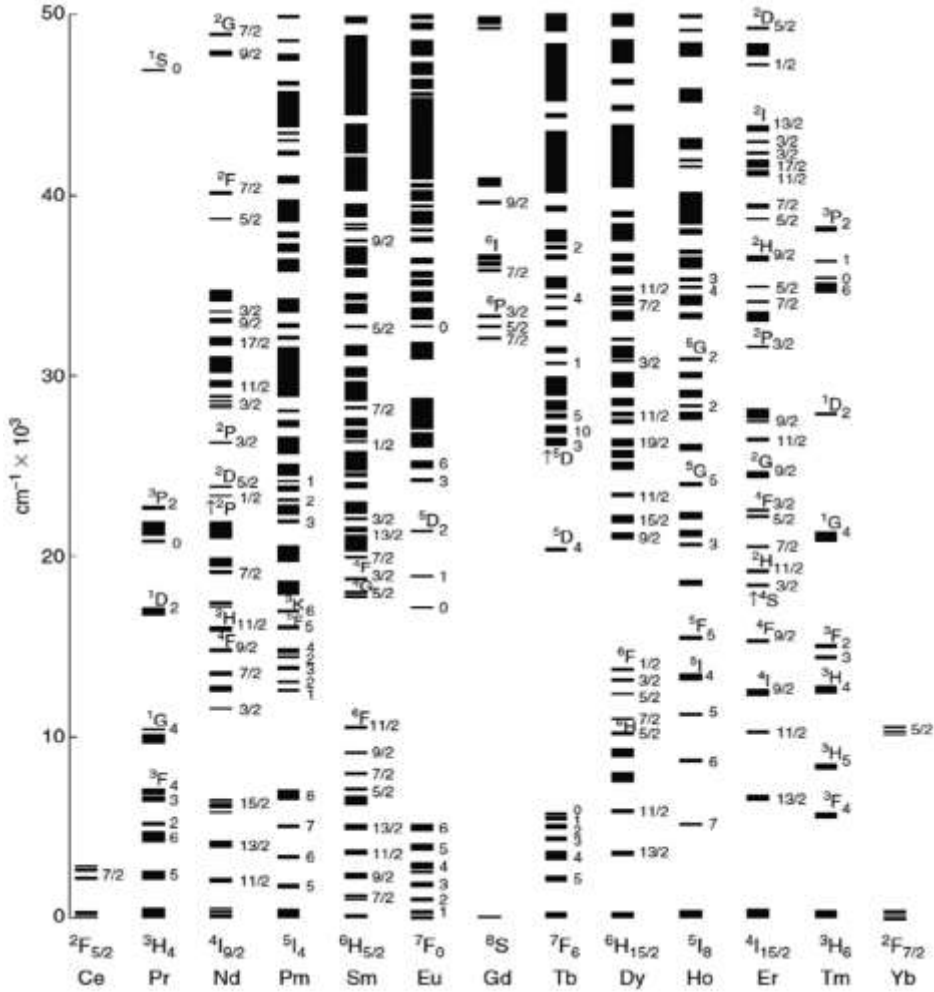
İyonların elektronik durumlarını belirten tipik atomik terim gösterimi $^{2S+1}L_J$ şeklinde olup burada, L yörüngesel açısal momentumu, S toplam spini ve J toplam açısal momentumu göstermektedir.

Tablo 2.1. Üç değerlikli lantanit iyonlarındaki 4f elektron (n) sayısı

iyon	Ce ⁺³	Pr ⁺³	Nd ⁺³	Pm ⁺³	Sm ⁺³	Eu ⁺³	Gd ⁺³	Tb ⁺³	Dy ⁺³	Ho ⁺³	Er ⁺³	Tm ⁺³	Yb ⁺³
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Lantanit serisinin üç değerlikli NT iyonları için 4f değerlik elektronlarının sayısı Tablo2.1.'de verilmiştir. Bu değerlik elektronları 5s ve 5p dış elektronları tarafından perdelenir. Bu perdelenme etkisinden dolayı üç değerlikli NT iyonlarının değerlik elektronları kristaldeki ligand iyonlarından zayıf olarak etkilenirler ve bu durum zayıf kristal alana karşılık gelir. Sonuç olarak, serbest iyon Hamiltonyeninin spin-yörünge etkileşim terimi kristal alan Hamiltonyen terimden daha baskın olur. Bu durum, NT⁺³ iyonları kristale dâhil edildiğinde iyonların $^{2S+1}L_J$ durumlarının çok az pertürbe olmasına sebep olur. Kristal alanın etkisi bu durumların enerjisinde hafif bir kayma yapar ve seviyelerin yarılmasına

neden olur. Ancak, bu kaymanın miktarı ve yarımla enerjisi spin-yörünge yarımlaşmasından daha küçüktür ve böylece NT^{+3} iyonlarının optik spektrumları serbest iyonlar için beklenen spektrumlara oldukça benzerdir. Bu durum NT^{+3} iyonlarının spektrumunun ana özelliklerinin bir kristalden başka bir kristale benzer olduğunu gösterir. Sonuç olarak NT^{+3} iyonlarının soğurma ve lüminesans spektrumlarının yorumlanması lantan klorür gibi (LaCl_3) belirli bir malzemede gerçekleştirilen sistematik spektral ölçümlere dayanmaktadır. Dieke diyagramları olarak adlandırılan bu spektrumlar Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Bu diyagram LaCl_3 bileşiği içindeki NT^{+3} iyonlarının $^{2S+1}L_J$ durumlarının enerjisini gösterir. Her durumun genişliği kristal alan yarımlaşmasının büyüklüğünü gösterir (Sole vd., 2005).



Şekil 2.2. NT iyonlarının enerji seviyelerini gösteren Dieke diyagramı.

Eşsiz fiziksel ve kimsayal özellikleri nedeni ile NT katkılı camlar çeşitli ve geniş kullanım alanlarına sahiptir. NT katkılı camlar, gelişmiş lazer malzemeleri, plazma ekranları, optik dalga kılavuzları, fiber amplifikatörler, verimli yükselticiler gibi çeşitli optik cihazlar için ilgi çekici malzemelerdir (Gökçe vd., 2017). NT katkılı camlar görünür ve yakın kızılötesi (NIR) bölgelerdeki lazer etkilerinden dolayı katihal lazer yayınlanmaları için kullanılan tek kristallerin yerine geçmeye aday olarak kabul edilmektedir (Reddy vd., 2015). NT katkılı camlar tıp alanında pozitron emisyon tomografisi (PET) ve bilgisayarlı tomografi (BT) gibi uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Hızlı lüminesans bozunma zamanına ihtiyaç duyulan PET uygulamalarındaki sintilatörlere Ce^{+3} , hızlı bozunma zamanına ihtiyaç duyulmayan BT uygulamalarında ise Pr^{+3} , Nd^{+3} , Ho^{+3} , Tm^{+3} , Er^{+3} ve Eu^{+2} gibi NT iyonlarının katkısı yapılabilmektedir (Yanagida, 2013). NT iyonları özellikle ışık yayınlanmasının ihtiyaç duyulduğu alanlarda çok önemli bir yere sahiptir. Cam malzemelere NT iyonlarından Y, Dy, Tb, Sm ve Eu katkılanarak görünür bölgede sırasıyla mavi, yeşil, turuncu ve kırmızı ışık yayılması sağlanır. Katkı çeşidinin ve oranının artırılması ile yayınlanan ışık şiddeti gelişir ve daha geniş spektral aralıkta yayınlanmalar meydana gelir (Rousset vd., 1989; Jayasankar, 2000). La katkılı camlar, cep telefonu kameraları dahil olmak üzere dijital kamera merceklelerinin %50'sini oluşturmaktadır. Nd ve Pr katkılı camlar güçlü ve faydalı mıknatıslardır. Bu mıknatıslar lazerlerde bilgisayar sabit disklerinde, hidrolik direksiyonlarda ve hoparlörlerde kullanılmaktadır. Eu^{+3} iyonları ile katkılanmış çeşitli cam ve kristaller lazer malzemeleri olarak kullanılmaktadır (Bagayev vd., 2011). Sm^{+3} iyonu içeren camlar da medikal görüntüleme, yüksek yoğunluklu optik depolama sistemleri, deniz altı iletişimi ve renkli ekranlar açısından önemli bir yere sahiptir (Venkatramu vd., 2007). Pm katkılı camlar nükleer pillerde kullanılmaktadır. Ce^{+3} tıbbi görüntüleme, güvenlik, yüksek enerji ve nükleer fizik sintilatörlerinde kullanılmaktadır (Nikl vd., 2000; Vedda vd., 2006; Dai vd., 2012).

Sonuç olarak NT iyonlarının malzemeye katkılanmasıyla malzemenin sahip olduğu pek çok özelliğin geliştiği/iyileştiği ve uygulama alanlarındaki kullanım potansiyelinin arttığı görülmüştür. Yeni optik cihazların geliştirilmesinde borat, silikat, germanat, tellürit ve fosfat cam sistemleri üç değerlikli NT iyonlarının katkılanması için uygun matrislerdir.

2.2.1. Seryum Oksit (CeO₂)

1803 yılında keşfedilen seryum elementi periyodik tabloda NT iyonları grubunda yer almakta olup Ce simgesi ile gösterilmektedir. Atom numarası 58 olan Ce iyonunun elektron dağılımı [Xe]4f¹5d¹6s² şeklindedir. Ce iyonunun iki ana değerlik durumu (+3 ve +4) mevcut olup, doğada dört izotopu (¹³⁶Ce, ¹³⁸Ce, ¹⁴⁰Ce ve ¹⁴²Ce) vardır (Baccaro vd., 2015). Saf Ce elementi diğer NT elementlerine göre doğada daha bol bulunan, europiyum (Eu)'dan sonra en reaktif elementtir. Seryumun en bilinen bileşiği Ce(IV) oksit (CeO₂) olup birçok alanda kullanılmaktadır (Gökdemir vd., 2009). Saf CeO₂ geniş bir yasak bant aralığına (3–3.5 eV) sahip n tipi bir yarıiletken olup, çeşitli kristallerde ve camlarda spektroskopik özelliklerinin araştırılmasında aktif bir alan oluşturmuştur (Ju vd., 1996; Arndt vd., 1984; Tsunekawa vd., 2006; Gökdemir vd., 2009). Ce⁺³ iyonlarının 4f-5d geçişi izinli elektrik dipol geçişlerdir (Ju vd., 2016). Ce⁺³'ün 4f-5d geçişi Laporte seçim kurallarına göre izinli olduğu için yüksek lüminesans verimine sahip bir yayınlanma merkezidir (Jiaa vd., 2011). Ce⁺³'ün radyasyon yayınlanması 4f ve 5d elektronik durumlar arasındaki geçişlere neden olur. 5d elektronik durumu ligand alanından etkilenir (Takahashi vd., 2008).

Camların, NT elementleri için uygun matrisler olduğu bilinmektedir. NT iyonu katkılı camlar fiber optikler ve optik yükselteçler için önemli bir malzeme sınıfıdır (Lin vd.,2005) ve görünür ve yakın kızılötesi (NIR) bölgelerdeki lazer etkilerinden dolayı katıhal lazer yayınlanmaları için kullanılan tek kristallerin yerine geçmeye aday olarak kabul edilmiştir (Reddy vd., 2015). Optik iletişimdeki gelişmelerle birlikte daha yüksek çözünürlükte görüntü elde etmek için NT iyonu katkılı camlar üzerine yapılan çalışmaların sayısı artmıştır. Çok yüksek renk saflığına sahip olan NT iyonları, özellikle ışık yayınlanmasının ihtiyaç duyulduğu alanlarda çok önemli bir yere sahiptir. Bu camlar aynı zamanda kızılötesinden görünür bölgeye lüminesans özelliklerinden dolayı da ilgi çekicidir (Kumar vd., 2010).

Ce⁺³ katkılı camlar hızlı cevap, düşük maliyet ve kolay şekil alabilme gibi özelliklerinden dolayı tıbbi görüntüleme, katıhal aydınlatma, güvenlik, yüksek enerji ve nükleer fizik sintilatörleri için umut verici adaylardan birisidir (Nikl vd., 2000; Webber, 2002; Dai vd., 2012; Sun vd., 2014; Sun vd., 2015a).

UV bölgesindeki geniş soğurma bandları, yaklaşık 20-50 ns mertebesindeki karakteristik hızlı bozunma süreleri ve görünür bölgedeki mavi lüminesans

yayınlanması ile yeni sintilasyon malzemelerinin geliştirilmesinde Ce^{+3} iyonu katkılı camlar ilgi çekici malzeme grupları arasında yer almaktadır (Zuo vd., 2016a). Sintilatörler iyonlaştırıcı radyasyonun belirlenmesinde ve ölçülmesinde kullanılan bir malzeme grubudur (Derenzo vd., 2003). Sintilasyon camlarının yüksek ışık verimi, yüksek yoğunluk, kısa bozunma zamanı ve çok iyi radyasyon dayanıklılığı gibi özelliklere sahip olması gerekir. Hızlı bozunma zamanına sahip Ce^{+3} ile aktive edilmiş ve cam matrisinde yüksek konsantrasyonda ($\sim 30\%$ mol) Gd_2O_3 bulunan yoğun camların x ve γ ışınları dedeksiyonunda etkin bir kullanıma sahip olduğu bulunmuştur (Nikl vd., 2000; Rodova vd., 2004). Yoğun sintilasyon camları x-ışını soğurma tesir kesitini büyütürken sinyal-gürültü oranını arttırmaktadır (Fu vd., 2008; Sun vd., 2014). Sözü edilen sebeplerden dolayı hızlı Ce^{+3} ile aktive edilmiş yoğun sintilasyon camları son zamanlarda oldukça ilgi görmeye başlamıştır (Chewpraditkul vd., 2011; Wang vd., 2013; Sun vd., 2014; Sun vd., 2015a).

Ce^{+4} iyonları kendi yayınladıkları ışığı tekrar soğurmaları nedeni ile görünür bölgede lüminesans yayınlamazlar. Bu yüzden Ce^{+4} 'ün, Ce^{+3} 'e indirgenmesi gerekmektedir. (X. Y. Sun vd., 2014, X. Y. Sun vd., 2015a, 2015b). İndirgenme, bir atomun elektronu almasını sağlayan kimyasal tepkimedir [$Ce^{+4} + e^- = Ce^{+3}$]. Cam kompozisyonunda bulunan B_2O_3 katkısı yapıdaki köprülenmemiş oksijen (NBO) miktarını azaltırken, Ce^{+4} 'ün Ce^{+3} 'e indirgenmesini sağlamaktadır (Zheng vd., 2014). Camlarda, Ce^{+4} ün yük transferi uzun dalga boylarında meydana gelir ve Ce^{3+} ün 4f-5d geçişleri ile çakışır. Bu nedenle, Ce^{3+} katkılı camların sentezinde, indirgeyici atmosfer (CO , H_2/N_2 , ...), uygun başlangıç kimyasalları ve indirgeyici ajanlar (Si_3N_4 , Sb_2O_3 , C , ...) kullanılarak önlemler alınmalıdır (Wang ve Chen, 2014; Sontakke vd., 2016). Reisfeld ve Hormadaly (1975) başlangıç kimyasalı olarak $(NH_4)_2Ce(NO_3)_6$ kullanmış ve Ce^{3+} katkılı borat camının sentezi esnasında indirgeyici ajan olarak mannitol ($C_6H_{14}O_6$) ilave ederek indirgeme ortamı yaratmıştır. Chewpraditkul vd. (2011) başlangıç kimyasalı olarak CeO_2 kullanıp eritme işlemini CO indirgeyici atmosferde gerçekleştirmiştir. Bir başka çalışmada cam sentezi esnasında başlangıç kimyasalı olarak $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ kullanılmış ve bununla birlikte indirgeyici atmosfer olarak N_2 gazı kullanılmıştır (Sontakke vd., 2016). Sontakke vd. (2016) borat tabanlı cam sisteminde Ce^{+4} 'ün indirgenmesini araştırmak için sentez aşamasında C tozu kullanmış ve eritme işlemini hava atmosferinde gerçekleştirmiştir. Yapılan bu çalışmada C tozu kullanılarak sentezlenen camda lüminesans şiddetinin arttığı gözlemlenmiştir. Zhu vd. (2011)

Ce_2O_3 katkılı alüminasilikat camlarının sentezinde indirgeyici ajan olarak Sb_2O_3 kullanılmıştır. Geçirgenlik spektrumunda indirgeyici ajan etkisini incelediklerinde kesme kenarının daha düşük dalga boylarına kaydığını gözlemlemişlerdir. Sun vd. (2014) başlangıç malzemesi olarak $B_2O_3-GeO_2-Gd_2O_3-CeO_2$ kullanmış olup sentez aşamasında indirgeyici ajan olarak Si_3N_4 katkılanmıştır. Bu araştırma sonucunda indirgeyici ajan katkılı camın lüminesans şiddetinin arttığı, cam renginin berraklaştığı ve geçirgenlik spektrumunda kesme kenarı dalga boyunun daha düşük dalga boylarına doğru kaydığını gözlemlenmiştir. Literatürde yapılan bu çalışmalar sonucunda, Ce^{+4} 'ün indirgenmesi için cam sentezinde farklı indirgeme koşullarının kullanıldığı ve indirgeyici atmosfer altında ve/veya indirgeyici ajan kullanılarak sentezlenen camların fiziksel, optik ve lüminesans özelliklerinin iyileştiği görülebilir.

