

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NADİR TOPRAK İYONLARI İLE KATKILANDIRILMIŞ ÇİNKO OKSİT
TELLÜRİT (TeO₂-ZnO) CAMLARDA BEYAZ IŞIK ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayfer KAYA

**Fizik Mühendisliği Anabilimdalı
Fizik Mühendisliği Programı**

OCAK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NADİR TOPRAK İYONLARI İLE KATKILANDIRILMIŞ ÇİNKO OKSİT
TELLÜRİT (TeO₂-ZnO) CAMLARDA BEYAZ IŞIK ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ayfer KAYA
(509121101)**

**Fizik Mühendisliği Anabilimdalı
Fizik Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gönül ERYÜREK

OCAK 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 509121101 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ayfer KAYA ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “NADİR TOPRAK İYONLARI İLE KATKILANDIRILMIŞ ÇİNKO OKSİT TELLÜRİT (TeO₂-ZnO) CAMLARDA BEYAZ IŞIK ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Gönül ERYÜREK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ali GELİR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Murat ERDEM
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : **27 Kasım 2015**
Savunma Tarihi : **11 Ocak 2016**

Çocuklara,

ÖNSÖZ

Bilgi birikimini, gülümseyişini esirgmeden paylaşan, çalışma disiplini ile bana örnek olan, tez danışmanım sevgili Gönül Özen Eryürek hocama; çabama destek olmak için, imkansızlıklarına karşın özellikle manevi-maddi destek olan sevgili babam rahmetli Vahap Kaya'ya; babama ve yavrularına ömrünce eşlik eden emektar annem Elif Akkuş Kaya'ya; anneme-babama emeği geçen tüm akraba ve komşularımıza; rahmetli babacığının rahatsızlığı süresince, bilgi birikimi ve moral destekleri ile katkıda bulunan sayın Alper Kaya ve eşi Elçin Kaya'ya, eczacı dostlarımıza, babamı kollarında defalarca özenle taşıyan Kadir Çiçek'e, Muhammed'e; çalışmamızda referanslarım olan tüm emektar bilim camiasına; moral ve maddi desteğini hiç üzerimden çekmeyen sevgili emektar abim Orhun Cem Karsavuran'a; maddi manevi desteklerini esirgemeyen ablam sevgili Aysel ve kardeşim sevgili Alpaslan'a; maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili Celal Kurmut'a; emektar sevgili dostlarım Ertan Balamir'e, Asuman Balat'a, İskender Hancı'ya, Kıvılcım Ozaner'e, Seyhan Güzelordu'ya, Barış Güzelordu'ya, Mine Küpçü'ye; M. Hakan Aydın'a, Sibel Aydın'a, Umut Germeç'e; Eşref Aylan'a, Ömer Öztoprak'a; Filiz Karaldı'ya, Erdal Aknam ve eşine, sevgili değerli dostlarımdan rahmetli Nuri Sezer'e, rahmetli Gökçe Erciş'e; hocalarım Tevfik Açıktepe'ye, Fatma Z. Tepehan'a, Jan Kalaycı'ya, Avadis Hacınlıyan'a, Önder Pekcan'a, Hasan R. Karadayı'ya, Mahmut Hortaçsu'ya, Ayşe Erzan'a, Ahmet Togo Giz'e, Hüceste Giz'e, Ayfer Altmışbeşoğlu'na, Ömer F. Dayı'ya, Ferid Salehli'ye, Hilmi Ünlü'ye, Orhan Kamer'e, Baki Altuncevahir'e, Meltem Güngörmez'e, Neşe Özdemir'e, F. Gülay Acar'a, Cenap Ş. Özben'e, Murat Sunar'a, Aytekin Tüblek'e, Yaşar Yılmaz'a, Hakkı T. Özer'e, Sevtap Y. Özbek'e, Haluk Özbek'e, Ali Yıldız'a, Zuhal Er'e, Tolga Birkandan'a, Aslıhan E. Birkandan'a, Fatih Hacıosmanoğlu'na, Savaş Arapoğlu'na, Oğuzhan Gürlü'ye, İbrahim Türhan'a, Şaziye Uğur'a, Esra A. Durucu'ya, Kerem Cankoçak'a, Levent Subaşı'ya, Selçuk Aktürk'e, rahmetli Duygu Balcan'a, Onur Pusuluk'a, Elif Yunt'a, Berkin Malkoç'a; bölüm arkadaşlarımdan Nurmurat Gurbanliyew'e, Gökhan Torun'a, Tansu Ersoy'a, Mahmut Türk'e, Gülay Karakaya'ya, Hilal Özdemir'e, Aybars Akakıncı'ya; Oğuz Gürcüoğlu'na, Esra Barlas'a, Mehmetcan Çetinkaya'ya, Nur Aslan'a, Olgun Ergüzel'e, Murat Sertkol'a, Ceyhun Andaç'a, Elif Peksu'ya; dekanlık çalışanlarına, Kudret Özmen'e, Burhan Temel'e, Aysel Kaplan'a, Yavuz Çuhacı'ya, Burhan Çetinkaya'ya, Fethi Şahin'e, Serkan Öztürk'e, ve kat çalışanlarına güleryüzleri için minnettarlığımı en başta vurgulama fırsatını değerlendirmek benim için sevinçtir. Çalışmaya düzeltmelerle büyük katkısı olan sayın Doç. Dr. Ali Gelir ve sayın Dr. Murat Erdem hocalarıma minnettarım. Tez teslimi süresince misafirperverliklerinden ve yardımlarından ötürü İlknur Köseoğlu'na ve Ezgi Erdoğan'a sonsuz teşekkür ediyorum. Tezi destekleyen İTÜ BAP'a; çalışmaya katkısı olan İTÜ Fizik Mühendisliği Bölümü Lazer Malzeme Araştırma ve Lazer Spektroskopi Laboratuvarları'ndan sorumlu arkadaşlarıma; tez çalışmaları ile çalışmamıza ışık tutan Murat Erdem'e, Yasemin Pepe'ye, Thami Elboukhari'ye, Olgun Ergüzel'e teşekkür ediyorum. İlgi, dikkat ve sevgileri ile yaşama enerjisi veren Çınar, Çisel, Lara Su, Toprak, Ezel, Gülbeyaz, Rüzgar, Turgut, Esra, Hüseyin, Melike, Hazal, Volkan, Utku, Tayfun, Doğa, Eren, Delfin, Lara, Ceren, Ali Murat, Beste, Bora ve onlar nezdinde tüm diğer çocuklara, çocuk kalplerini ve hayallerini paylaşma fırsatı sundukları için minnettarım.

Kasım 2015

Ayfer KAYA
(Fizik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Literatür Araştırması.....	2
2. TEORİK BİLGİLER.....	5
2.1 Işık ve Renkli Görüş.....	5
2.1.1 Tri-kromatik Teori ve Grassmann yasaları.....	8
2.1.2 Tristimulus değerleri.....	8
2.2 Beyaz Işık parametreleri.....	9
2.2.1 CIE-x-y kroma koordinatları.....	11
2.2.2 CCT.....	12
2.2.3 CRI.....	15
2.3 Lazer ve Üst Enerji Dönüşüm Mekanizması.....	16
2.3.1 Frekans üst-dönüşümü.....	18
2.3.2 Güçlendirme 1.3 µm ve 1.5 µm’de.....	18
2.3.3 UV ve NIR Uyarma ve UC.....	19
2.3.4 Ln ³⁺ için ışımalı -ışımazsız süreçler ve J-O Teori.....	20
2.3.4.1 Erbiyum iyonu.....	27
2.3.4.2 Tulyum iyonu.....	28
2.3.4.3 İterbiyum iyonu.....	29
3. DENEYSEL CİHAZ VE YÖNTEMLER.....	33
3.1 Malzeme Sentezi.....	33
3.2 Optiksel Özelliklerin İncelenmesi.....	36
3.2.1 Yoğunluk ölçümü ve iyon konsantrasyonu hesabı.....	36
3.2.2 Soğurma spektroskopisi.....	37
3.2.3 Lüminesans spektroskopisi.....	37
3.3 Beyaz Işık Parametrelerinin Ölçümü.....	39
4. DENEYSEL BULGULAR.....	41
4.1 Fiziksel Özellikler.....	41
4.2 Spektroskopi.....	42
4.2.1 Soğurma spektrumları.....	42
4.2.1.1 Er ³⁺ ve Tm ³⁺ için J-O analizi bulguları.....	45
4.2.2 Lüminesans Spektrumları.....	48
4.2.2.1 Lüminesans spektrumları (λ _{exc} =805.2 nm).....	48
4.2.2.2 Lüminesans spektrumları (λ _{exc} =980 nm).....	53

4.2.2.3 UC Lüminesans spektrumları ($\lambda_{exc}=805.2$ nm)	57
4.2.2.4 UC Lüminesans spektrumları ($\lambda_{exc}=980$ nm)	60
4.2.2.5 Güç değişimi ve UC Lüminesans spektrumları ($\lambda_{exc}=980$ nm)	63
4.3 Beyaz Işık Parametreleri.....	74
5. SONUÇLAR	79
5.1 Soğurma Spektroskopisi	79
5.1.1 Judd-Ofelt şiddet parametreleri.....	80
5.1.2 Işımalı geçiş parametreleri	80
5.2 Lüminesans Spektroskopisi	81
5.2.1 Güç değişimine bağlı lüminesans değişimi ve foton sayısı.....	82
5.3 Beyaz Işık Parametreleri- CIE x-y, CCT, CRI	87
5.4 Öneriler ve Devam Eden Çalışmalar	90
5.4.1 Öneriler.....	90
5.4.2 Devam eden çalışmalar	90
KAYNAKLAR.....	91
EKLER	99
ÖZGEÇMİŞ	113

KISALTMALAR

WL	: Beyaz Işık
UC	: Üst Enerji Dönüşüm Mekanizması
ET	: Enerji Transferi
TZO	: Çinko Oksit Tellürit
REI's	: Nadir Toprak İyonları
Ln	: Lantanit
Er	: Erbiyum
Tm	: Tulyum
Yb	: İterbiyum
J-O	: Judd-Ofelt
UV	: Mor Ötesi
VIS	: Görünür bölge spektrumu
NIR	: Yakın Kızıl Ötesi
IR	: Kızıl Ötesi
NR	: Işımsız
CIE	: Community Internationale l'Eclairage
CCT	: Color Correlated Temperature
CRI	: Color Rendering Index
RGB	: Red Green Blue
EDFA	: Erbium Katkılı Fiber Kuvvetlendirici
TDFA	: Tulyum Katkılı Fiber Kuvvetlendirici
TYDFA	: Tulyum ve İterbiyum Katkılı Fiber Kuvvetlendirici
ESA	: Uyarılmış Durum Soğurulması
LD	: Lazer Diyot
LED's	: Light Emitting Diodes
CMF's	: Color Matching Functions
InGaAs	: İndiyum Galyum Arsenit

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : VIS, UV ve IR bölgelerinin spektral dağılımı.....	5
Çizelge 2.2 : A aydınlatıcısını B aydınlatıcısına dönüştüren sıvı filtreler. 14	
Çizelge 2.3: aygın kullanılan bazı ışık kaynakları için CCT ve CRI değerleri.	16
Çizelge 2.4 : İnorganik camların en yüksek titreşim enerjileri	17
Çizelge 2.5: Çeşitli konak malzemeler içinde Er^{3+} un optik parametreleri	28
Çizelge 3.1: Sentezlenen cam kompozisyonları	33
Çizelge 4.1: Sentezlenen cam örneklerin fiziksel özellikleri.....	41
Çizelge 4.2: Lantanit katkılı TZ camlarda Er^{3+} için, hesaplanmış kendiliğinden geçiş olasılıkları, ışımalı yaşam süreleri ve dallanma oranları.....	46
Çizelge 4.3: Lantanit katkılı TZ camlarda Tm^{3+} için, hesaplanmış kendiliğinden geçiş olasılıkları, ışımalı yaşam süreleri ve dallanma oranları.....	47
Çizelge 4.4: 1.2 μm ’de merkezileşen iki pikin şiddet değişimi.....	52
Çizelge 4.5: TZE etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri ve fotoğraflar	74
Çizelge 4.6: TZT etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri	74
Çizelge 4.7: TZY-D etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri.....	75
Çizelge 4.8: TZEY-D etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri	75
Çizelge 4.9: TZTY-D etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri	76
Çizelge 4.10: TZET etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri.....	76
Çizelge 4.11: TZETY etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri.....	77
Çizelge 4.12: TZETY-D etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri.....	77
Çizelge 5.1: Er^{3+} için soğurma spektrumunda gözlemlenen geçişler, pikler ve FWHM.	79
Çizelge 5.2: Tm^{3+} için soğurma spektrumunda gözlemlenen geçişler, pikler ve FWHM.	79
Çizelge 5.3: Yb^{3+} için soğurma spektrumunda gözlemlenen geçişler, pikler ve FWHM.	79
Çizelge 5.4: Er^{3+} katkılı TZ- cam matrislerinin J-O şiddet parametreleri ($\Omega_{t=2,4,6} 10^{-20} cm^2$) ve spektroskopik kalite faktörleri ($\chi = \Omega_4 / \Omega_6$).	80
Çizelge 5.5: Tm^{3+} katkılı TZ- cam matrislerinin J-O şiddet parametreleri ($\Omega_{t=2,4,6} 10^{-20} cm^2$) ve spektroskopik kalite faktörleri ($\chi = \Omega_4 / \Omega_6$).....	80
Çizelge 5.6: Ln^{3+} katkılı TZ cam matrislerinin Er^{3+} için hesaplanmış kendiliğinden ışımalı geçiş olasılıkları ve yaşam süreleri.....	81
Çizelge 5.7: Ln^{3+} katkılı TZ cam matrislerinin Tm^{3+} için hesaplanmış kendiliğinden ışımalı geçiş olasılıkları ve yaşam süreleri.....	81
Çizelge 5.8: Geçişler, pikler ve foton sayıları (λ_{exc} : 980 UC), ($\log I / \log(P) = n$: Foton sayısı).	86
Çizelge 5.9: TZE için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.....	87
Çizelge 5.10: TZT için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.....	87

Çizelge 5.11: TZY-D için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.	88
Çizelge 5.12: TZEY-D için, değişen çıkış akımıyla, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.	88
Çizelge 5.13: TZTY-D için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.	88
Çizelge 5.14: TZET için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.	89
Çizelge 5.15: TZETY için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.	89
Çizelge 5.16: TZETY-D için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.	89
Çizelge B.1: TZE camı içinde Erbiyum iyonunun ölçülen ve hesaplanan osilatör şiddetleri	108
Çizelge B.2: TZT camları içinde Tulyum iyonunun ölçülen ve hesaplanan osilatör şiddetleri	108

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Elektromanyetik spektrum.	5
Şekil 2.2 : Newton'un prizma deneyi.	6
Şekil 2.3 : Renkli görüş ve foto-algılayıcılar.	6
Şekil 2.4 : Renk uzayında tristimulus değerleri.	9
Şekil 2.5 : CIE 1931 x-y şeması (uyarlama Gage et al.).	10
Şekil 2.6 : Temel renkler-RGB Renk uzayı ve CMY-K ilişkisi.	12
Şekil 2.7 : Karacisim spektral ışıma fonksiyonu ve Wien yasası.	13
Şekil 2.8 : CIE x-y koordinatları ve karacisim ışıması eğrisi CCT değerleri.	15
Şekil 2.9 : Bazı nadir toprak elementlerinin pompalanma ve ışıma ile ilişkili geçiş seviyeleri (Uyarlama).	19
Şekil 2.10 : Işımalı ve ışımasız geçiş.	23
Şekil 2.11 : Çapraz gevşeme.	25
Şekil 2.12 : Üst enerji dönüşüm mekanizması.	26
Şekil 2.13 : Erbiyum iyonu enerji seviyeleri.	27
Şekil 2.14 : İki komşu Er^{3+} iyonu arasındaki iyon-iyon etkileşim şeması.	27
Şekil 2.15 : Erbiyumun temel ve uyarılmış durum soğurma geçişleri.	27
Şekil 2.16 : Tulyum iyonu enerji seviyeleri.	28
Şekil 2.17 : Yb^{3+} iyonlarının enerji seviye şeması.	29
Şekil 2.18 : Üç değerlikli Ln^{3+} iyonlarının en yaygın kullanılan ışımalı geçişleri	30
Şekil 2.19 : Er^{3+} - Yb^{3+} ve Tm^{3+} - Yb^{3+} ikili katkılı kombinasyonların ET şemaları.	31
Şekil 2.20 : Er^{3+} - Yb^{3+} - Tm^{3+} üçlü katkılı kombinasyonların ET şeması.	31
Şekil 3.1 : Kimyasallar ve üretim gereçleri.	34
Şekil 3.2 : Fırın ve çelik kalıp.	35
Şekil 3.3 : Zımpara ve parlatma ekipmanları.	35
Şekil 3.4 : Sentezlenen camlar.	36
Şekil 3.5 : Soğurma spektrometresi.	37
Şekil 3.6 : Lüminesans spektrumu ölçümü için kurulan deney düzeneği.	38
Şekil 3.7 : Lüminesans spektrumu ölçümü için kurulan deney düzeneği ve ölçüm cihazları.	38
Şekil 3.8 : Lazerle uyarmalar altında camların yaydıkları renkler.	39
Şekil 4.1 : Er^{3+} katkılı çinko oksit tellürit cam matrisinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma spektrumu.	42
Şekil 4.2 : Tm^{3+} katkılı çinko oksit tellürit cam matrisinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma spektrumu.	43
Şekil 4.3 : Er^{3+} - Yb^{3+} katkılı çinko oksit tellürit cam matrislerinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma spektrumları.	43
Şekil 4.4 : TZTY-D cam matrisinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma katsayısı.	44
Şekil 4.5 : Er^{3+} - Tm^{3+} katkılı çinko oksit tellürit cam matrisinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma katsayısı. Lazerle uyarmalar altında camların yaydıkları renkler.	44