2.3. Borogermanat Camları ve Özellikleri

NT iyonu katkılı silikat (Zhang vd., 2015), borogermanat (Zhang vd., 2011; Sun vd., 2015a), borosilikat (Fu vd., 2008a; Sun vd., 2017), tellürit (He vd., 2011) ve fosfat (Caldino vd., 2018) camları son yıllarda özellikle sintilasyon uygulamaları açısından birçok araştırmacının ilgi odağı haline gelmiştir. Oksit tabanlı bu camlar yüksek saydamlığa, düşük erime sıcaklığına, kolay hazırlanma ve şekil verilebilme özelliğine, yüksek termal kararlılığa ve NT iyonları ile iyi etkileşebilme gibi özellikleri ile birçok fotonik uygulamada kullanılmaktadır. (Sasikumar vd., 2013).

Bazı geçiş metalleri ve NT iyonları ile katkılanmış cam malzemelerin geliştirilmesine yönelik çalışmalarda B_2O_3 'ün iyi bir cam yapıcı olarak kullanılabilceği belirtilmiştir (Aida vd., 2001). Borat camları iyi ısı kararlılığı ve düşük erime sıcaklığı gibi üstünlükleri ile (Anishia vd., 2011; Rajesh vd., 2012) doğrusal olmayan optik cihazlarda (Shigihalli vd., 2011; Padlyak vd., 2013), lazerlerde (Kesavulu vd., 2017), radyasyon dozimetrisi alanında (El-Adawy vd., 2010; Un, 2013), güneş pillerinde (Shen vd., 2015) ve diğer modern teknolojilerde (Ehrt, 2000; Pawar vd., 2017) umut verici adaylardan biri haline gelmiştir.

Germanat camları, silikat camlarına göre fonon spektrumunda daha düşük frekansa sahiptirler. Düşük fonon enerjisi bu matrislerde NT iyonlarının uyarılmış durumlarındaki lüminesans kuantum verimini artırır ve optik lazerler ve fiber optik yükselteçler için daha verimli bir ortamın geliştirilmesine imkan verir (Wang ve Ohwaki, 1993; Lakshminarayana vd., 2008). Germanyumun dış elektronik

yapısı silikona benzer ve atomik yarıçapı daha büyüktür. Bu da oksijen ve germanyum arasında daha zayıf bir bağ olduğunu gösterir. Dolayısıyla kızılötesi ışınları (IR) silikondan daha iyi bir geçirgenliğe sahiptir (Wang vd., 1997). Daha iyi IR geçişlerine sahip olan germanat camları telekomünikasyon ve optik endüstrisinde önemli bir malzeme grubu olarak ilgi odağı haline gelmiştir (Yiannopoulos vd., 2001; Henderson ve Wang, 2002).

Germanat tabanlı cam sintilatörler arasında borat anyonik grubu ile germanat grubunun aynı malzeme içindeki kombinasyonu olan borogermanat camları öne çıkmaktadır. Borogermanat camları; NT iyonları için daha büyük bir çözücü kapasitesinin olması, yüksek termal kararlılık, yüksek geçirgenlik, düşük erime sıcaklığı, düşük fonon enerjisi, kolay şekil alabilme ve düşük maliyet gibi özellikleri ile silikat ve borosilikat camlarına göre daha belirgin avantajlara sahiptir (Sun vd., 2013; Caldio vd., 2015; Zuo vd., 2016a).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Cam Malzemelerin Sentezi

Bu tez çalışmasının ilk aşamasında CeO_2 katkılı borogermanat cam sistemleri $30B_2O_3-40GeO_2-(30-x)Gd_2O_3-xCeO_2$ ($x=0.3, 0.5, 1, 2$ % mol) kompozisyonu doğrultusunda eritme tavlama yöntemi ile sentezlenerek çalışmanın taban camı belirlenmiştir. Belirlenen taban cama (BGG-0.5Ce) farklı oranlarda indirgeyiciler katkılanarak elde edilen camların kısaltmaları Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Başlangıç malzemeleri olarak B_2O_3 (%99.99), GeO_2 (%99.99), Gd_2O_3 (%99.9), CeO_2 (%99.9), Si_3N_4 (%99.9), Sb_2O_3 (%99.999) ve C(%99.9995) oksit tozları (Şekil 3.1) kullanılmıştır. Yaklaşık 10 g olarak hazırlanan ham malzemeler agat havan içerisinde homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra alümina kroze içerisine konularak hava atmosferinde, hazırlanan kompozisyona bağlı olarak 1350-1450°C de 1-3 saat Carbolite marka yüksek sıcaklık fırınında eritilmiş, eriyik önceden ısıtılmış paslanmaz çelik kalıp üzerine döküldükten sonra oluşabilecek termal stresin önlenmesi için 550-600°C de 4-6 saat Protherm marka kül fırınında tavlansmıştır. Tavlama işleminin ardından sentezlenen borogermanat camı oda sıcaklığına kadar fırın içerisinde soğumaya bırakılmıştır. Şekil 3.2’de sentez aşamasında kullanılan fırınlar ve Şekil 3.3’ te kalıp, kroze ve maşalar görülmektedir.



Şekil 3.1. Başlangıç malzemesi olarak kullanılan oksit tozlar.

Tablo 3.1. Sentezlenen camlar ve isimleri.

Adlandırma	Cam kompozisyonu
T	$30\text{B}_2\text{O}_3-40\text{GeO}_2-29.5\text{Gd}_2\text{O}_3-0.5\text{CeO}_2$
T-0.125C	$30\text{B}_2\text{O}_3-40\text{GeO}_2-29.5\text{Gd}_2\text{O}_3-0.5\text{CeO}_2-0.125\text{C}$
T-0.5C	$30\text{B}_2\text{O}_3-40\text{GeO}_2-29.5\text{Gd}_2\text{O}_3-0.5\text{CeO}_2-0.5\text{C}$
T-2C	$30\text{B}_2\text{O}_3-40\text{GeO}_2-29.5\text{Gd}_2\text{O}_3-0.5\text{CeO}_2-2\text{C}$
T-5C	$30\text{B}_2\text{O}_3-40\text{GeO}_2-29.5\text{Gd}_2\text{O}_3-0.5\text{CeO}_2-5\text{C}$
T-0.125Sb	$30\text{B}_2\text{O}_3-40\text{GeO}_2-29.5\text{Gd}_2\text{O}_3-0.5\text{CeO}_2-0.125\text{Sb}_2\text{O}_3$
T-0.166Sb	$30\text{B}_2\text{O}_3-40\text{GeO}_2-29.5\text{Gd}_2\text{O}_3-0.5\text{CeO}_2-0.166\text{Sb}_2\text{O}_3$
T-0.5Sb	$30\text{B}_2\text{O}_3-40\text{GeO}_2-29.5\text{Gd}_2\text{O}_3-0.5\text{CeO}_2-0.5\text{Sb}_2\text{O}_3$
T-0.125Si	$30\text{B}_2\text{O}_3-40\text{GeO}_2-29.5\text{Gd}_2\text{O}_3-0.5\text{CeO}_2-0.125\text{Si}_3\text{N}_4$
T-0.166Si	$30\text{B}_2\text{O}_3-40\text{GeO}_2-29.5\text{Gd}_2\text{O}_3-0.5\text{CeO}_2-0.166\text{Si}_3\text{N}_4$
T-0.5Si	$30\text{B}_2\text{O}_3-40\text{GeO}_2-29.5\text{Gd}_2\text{O}_3-0.5\text{CeO}_2-0.5\text{Si}_3\text{N}_4$



Şekil 3.2. Camları eritmek ve tavlamak için kullanılan fırınlar.



Şekil 3.3. Cam sentezinde kullanılan agat havan, kalıp, kroze ve maşalar.

Soğurma, geçirgenlik ve fotoluminesans spektroskopisi ölçümlerine geçmeden önce elde edilen camların zımparalama ve parlatma işlemleri Şekil 3.4'te gösterilen Buehler Minimet1000 model zımparalama-parlatma cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Zımparalama-parlatma cihazı ve ekipmanları.

3.2. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Bir cismin birim hacminin kütlesine yoğunluk (ρ) denir. Sentezlenen camların yoğunlukları Şekil 3.5'te görülen 10^{-4} g hassasiyetteki analitik terazi (HR-250AZ, AND) ve yoğunluk belirleme kiti ile Arşimet prensibi bağıntısıyla hesaplanmıştır.

$$\rho = \rho_h + \frac{M_h}{|M_h - M_s|} (\rho_s - \rho_h) \quad (2)$$

Burada, M_h örneğin havadaki kütlesi, M_s örneğin sudaki kütlesi, ρ_s suyun yoğunluğu ve ρ_h havanın yoğunluğunu belirtmektedir. Örneklerin içine daldırıldığı sıvı olarak saf su kullanılmıştır. Yoğunlukların belirlenmesinde her bir örnek için üç ölçüm gerçekleştirilip ve bu ölçümlerin ortalamaları verilmiştir. Elde edilen camların kırılma indisleri Gladstone-Dale (McCloy, 2011) bağıntısı kullanılarak;

$$n = 1 + \rho \sum p_i k_i \quad (3)$$

bağıntısına göre hesaplanmıştır. Burada ρ camların ölçülen yoğunlukları, k_i ve p_i ise kompozisyondaki bileşenlerin sırası ile kırılma katsayıları (Mandarino, 1976) ve yüzdece ağırlıklarıdır.

Örneklerin molar hacimleri (V_m),

$$V_m = \frac{M}{\rho} \quad (4)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Burada M moleküler ağırlıktır. N_A Avagadro sayısı olmak üzere, camların paketleme yoğunlukları (PD)

$$PD = \frac{N_A}{V_M} \quad (5)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. x NT iyonlarının % mol oranını göstermek üzere, örneklerin iyonik konsantrasyonu;

$$N = \left(\frac{N_A \rho X}{M} \right) \quad (6)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır (Shaker vd., 1983).



Şekil 3.5. Yoğunluk ölçümlerinde kullanılan hassas terazi ve yoğunluk belirleme kiti.

Alıcı-Alıcı (r_i) ve Verici-Alıcı (R_c) iyon çiftleri arasındaki kritik mesafe, polaron yarıçapı (r_p) sırasıyla;

$$r_i = R_c = \left(\frac{M}{N_A \rho X} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

$$r_p = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{6N} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

bağıntıları kullanılarak hesaplanmıştır (Shaker vd., 1983).

3.3. Yapısal Özellikler

3.3.1. X-Işınlari Kırınımı (XRD)

X-ışınları 1895 yılında Alman Fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen tarafından bulunmuştur. X-ışınları, 0.125 ile 125 keV enerji aralığında veya buna karşılık, dalgaboyu 10 ile 0,01 nm aralığında olan elektromanyetik dalgalar veya foton demetidir ve çok yüksek enerjiye sahiptirler. X-ışınları kısa dalga boyu, yüksek enerji, kırınım, girişim ve kutuplanma gibi özellikleri nedeni ile tıpta, sanayide, astronomide ve bilimsel araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. X-ışınları hem dalga hem tanecik özelliği gösterirler. Atomlar düzenli bir yerleşim içinde ve birbirine çok yakın olduğu için x-ışınları kristallerden saçılarak bir kırınım deseni oluştururlar. X-ışınları kırınımı açıklaması 1912 yılında İngiliz Fizikçiler William Lawrence Bragg ve babası William Henry Bragg tarafından geliştirilmiştir.

Tahribatsız ve güçlü bir analiz yöntemi olan X-ışını toz kırınımı (XRD) deseninden yararlanılarak, cam, seramik, polimer, ince film gibi birçok katı malzemenin yapısal özellikleri hakkında bilgi edinilebilir. Aynı zamanda jeolojide minerallerin ve kayaçların tanımlanmasında, metal ve alaşım analizleri, ilaç endüstrisinde belli bir malzeme içindeki polimorfların ve safsızlıkların tespitinde, arkeolojide tarihi yapıları oluşturan malzemelerin tayini içinde XRD yönteminden faydalanılmaktadır.

Dalgaboyu belli X-ışınları malzeme üzerine düşürüldüğünde yansıma yapar ve malzemedeki atomların paralel düzlemleri tarafından saçılır. Bragg koşulunu ($2d\sin\theta=n\lambda$) sağlayan ışınlar ise kırınıma uğrarlar ve yapıcı girişim oluştururlar. Kırınıma uğrayan ışınları belirleyebilmek ve şiddetlerini ölçebilmek için, örnek θ kadar döndürüldüğünde dedektör 2θ kadar döndürülmelidir. Dedektöre gelen x-ışınları dedektör içindeki gazları iyonlaştırarak devreden akım geçmesine neden olur. X-ışın şiddetine bağlı olarak devreden geçen akımda değişir. Dedektör sabit bir hızla döndürülür ve x-ışını demetinin şiddeti ölçülerek 2θ ya bağlı bir grafik elde edilir (Yaşar vd., 2009). Malzemenin yapısına ve malzemeye gönderilen x-ışınının dalgaboyuna bağlı olarak farklı kırınım desenleri meydana gelir. XRD sonucunda elde edilen kırınım desenindeki tek geniş pik malzemenin amorf yapısını doğrular. Malzeme üretilirken ısı işlem sıcaklığı ve zamanı çok önemlidir. Bu parametrelerin farklı değerleri farklı yapılara (cam, cam seramik...) karşılık gelebilmektedir.

Örneklerin XRD analizleri Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği'nde bulunan Rigaku-Rint 2200/PC (Ultima 3) XRD cihazı ile hizmet alımı olarak gerçekleştirilmiştir. Kırınım deneyi $2\theta=5-90^\circ$ aralığında Cu-K α ışınları kullanılarak oda sıcaklığında $10^\circ/\text{dakika}$ tarama hızı ile elde edilmiştir.

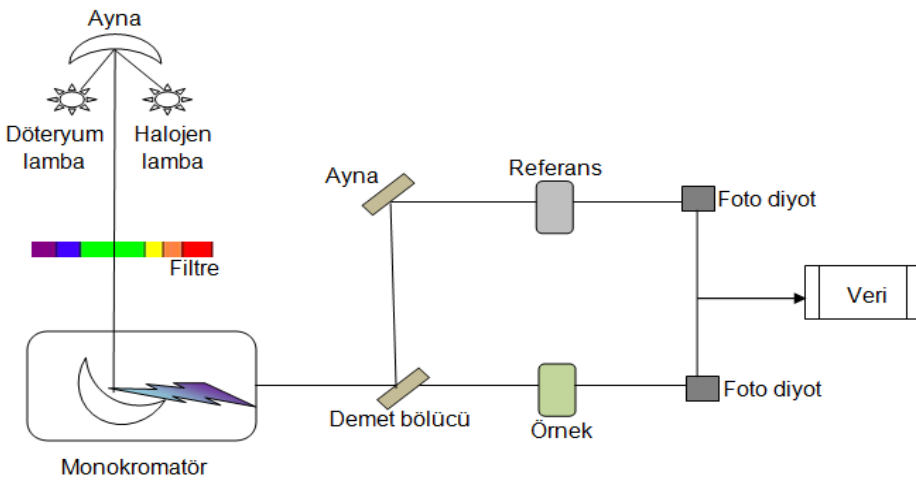
3.4. Optik Özellikler

3.4.1. UV-Vis Spektroskopisi

Spektroskopik çalışmaların temeli elektromanyetik dalganın madde ile etkileşmesine dayanır. Bu etkileşme, bir elektromanyetik dalganın madde tarafından soğurulması veya yayınlanması şeklinde meydana gelir. Malzeme üzerine gönderilen elektromanyetik dalganın, atom veya molekülleri uyaran

fotonlar tarafından soğurulmasına mor ötesi-görünür (UV-Vis) spektroskopisi denir. UV-Vis spektroskopisi, mor ötesi veya görünür bölgedeki bir elektromanyetik ışının madde tarafından soğurulmasına dayanır ve sistemlerin molekül orbitallerine eşdeğer olan enerji seviyeleri arasındaki elektronik uyarımlara karşılık gelir (UV=200-400 nm, Vis= 400-800 nm). Malzemeyi geçen elektromanyetik dalgalar analiz edildiğinde, soğurulan fotonlara karşı gelen dalgaboyu değeri azalır ve dalgaboyları her atom veya molekül için farklıdır. Dolayısıyla, analiz sonucunda elde edilen değerler malzeme hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Morötesi bölgesi; moleküler bağ yapıları ve şekilleri, görünür bölge; elektronik geçişler ve maddelerin elektronik yapılarının durumu hakkında bilgi verirler (Zhong-Zhang, 2009). UV-Vis ölçümlerinde döteryum (D₂), tungsten (W), hidrojen (H₂), ksenon (Xe), civa buhar lambası gibi sürekli ışık kaynakları kullanılır.

Bu tür spektrofotometreler ile 190 ile 900 nm arasında tarama yapmak mümkündür. Bu sistemde kaynaktan çıkan ışık demeti, önce sistemde bulunan yarıktan geçerek ışık bölücüye kadar gelir. Burada ışık demeti iki eşit parçaya bölünerek uygun optik sistem yardımıyla örnek üzerine gönderilir. UV ve görünür bölgede fotovoltaiik veya fotoiletken dedektörler, fototüpler ve fotoçoğaltıcı tüpler dedektör olarak kullanılmaktadırlar. Örnekten çıkan ışık dedektörlere gelir ve burada ışık şiddetleri ölçülür ve kaydedilir (Aktürk vd., 2013; Skoog vd., 1998). UV-Vis spektrometresinin çalışma prensibi şematik yapısı Şekil 3.6' da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. UV-Vis spektrometresinin şematik yapısı.

UV-Vis soğurma spektroskopisi kullanılarak bir malzemenin geçirgenlik ve soğurma spektrumları elde edilebilir ve çeşitli optik parametreleri araştırılabilir. Geçirgenlik spektrumundan yararlanılarak bir malzemenin % geçirgenlik değeri ve düşük dalga boylarındaki geçirgenliğini sınırlayan ve elektronik geçişlerden kaynaklanan kesme kenarı dalgaboyu (λ_{kesme}) değerleri belirlenebilirken soğurma katsayısı ve optik band aralığı enerjisi (E_g) gibi diğer optik parametreleri soğurma spektrumundan yararlanılarak hesaplanabilir.

Tauc'a göre (Tauc, 1974) gelen foton enerjisi $h\nu$ 'nün bir fonksiyonu olan soğurma katsayısı $\alpha(h\nu)$ birçok malzemede üç bölgeye sahiptir. Birinci bölge, "Tauc bölgesi" olarak adlandırılır ve buradan optik band aralığı enerjisi E_g hesaplanabilir. Bu bölge uyarılmış durumdaki oksijen iyonuna ait elektronun bandlar arası geçişi ile ilişkilidir. "Tauc bölgesi" için $\alpha(h\nu)$ soğurma katsayısı Mott ve Davis (1979) tarafından

$$\alpha(h\nu) = B \left[\frac{(h\nu - E_g)^m}{h\nu} \right] \quad (9)$$

bağıntısıyla verilmiştir. Burada $h\nu$ foton enerjisi olup, dalgaboyundan hesaplanırken, soğurma katsayısı $\alpha(h\nu)$, soğurma (A)'nın örneğin kalınlığına (t) oranından hesaplanabilir. E_g optik band aralığı enerjisi, m band geçişlerinin mekanizmasına bağlı olarak $m=2, 3, 1/2, 1/3$ değerlerini alabilir ve bunlar sırasıyla dolaylı izinli, dolaylı yasaklı, doğrudan izinli ve doğrudan yasaklı geçişlerdir.

Bu tez çalışmasında farklı indirgeyiciler katkılanarak sentezlenen camların geçirgenlik ve soğurma spektrumları Adnan Menderes Üniversitesi Fizik Bölümü Lüminesans Laboratuvarı'nda bulunan Perkin Elmer Lamda 25 UV-Vis spektrometresi kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 3.7' de gösterilen UV-Vis spektrometresi 1 nm slit değerinde 200-900 nm aralığında tarama yapabilmektedir.



Şekil 3.7. UV-Vis spektrometresi.

Sonuç olarak geçirgenlik spektrumundan, geçirgenlik ve kesme kenarı dalgaboyu değerleri belirlenirken soğurma spektrumundan yararlanılarak optik band aralığı (E_g) hesaplanmıştır.

3.4.2. Fotolüminesans (PL) Spektroskopisi

Birçok alanda kullanılabilen inorganik malzemelerin karakterizasyonu çeşitli deneysel yöntemlerle araştırılabilir. Bu yöntemlerden en etkili olanları elektromanyetik radyasyonun kullanıldığı tekniklerdir. Malzemelerin temel özellikleri hakkında bilgi verecek yaygın spektroskopik tekniklerden biri de lüminesans spektroskopisidir. Çeşitli şekillerde enerji soğurarak elektronik olarak uyarılmış bir molekül, fazla enerjisinden kurtulurken bu enerjisinin tamamını veya bir kısmını ışına olarak vermesi olayına lüminesans denir. Lüminesans spektroskopisi, lüminesans merkezlerinin enerji seviyelerini ölçer. Lüminesans malzeme, enerji seviyeleri elektronik ve titreşim geçişleriyle ilişkilidir. Lüminesans malzeme genellikle aktivatör olarak adlandırılan bir lüminesans merkezi ve bir ana örgüden oluşur (Gaft vd., 2005). Uyarma çeşidine ve süresine bağlı olarak farklı lüminesans çeşitleri vardır. Bunların arasında en yaygın kullanılan yöntem, fotolüminesans olup, optik olarak uyarılmış malzemedan ışık yayınlanması olarak bilinir.

Fotolüminesans spektroskopisi, yarıiletkenler, kristaller ve teknolojik olarak kullanılan camlarda alıcılar (akseptör), vericiler (donör) ve içsel kusurlar gibi nokta kusurlarını tanımlamak için uygun, hassas, temassız ve tahribatsız bir yöntemdir. Malzemenin bant aralığı enerjisinin belirlenmesi için de kullanılabilir (Yacobi, 2003). Ayrıca, bu yöntemi kullanarak malzeme kalitesi hakkında bir fikir edinmekte mümkündür.

Fotolüminesans spektroskopisinde, incelenen malzeme yasak bant aralığına eşit ya da daha büyük enerjili bir optik kaynak (lamba, lazer vb.) kullanılarak uyarıldığında, fotonlar malzeme tarafından soğurulur ve elektronik uyarımlar meydana gelir. Uyarılma sonucunda üst enerji seviyelerine çıkan elektronlar, temel enerji seviyelerine dönerken ışımali bir geçiş yapıp ışık yayınlarsa buna PL sinyali denir. Fotolüminesans olayı ışına sürelerine göre floresans ve fosforesans olmak üzere iki kısımdan oluşur. Floresans uyarılmış bir singlet (tek değerlikli) sistemden temel haldeki bir singlet sisteme geçiş sırasında yayılan ışığa denir ve ışık ile etkileşim sonrası foton salınımı kısa sürede meydana gelir (10^{-8} s). Çinko silikat,

çinko berilyum silikat, kadmiyum borat, kadmiyum silikat, kadmiyum volframat ve magnezyum volframat bileşikleri Floresans maddelere örnek olarak verilebilir. Fosforesans ise uyarılmış bir triplet (üç değerlikli) halden temel haldeki singlet bir sisteme geçiş sırasında yayılan ışığa denir ve gecikmeli (10^{-4} - 10 s) olarak gerçekleşir. Fosforesans birçok mineral ve metal bileşiklerde, bazı organik bileşiklerde, deniz faunası ve bazı böcekler gibi yaşayan organizmalarda doğal olarak mevcuttur. Floresans ve fosforesans arasında iki önemli fark vardır;

a) Fosforesansta uyarma ve ışığın yayınlanması arasında daha uzun zaman periyodu vardır.

b) Fosforesansta uyarma kaynağı uzaklaşsa bile saatlere varabilen bir süre boyunca devam edebilirken, uyarım kaynağı ortadan kalktığı zaman floresans olayı yok olmaya başlar (Righini ve Ferrari, 2005).

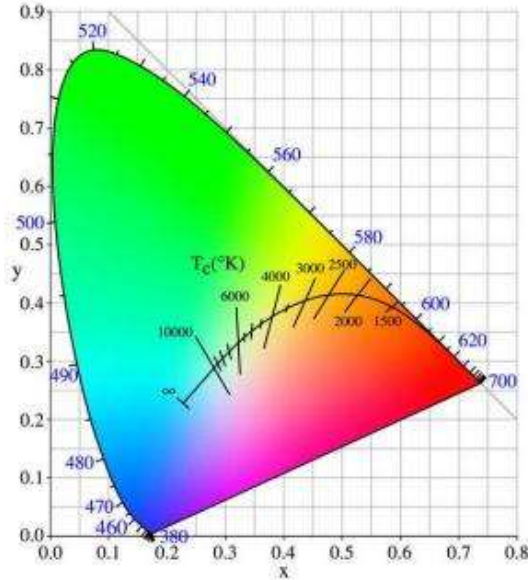
Fotolüminesans tekniği, malzeme hakkında çok yönlü bilgi verdiği için malzeme karakterizasyonunda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu malzemeler kuantum noktalar (Huang vd., 2014), nanoyapılar (Lockwood ve Tsybeskov, 2014), lazerler (Nam vd., 2014), nanokristaller (Wang vd., 2014a), polimerler (Xue vd., 2014), nanoteller (Khranovskyy vd.,2014), nanoçubuklar (Plaisant vd., 2014), ince filmler (Yousif vd., 2014), nanofosforlar (Manohara vd., 2014), nanoparçacıklar (Chandar ve Jayavel, 2014), nanotüpler (Cui vd., 2014), nanokompozit filmler (Wang vd., 2014b), fosforlar (Singh vd., 2013) ve fotonik kristaller (Konidakis vd., 2014) gibi geniş bir spektruma sahiptir. PL tekniği kullanılarak araştırılabilecek malzemelerin içinde en önemli grup NT iyonu katkılı camlardır. Bunların önemi optik iletişimde, lazerlerde, LED lerde, optoelektronik cihazlarda ve sintilatörlerde yaygın bir şekilde kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Fotolüminesans tekniğinde malzeme uygun bir lamba ya da lazer ışını ile uyarılır, daha sonra malzemedен çıkan ışık, ışına spektrometresi tarafından toplanarak dedektöre aktarılır. Dedektöre gelen ışık, odaklayıcı lens tarafından analizde uygun algılayıcının bilgisayara bağlı olduğu ikinci bir dedektör tarafından elektriksel sinyale dönüştürülür. Işık şiddetinin dalgaboyuna karşı çizilen grafiğinden fotolüminesans spektroskopisi elde edilir. Nadir toprak iyonu katkılı camların fotolüminesans spektrumlarından elde edilen dalga boylarına karşılık gelen elektronik geçişler Şekil 2.2’de gösterilen Dicke diyagramından yararlanılarak belirlenebilmektedir (De Sousa vd., 2015).

İnsan gözünün algılayabildiği görünür yayınlamanın rengini ölçmek için Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) koordinatları hesaplanmaktadır. CIE renklerin tanımlanması için standart referanstır ve insan gözünün farklı dalga boylarına hassasiyetini göz önünde bulundurarak elde edilmektedir. Bunun yanında ışık kaynağının kalitesi ilişkili renk sıcaklığı (CCT) cinsinden hesaplanabilir. CCT kromatik diyagramında, ilgili noktaya en yakın Planck kara cisim radyatörünün sıcaklığını göstermektedir (Erdem vd., 2010). CCT değerleri Maccomy formülünde (10) ilgili renk koordinatları kullanılarak hesaplanabilir (Basavapoornima vd., 2014).

$$CCT = -449n^3 + 3525n^2 - 6823.3n + 5520.33 \quad (10)$$

$$n = \frac{x-x_e}{y-y_e}$$

Burada n ; ters eğim çizgisi olup X_e ve Y_e merkezdir.



Şekil 3.8. Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) renk kromatiklik diyagramı.

Bu tez çalışmasında sentezlenen camların fotoluminesans analizleri uyarma ve yayınlama olmak üzere iki adımda yapılmıştır. Spektrum analizleri Adnan Menderes Üniversitesi Fizik Bölümü Lüminesans Laboratuvarı'nda bulunan

Horiba Jobin Yvon marka FluoroMax-4 model spektroflore metre cihazı (Şekil 3.9) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Fotolüminesans spektroflore metresi.












4. BULGULAR

4.1. Fiziksel Özellikler

% 0.5 mol CeO₂ borogermanat ve farklı oranlarda indirgeyici katkılanarak sentezlenen camların (1), (2), (3), (4), (5), (6) ve (7) bağıntıları yardımıyla hesaplanan fiziksel özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Yoğunluk, yapının sıklığının bir göstergesi olup, cam ağ yapısının geometrisindeki ve ara yerdeki boşlukların koordinasyonlarındaki değişimlerin belirlenmesinde çok önemli rol oynayan fiziksel bir parametredir (Kashif vd., 2014). Sintilasyon uygulamalarında gerekli olan özelliklerden birisi de camın yoğunluğunun yüksek olmasıdır. Farklı oranlarda farklı indirgeyicilerin katkılanmasıyla artan yoğunluk cam yapıda Ce⁺³ iyonlarının sayısının arttığını gösterir (Sun vd., 2015c). Kırılma indisi değişen indirgeyici katkısı ile değişmektedir ve oksit cam ağının elektronik kutuplanabilirliğine dayanmaktadır. Tablo 4.1’ de görüldüğü üzere, molar hacmin maksimum, paketleme yoğunluğunun ise minimum olduğu katkı oranları T-0.125Si, T-0.125Sb, T-0.125C, içindir ve bu sonuç T-0.125 katkı oranına sahip camların en düşük ağ polimerizasyonuna sahip olduğunu gösterir (Luo vd., 2014). Yoğunluk arttırıcı olarak kullanılan Gd⁺³ iyonları ağ yapısındaki boşlukları doldurup sıkı paketlenmiş yapı oluşturabilir ve bu durum yoğunluk ve paketleme yoğunluğunu arttırabilir (Marzouk, 2010; Saddeek, 2005) Alıcı-verici arasındaki kritik mesafe enerji transferi esnasındaki konsantrasyon baskılanması için önemli bir parametredir (Sun vd., 2013a). Elde edilen camlarda kritik mesafenin 4 Å den büyük olması iyon çiftleri arasında çok kutuplu etkileşim olduğunu gösterir.