Şekil 4.6 : Er ³⁺ -Tm ³⁺ -Yb ³⁺ ile üçlü katkılı çinko oksit tellürit cam matrisinin VIS bölgede soğurma spektrumu.....	45
Şekil 4.7 : TZETY-D etiketli cam matrisinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma spektrumu.Lazerle uyarmalar altında camların yaydıkları renkler....	45
Şekil 4.8 : Er ³⁺ -Yb ³⁺ katkılı TZEY etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu...	49
Şekil 4.9 : Er ³⁺ -Yb ³⁺ katkılı TZEY-D etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu...	49
Şekil 4.10 : Tm ³⁺ -Yb ³⁺ katkılı TZTY etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu..	50
Şekil 4.11 : Tm ³⁺ -Yb ³⁺ katkılı TZTY-D etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu...	51
Şekil 4.12 : Er ³⁺ -Tm ³⁺ katkılı TZET etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu...	51
Şekil 4.13 : Er ³⁺ -Tm ³⁺ -Yb ³⁺ katkılı, TZETY etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu...	52
Şekil 4.14 : TZTY ve TZETY etiketli örneklerin 1.2 µm’de şiddet değişimi.	52
Şekil 4.15 : Er ³⁺ -Tm ³⁺ -Yb ³⁺ katkılı, TZETY-D etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu...	52
Şekil 4.16 : Er ³⁺ -Yb ³⁺ katkılı, TZEY etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu...	53
Şekil 4.17 : Er ³⁺ -Yb ³⁺ katkılı, TZEY-D etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu...	54
Şekil 4.18 : Tm ³⁺ -Yb ³⁺ katkılı, TZTY etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu ve 1.64 µm’de detay.....	54
Şekil 4.19 : Tm ³⁺ -Yb ³⁺ katkılı, TZTY-D etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu ve 1.64 µm’de detay.....	55
Şekil 4.20 : Er ³⁺ -Tm ³⁺ katkılı, TZET etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu ve 1.5 µm’de detay	55
Şekil 4.21 : Er ³⁺ -Tm ³⁺ -Yb ³⁺ katkılı, TZETY etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu ve 1.64 µm’de detay.....	56
Şekil 4.22 : Er ³⁺ -Tm ³⁺ -Yb ³⁺ katkılı, TZETY-D etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu ve 1.64 µm’de detay..	56
Şekil 4.23 : Er ³⁺ /Tm ³⁺ /Yb ³⁺ tekli katkılı TZ cam matrislerinin 805.2 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu. 475 nm civarı bileşik UC , ve Erbiyum safsızlığı.	57
Şekil 4.24 : Er ³⁺ /Yb ³⁺ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.1) Yb ₂ O ₃ katkılı olanlarının, 805.2 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu, 475 nm civarı bileşik UC, ve Yb ³⁺ katkılı örneğin erbiyum safsızlığı.....	57
Şekil 4.25 : Er ³⁺ /Yb ³⁺ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.05) Yb ₂ O ₃ katkılı olanlarının, 805.2 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu, 475 nm civarı bileşik UC, ve Yb ³⁺ katkılı örneğin erbiyum safsızlığı.....	58
Şekil 4.26 : Tm ³⁺ /Yb ³⁺ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.1) Yb ₂ O ₃ katkılı olanlarının, 805.2 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu, 475 nm civarı bileşik UC, ve Yb ³⁺ katkılı örneğin erbiyum safsızlığı.....	58
Şekil 4.27 : Tm ³⁺ /Yb ³⁺ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.05) Yb ₂ O ₃ katkılı olanlarının, 805.2 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu, 475 nm civarı bileşik UC, ve Yb ³⁺ katkılı örneğin erbiyum safsızlığı.....	58
Şekil 4.28 : Er ³⁺ /Tm ³⁺ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin, 805.2 m UC uyarılma altında lüminesans emisyonu, 475nm civarında bileşik UC....	59

Şekil 4.29 : TZETY etiketli cam matrisinin 805.2 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu ve 450-650 bandının detayı, 475 nm civarında bileşik UC.....	59
Şekil 4.30 : TZETY-D etiketli cam matrisinin 805.2 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu. 475 nm civarında gözlenen bileşik UC.....	59
Şekil 4.31 : $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.1) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu... ..	60
Şekil 4.32 : $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.05) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu.. ..	60
Şekil 4.33 : $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.1) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu... ..	61
Şekil 4.34 : $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.05) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu... ..	61
Şekil 4.35 : $\text{Er}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu.. ..	61
Şekil 4.36 : $\text{Er}^{3+}-\text{Tm}^{3+}-\text{Yb}^{3+}$ katkılı, (0.1) Yb_2O_3 katkılı cam matrislerinin 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu.....	62
Şekil 4.37 : $\text{Er}^{3+}-\text{Tm}^{3+}-\text{Yb}^{3+}$ katkılı, (0.05) Yb_2O_3 katkılı cam matrislerinin 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu.....	62
Şekil 4.38 : 980 nm UC uyarılma altında TZE camının güce bağlı lüminesans şiddeti.. ..	63
Şekil 4.39 : TZE camının güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.....	63
Şekil 4.40 : 980 nm UC uyarılma altında TZT camının güce bağlı lüminesans şiddeti... ..	64
Şekil 4.41 : TZT camının güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.....	64
Şekil 4.42 : 980 nm UC uyarılma altında TZY-D camının güce bağlı lüminesans şiddeti... ..	65
Şekil 4.43 : TZY-D camının güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.. ..	65
Şekil 4.44 : 980 nm UC uyarılma altında TZEY-D camının, güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.. ..	66
Şekil 4.45 : TZEY-D camının güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.....	66
Şekil 4.46 : 980 nm UC uyarılma altında TZEY-D camının lüminesans şiddeti ve geçişler... ..	67
Şekil 4.47 : 980 nm UC uyarılma altında TZTY-D camının, güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.. ..	67
Şekil 4.48 : TZTY-D camının mavi-yeşil-kırmızı bölgelerde güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişimi... ..	68
Şekil 4.49 : 980 nm UC uyarılma altında TZTY-D camının lüminesans şiddeti ve geçişler... ..	68
Şekil 4.50 : 980 nm UC uyarılma altında TZET camının, güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.. ..	69
Şekil 4.51 : TZET camının mavi-yeşil-kırmızı bölgelerde güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişimi... ..	69
Şekil 4.52 : 980 nm UC uyarılma altında TZET camının lüminesans şiddeti ve geçişler... ..	70
Şekil 4.53 : 980 nm UC uyarılma altında TZETY camının, güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi... ..	70
Şekil 4.54 : TZETY camının mavi-yeşil-kırmızı bölgelerde güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişimi... ..	71

Şekil 4.55 : 980 nm UC uyarılma altında TZETY camının lüminesans şiddeti ve geçişler...	71
Şekil 4.56 : 980 nm UC uyarılma altında TZETY-D camının, güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi...	72
Şekil 4.57 : TZETY-D camının güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi..	72
Şekil 4.58 : 980 nm UC uyarılma altında TZETY-D camının lüminesans şiddeti ve geçişler...	73
Şekil 5.1 : TZE cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri...	82
Şekil 5.2 : TZT cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri...	83
Şekil 5.3 : TZY-D cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri...	83
Şekil 5.4 : TZTY-D cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri...	84
Şekil 5.5 : TZET cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri...	84
Şekil 5.6 : TZEY-D cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri...	85
Şekil 5.7 : TZETY-D cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri...	85
Şekil 5.8 : TZETY cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri	86
Şekil C.1 : 980 nm UC uyarılma altında TZY ve TZY-D camlarının karşılaştırmalı lüminesans şiddeti değişimi	109
Şekil C.2 : 980 nm UC uyarılma altında TZEY ve TZEY-D camlarının karşılaştırmalı lüminesans şiddeti değişimi.....	109
Şekil C.3 : 980 nm UC uyarılma altında TZTY ve TZTY-D camlarının karşılaştırmalı lüminesans şiddeti değişimi.....	109
Şekil C.4 : 980 nm UC uyarılma altında TZETY ve TZETY-D camlarının karşılaştırmalı lüminesans şiddeti değişimi.....	109
Şekil D.1 : Er ³⁺ ve Yb ³⁺ katkılı TZEY cam matrisinin enerji transfer şeması.....	110
Şekil D.2 : Er ³⁺ ve Yb ³⁺ katkılı TZEY-D cam matrisinin enerji transfer şeması.	110
Şekil D.3 : Tm ³⁺ ve Yb ³⁺ katkılı TZTY cam matrisinin enerji transfer şeması.....	111
Şekil D.4 : Tm ³⁺ ve Yb ³⁺ katkılı TZTY-D cam matrisinin enerji transfer şeması....	111
Şekil D.5 : Er ³⁺ ve Tm ³⁺ katkılı TZET cam matrisinin enerji transfer şeması.....	111
Şekil D.6 : Er ³⁺ , Tm ³⁺ ve Yb ³⁺ katkılı TZETY cam matrisinin ET şeması.	112
Şekil D.7 : Er ³⁺ , Tm ³⁺ ve Yb ³⁺ katkılı TZETY-D cam matrisinin ET şeması....	112