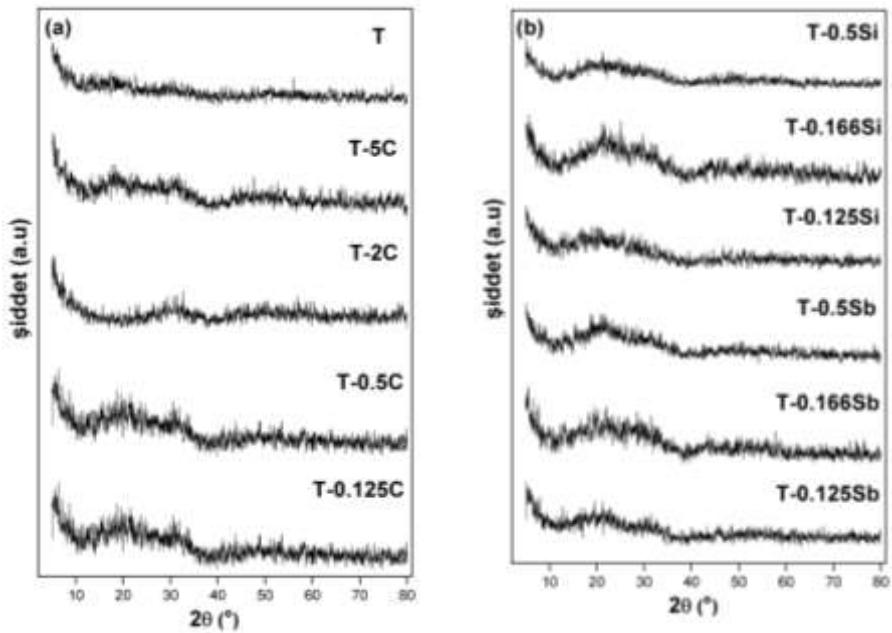
Tablo 4.1. Sentezlenen camların hesaplanan fiziksel nicelikleri: molekül ağırlığı (M , g/mol), kalınlık (t , mm), yoğunluk (ρ , g/cm³), molar hacim (V_M , cm³/mol), paketleme yoğunluğu (PD , x10²² iyon/cm³), NT iyonik konsantrasyonu (N , x10²⁰ iyon/cm³), polaron yarıçapı (r_p , Å), NT iyon çiftleri arasındaki kritik mesafe (r_i , Å), Gd⁺³ ile NT iyon çiftleri arasındaki kritik mesafe (R_c , Å)

	FOTO	M	t	ρ	V_M	PD	N	r_p	r_i	R_c
T		170.539	2.145	4.774	35.722	1.685	0.842	9.189	18.102	4.649
T0.125Si		170.539	2.063	5.139	33.219	1.812	0.906	8.969	17.669	4.538
T0.166Si		170.539	1.740	5.158	33.108	1.818	0.909	8.959	17.649	4.533
T0.5Si		170.539	1.917	5.164	33.160	1.816	0.908	8.964	17.658	4.536
T0.125Sb		170.539	1.908	5.051	33.835	1.779	0.889	9.025	17.777	4.566
T0.166Sb		170.539	2.014	5.177	33.035	1.822	0.911	8.953	17.636	4.530
T0.5Sb		170.539	2.148	5.150	33.397	1.803	0.901	8.985	17.700	4.546
T0.125C		170.539	1.974	5.016	34.002	1.771	0.885	9.039	17.806	4.574
T0.5C		170.539	2.113	5.093	33.496	1.797	0.898	8.994	17.718	4.551
T2C		170.539	2.044	5.126	33.316	1.807	0.903	8.978	17.686	4.543
T5C		170.539	1.924	5.154	33.205	1.813	0.906	8.968	17.666	4.538

4.2. Yapısal Analizler

4.2.1. XRD Analizleri

Sentezlenen örneklerin cam yapısını doğrulamak için XRD analizleri yapılmıştır. Şekil 4.1 (a) ve (b)' de görülen x-ışını kırınım desenlerinde düşük açılarda geniş yayılmış saçılmalar ile $2\theta=30^\circ$ ve $2\theta=50^\circ$ civarında iki geniş pik bulunmaktadır. Herhangi bir keskin kırılma pikinin olmaması, sentezlenen camların eritme-tavlama işlemi sırasında kristalleşmenin gerçekleşmediğini gösterir. Bu da elde edilen camların amorf yapısını doğrulamaktadır.

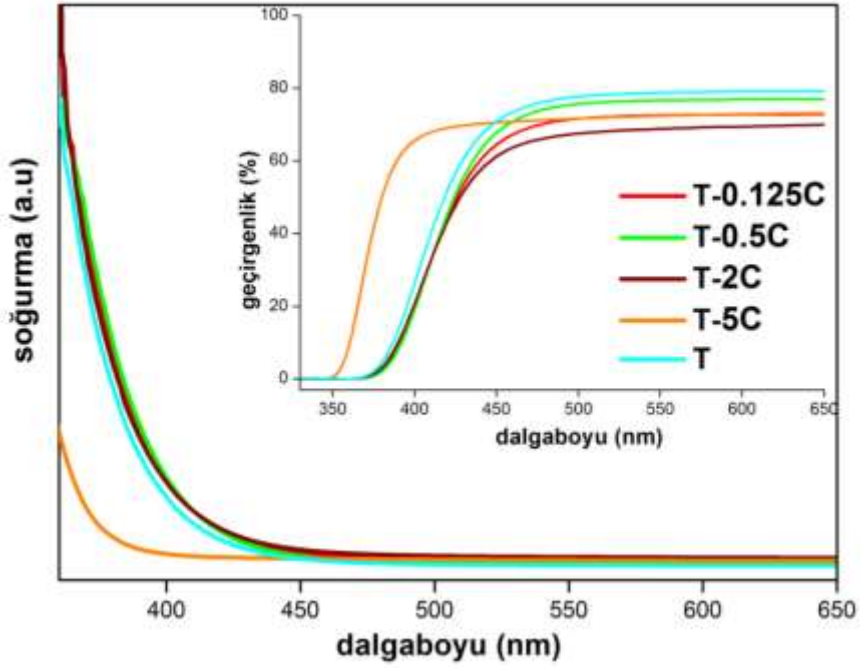


Şekil 4.1. Sentezlenen örneklerin XRD desenleri (a) ve (b).

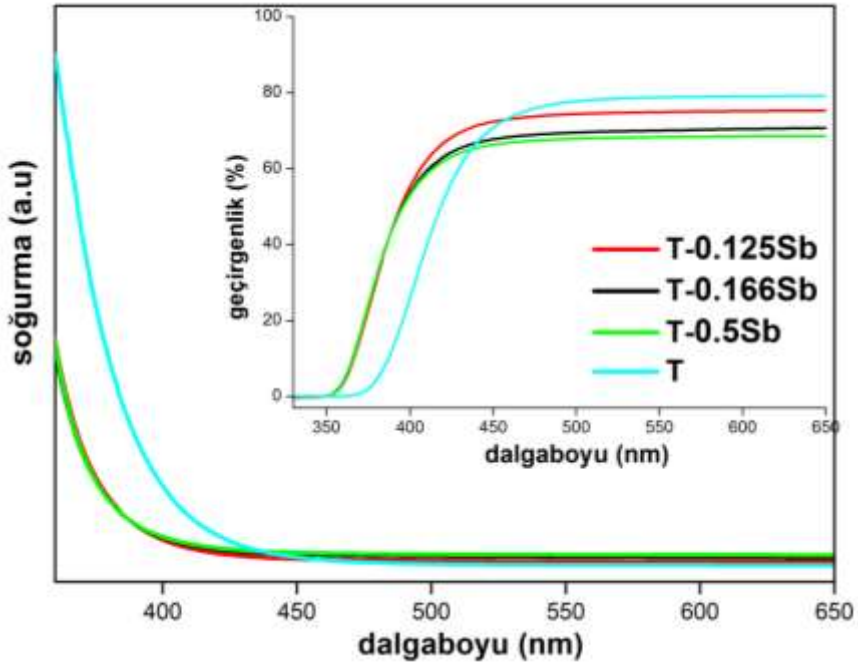
4.3. Optik Analizler

4.3.1. UV-Vis Analizleri

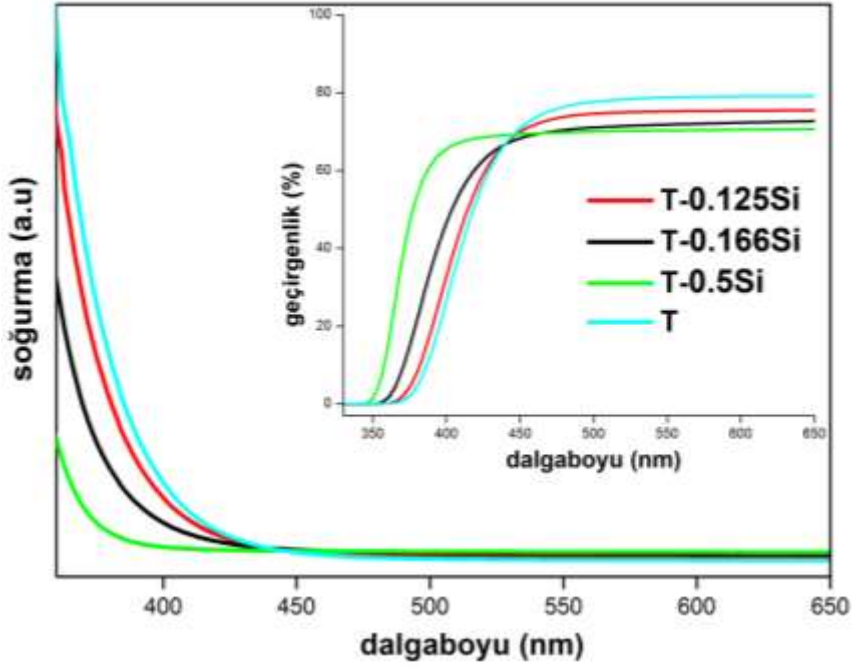
Camların optik özelliklerinin araştırılması için ilk olarak geçirgenlik ve soğurma spektrumları incelenmiştir. Sentezlenen camların 300-700 nm aralığındaki geçirgenlik spektrumları ve 350-650 nm aralığında alınan soğurma spektrumları Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5' te gösterilmiştir.



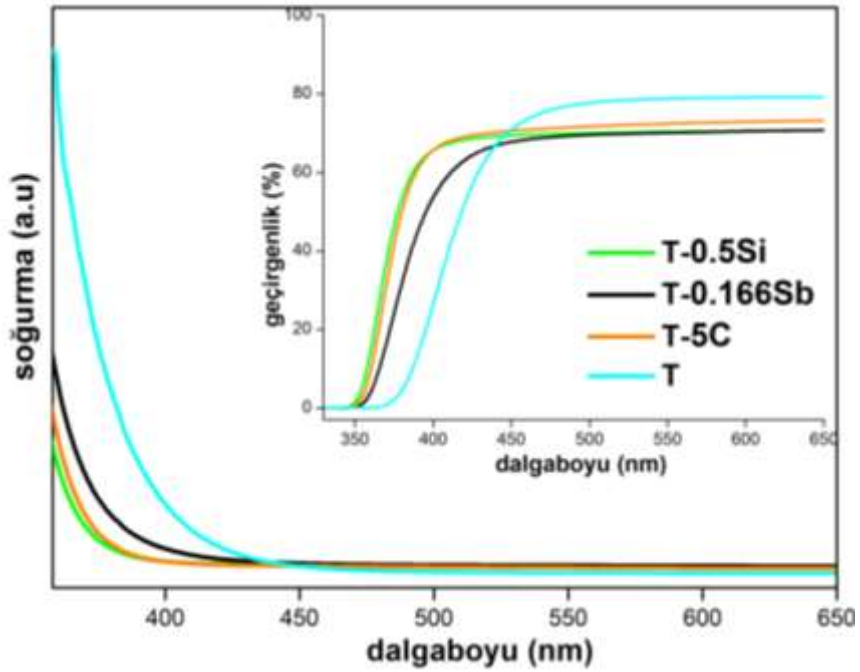
Şekil 4.2. T-xC camlarının geçirgenlik (a) ve soğurma (b) spektrumları.



Şekil 4.3. T-xSb camlarının geçirgenlik (a) ve soğurma (b) spektrumları.



Şekil 4.4. T-xSi camlarının geçirgenlik (a) ve soğurma (b) spektrumları.



Şekil 4.5. T-0.5Si, T-0.166Sb, T-5C camlarının geçirgenlik (a) ve soğurma (b) spektrumları

Sentezlenen camların geçirgenlikleri %70-82 arasındadır. Sintilasyon uygulamaları açısından camların yüksek geçirgenliğe sahip olması önemli bir özelliktir. Camın gelen ışığı tamamen soğurmaya başladığı ve soğurma şiddetinin maksimumuna ulaştığı, genellikle UV bölgede yer alan karakteristik dalga boyu (λ_{kesme}) temel soğurma kenarı olarak tanımlanır (Lakshminaraya vd., 2017).

Çoğu NT iyonları camlarda +3 gibi tek değerlikli olarak bulunurken CeO_2 +4 ve +3 değerliklerde bulunabilmektedir. Ce^{+4} camlarda elektronları tuzaklarken, Ce^{+3} 4f ve 5d elektronik durumları arasında parite izinli geçişleri yapmaktadır. Ce^{+4} UV bölgede geniş bir soğurma spektrumu gösterir (Rejisha vd., 2016). Ce^{+4} iyonlarının soğurulmasının sebebi, 4f taban durumundan 5d uyarılmış duruma olan elektronik geçişler ve $O^{2-}-Ce^{+4}$ arasındaki yük transfer bandıdır ve Ce^{+4} iyonuna ait band pozisyonu Ce^{+3} iyonuna kıyasla daha uzun dalga boylarında bulunmaktadır (Zhu vd., 2011; Ren vd., 2004; Murata vd., 2005). Örneklerin geçirgenlik spektrumundan elde edilen kesme kenarı dalgaboyu (λ_{kesme}) ve soğurma spektrumundan elde edilen dolaylı optik band aralığı (E_g^i) değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

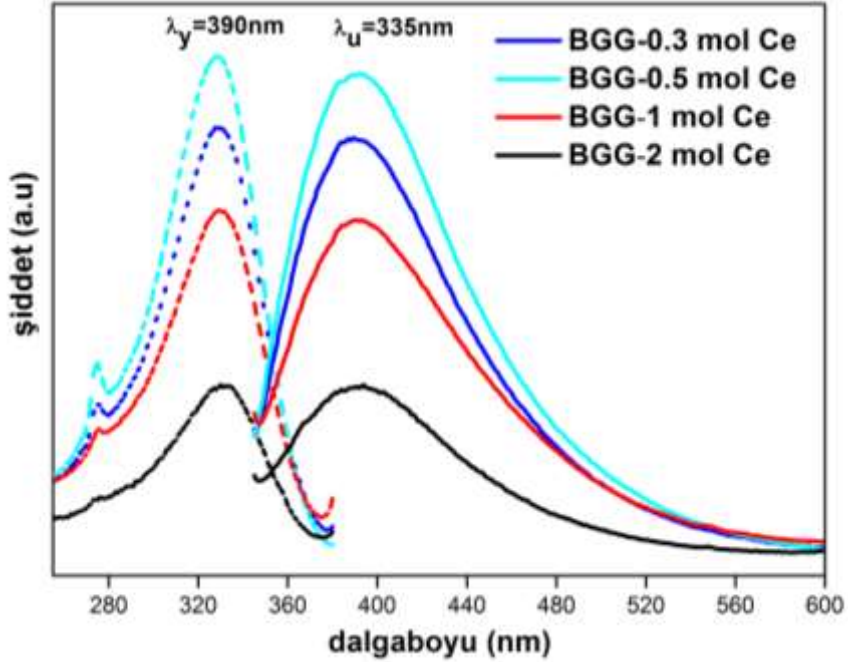
Tablo 4.2. Sentezlenen camlarının optik özellikleri (n ; kırıcılık indisi).

Camlar	λ_{kesme} (nm)	E_g^i (eV)	n
T	419	2.926	1.696
T-0.125C	426	2.802	1.731
T-0.5C	425	2.883	1.742
T-2C	428	2.936	1.747
T-5C	381	3.250	1.751
T-0.125Sb	394	3.132	1.736
T-0.166Sb	395	3.179	1.754
T-0.5Sb	395	3.191	1.750
T-0.125Si	416	2.988	1.749
T-0.166Si	404	3.201	1.752
T-0.5Si	377	3.243	1.753

Ana camın kesme kenarı değeri 419 nm iken T-C, T-Sb ve T-Si katkılı camlarda kesme kenarı değerleri tabloda verildiği gibi düşük dalgaboylarına doğru kaymıştır. Bu da cam yapıda indirgenmenin gerçekleştiğini ve ağırlıklı olarak Ce^{+3} iyonunun bulunduğunu göstermektedir (Zhu vd., 2011). Ce^{+3} iyonlarının konsantrasyonunun artmasıyla kesme kenarı kısa dalga boylarına kayar (Sun vd., 2015d). En kısa kesme kenarı değeri T-0.5Si camı için elde edilmiştir.

4.3.2. Fotolüminesans Analizleri

Taban camı belirlemek için $30\text{B}_2\text{O}_3\text{-}40\text{GeO}_2\text{-}(30\text{-}x)\text{Gd}_2\text{O}_3\text{-}x\text{CeO}_2$ ($x=0.3, 0.5, 1, 2$ mol %) kompozisyonu doğrultusunda sentezlenen borogermanat camlarının 250-360 nm arasında alınan fotolüminesans uyarma ve 345-600 nm arasında alınan yayınlanma spektrumları Şekil 4.6' da görülmektedir.



Şekil 4.6. BGG-xCe camlarının uyarma spektrumu ($\lambda_y=390$ nm) ve yayınlanma spektrumu ($\lambda_u=335$ nm).

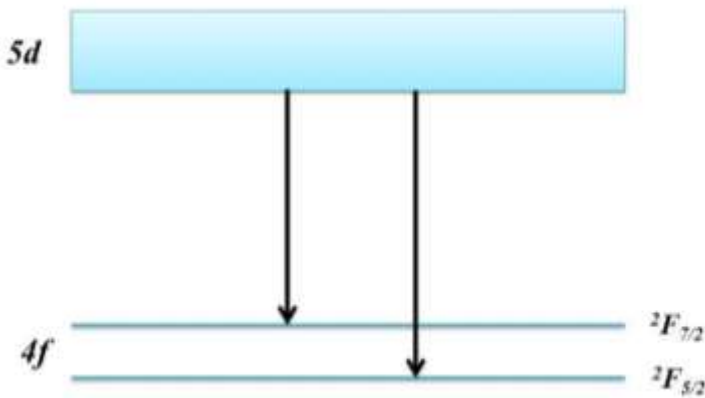
Şekil 4.6' da görüldüğü gibi % 0.5 mol CeO_2 katkılı cam en şiddetli PL spektrumuna sahip olduğu için taban cam olarak belirlenip indirgeyici etkisini araştırmak için bu cam üzerinden yola çıkılmıştır.

C, Sb, ve Si katkılı borogermanat camlarının 250-360 nm arasında alınan fotolüminesans uyarma ve 345-600 nm arasında alınan yayınlanma spektrumları Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11'de görülmektedir. Uyarma spektrumunda tepe noktaları yaklaşık olarak 335 nm'de ($5d_1 \rightarrow {}^2F_{7/2}, {}^2F_{5/2}$) yer alan pikler Ce^{+3} iyonunun 4f-5d geçişine karşılık gelirken 274 nm'deki (${}^8S_{7/2} \rightarrow {}^6I_{11/2}$) pik Gd^{+3} iyonundan kaynaklanmaktadır. Elde edilen yayınlanma spektrumlarında

sentezlenen örnekler için maksimum 390 nm’de geniş bir lüminesans bandı gözlenmektedir. Bu bandın geniş olması Ce^{+3} iyonunun 5d elektronik enerji seviyelerinin yarıldığını belirtir (Zuo vd., 2016a).

Yayınlanan fotonun dalga boyu ile uyarılan fotonun dalga boyu arasındaki enerji farkına Stoke’s kayması denir. NT iyon konsantrasyonu ne kadar yüksek ise Stoke’s kayması o kadar küçük olur (Torimoto vd., 2017). Bu çalışmada Ce konsantrasyonu sabit olup, uyarma ve yayınlanma spektrumundan elde edilen veriler ışığında sentezlenen örneklerin Stoke’s kayma değerleri 55 nm bulunmuştur.

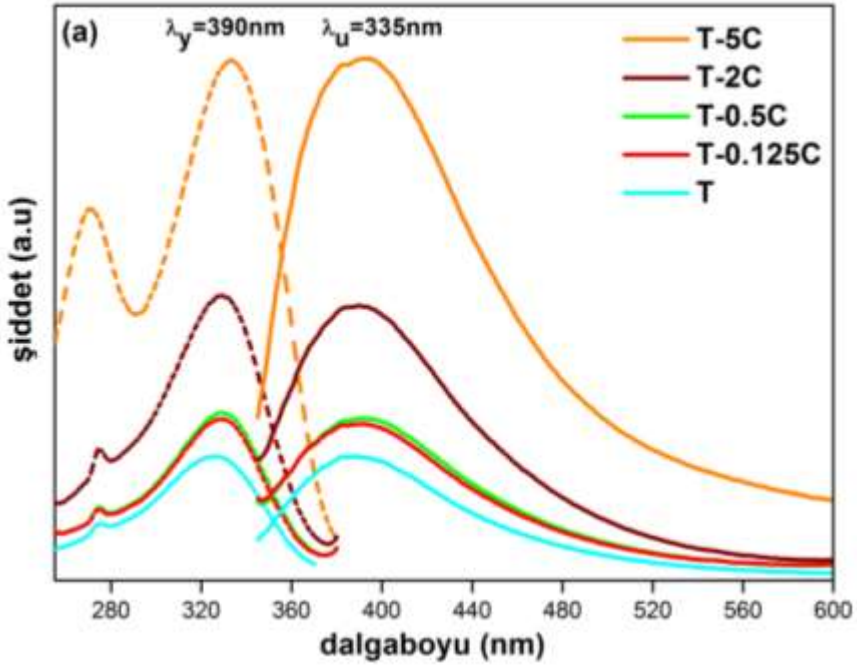
Ce^{+3} ’ün yayınlanması, elektronun 4f orbitalinden 5d orbitaline geçişinden dolayı ortaya çıkar. Genellikle geniş pikler 4f-5d geçişlerine ve daha dar pikler 4f-4f geçişlerine karşılık gelir (Takahashi vd., 2008). Ce^{+3} iyonunun yayınlanması $5d_1 \rightarrow {}^2F_{5/2}$ ve $5d_1 \rightarrow {}^2F_{7/2}$ geçişlerinden kaynaklanır (Şekil 4.7) (Zuo vd., 2016a). Elde edilen deneysel veriye Gaussian eğriler fit edilerek bu iki geçiş belirlenebilir (Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14). Gaussian eğrileri fit etmek için PeakFit v4.12 programı kullanılmıştır ve R^2 değerleri yaklaşık olarak 0.998’dir. $5d_1 \rightarrow {}^2F_{7/2}$ ve $5d_1 \rightarrow {}^2F_{5/2}$ geçişleri arasında enerji farkı yaklaşık olarak 2500 cm^{-1} ’e karşılık gelmektedir (Ju vd., 1996). Bu iki geçişin spektrumda gözlenememesinin nedeni cam malzemenin simetriye sahip olmamasıdır (DasMohapatra, 1998; Bei vd., 2007). Aktivatör iyon (Ce^{+3}) yerel alanların rastgele dağılımına maruz kalır. Bundan dolayı optik geçişlerde homojen olmayan genişleme görülür, bu da maksimum şiddetin yarıya düştüğü yerdeki genişlikten (FWHM) bulunur (Zuo vd., 2016a) (Tablo 4.3).

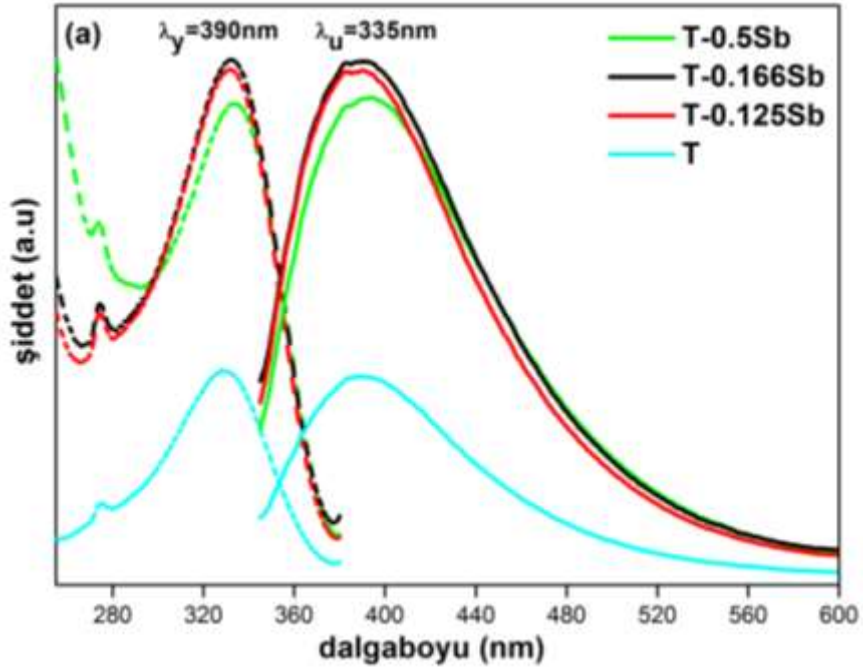


Şekil 4.7. CeO_2 geçişlerini gösteren enerji diyagramı.

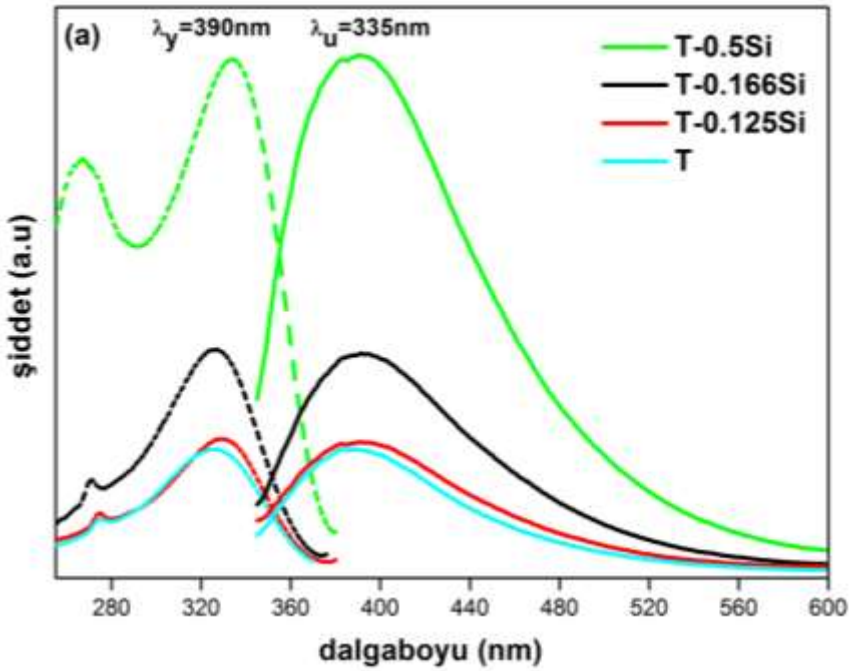
Tablo 4.3. Sentezlenen camların FWHM değerleri.

Camlar	FWHM (nm)
T	91
T-0.125C	103
T-0.5C	101
T-2C	99
T-5C	109
T-0.125Sb	104
T-0.166Sb	104
T-0.5Sb	106
T-0.125Si	102
T-0.166Si	101
T-0.5Si	104

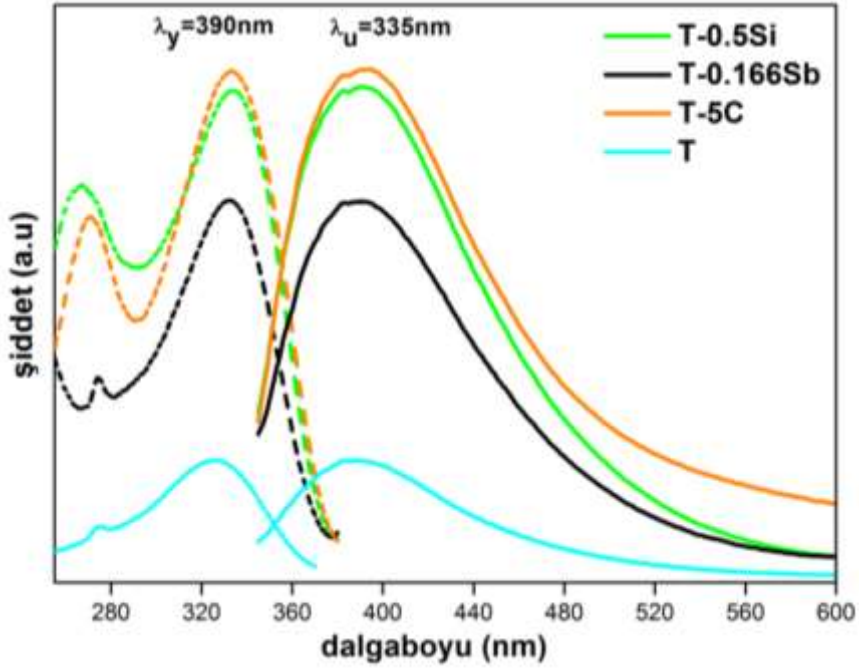
Şekil 4.8. T-xC camlarının uyarma spektrumu ($\lambda_y=390$ nm) ve yayınlanma spektrumu ($\lambda_u=335$ nm).



Şekil 4.9. T-xSb camlarının uyarma spektrumu ($\lambda_y=390$ nm) ve yayınlanma spektrumu ($\lambda_u=335$ nm).

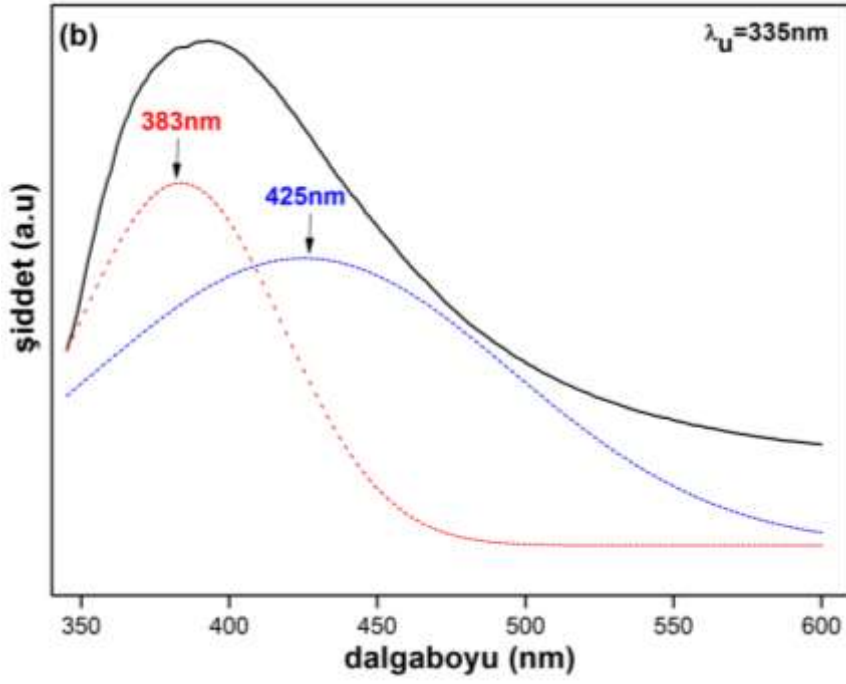


Şekil 4.10. T-xSi camlarının uyarma spektrumu ($\lambda_y=390$ nm) ve yayınlanma spektrumu ($\lambda_u=335$ nm).