NADİR TOPRAK İYONLARI İLE KATKILANDIRILMIŞ ÇİNKO OKSİT TELLÜRİT (TeO₂-ZnO) CAMLARDA BEYAZ IŞIK ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Son yıllarda renkli görüntüleme cihazları için, katıhal aydınlatma elemanlarında yeni bir teknik olarak çokrenkli görüntüleme tekniği geliştirilmektedir. Literatürde beyaz ışık, çokrenkli görüntüleme cihazları için, arka plan rengi olarak tanımlanmaktadır. Beyaz ışık eldesi için optik, fotonik ve elektronikteki potansiyel uygulama alanlarında, özellikle son on yılda çok sayıda deneysel teknik kullanılmıştır. Üst enerji dönüşüm mekanizması, beyaz ışık lazerlerin yapımına imkan tanımakla birlikte, üç boyutlu görüntüleme cihazlarında arka plan aydınlatması için kullanılmaktadır. Beyaz ışık kaynağı olarak ve biyomedikal uygulamaları da dahil olmak üzere, birçok görüntüleme ve görselleştirme cihazlarının geliştirilmesinde bu üst enerji dönüşüm mekanizması kullanılmaktadır. Bunların yanında beyaz ışık konusu, beyaz ışık yayan lazer ve LED'lerin geliştirilmesinde büyük önem taşımaktadır.

Bu çerçevede, bu çalışmada literatüre katkıda bulunmak hedeflenmiş olup, oksitlerin eritilmesi yöntemiyle sentezi gerçekleştirilen optik malzemelerin soğurma özellikleri, luminesans özellikleri ve ışımalı yaşam süreleri, nadir toprak iyonları (REI) arasında oluşabilecek etkileşmelere bağlı olarak araştırılmıştır.

Çalışmada ana malzemeyi TeO₂-ZnO (çinko oksit tellürit), katkı malzemesini nadir toprak iyonlarından erbiyum, tulyum, iterbiyum (Er³⁺, Tm³⁺, Yb³⁺) oluşturmaktadır. Bu matriste üretilen kompozit camlar, öngörülen oranlarda tekli, ikili ve üçlü olarak katkılандırılmıştır.

Sentezlenen cam numuneler, deneysel ölçümler için gerekli zımparalama ve parlatma işlemleri ile pürüzsüzleştirildikten sonra, fiziksel özellikleri belirlenip, soğurma ve luminesans spektrum ölçümlerini elde etme aşamasına geçilmiştir.

Optik malzeme olarak sentezlenen cam numunelerin, luminesans şiddetlerinin oranına ve ışıma yapan seviyelerin yaşam sürelerinin ölçülmesine dayalı iki optik yöntem kullanılarak optik özellikleri araştırılmıştır.

Soğurma spektrumları kaydedildikten sonra, TZ (TeO₂-ZnO) camlar için band gap hesapları yapılmış ve literatürle uyumlu sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Üst enerji dönüşüm mekanizması, nadir toprak iyonları arasında oluşabilecek etkileşmelere bağlıdır ve Judd-Ofelt (J-O) teorisi ile bu etkileşmeler hesaplanabilmektedir. Dolayısıyla, kompozit camların Judd-Ofelt analizleri yapılmış ve ilgili şiddet parametreleri elde edilmiştir.

Sonrasında lüminesans ve üst dönüşüm lüminesans emisyonlarının spektrumları elde edilmek üzere, camlar 805.2 ve 980 nm lazer ışığı ile uyarılarak, üst enerji dönüşüm mekanizmasına dayalı olarak beyaz ışık üretimi için kullanılabilirliği ve beyaz ışık üretimini etkileyen optik parametreler: CIE 1931 x-y koordinatları, renkle ilişkili sıcaklık (color correlated temperature-CCT) değerleri ve renk sunuş endeksi (color rendering index-CRI) değerleri araştırılmıştır.

Lantanit iyonları (Ln^{3+}) ile katkılanmış kompozit cam numunelerin, morötesi ve yakın kızılötesi ve kızılötesi aralıklarında uyarılması ile, üst dönüşüm mekanizması sayesinde elde edilen spektral veriler kullanılarak camların kırmızı, yeşil, mavi (RGB) renklerin tüm frekanslarında yaydığı ışık ölçülmüş ve luminans verimi hesaplanmak üzere data elde edilmiştir.

Numunelerin herbiri için, temel fiziksel özelliklerinden: kalınlık (l), moleküler ağırlık (mw), yoğunluk (d), iyon konsantrasyonu (N_0) belirlenip, tablo halinde çalışma yayınlanmıştır. Sonuç olarak, morötesi ve görünür bölge aralığında (300-2000 nm) alınan soğurma spektrumlarından elde edilen deneysel sonuçlar: soğurma spektrumları ve elektronik geçişler, ölçülen çizgi şiddeti (f_{meas}), hesaplanmış çizgi şiddeti (f_{calc}), J-O şiddet parametreleri (Ω_2 , Ω_4 , ve Ω_6), spektroskopik kalite faktörleri (Ω_4/Ω_6), kendiliğinden geçiş olasılıkları (A^{ed}), dallanma oranları (β), ışımalı yaşam süreleri (τ_R), grafikler, tablolar ve değerler halinde çalışmada bulgular bölümünde ve sonuçlar bölümünde yayınlanmıştır.

Camlardan, 805.2 ve 980 nm lazer ile uyarılma sonucu elde edilen lüminesans spektrumları ve elektronik geçiş seviyeleri çalışmada bulgular bölümünde, grafikler halinde yer almıştır.

Ayrıca UC mekanizması ile 805.2 ve 980 nm lazer ile uyarılma sonucu elde edilen lüminesans spektrum verileri yanında, numunelerin 980 nm laserle uyarılma ile UC mekanizması çalıştırılarak, çıkış akımı değiştirilerek değişen güce bağlı lüminesans spektrumları ve piklerin güce bağlı değişim grafiklerinden okunan eğimler ile, foton sayıları (n) elde edilmiş ve lantanit iyonları arasındaki enerji transferini (ET) gösteren şemaların çizilebilmesi için gerekli data elde edilmiştir. ET şemaları çizilerek yayınlanmıştır.

Çalışmada son olarak, nadir toprak iyonları ile katkılanmış cam numunelerinin, 805.2 nm ve 980 nm laser ışığı etkisinde UC mekanizması sayesinde ölçülmüş olan CCT, CRI, CIE x-y değerleri tablolar halinde sonuçlar bölümünde sunulmuştur. Sonuç olarak, elde edilen bu değerler, renk koordinatları (x,y), CIE 1931 x-y uluslararası renk standart diyagramında (CIE 1931 x-y Chromaticity diagram) tanımlı olan beyaz nokta (white point/ white region) verileri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Bu çalışmada, üretilen kompozit-cam numuneleri üzerinde yapılan araştırmayla, beyaz ışık kullanımını içeren fotonik cihazların tasarım ve yapımının gerçekleştirilmesine doğrudan katkı sağlamak amaçlanmıştır.

CHARACTERIZATION AND GENERATION OF WHITE LIGHT IN RARE EARTH IONS DOPED ZINC OXIDE TELLURIDE ($\text{TeO}_2\text{-ZnO}$) GLASSES

SUMMARY

Today, multicolor visualization and optical devices and their progression convey a great importance, owing to the mass usage of vision display devices and the widespread indoor utilization of three dimensional (3D) displays. Apart from personal utilization, techniques and devices of visualisation and vision display appear to be practical also in the field of bio-medical applications. A large scale of devices used for visualization, aim to broadcast quality that the vision will flow in the original data quality without creating any obstacles in the eye at visible light spectrum (VIS), which can be perceived by human eye. Transferring total visible spectrum comprising the medium tones of color and liveliness, together with technical background to procure the least pause in the flow of vision, there appears the need for the white light (WL). Numerous investigations are carried out to meet the deficiency. Recent studies are conducted also by upconversion (UC) method, with mixing tellurite glasses, fluorid glasses, ceramics and rare earth (RE) elements. It is accentuated in the literature that amongst advantages of the techniques of white light UC there can be pronounced a much more sensitive attaining of the perceived and transmitted color, its high resolution, stability, visualisation interval, volume of tehcnique treated in devices, duration of cheaper production. The objective of our study is to contribute to the meeting of the required progress and industrial requirements.

Emission characteristics of RE ions (REI's) for display technology and other solid state illuminations are wavelength, spectral line width, and line intensity respectively. Spectral width of emission for REI's originate by the gliding of free ion levels due to the presence of the effectiveness by braid phonons. Whereas there is some weak effectiveness between the REI's and the braid, gliding of these levels are insignificant, which realizes a favourable benefit in display applicatons. Line strength depends upon the nature of special transitions and hosting materials, due to rare-earth ions. The probability for a given emission is the function of the strength of local electric dipole depending upon the index of refraction on REI's and line strength. Whereas the radiative lifetime or quantum efficiency is a function of emission probability, materials with higher refractive index present higher quantum efficiency.

Colors and wavelengths of lights that can be seen with bare eyes in visible spectrum can be measured at room temperature as blue (476 nm), green (530 and 545 nm), and red (656 nm). There are filtering methods to obtain all visible colors in visualisation devices (display units). The basic values defined for color by the photometer are known as tristimulus values namely HUE, saturation, brightness (luminence) (HSB/ HSL). Their reciprocals in physical optics are dominant wavelength (HUE), intensity of light (intensity/ saturation) and value of illuminance (luminance/ brightness). CIE 1931 RGB which is known as the international color standard accepts the values of

tristimulus values as basis, which is the standard color characterization.

The study of Tm^{3+} , Er^{3+} , and Yb^{3+} doped zinc tellurite glasses ($\text{TeO}_2\text{-ZnO}$) aims the emission at the frequencies of red, green and blue under laser excitation 805 nm and 980 nm via UC mechanism and the relative productivity of luminescence output. Transformation mechanism of up-conversion depends upon the effectivity between rare earth ions.

For the white light upconversion, due to the applications in optics, photonics and electronics, as can be noticed by the examination of literature, numerous experimental techniques have been used in the recent years. For solid color visualisation devices, the multicolor display technique is under progression as a new technique. Although up-conversion process allows the making of white light laser, the background illumination in three dimensional displaying devices are utilized in white light source and for developing systems that can be used in displaying/ visualisation devices. They also have great importance in the development of white light laser and LED. There are additional numerous areas of application.

Further, the study comprises upper energy transformation processes in tellurium zinc oxide glass materials mixed with rare earth elements and the examination of optic parameters effecting the production of WL.

Lifetime of the optical materials whose synthesis have been materialized by melt-quenching method have been examined, with regards to REI's concentration. Optical specifications of zinc oxide-tellur dioxide host materials doped with Er^{3+} , Tm^{3+} , and Yb^{3+} have been examined by using two optical methods regarding to the ratio of luminescence intensity and measurement of lifetime of the transition levels. The procured color coordinates (x-y-z) will be compared with the white point datum identified in international color standard diagram (CIE x-y 1931 chromaticity diagram).

The present study has been conducted at the Laser Material Research Laboratory in ITU (Istanbul Technical University) Physics Department. Subject of the research comprises whether $\text{TeO}_2\text{-ZnO}$ composite materials doped with Er^{3+} , Tm^{3+} , and Yb^{3+} ions by excitation at NIR-IR-VIS intervals via up-conversion mechanism can be utilized at the UC of white lights, using luminescence intensity, line position and lifetime techniques.

The synthesis of $\text{TeO}_2\text{-ZnO}$ composite glass materials doped and co-doped with Er^{3+} / Tm^{3+} / Yb^{3+} at various combinations have been compared with white light region (white point/white region) in color coordinates chromaticity diagram, prepared according to CIE 1931 x-y standards, using laser spectroscopy techniques utilizing luminescence, dominant wavelength and light intensity specifications of the materials.

Luminescence spectroscopy is used in the measurement of lifetime of electronic transitions and width of luminescence transition lines that optically occur in solids doped with active ions and their positions,.

The effect of the annealing heat on position of luminescence transition lines, width of band duration of life, and intensity of illumination be examined.

The study will definitely help to the research and progression activities in the field of three dimensional visualisation, which are known to be the latest techniques of WL

up-conversion solid color display devices considerably required in industrial applications of photonic and optical devices.

In accordance with the aim of our study, it has been examined whether zinc oxide-tellur dioxide composite glasses can be used for the production of white light base on upper energy transition mechanism, by excitation of 805.2 and 980 nm laser light, following the mixture with Er^{3+} , Tm^{3+} , Yb^{3+} ions at the suggested proportions. Thus it has been aimed to directly contribute to the realization of the project and production of photonic devices comprising WL usage.

Moreover, in addition to the luminescence spectrum data obtained by the stimulation of 805.2 and 980 nm laser with UC mechanism, by stimulating the patterns with 980 nm laser and diversing the source of the current via operating the UC mechanism, quantity of the photons (n) has been procured by curve analysis of luminescence spectrum graphics of cast iron due to varying power.

Thus, the required data has been procured for sketching the scheme displaying the energy transfer amongst lanthanide ions. The same has been published.

The study finally displays by tables at the conclusion chapter the CCT, CRI, CIE x-y values of rare earth ion doped glass patterns that are measured by UC mechanism under 805.2 nm and 980 nm laser beam. As a result, these values have been interpreted by comparing the color coordinates (x-y) and white point/white region data quoted in CIE 1931 x-y International Chromaticity diagram.

1. GİRİŞ

Bu çalışma: Er^{3+} , Tm^{3+} , Yb^{3+} nadir toprak iyonları (REI) ile katkılandırılmış çinko oksit tellürdioksit ($\text{Te}_2\text{O-ZnO}$) cam matrislerinin, üst enerji dönüşüm (UC) mekanizması aracılığı ile, morötesi-yakınkızılötesi-kızılötesi aralığında (UV-NIR-IR) lazer ile uyarılarak sağlanacak enerji transferi (ET) ile beyaz ışık (WL) eldesinde kullanılıp kullanılamayacağının araştırılmasını içermektedir. Bu kapsamda, soğurma ve luminesans spektrumları alınmış ve spektrum verileri ile, Judd-Ofelt (J-O) şiddet parametreleri (Ω_t ($t= 2, 4, 6$)), luminesans şiddeti, çizgi konumu ve yaşam süresi, kendiliğinden geçiş olasılıkları, dallanma oranları gibi spektroskopik parametreler, enerji transferi süreçleri incelenmiş, foton sayıları (n) elde edilmiş ve son olarak beyaz ışık parametrelerinin değerleri (CIE x-y, CCT, CRI) ölçülüp, ölçüm ve değerlendirmeler bulgular ve sonuçlar başlıkları altında yayınlanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Çalışma, çinko oksit tellürit konak malzemesine, nadir toprak iyonlarından Er^{3+} , Tm^{3+} , Yb^{3+} çeşitli oranlarda katkılandırılarak oluşturulan kompozit camların, 805.2 ve 980 nm lazer ışığı ile uyarılarak, üst enerji dönüşüm mekanizmasına dayalı beyaz ışık üretimi için kullanılabilirliğinin araştırılmasını içermektedir. Bu çerçevede, bu çalışmanın ihtiyaç duyulan gelişmelerin ve endüstriyel ihtiyacın karşılanmasına, beyaz ışık kullanımını içeren fotonik cihazların tasarım ve yapımının gerçekleştirilmesine doğrudan katkı sağlaması amaçlanmış olup, beyaz ışık ve katı hal renkli görüntüleme/görselleştirme aygıtlarının en son teknikleri olarak bilinen, ve optik aygıtların fotonik ve endüstriyel uygulamalarında hayli gereksinim duyulan, üç boyutlu görüntüleme alanındaki araştırma ve geliştirme aktivitelerine yardımcı olacağı öngörülmektedir.