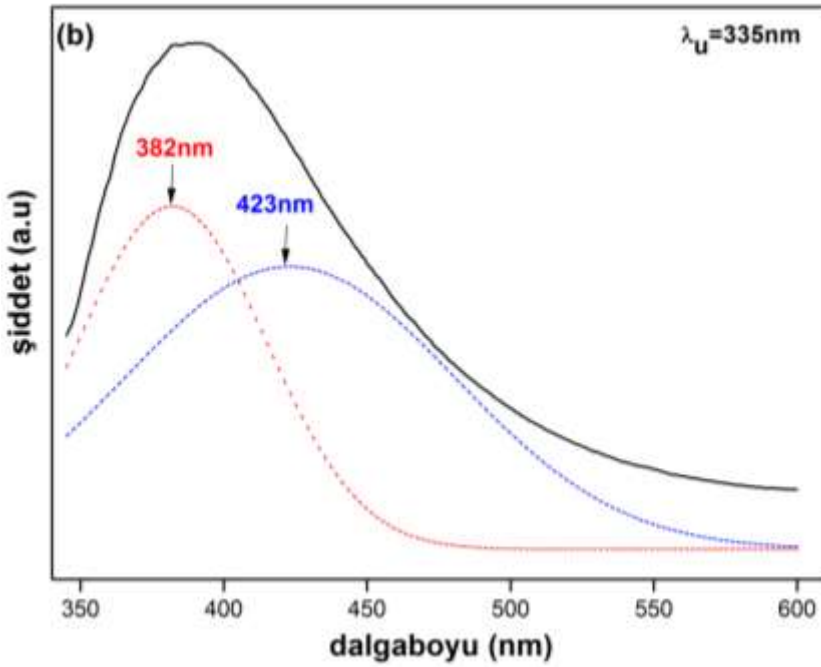


Şekil 4.11. T-5C, T-0.166Sb, T-0.5Si camlarının uyarma spektrumu ($\lambda_y=390$ nm) ve yayınlanma spektrumu ($\lambda_u=335$ nm).

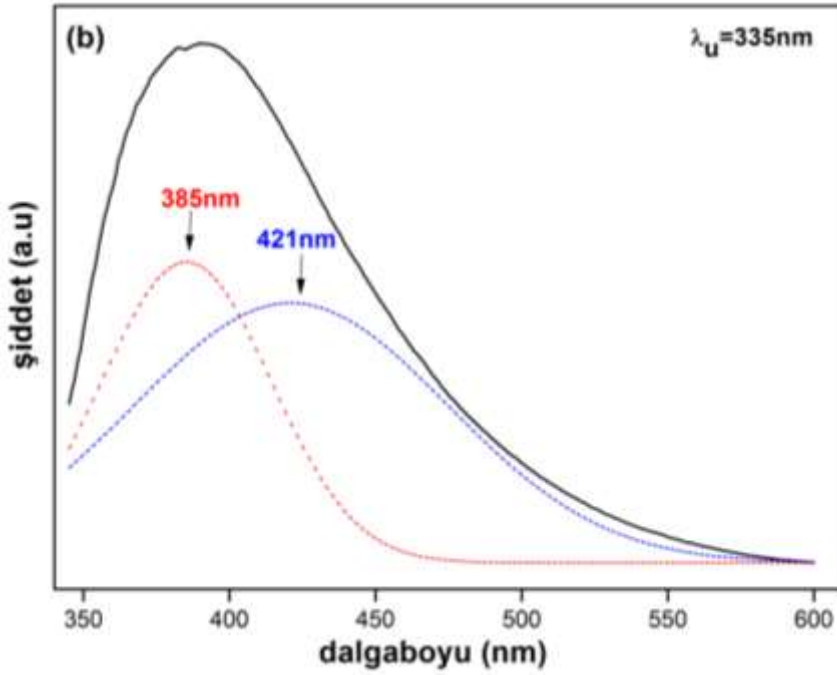
Sentezlenen tüm camlar göz önüne alındığında indirgeyici ajan grupları arasında en iyi optik özelliklere sahip örneklerin T-0.166Sb ve T-0.5Si T-5C olduğu bulunmuştur. Sözü edilen bu camlar arasında ise uyarma ve yayınlanma spektrumunda en şiddetli pik T-5C camına aittir. (Şekil 4.11)



Şekil 4.12. T-5C örneğinin ayrıştırma yöntemi ile elde edilen yayınlanma spektrumu.

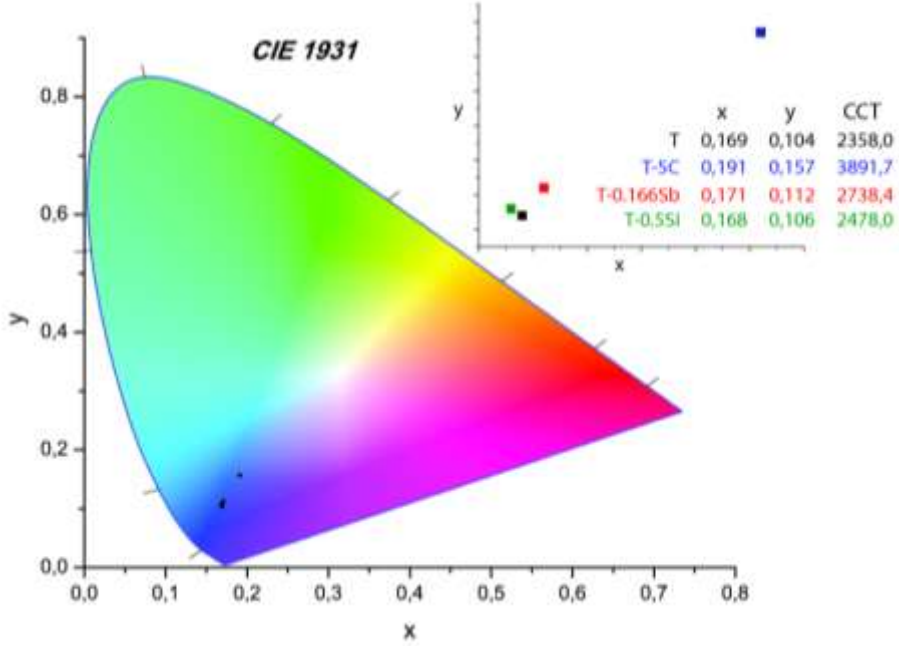


Şekil 4.13. T-0.166Sb örneğinin ayrıştırma yöntemi ile elde edilen yayınlanma spektrumu.



Şekil 4.14. T-0.5Si örneğinin ayrıştırma yöntemi ile elde edilen yayınlanma spektrumu.

Şekil 4.15'te CeO_2 katkılı borogermanat camlarının renk koordinatlarını Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) renk kromatiklik diyagramında göstermektedir. Renk koordinatları ilgili yayınlanma spektrumundan elde edilmiştir ve Tablo 4.4' te verilmiştir. Sb_2O_3 ve Si_3N_4 katkısının renk koordinatlarını önemli ölçüde değiştirmedeği ancak C katkısının bir miktar değişime yol açtığı yayınlanma spektrumuna benzer şekilde kromatiklik diyagramında da görülmektedir.



Şekil 4.15. T-5C, T-0.166Sb, T-0.5Si camlarının CIE renk kromatiklik diyagramı.

Tüm camlar için elde edilen CCT değerleri Tablo 4. 4'te görülmektedir. Elde edilen CCT değerleri sıcak CCT'nin altında (yani CCT<4000 K) yer almaktadır.

Tablo 4.4. Elde edilen camların koordinat ve CCT değerleri.

Camlar	X	Y	CCT
T	0.169	0.104	2357
T-0.125Sb	0.170	0.108	2532
T-0.166Sb	0.171	0.112	2738
T-0.5Sb	0.171	0.114	2870
T-0.125C	0.180	0.122	3188
T-0.5C	0.177	0.118	2968
T-2C	0.174	0.112	2652
T-5C	0.191	0.157	3891
T-0.125Si	0.174	0.113	2714
T-0.166Si	0.169	0.108	2558
T-0.5Si	0.168	0.106	2478

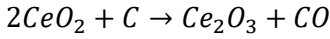
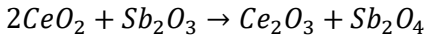
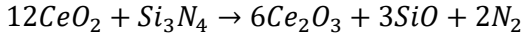
5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında sentezlenen CeO₂ katkılı borogermanat camlarının optik ve lüminesans özelliklerinin araştırılması ve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda;

- farklı konsantrasyonlarda CeO₂ katkılanmış borogermanat camları (B₂O₃-GeO₂-Gd₂O₃:CeO₂) hazırlanmış,
- optimum CeO₂ konsantrasyonuna sahip taban cam kompozisyonu belirlenmiş,
- taban cam kompozisyonuna değişen oranlarda çeşitli indirgeyici ajanlar (Si₃N₄, C, Sb₂O₃) katkılanmış,
- optimum indirgeyici ajan konsantrasyonuna sahip cam kompozisyonu belirlenmiş ve
- elde edilen tüm camların fiziksel, yapısal ve optik özellikleri incelenmiştir.

İlk olarak B₂O₃-GeO₂-Gd₂O₃ üçlü sistemine farklı konsantrasyonlarda (x=0.3, 0.5, 1, 2 % mol) CeO₂ katkılanmıştır. Sentezlenen cam örneklerin fotolüminesans spektrumları ışığında optimum CeO₂ katkı oranı x=0.5 % mol olarak bulunmuş ve bu kompozisyon taban cam olarak belirlenmiştir. İkinci adım olarak taban cama indirgeyici ajanlar katkılanmıştır. Elde cam örneklerin soğurma, geçirgenlik ve fotolüminesans spektrumları alınarak optik ve lüminesans özellikleri incelenmiş olup, amorf yapısı XRD analizleri ile doğrulanmıştır. Sintilasyon uygulamalarında gerekli olan özelliklerden birisi de cam yoğunluğunun yüksek olmasıdır ve genel olarak yüksek (>4 g/cm³) yoğunluklar tercih edilmektedir (Luo vd., 2014). Ce⁺³ katkılı camlar yüksek-enerji fiziği mühendisliği uygulamaları açısından bakıldığında yoğunluğu 5 g/cm³'ü geçen sintilasyon malzemeleri özellikle ilgi çekicidir. Sentezlenen örneklerin yoğunlukları oda sıcaklığında saf su kullanılarak ölçülmüştür. Artan indirgeyici konsantrasyonu ile birlikte yoğunluklarda artış gözlemlenmiştir. Tablo 4.1'de görüldüğü gibi taban camın yoğunluğu 4.774 g/cm³ ve en yüksek yoğunluk T-0.166Sb katkılı cam için 5.177 g/cm³ olarak elde edilmiştir. Camlarda artan indirgeyici katkısı ile birlikte yoğunluklarda artış gözlenmiştir. Sentezlenen camlarda yüksek yoğunluk ağır gadolinyum elementinin yapıya %30'a varan oranlarda katkılanması ile elde edilmiştir. Gadolinyum iyonları ağır bir element olması ve ağ yapısında ara yerdeki boşlukları doldurabilmesi nedeni ile cam yoğunluğunu arttırabilirken (Saddeek vd., 2005; Marzouk vd., 2010) köprülenmemiş oksijenler (NBO) oluşturarak cam ağ yapısını

bozup yoğunluğu azaltabilir. Sonuç olarak elde edilen yoğunluk değerleri, sentezlenen camların çeşitli uygulamalar için uygun olduğunu göstermektedir. Kırılma indisi taban camda 1.70 civarında iken indirgeyici ajan katkılanarak sentezlenen camlarda 1.75 civarındadır. Paketleme yoğunluğunun artması veya molar hacmin azalması yapının daha sıkı hale geldiğini ve ağ yapısında bağlarının şiddetinin arttığını gösterir. Bu durum da camların dayanıklılığının arttığını gösterir. Her bir indirgeyici ajan için katkı oranının artmasıyla molar hacmin azalması cam bağlarının şiddetinin arttığını göstermektedir. Önemli sınıtilyon özelliklerinden biri olan camların geçirgenlik değerleri UV-Vis spektroskopisi ile elde edilmiş olup camlarının geçirgenlikleri %70-82 arasındadır. Taban camın kesme kenarı değeri 419 nm civarında iken indirgeyici ajan katkısı ile birlikte sentezlenen camların kesme kenarı değeri daha düşük dalga boylarına kaymıştır. Bu da yapıdaki Ce^{+4} iyonlarının Ce^{+3} iyonlarına indirgendiğini gösterir. Kullanılan indirgeyici ajanlara göre Ce^{+4} iyonlarının Ce^{+3} iyonlarına indirgenmesinin aşağıdaki kimyasal tepkimeler ile gerçekleştiği öngörülmektedir:



Yeterli indirgenme olmadığında ise indirgeyici katkılanmış camın kesme kenarı değeri değişmemektedir. İnorganik camlarda soğurma spektrumundan elde edilen optik band aralığındaki değişim cam matrisinin kimyasal kompozisyonuna ve yapısal düzenlenmesine bağlıdır. Değişen indirgeyici ajan katkısı ile birlikte optik band aralığı değerlerinin değişmesi cam yapısının farklılaştığını belirtir. Bununla birlikte indirgeyici ajan etkisiyle azalan E_g , cam yapının daha sıkı hale geldiğini gösterir. İndirgeyici etkisi ile cam renginin açılması Ce^{+4} iyonlarının indirgendiğini ve yapıda Ce^{+3} iyonlarının bulunduğunu gösterir (Sun vd., 2015d; Lakshminaraya vd., 2015; Sun vd., 2015e; Zuo vd., 2016a; Zuo vd., 2016b). İndirgeyici ajan katkı oranı değişiminin uyarma, yayınlanma ve geçirgenlik spektrumları üzerine etkisi incelenmiştir. İndirgeyici ajanlar Ce^{+4} iyonunu Ce^{+3} iyonuna indirgeyerek kendi yaydığı ışığı soğurmasını engeller ve PL şiddetini artırır (Sun vd., 2014; Sun vd., 2015e). Uyarma ve yayınlanma spektrumlarında en şiddetli piklerin T-5C camına ait olduğu görülmektedir. Fotolüminesans uyarma spektrumunda seryum iyonunun optik geçişlerine karşılık gelen piklerin

yanı sıra 274 nm'de Gd^{+3} iyonunun $^8S_{7/2} \rightarrow ^6I_{11/2}$ geçişine ait pik gözlenmiştir. Geçirgenlik spektrumundaki kesme kenarı dalgalı boyuna ve yayınlanma spektrumundaki pik pozisyonlarına bakarak T-0.5Si, T-0.166Sb ve T-5C camlarında Ce^{+4} 'ün Ce^{+3} 'e etkin bir şekilde indirgeniği söylenebilir. Elde edilen örneklerin CCT değerlerinin 4000K'den küçük olması bu camların katıhal aydınlatma sistemlerinde kullanılabilir olduğunu gösterir. Katılan indirgeyici ajanlar ile optik ve lüminesans özellikleri gelişmiş $B_2O_3-GeO_2-Gd_2O_3:CeO_2$ camları elde edilmiştir. Elde edilen bu camlar, geniş soğurma bandları, yaklaşık 20-50 ns mertebesindeki karakteristik hızlı bozunma süreleri ve görünür bölgedeki mavi lüminesans yayınlanması ile yeni sintilasyon malzemelerinin geliştirilmesinde Ce^{+3} iyonu katkılı camlar yüksek enerji fizik mühendisliği ve tıbbi görüntüleme umut verici adaylardır.

KAYNAKLAR

- A., Pelletier, E., Purvis, M. K., Quinn, D. M., Strome, D. H., Swenson, R., Temple, P. A. and Thonn, T. F. 1984. Multiple determination of the optical constants of thin-film coating materials. **Applied Optics**, 23(20): 3571-3596.
- Aida, K., Komatsu, T., Dimitrov, V. 2001. Thermal Stability, Electronic Polarisability and Optical Basicity of Ternary Tellurite Glasses. **Physics and Chemistry of Glasses**, 42 (2): 103.
- Anishia, S.R., Jose, M.T., Annalakshmi, O., Ramasamy, V. 2011. Thermoluminescence Properties of Rare Earth Doped Lithium Magnesium Borate Phosphors, **Journal of Luminescence**, 131: 2498.
- Arndt, D. P., Azzam, R. M. A., Bennett, J. M., Borgogno, J. P., Carniglia, C. K., Case, W. E., Dobrowolski, J. A., Gibson, U. J., Hart, T. T., Ho, F. C., Hodgkin, V. A., Klapp, W. P., Macleod, H.
- Baccaro, S., Cemmi, A., Sarcina, I.D. ve Menchini, F. 2015. Gamma Rays Effects on the Optical Properties of Cerium-Doped Glasses. **International Journal of Applied Glass Science**, 6(3): 295–301.
- Bagayev, S.N., Dashkevich, V.I., Orlovich, V.A., Vatnik, S.M., Pavlyuk, A.A., Yurkin, A.M. 2011. 25%Eu: KGd(WO₄)₂ Laser Crystal: Spectroscopy and Lasing on the ⁵D₀-⁷F₄ Transition. *Quantum Electronics*, 41 (3):189-192.
- Basavapoornima, C., Jayasankar, C.K. 2014. Spectroscopic and photoluminescence properties of Sm⁺³ ions in Pb–K–Al–Na phosphate glasses for efficient visible lasers. **Journal of Luminescence**, 153: 233–241.
- Bei, J., Qian, G., Liang, X., Yuan, S., Yang, Y., Chen, G. 2007. Optical properties of Ce⁺³ doped oxide glasses and correlations with optical basicity. **Materials Research Bulletin**, 42: 1195–1200.
- Caldino, U., Lira, A., Meza-Rocha, A.N., Camarillo, I. ve Lozada-Morales R. 2018. Development of sodium-zinc phosphate glasses doped with Dy⁺³, Eu⁺³ and Dy⁺³/Eu⁺³ for yellow laser medium, reddish-orange and white phosphor applications. **Journal of Luminescence**, 194: 231–239.