1.2 Literatür Araştırması

Günümüzde çokrenkli görüntüleme ve görselleştirme araçları büyük önem taşımaktadır [1]. Görüntü aktarma cihazlarının yoğun olarak kullanılıyor olması ve üçboyutlu görüntü aktarma sistemlerinin yaygın olarak günlük yaşamda yer alması nedeniyle, çok renkli görüntüleme araçlarının geliştirilmesi son yıllarda daha da hız kazanmıştır. Kişisel kullanım alanları dışında, görselleştirme ve görüntü aktarma teknikleri ve cihazları, biyo-medikal uygulamalarda da çok kullanışlı olmaktadır. Görselleştirmede kullanılan cihazların çoğunda, insan gözüyle algılanabilen görünür ışık spektrumunda, orijinal veri kalitesinde, görüntünün akışında takılma olmadan yayın yapması hedeflenmektedir. Burada veri aktarım kalitesinden kasıt: renklerin ara tonlarını ve canlılığını barındırarak, tüm görünür spektrumu (VIS) aktarmak, aynı zamanda hareketli görüntü akışında duraksamaları en aza indirmektir. Böyle bir teknik arka plan için, özellikle beyaz ışık (WL) ihtiyacı doğmaktadır. Bu ihtiyaca karşılık olarak, çok sayıda araştırma sürdürülmektedir. Son dönem çalışmalarda, konak malzeme olarak: tellürit camlar, florid camlar ve seramiklerin, lantanit iyonları olarak da bilinen nadir toprak iyonları (REI) ile katkılanması ve üst enerji dönüşüm mekanizması (UC) aracılığı ile enerji transferi (ET) üzerinde yoğunlaşmıştır [1-6]. Yeni geliştirilmekte olan beyaz ışık eldesi tekniklerinin avantajları arasında: algılanan ve iletilen rengin, çok daha hassas olarak elde edilebilmesi, çözünürlüğü, kararlılığı, görselleştirebilme aralığı, tekniğin cihazların içinde kullanılma büyüklüğü, tepki süresi ve daha ucuza üretilebilmelerini saymanın mümkün olduğu söylenebilir [4, 6].

Beyaz ışık eldesi için optik, fotonik ve elektronikteki potansiyel uygulamalarından dolayı, kullanılan teknikler arasında üst dönüşüm mekanizması, beyaz ışık lazerlerin yapımına imkan tanımakla birlikte, beyaz ışık yayan lazer ve ışık yayan diyotların (LED) geliştirilmesinde büyük önem taşımakta; üç boyutlu görüntüleme cihazlarında (3D Display units) arka plan aydınlatması, beyaz ışık kaynağı ve daha birçok görüntüleme/ görselleştirme cihazlarının geliştirilmesinde kullanılmakta ve çeşitli potansiyel uygulama alanı bulunmaktadır [1-3, 6].

Görüntüleme/ görselleştirme teknolojisi ve diğer katı-hal aydınlatma elemanları için lantanit iyonlarının (Ln^{3+}) emisyon karakteristikleri: dalga boyu, spektral çizgi genişliği ve çizgi şiddetidir. Lantanit iyonları için emisyonun spektral genişliği, örgü

fononları ile etkileşmelerin varlığından dolayı serbest iyon seviyelerinin kaymasından kaynaklanmakta olup, nadir toprak iyonları ve örgü arasında zayıf etkileşmeler nedeniyle bu seviyelerin kayması oldukça küçüktür. Nadir toprak iyonlarının bu özellikleri, renkli görüntüleme uygulamalarında oldukça fayda sağlar. Çizgi şiddeti, nadir toprak iyonlarının özel geçişlerinin doğasına ve konak malzemeye bağlıdır. Emisyon için olasılık, lantanit iyonu üzerindeki kırılma indisine (n) bağlı olan yerel elektrik alan şiddetinin ve çizgi şiddetinin bir fonksiyonudur. Işıma verimi, emisyon olasılığının bir fonksiyonu olduğundan dolayı daha yüksek kırılma indisine sahip malzemeler, daha yüksek kuantum verimlilikleri (η) sergiler [7]. Kuantum verimliliklerinin yüksek olması sebebi ile RE iyonları, özellikle konak malzemeye katkılanarak kullanılmaktadır. Görünür ve kızılötesi (VIS-IR) aralıklarında, emisyon özellikleri nedeniyle Ln^{3+} iyonlarıyla katkılanmış tellürit (Te_2O) camlar üzerinde yapılan araştırmalar gibi daha ileri uygulamalar, üst enerji dönüşüm mekanizmaları ile birleştirilmek suretiyle yoğunlaşmıştır [1, 2, 4, 6-12]. Er^{3+} , Tm^{3+} , Ho^{3+} , Nd^{3+} , Yb^{3+} gibi çeşitli nadir toprak elementleri iyonlarının katkılanmasıyla sentezlenen bu camların, kırmızı, yeşil ve mavi (Red-Green-Blue) dalgaboylarında, görülebilir bölgede, üst dönüşüm vasıtası ile emisyonla neden oldukları görülmüştür [1, 13-17]. Tellürit cam matrislerinin, üst enerji dönüşüm mekanizması üzerindeki emisyonlarının belirgin önemi: kızılötesinden ve yakın kızılötesinden (NIR), görünür bölgeye kadar olan üst dönüşüm lazerler için maksimum fonon enerjisinin, borat, fosfat ve silikat camlardan çok daha düşük ($\sim 750 \text{ cm}^{-1}$) olmasındandır [18]. UC mekanizması kanalıyla REI'lar arasında sağlanan enerji transferindeki geçişliliklerde baskın bir işlem olan çoklu fonon gevşemesi, konak maddelerin matrisindeki fonon enerjisine tâbidir ve bu camlar bunu küçük enerji boşluklarıyla temin ederler [19]. Tellürit camların düşük enerjileri: uyarılmış seviyelerinin ışımalı geçişleri için, yüksek kuantum verimliliği ve spektroskopik özellikleri açısından ayırdedici bir parametredir [20]. Üst enerji dönüşüm mekanizmaları yolu ile nadir toprak iyonları ile katkılı tellürit camlardan ışımlanan emisyon özellikle, fotonik uygulamalar üzerindeki 2. ve 3. nesil telekomünikasyon (1.3 ve 1.5 μm) çerçevesinde: optik güçlendiriciler (amplifier) ve frekans dönüştürücüler (converter) olarak göze çarparlar [21-24]. Sonuçta, Lantanit iyonları ile katkılı tellürit camların: bozulmaya karşı dayanıklı, düşük erime derecesi [25, 26], yüksek kırılma indeksi [27], düşük maksimum titreşim enerjisi, VIS ve NIR'larda mükemmel IR iletkenliği ve yüksek optik kaliteleri ile [22, 28, 29], optik araçların

geliştirilmesi aşamasında mekanikte olumlu iş gördüğü [22, 30, 31] ve ikinci nesil uygulamalar için uyumlu oldukları [32, 33] vurgulanabilir.

Beyaz ışık, şu üç özellik ile karakterize edilmektedir: *CIE x-y kroma koordinatları* (Community Internationale l'Eclairage x-y chromaticity coordinates), renkle ilişkili sıcaklık (color correlated temperature- *CCT*) ve renk sunuş endeksi (color rendering index- *CRI*). Saf beyaz ışık için aydınlatma uygulamalarında *CIE x-y* koordinatları $x=0.333$ ve $y=0.333$ değerleri olup, kullanılan rengin emisyonu bu değerlere ayarlanarak sağlanır; *CCT* için sağlanması gerekli değerler, karacisim (black-body) kaynağının sağladığı değerler olduğundan, 3000 ile 7500 K arasındadır; *CRI* değerleri sayısal ölçü olarak 0 ile 100 arasında değişmektedir ve bu değerler bir renge bir ışık kaynağı ile bakıldığında gerçek renk üretim ölçüsünü gösterir [34]. RE katkılı camların yaydıkları aydınlatma nicelikleri beyaz ışık kalitesinde: yüksek parlaklık, yüksek aydınlatma veimliliğine, kararlı *CIE x-y* koordinatlarına, uygun *CCT* değerine ve yüksek ölçüde *CRI*'ya karşılık gelmektedir [34].

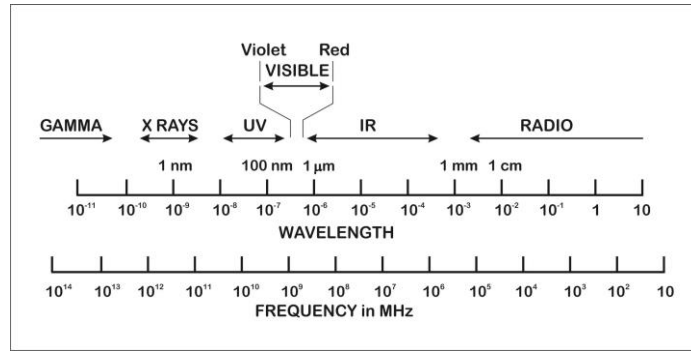
Görünür spektrumunda görülebilen ışıkların renkleri ve dalga boyları mavi (476 nm), yeşil (530 ve 545 nm) ve kırmızı (656 nm) olarak oda sıcaklığında ölçülebilmektedir [4]. İçinde barındırdığı tüm görünür renkleri, görselleştirme ve görüntüleme cihazlarında elde etmek için, filtreleme yöntemleri mevcuttur. Fotometrinin, renk için tanımladığı temel değerler: “*tristimulus values*” olarak bilinir. Bu değerlerin fiziksel optikteki karşılıkları: ışığın baskın dalga boyu/ renk özü (*hue*), ışığın şiddeti/ doygunluğu (*intensity/ saturation*) ve ışığın aydınlatma/ parlaklık değeridir (*luminance/ brightness*). Renk özü, doygunluk ve parlaklık değerleri, renk uzayında tanımlanmış olup, uluslararası renk standardı olarak bilinen *CIE x-y 1931 RGB* standart renk karakterizasyonu, bu üç değeri temel alır [8-14].

Bu çerçevede, çalışma konusu olan camların sentezi oksitlerin eritme yöntemi ile gerçekleştirilmiş olup, soğurma, luminesans ve yaşam süreleri, nadir toprak iyon kombinasyonlarına bağlı olarak $((0.80-x-y-z) \text{ TeO}_2 + 0.20 \text{ ZnO} + x\text{Er}_2\text{O}_3 + y\text{Tm}_2\text{O}_3 + z\text{Yb}_2\text{O}_3)$, molar oranları $x=0, 0.004, y=0, 0.2$ ve $z=0, 0.1, 0.05$ şeklinde, tekli/ ikili/ üçlü katkılanarak, araştırılmıştır. Malzemelerin yaydıkları ışığın, renk, şiddet ve parlaklık özellikleri, lazer spektroskopi teknikleri ve illüminansmetre kullanarak, *CIE 1931 x-y* standardına göre hazırlanmış renk koordinatları diyagramındaki beyaz ışık bölgesi ile karşılaştırılmıştır.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1 Işık ve Renkli Görüş

Işığın elektromanyetik dalga olduğu bilinmektedir. Elektromanyetik dalgalar çeşitli dalgaboyu ve frekansta yayılmaktadır (Şekil 2.1). Foton enerjisinin değişimi frekans ile doğru orantılı olup, dalgaboyu ile ters orantılıdır ($E=h\nu$, $\nu=c/\lambda$, c : ışık hızı).



Şekil 2.1: Elektromanyetik spektrum [35].

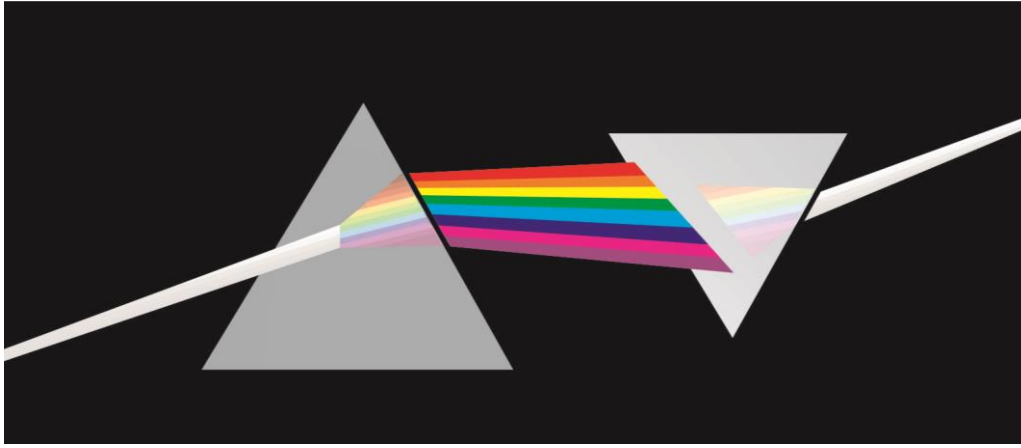
Gözün algılayabildiği ışık, tüm spektrumun çok dar bir aralığını oluşturmaktadır. Işığın farklı dalgaboyları, gözde farklı renk algısı yaratmaktadır. Görünür ışık bölgesinde, çıplak gözle algılanabilen en uzun dalgaboyuna karşılık gelen ışık, kırmızı olarak algılanırken, en kısıboylu olanı mor algısı yaratmaktadır. Görünür, morötesi ve kızılötesi bölgelerinin spektral dağılımı Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1: VIS, UV ve IR bölgelerinin spektral dağılımı [36].

Spektral bölge	Dalgaboyu aralığı (nm)	Alt bölge
Morötesi	100-280	Morötesi-C
	280-315	Morötesi -B
	315-380	Morötesi -A
Görünür	380-430	Mor
	430-500	Mavi
	500-520	Cyan
	520-565	Yeşil
	565-580	Sarı
	580-625	Turuncu
	625-740	Kırmızı
	740-1400	Yakın kızılötesi
Kızılötesi	1,400-10,000	Uzak kızılötesi

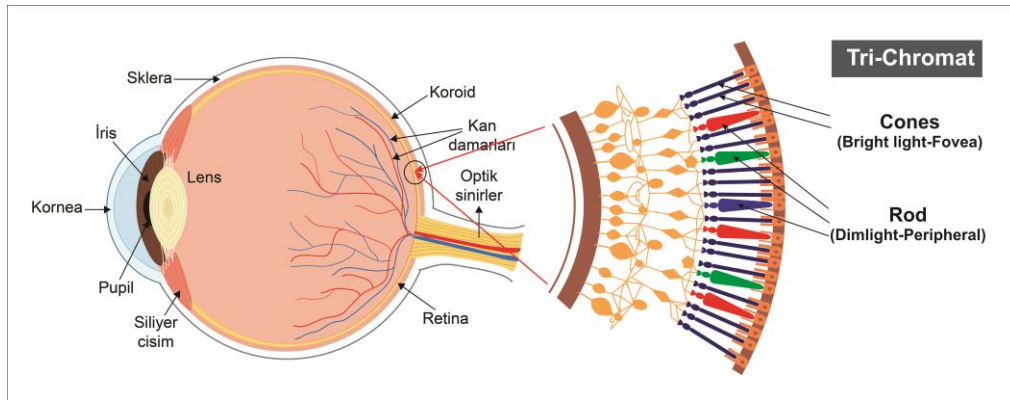
Renk konusu yüzyıllar öncesinden günümüze çokça ilgi çekmiştir. Renkle ilişkili çalışmalar için bilimsel başlangıç olarak tarihlendirme, Newton'un prizma ile yapmış olduğu klasik deneye dayandırılmaktadır (Şekil 2.2).

Renk algısı, gözde retina içinde yer alan ve foto algılayıcılar olarak da bilinen, çubuksu ve konik (*rodes- cones*) algılayıcıların, fiziksel olarak uyarılması aracılığı ile üretilir. Bu algılayıcılar ışık miktarına göre duyarlılık değişkenliğine sahiptirler: az ışıktaki gri (*gray*), yeterli ışıktaki ise renkli (*color*) algılayıcı olarak *photopic* ve *scotopic* isimleriyle iki başlıkta incelenmektedir.



Şekil 2.2: Newton'un prizma deneyi [37].

Gözün skotopik parlaklık duyarlılığı (scotopic luminous sensitivity), skotopik görüş (scotopic vision): düşük ışıklı koşullar altında, çubuksu hücrelerin algısıyla, gri görme olarak; fotopik parlaklık duyarlılığı (photopic luminous sensitivity) ise, yeterli ışık koşulları altında renkli algılamayı sağlayan konik hücreler aracılığıyla, renkli görme (color vision) olarak bilinmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Renkli görüş ve foto-algılayıcılar [38].

Tri-kromat konik hücreler üç temel dalgaboyu aralığını (color primaries- RGB), algılama hassasiyetine sahiptirler [35]. Tüm renk spektrumu, spektral saf (pure) veya kromatik olarak ideal prizma veya kırınım ağı aracılığı ile görselleştirilmiştir. Prizma aracılığıyla üretilmiş spektrumdaki her bir renge karşılık gelen dalgaboyu değerleri neredeyse lineer olmayıp, buna karşılık kırınım ağı, daha lineer spektrum üretir [35]. Spektral olarak farklı saf renkler, farklı dalgaboyu değerlerine sahiptir. Spektrumdaki dalgaboyu değerleri, prizma aracılığı ile elde edilmiş her bir renge karşılık gelmektedir.

Gözün algıladığı herhangi bir renk, örneğin sarı rengi: saf 580 nm dalgaboyundaki ışıklardan oluşmakla birlikte iki ayrı dalgaboyundaki ışık demetinin (656 nm kırmızı ve 545 nm yeşil) birleşmesi ile de oluşmaktadır. Karışımla elde edilmesi veya tek bir dalgaboyu ile elde edilmesi sonucu göze aynı görünen renk fiziksel olarak farklı özelliklere sahiptir. Bu durum, *metamerik* olarak isimlendirilmektedir. Bu durumda şunu söylemek gerekmektedir: spektral olarak saf/ tek kromaya sahip (*pure/ monochromatic*) renk, tek bir dalgaboyu ile üretilebilir. Buna karşılık, gözün aynı olarak algıladığı iki renk örneğinin, tek bir dalga boyundan oluştuğunu söylemek için o rengi oluşturan dalga boylarını tespit etmek gerekmektedir.

Gözün birleştirici (*synthesizer*) araç olduğu; kulak bir orkestrayı dinlerken, sesi tanımlayabilen kişisel enstrümanlar ürettiği için de kulağın bir çözümleyici (*analyzer*) olduğu söylenebilir [39]. Rengin bileşenlerini tanımlayabilen araçlara *spektroskop* denmektedir.