- Caldino, U., Munoz, G.H., Camarillo, I., Speghini, A., Bettinelli, M. 2015. Downshifting by energy transfer in Tb^{+3} - Dy^{+3} co-doped zinc phosphate glasses. **Journal of Luminescence**, 161: 142–146.
- Chandar, N. K., Jayavel, R. 2014. Synthesis and Characterization of C(14)TAB Passivated Cerium Oxide Nanoparticles Prepared by Co-Precipitation Route. *Physica E-Low-Dimensional Systems & Nanostructures*, 58: 48-51.
- Chen, G., Baccaro, S., Giorgi, R., Cecilia, A., Mihokova, E., ve Nikl, M. 2003. Ultraviolet transparency and activator oxidation state of Ce^{+3} doped phosphate glasses. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 326-327: 339–342.
- Chewpraditkul, W., He, X. Chen, D., Shen, Y., Sheng, Q., Yu, B., Nikl, M., Kucerkova, R., Beitlerova, A., Wanarak, C., Phunpueok, A. 2011. Luminescence and Scintillation of Ce^{+3} Doped Oxide Glass with High Gd_2O_3 Concentration. **Physical Status Solid A**, 208: 1–3.
- Chewpraditkul, W., Shen, Y., Chen, D., Yu, B., Prusa, P., Nikl, M., Beitlerova, A. ve Wanarak, C. 2012. Luminescence and scintillation of Ce^{+3} doped high silica glass. **Optical Materials**, 34: 1762–1766.
- Cui, C., Jiang, G., Huang, P., Wang, L., Liu, D. 2014. Effect of Eu^{+3} Concentration on The Luminescence Properties of $Y_2O_2S:Eu^{+3}$, Mg^{+2} , Ti^{+4} Nanotubes. **Ceramics International**, 40 (3): 4725-4730.
- Dai, W., Marcacci, H., Lynch, B., Menkara, H., Wagner, B., Wang, Z. C., Diawara, Y. ve Engels, R. 2012. Rare-Earth Activated Glass and Glass-Ceramic for Neutron Detection. **Mrs Proc.**, 1471: 1–6.
- DasMohapatra G.K. 1998. A spectroscopic study of cerium in lithium–aluminum–borate glass. **Materials Letters**, 35: 120–125.
- De Sousa Filho, P.C., Lima, J.F. ve Serra, O.A. 2015. From Lighting to Photoprotection: Fundamentals and Applications of Rare Earth Materials. **J. Braz. Chem. Soc.**, 26 (12): 2471-2495.

- Ehrt, D. 2000. Structure, Properties and Applications of Borate Glasses. **Glass Technology**, 41: 182.
- El-Adawy, A., Khaled, N.E., El-Sersy, A.R., Hussein, A., Donya, H. 2010. TL Dosimetric Properties of $\text{Li}_2\text{O-B}_2\text{O}_3$ Glasses for Gamma Dosimetry. **Applied Radiation and Isotopes**, 68: 1132-1136.
- Erdem, T., Nizamoglu, S., Sun, X.W. ve Demir, H.V. 2010. A photometric investigation of ultra-efficient LEDs with high color rendering index and high luminous efficacy employing nanocrystal quantum dot luminophores. **Optical Society of America**, 18: 1-340.
- Gökçe, M., Şentürk, U., K. Uslu, D., Burgaz, G., Şahin, Y., Gökçe, A.G. 2017. Investigation of europium concentration dependence on the luminescent properties of borogermanate glasses. *Journal of Luminescence*, 192:263–268.
- Gun, F., 1995. **Laser Materials**,13-16, Singapore.
- He, W., Zhang, Y., Wang, J., Wang, S., Xia, H. 2011. Luminescence Properties of Terbium Doped Oxyfluoride Tellurite Glasses. **Acta Physica Sinica**, 60: 042901.
- Henderson G.S. ve Wang, H.M. 2002. Germanium Coordination and The Germanate Anomaly. **European Journal of Mineralogy**, 14 (4): 733–744.
- Herrmann, A., Othman, H. A., Assadi, A. A., Tiegel, M., Kuhn, S. ve Rüssel, C. 2015. Spectroscopic Properties of Cerium-Doped Aluminosilicate Glasses. **Optical Materials Express**, 5(4): 720-732.
- Huang, R., Lin, ZW., Lin, Z., Song, C., Wang, X.G, Guo, Y., Song, J. 2014. Suppression of Hole Overflow and Enhancement of Light Emission Efficiency in Si Quantum Dots Based Silicon Nitride Light Emitting Diodes. **IEEE Journal Of Selected Topics in Quantum Electronics**, 20 (4): 8200306.

- Jayasankar, C. K. ve Babu, P. 2000. Optical Properties of Sm^{+3} Ions in Lithium Borate and Lithium Fluoroborate Glasses. **Journal of Alloys and Compounds**, 307, 82.
- Jiaa, D., Zhu, J., Wub, B., S. E. 2001. Luminescence and energy transfer in $\text{CaAl}_4\text{O}_7:\text{Tb}^{+3}, \text{Ce}^{+3}$. **Journal of Luminescence**, 93: 107–114.
- Ju, J.J., Kwon, T.Y., Kim, S.I., Kim, J.H., Cha, M., Yun, S.I. 1996. Spectroscopic properties of Ce^{+3} ions in a barium-sodium borate glass. **Materials Letters**, 28: 149-153
- Kashif, I., Abd El-Maboud, A., Ratep, A. 2014. Effect of Nd_2O_3 Addition on Structure and Characterization of Lead Bismuth Borate Glass. **Results in Physics**, 4: 1-5.
- Kaur, P., Kaur, S., Singh, G.P., Arora, D., Kumar, S., Singh D.P. 2016. Excitation induced spectroscopic study and quenching effect in cerium samarium codoped lithium aluminoborate glasses. **Physica B**, 495: 11–15.
- Kesavulu, C.R., Kim, H.J., Lee, S.W., Kaewkhao, J., Kaewnuam, E., Wantana, N. 2017. Luminescence Properties and Energy Transfer from Gd^{+3} to Tb^{+3} Ions in Gadolinium Calcium Silicoborate Glasses for Green Laser Application. **Journal of Alloys and Compounds**, 704: 557-564.
- Khranovskyy, V., Eriksson, M. O., Radnoczi, G. Z., Khalid, A., Zhang, H., Holtz, P. O., Hultman, L., Yakimova, R. 2014. Photoluminescence Study of Basal Plane Stacking Faults in ZnO Nanowires. **Physica B Condensed Matter**, 439: 50-53.
- Kindrat, I.I., Padlyak, B.V., Mahlik, S., Kuklinski, B., Kulyk, Y.O. 2016. Spectroscopic properties of the Ce-doped borate glasses. **Optical Materials**, 59: 20-27.
- Konidakis, I., Androulidaki, M., Zito, G., Pissadakis, S. 2014. Growth of ZnO Nanolayers Inside The Capillaries of Photonic Crystal Fibres. **Thin Solid Films**, 555: 76-80.

- Kumar, J.S., Babu, A.M., Sasikala, T., Moorthy, L.R. 2010. NIR fluorescence and visible upconversion studies of Nd^{+3} ions in calcium fluoroborate glasses. **Chemical Physics Letters**, 484: 207–213.
- Lakshminarayana, G., Kaky, K.M., Baki, S.O., Lira, A., Nayar, P., Kityk, I.V., Mahdi, M.A. 2017. Physical, structural, thermal, and optical spectroscopy studies of $\text{TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3\text{-ZnO-R}_2\text{O}$ ($\text{R}=\text{Li, Na, and K}$)/ MO ($\text{M}=\text{Mg, Ca, and Pb}$) glasses. **Journal of Alloys and Compounds**, 690: 799-816.
- Lakshminarayana, G., Qiu, J., Brik, M.G., Kumar, G.A., Kityk, I.V. 2008. Spectral Analysis of RE^{+3} ($\text{RE} = \text{Er, Nd, Pr and Ho}$): $\text{GeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-ZnO-LiF}$ glasses. **Journal of Physics: Condensed Matter**, 20: 375104.
- Lakshminarayana, G., Weis, E.M., Bennett, B.L., Labouriau, A., Williams, D.J., Duque, J.G., Bahae, M.S., Hehlen, M.P. 2015. Structural, thermal, and luminescence properties of cerium-fluoride-rich oxyfluoride glasses. **Optical Materials**, 35: 117–125.
- Lin, H., Yang, D., Liu, G., Ma, T., Zhai, B., An, Q., Yu, J., Wang, X., Liu, X., Pun, E.Y.B. 2005. Optical absorption and photoluminescence in Sm^{+3} and Eu^{+3} doped rare-earth borate glasses. **Journal of Luminescence**, 113: 121–128.
- Liu, L., Shao, C., Zhang, Y., Liao, Z., Yang, Q., Hu, L. ve Chen, D. 2016. Scintillation Properties and X-ray Irradiation Hardness of Ce^{+3} -doped Gd_2O_3 Based Scintillation Glass. **Journal of Luminescence**, 176: 1–5.
- Lockwood, D. J., Tsybeskov, L. 2014. Fast Light-Emitting Silicon-Germanium Nanostructures. **IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics**, 20 (4): 8200807.
- Luo, H., Hu,X., Liu, W. Zhang, Y., Lu A. ve Hao, X. 2014. Compositional Dependence of Properties of $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ Glasses with High Gd_2O_3 Concentration. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 389: 86–92.
- Mandarino, J.A. 1976. The Gladstone-Dale Relationship PartI: Derivation of New Constants. **Canadtan Mineralogist**, 14; 498-502.

- Manohara, B.M., Nagabhushana, H., Sunitha, D.V., Thyagarajan, Prasad, K., Daruka, B., Sharma, S.C., Nagabhushana, B.M., Chakradhar, R.P.S. 2014. Synthesis and Luminescent Properties of Tb⁺³ Activated Cadmium Silicate Nanophosphor. **Journal of Alloys and Compounds**, 592: 319-327.
- Mariselvam, K. ve Kumar, R.A. 2016. Borate Glasses for Luminescence Applications-Potential Materials for White LEDs and Laser Sources. **Universal Journal of Chemistry**, 4(2): 55-64.
- Marzouk, S.Y. 2010. The Acoustic Properties of Borosilicate Glass Affected by Oxide of Rare Earth Gadolinium. **Physica B.**, 405: 3395.
- Mccloy, J. S. 2011. Methods for Prediction of Refractive Index in Glasses for the Infrared. **Proc. Of SPIE**, 8016; 1-16.
- Morsi, R.M.M., Basha, M. A.F., Morsi, M.M. 2016. Synthesis and physical characterization of amorphous silicates in the system SiO₂-Na₂O- RO (R = Zn, Pb or Cd). **Journal of Non-Crystalline Solids**, 439: 57-66.
- Murata, T., Sato, M., Yoshida, H. ve Morinaga, K. 2005. Compositional Dependence of Ultraviolet Fluorescence Intensity of Ce⁺³ in Silicate, Borate, and Phosphate Glasses. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 351: 312-316.
- Nagarkar, V. V., Gaysinskiy, V., Bell, Z., Bliss, M., Miller, S. ve Riley, K. J. 2009. A Neutron Imaging Detector from Bundled Lithium Silicate Glass Fibers. **IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record**, N20-4.
- Nam, D., Sukhdeo, D.S., Gupta, S., Kang, J.H., Brongersma, M.L., Saraswat, K.C. 2014. Study of Carrier Statistics in Uniaxially Strained Ge For A Low-Threshold Ge Laser. **IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics**, 20 (4): 1500107.
- Nikl, M., Nitsch, K., Mihokova, E., Solovieva, N., Mares, J.A., Pazzi, G.P., Fabeni, P., Pazzi, G. P. ve Baccaro, S. 2000. Efficient Radioluminescence of The Ce⁺³ Doped Na-Gd Phosphate Glasses. **Applied Physics Letters**, 77: 2159-2161.

- Padlyak, B.V., Adamiv, V.T. Burak, Y.V., Kolcun, M. 2013. Optical Harmonic Transformation in Borate Glasses with $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, LiKB_4O_7 , CaB_4O_7 , and LiCaBO_3 Compositions. **Physica B: Condensed Mater**, 412: 79-82.
- Pawar, P.P., Munishwar, S.R., Gedam, R.S. 2017. Intense White Light Luminescent Dy^{+3} Doped Lithium Borate Glasses for W-LED: A Correlation between Physical, Thermal, Structural and Optical Properties. **Solid State Sciences**, 64: 41-50.
- Plaisant, M., Ntwaeaborwa, O.M., Swart, H.C., Holloway, P.H. 2014. Nanostructure of CdXZn1-XSe Heterogeneous Nanorods. **Physica B-Condensed Matter**, 439: 72-76.
- Rajesh, D., Ratnakaram, Y.C., Seshadri, M., Balakrishna, A., Satya Krishna, T. 2012. Structural and Luminescence Properties of Dy^{+3} Ion in Strontium Lithium Bismuth Borate Glasses. **Journal of Luminescence**, 132: 841–849.
- Rao, H.V., Prasad, S. P., Babu, M.M., Rao, P .V., Satyanarayana, T., Santos, L. F. ve Veeraiah, N. 2018. Spectroscopic studies of Dy^{+3} ion doped tellurite glasses for solid state lasers and white LEDs. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, 188: 516–524.
- Reddy, C.M., Prasad Raju, B.D., Sushma, N.J., Dhoble, N.S. Ve Dhoble, S.J. 2015. A Review On Optical and Photoluminescence Studies of RE^{+3} ($\text{RE}=\text{Sm}$, Dy , Eu , Tb and Nd) Ions Doped LCZSFB Glasses. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 51: 566–584.
- Rejisha, S.R., Anjana, P.S., Gopakumar, N. 2016. Effect of Cerium (IV) Oxide on the Optical and Dielectric Properties of Strontium Bismuth Borate Glasses. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, 27: 5475–5482.
- Ren, G., Qin, L., Lu, S. ve Li, H. 2004. Scintillation Characteristics of Lutetium Oxyorthosilicate ($\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$) Crystals Doped with Cerium Ions. **Nucl. Instr. Meth. A**, 531: 560–565.

- Righini, G.C. ve Ferrari, M. 2005. Photoluminescence of Rare-Earth–Doped Glasses. **Societ A Italiana Di Fisica**, 28 (12): 1-53.
- Rodova, M., Cihlar, A., Knizek, K., Nitsch, K., Solovieva N. 2004. Preparation and properties of Ce doped Na–Gd phosphate glasses. **Radiation Measurements**, 38: 489 – 492.
- Rousset, J.L., Ferrari, M., Duval, E. ve Boukenter, A. 1989. First Stages of the Crystallization in Fluorozirconate Glasses. **Journal Of Non-Crystalline Solids**, 111 (2-3): 238.
- Saddeek, Y.B. 2005. Elastic Properties of Gd⁺³ Doped Tellurovanadate Glasses Using Pulse-Echo Technique. **Materials Chemistry and Physics**, 9: 146-153.
- Sasikumar, M.V., Rajesh, D., Balakrishna, A., Ratnakaram, Y.C. 2013. Optical Absorption and Photoluminescence Properties of Dy⁺³ Doped Heavy Metal Borate Glasses Effect of Modifier Oxides. **Journal of Molecular Structure**, 1041: 100–105.
- Shaker, A., Dasgupta, A., Babsu, B. ve Paul, A. 1983. Optical Basicity and Polarizability of Nd⁺³ Doped Bismuth Borate Glasses. **Journal of Materials Science Letters**, 4; 697.
- Shen, L.F., Chen, B.J., Pun, E.Y.B., Lin, H. 2015. Sm⁺³ Doped Alkaline Earth Borate Glasses as UV-Visible Photon Conversion Layer for Solar Cells. **Journal of Luminescence**, 160: 138–144.
- Shigihalli, N.B., Rajaramakrishna, R. and Anavekar R.V. 2011. Optical Properties of Eu⁺³ Doped Lead Borate Tellurite and Zinc Borate Tellurite Glasses. **AIP Conference Proceedings**, 1349: 47.
- Singh, V., Sivaramaiah, G., Rao, J.L., Kim, S.H. 2013. Luminescence and Electron Paramagnetic Resonance Investigation on Ultraviolet Emitting Gd Doped MgAl₂O₄ Phosphors. **Journal of Luminescence**, 143: 162–168.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., Nieman, T. A. 1998. Principles of Instrumental Analysis, **Ed. Harbor Drive**, Part IV. Orlando, Florida.

- Sole, G.J., Bausa, L.E. ve Jaque, D. 2005. Applications: Rare Earth and Transition Metal Ions, and Color Centers. An Introduction to the Optical Spectroscopy of Inorganic Solids. Universidad Autonoma de Madrid, Madrid, Spain. 0-470-86885-6:310.
- Smythe, D.J., Brenan, J.M., Bennett, N.R., Regier, T. ve Henderson, G.S. 2013. Quantitative Determination of Cerium Oxidation States in Alkali-Aluminosilicate Glasses Using $M_{4,5}$ -edge XANES. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 378: 258–264.
- Sontakke, A. D., Ueda, J. ve Tanabe S. 2015. Effect of Synthesis Conditions on Ce^{+3} Luminescence in Borate Glasses. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 431: 150–153.
- Starobor, A.V., Zheleznov, D.S., Palashov, O.V., Savinkov, V.I., Sigae, V.N. 2016. Borogermanate Glasses for Faraday Isolators at High Average Power. **Optics Communications**, 358: 176–179.
- Sun, X.Y., Jiang, D.G., Chen, S.W., Zheng, G.T., Huang, S. M., Gu, M., Zhang, Z.J. Ve Zhao, J. T. 2013. Eu^{+3} Activated Borogermanate Scintillating Glass With A High Gd_2O_3 Content. **Journal of the American Ceramic Society**, 96 (5): 1483–1489.
- Sun, X.Y., Ye, Z.P., Wu, Y.T., Gao, P., Mao, R.H., Zhang, Z.J. ve Zhao, J.T. 2014. A Simple and Highly Efficient Method for Synthesis of Ce^{+3} Activated Borogermanate Scintillating Glasses In Air. **Journal of American Ceramic Society**, 97 (11): 3388–3391.
- Sun, X.Y., Yuan, Y., Xiao, Z.H., Yu, X.G., Wang, W.F., Jiang, D.G., Zheng, G.T. ve Kang, Z. 2015a. Optical Investigation of Ce^{+3} Activated Borogermanate Glass Induced by Substitution of BaF_2 for BaO . **Journal of American Ceramic Society**, 1-4.
- Sun, X.Y., Yang, Q.M., Gao, P. Wu, H.S. Xie, P. 2015b. Luminescence, Energy Transfer Properties of Tb^{+3}/Gd^{+3} Coactivated Oxyfluoride Borogermanate Scintillating Glasses. **Journal of Luminescence**, 165: 40–45.

- Sun, X.Y., Lin, L.W., Wu, Y.T., Gao, P. ve Xiao, Z.H. 2015c. Enhanced Ce^{+3} emission in B_2O_3 - GeO_2 - Gd_2O_3 scintillating glasses induced by melting temperature. **Optical Materials Express**, 5 (4): 920- 925.
- Sun, X.Y., Gao, P., Zheng, Y.Q., Zhang, M., Wu, H.S., Yuan, Y. 2015d. Enhanced emission intensity of Ce^{+3} ions in Li_2O - B_2O_3 - Gd_2O_3 scintillating glasses by adding carbon and Si_3N_4 agent. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 422: 12–15.
- Sun, X.Y., Ye, Z.P., Wu, Y.T., Xiao, Z.H., Gao, P., Mao, R.H., Zhang, Z.J ve Zhao, J.T. 2015e. Role of minor quantity of Si_3N_4 addition on the optical properties of Ce^{+3} activated borogermanate scintillating glass. **Optical Materials Express**, 5 (6): 1381-1388.
- Sun, X.Y., Ye, Z.P., Zhang, Z.J., Liu, L.W., Chen, D.P. ve Zhao, J.T. 2015f. Energy Transfer Study on Dense Eu^{+3}/Tb^{+3} Coactivated Oxyfluoride Borogermanate Scintillating Glasses. **Journal of American Ceramic Society**, 98 (3): 781–787.
- Sun, X.Y. Xiao, Z.H. Wuc, Y.T. Kang, Z. 2017. Fast Ce^{+3} Activated Borosilicate Glass Scintillators Prepared in Air Atmosphere. **Ceramics International**, 43: 3401–3404.
- Takahashi, H., Yonezawa, S., Kawai, M. ve Takashima, M. 2008. Preparation and Optical Properties of CeF_3 Containing Oxide Fluoride Glasses. **Journal of Fluorine Chemistry**, 129: 1114–1118.
- Tauc, J. 1974. Amorphous and Liquid Semiconductors. Plenum:London, 175.
- Torimoto, A., Masai, H., Okada, G. ve Yanagida, T. 2017. Emission properties of cerium-doped barium borate glasses for scintillator applications. **Radiation Measurements**, 106: 46-51.
- Tsunekawa, S., Wang, J.T., Kawazoe, Y. 2006. Lattice constants and electron gap energies of nano and subnano sized cerium oxides from the experiments and first principles calculations. **Journal of Alloys and Compounds**, 408–412: 1145–1148.

- Un, A. 2013. Investigation of Dopant Effect on Some TL Dosimeters Containing Boron. **Radiation Physics and Chemistry**, 85: 23-35.
- Vedda, A., Chiodini, N., Martino, D. Di, Fasoli, M., Morazzoni, F., Moretti, F., Scotti, R., Spinolo, G., Baraldi, A., Capelletti, R., Mazzer, M. And Nikl, M. 2006. Insights into Microstructural Features Governing Ce^{3+} Luminescence Efficiency In Sol-Gel Silica Glasses. *Chemical Materials*, 18:6178–85.
- Venkatramu, V., Babu, P., Jayasankar, C.K., Troester, T., Sievers, W., Wortmann, G. 2007. Optical Spectroscopy of Sm^{3+} Ions in Phosphate and Fluorophosphate Glasses. *Optical Materials*., 29:1429.
- Wang, J.S., Hon, K. M., Yang, K. H., Wang, M. C. ve Hon, M. H. 1997. Mixed Alkali Effect on Calcium Aluminogermanate Glasses. **Ceramics International**, 23 (2): 153–157.
- Wang, L., Sun, Y., Yang, X. 2014b. Fabrication and Characterization of $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ Nanoparticles in Chitosan Alginate Nanocomposite Films. **Ceramics International**, 40 (3): 4869-4873.
- Wang, X., Huang, L., Zhao, S., Xu, S. 2018. Eu^{+3} doped heavy germanate scintillating glasses. **Journal of Luminescence**, 196: 256–258.
- Wang, X., Liu, B., Yang, Y. 2014a. Luminescence Properties of $\text{PbWO}_4:\text{Eu}^{+3}$ Nanocrystals Synthesized by a Hydrothermal Method. **Optics and Laser Technology**, 58: 84-88.
- Wang, Y., Ohwaki, J. 1993. New Transparent Vitroceramics Codoped with Er^{+3} and Yb^{+3} For Efficient Frequency Upconversion. **Applied Physics Letters**, 63: 3268.
- Wang, Z. ve Cheng, L. 2014c. Effects of doping $\text{CeO}_2/\text{TiO}_2$ on structure and properties of silicate glass. **Journal of Alloys and Compounds**, 597: 167–174.
- Webber, M.J. 2002. Inorganic Scintillators: Today and Tomorrow. **Journal of Luminescence**, 100: 35–45.

- Xue, L.P., Zhang, T., Li, Z.H. 2014. Synthesis, Characterization, and Photoluminescent of a New Cadmium(II) Coordination Polymer With 4-Connected 1rl Topology. **Synthesis and Reactivity In Inorganic Metal-Organic and Nano-Metal Chemistry**, 44 (4): 503-506.
- Yanagida, T. 2013. Study of Rare-Earth-Doped Scintillators. **Optical Materials**, 35: 1987–1992.
- Yiannopoulos, Y.D., Varsamis, C.P.E. ve Kamitsos, E.I. 2001. Density of Alkali Germanate Glasses Related to Structure. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 293-295: 244–249.
- Yousif, A., Swart, H.C., Ntwaeaborwa, O.M. 2014. Effect of Different Annealing Temperatures on The Optical Properties of Y-3(Al,Ga)(5)O-12:Tb Thin Films Grown By PLD. **Physica B-Condensed Matter**, 439: 77-82.
- Zhang, S., Wu, G., Duan, C. ve Wang, J. 2011. Novel Phosphors of Eu^{+3} , Tb^{+3} or Tm^{+3} Activated LaBGeO_5 . **Journal of Rare Earths**, 29(8): 737.
- Zhang, Y., Lv, J. Ding, N., Jiang, S. Zheng, T. ve Li, Jiayu. 2015. Tunable Luminescence and Energy Transfer from Gd^{+3} to Tb^{+3} ions in Silicate Oxyfluoride Scintillating Glasses Via Varying Tb^{+3} Concentration. **Journal Of Non-Crystalline Solids**, 423–424: 30–34.
- Zhong-Zhang, J. 2009. Optical Properties and Spectroscopy of Nanomaterials. **Singapur: World Scientific**.
- Zhu, L., Lu, A., Zuo, C. ve Shen, W. 2011. Photoluminescence and energy transfer of Ce^{+3} and Tb^{+3} doped oxyfluoride aluminosilicate glasses. **Journal of Alloys and Compounds**, 509: 7789– 7793.
- Zuo, C., Xiao, A., Zhou, Z., Chen, Y., Zhang, X., Ding, X., Wang, X., Ge, Q. 2016a. Spectroscopic properties of Ce^{+3} doped $\text{BaO-Gd}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ glasses. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 452: 35–39.
- Zuo, C., Zhou, Z., Zhu, L., Xiao, A., Chen, Y., Zhang, X., Ding, X., Ge, Q. 2016b. Spectroscopic properties of Ce^{+3} doped borosilicate glasses under UV excitation. **Materials Research Bulletin**, 83: 155–159.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Gözde BURGAZ
 Doğum Yeri Ve Tarihi: 08.07.1990-
 Balya/BALIKESİR

EĞİTİM DURUMU

Adnan Menderes Üniversitesi (Fizik, Yüksek Lisans) 2018
 Gazi Üniversitesi (Pedagojik Formasyon Eğitimi) 2015
 Adnan Menderes Üniversitesi (Fizik, Lisans) 2014
 Balıkesir Adnan Menderes Anadolu Lisesi 2007

Yabancı Diller: İngilizce

İŞ DENEYİMİ

Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü –
 Kısmi Zamanlı Öğrenci 2016 - 2018
 Ankara Hedef Dershaneleri- Fizik Öğretmeni 2014 – 2015
 Yenimahalle Şehit Mehmet Şengül Mesleki ve Teknik
 Anadolu Lisesi – Stajer Öğretmen 2014 – 2015
 Aydın Tek Hedef Etüt Merkezi – Fen Bilgisi Öğretmeni 2013 – 2014
 Aydın Uğur Dershaneleri – Fizik Öğretmeni 2012 – 2013
 Türkiye Eğitim Gönüllüleri Vakfı – Eğitimci 2010 – 2011

SERTİFİKA ve EĞİTİMLER

Adnan Menderes Üniversitesi Proje Yazma-Geliştirme Eğitimi	2017
İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi	2016
IV. Genç Fizikçiler Kongresi	2016
Horiba Jobin Yvon Spektrofluorometre Cihaz ve Kullanım Eğitimi	2015
PerkinElmer UV-VIS Spektrofotometre Cihaz ve Kullanım Eğitimi	2015
Türkiye Eğitim Gönülleri Vakfı (Töyme Eğitimi-İletişim Eğitimi-Vakıf Tanıtım Eğitimi)	2009
M.E.B Bilgisayar İşletmenliği Kursu	2007

BİLGİSAYAR

Microsoft Ofis Programları (Excel, Word, PowerPoint)

Grafik programları (SigmaPlot, Origin)

Programlama (Q-Basic, Fortran90, C++)

BİLİMSEL FAALİYETLER

A) ULUSLARARASI SÖZLÜ BİLDİRİLER

1. Melis GÖKÇE, Deniz KOÇYİĞİT USLU, Gözde BURGAZ, Aytaç Gürhan GÖKÇE, “Samarium doped $B_2O_3-GeO_2-Gd_2O_3$ glasses; structural, optical and photoluminescence characteristic”, 2017 ICG Annual Meeting & 32nd Şişecam Glass Symposium, 22-25 Ekim 2017.
2. Melis GÖKÇE, Ufuk ŞENTÜRK, Gözde BURGAZ, Deniz KOÇYİĞİT USLU, Yüksel ŞAHİN, Aytaç Gürhan GÖKÇE, “Luminescent properties of Cerium doped borogermanate glasses”, Türk Fizik Derneği 33. Uluslararası Fizik Kongresi, 6-10 Eylül 2017.

3. Melis GÖKÇE, Ufuk ŞENTÜRK, Deniz KOÇYİĞİT USLU, Gözde BURGAZ, Yüksel ŞAHİN, Aytaç Gürhan GÖKÇE, “Luminescent properties of Tb³⁺ doped borogermanate glasses”, Türk Fizik Derneği 33. Uluslararası Fizik Kongresi, 6-10 Eylül 2017.
4. Melis GÖKÇE, Ufuk ŞENTÜRK, Gözde BURGAZ, Deniz KOÇYİĞİT USLU, , Yüksel ŞAHİN, Aytaç Gürhan GÖKÇE, “Investigation of photoluminescence behaviour of Nd³⁺ doped borogermanate scintillating glasses”, Türk Fizik Derneği 32. Uluslararası Fizik Kongresi, 5-9 Eylül 2016.
5. Melis GÖKÇE, Ufuk ŞENTÜRK, Deniz KOÇYİĞİT USLU, Gözde BURGAZ, Yüksel ŞAHİN, Aytaç Gürhan GÖKÇE, “Europium doped borogermanate glasses”, Türk Fizik Derneği 32. Uluslararası Fizik Kongresi, 5-9 Eylül 2016.

B) ULUSAL SÖZLÜ BİLDİRLER

1. Melis GÖKÇE, Gözde BURGAZ, “Seryumoksit katkılı camlar”, Adım Fizik Günleri 6, 19-21 Temmuz 2017.

C) YAYINLAR

1. Melis GÖKÇE, Ufuk ŞENTÜRK, Deniz K.USLU, Gözde BURGAZ, Yüksel ŞAHİN, Aytaç Gürhan GÖKÇE , “Investigation of europium concentration dependence on the luminescent properties of borogermanate glasses” Journal of Luminescence 192(2017)263-268.

D) PROJELER

1. “144M477-Nadir Toprak İyonu Katkılı Bizmutgermanat ve Borogermanat Camlarının Sentezi ve Sintilasyon Özelliklerinin Araştırılması” TÜBİTAK, 3501-Ulusal Genç Araştırmacı Kariyer Geliştirme Programı, 2014-2017.
2. “FEF-17003, Ce Katkılı Borogermanat Camlarının Spektroskopik Karakterizasyonu” ADÜ BAP Tez Projesi, 2017-2018

İLETİŞİM

E-mail : gozde_burgaz@hotmail.com

Tarih: 30/04/2018