Renkler, ışığın malzemeyle etkileşimi sebebi ile kromatik dağınım sayesinde çeşitlenir: örnek olarak, camda veya suda, kırınım vb. Renklerin üretilebilmesi veya değiştirilebilmesi için tüm fiziksel olguların listesi yapılmıştır [40]. İnsan gözü 200 farklı gri tonu bir birinden ayırabilmektedir. Renkli görüş sayesinde, farklı mümkün tüm kombinasyonlar da fark edilebilmektedir. Renkli görüş sadece insanlar değil, hayvanlar için de geçerlidir. Işığın yaşadığımız dünyada algısı sadece şiddetini değil ayrıca renk bilgisini de içermekte olup, renkli görüş üzerine yapılan çalışmaların bu çerçevede devrimsel nitelik taşımakta olduğu vurgulanmıştır [41].

2.1.1 Tri-kromatik Teori ve Grassmann yasaları

Işık ve renk konusunda bir çok çalışma ve fikri ile Maxwell'in (1857, 1860) çalışmalarına da katkıda bulunmuş olan Grassmann (1853), renk eşleştirme deneylerine ek olarak renk ile ilgili temelleri ele alan yasaları kurmuştur. Bu yasaların dayandığı olgular şöyle sıralanmaktadır: Bir rengi tanımlamak için üç nitelik gerekli ve yeterlidir: rengin özü (hue), parlaklığı (luminance), doygunluğu (saturation) [42]. Farklı miktarlarda beyazla lüminansın karışması doygunluk olarak tanımlanmaktadır. Her bir rengin, tamamlayıcı (complementer) bir rengi vardır ve o renk tamamlayıcı rengiyle karıştırıldığında, renksiz olarak isimlendirilen griyi üretir. Aynı hue ve doygunluğa sahip iki ışık karıştırıldığında, onlarla aynı hue ve doygunluğa, ancak bağımsız güç spektrumuna sahip yeni bir renk üretilir [42].

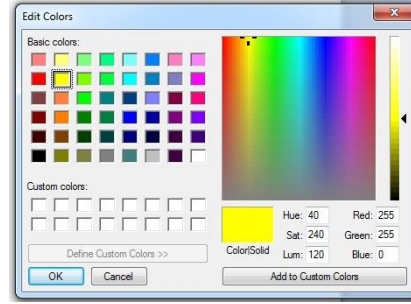
Işığın herhangi bir karışımının toplam lüminansı, onu oluşturan tüm ışıkların lüminanslarının toplamından oluşur. Bu yasalar, kolorimetri içinde kurulmuş olan tüm matematiksel yöntemin temellerini oluşturmaktadır [42].

Renk eşleştirme işlemleri, benzer koşullar altında yapılmalıdır. Bir önceki pozlandırmadan kalan etkiden, dikkatle kaçınmak ve önceki ışığın pozlandırmasının gözde kalan etkisi açısından, gözün yeni ışığa adaptasyonunun sağlanmasına dikkat etmek gerekmektedir. Renk eşleştirme çalışmasında, görüş açısının 10^0 'den fazla olması, bu yasalara göre hatalı sonuçlar verebilir [42].

2.1.2 Tristimulus değerleri

Doğada tüm renkler spektral olarak saf değildir. Renkler, spektral olarak saf renkler ile beyazın karışımından elde edildikleri durumda bu renkler için, özü aynı fakat doygunlukları farklı denmektedir. Doygunluk değerindeki derecelendirme kroma olarak isimlendirilmiştir. Beyaz ve spektral saf rengin karışımının görelî miktarı, rengin doygunluğunu ya da kromasını belirlemektedir. Spektral olarak saf renkler ve beyazın kombinasyonları, doğanın tüm olası renklerini elbette oluşturmamaktadır. Örnek olarak, tanımlı iki adet spektral saf kırmızı rengi ele alalım. Bunlardan biri güçlü olarak aydınlatılmış, diğeri neredeyse hiç aydınlatılmamış olsun, bu iki renk birbirinden oldukça farklı iki renkmiş gibi görünecektir. Diğeri bir örnekte saf kırmızı, biraz siyah boyayla karıştırıldığında, farklı görünecektir. Bu nedenle bir rengi tanımlarken şu üç parametre kullanılmaktadır: baskın dalgaboyu, doygunluk, ve *parlaklık*. Bu temel üç parametre “*tristimulus values*” olarak bilinir ve kullanılan

çeşitli renk sistemlerinde üçü birlikte *Hue-Saturation-Luminance/ Hue-Saturation-Brightness/ Hue-Saturation-Value* olarak bilinir. Kolorimetrisinin temel aldığı bu üç fiziksel parametre ile olası tüm renkler, tanımlanmış ve bir renk uzayı üzerinde haritalandırılmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Renk uzayında tristimulus değerleri.

Kolorimetrisinin, renk tanımlaması için kullandığı üç özellikten ilki *Hue* olarak isimlendirilmiş olup, baskın dalgaboyunu tanımladığı için rengin özü olarak da bilinmektedir ve renkle ilişkili olan ışığın spektrumdaki bölgesini gösterir.

Rengin tanımlanmasında ikinci tristimulus değeri: rengin beyaz/siyah seviyesini ortaya koymakta olup, 0 ile 100 arasında değer almaktadır. Bu özellik, doygunluk ismiyle bilinmekte olup, kroma (ton/ şiddet/ saflık) olarak da bilinmektedir.

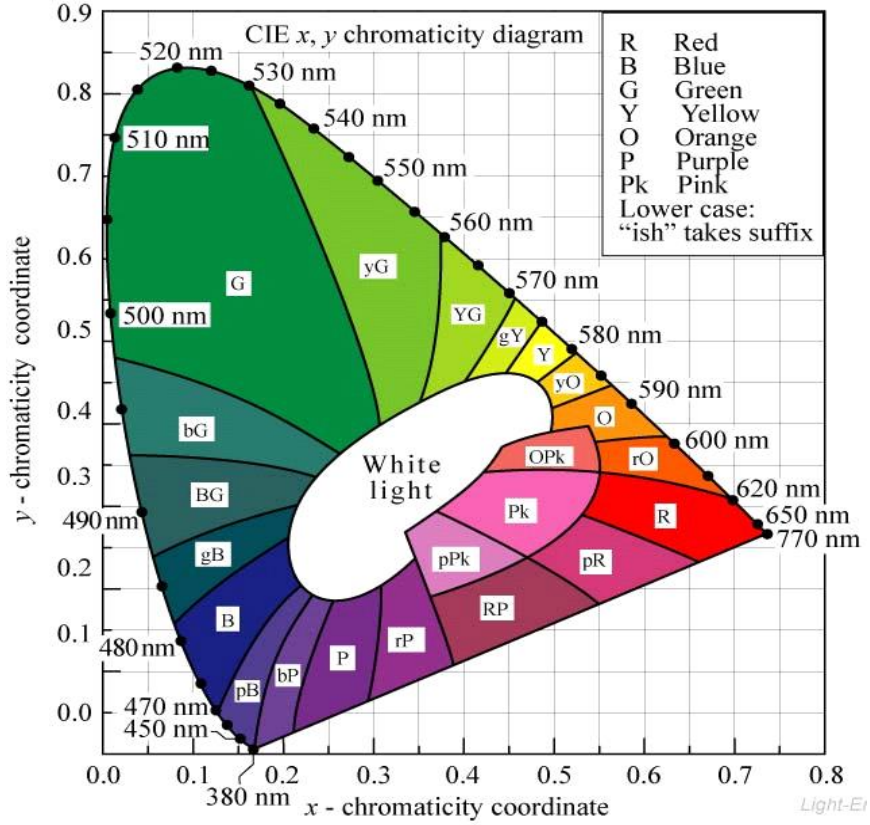
Üçüncü tristimulus değeri:, rengin parlaklık değeri olup birimi cd/m^2 'dir. Işıma yapan bir nesnenin yaydığı ışık, belirli bir yöndeki aydınlatılmış birim alandan birim katı açığa yayılan, tüm dalgaboyları için toplam bileşik ışımaya akışı olarak tarif edilir.

Herhangi bir renk sistemi içerisinde, rengi sayısal olarak bir skalaya atayabilmek için, bu üç temel özellik tanımlanmış olmalıdır. Renk uzayları: geometrik yapı olarak tüm renkleri, sistemli bir davranış içinde tristimulus değerlerine ve o değerlerin taşıdığı bilgiye göre iki veya üç boyutlu uzayda grafik olarak sunmaktadır. Renk sistemleri arasında yaygın olarak kullanılanı, "International Commission on Illumination" tarafından kurulmuş olan, "The CIE System of Colorimetry"dir.

2.2 Beyaz Işık Parametreleri

Kırmızı, yeşil ve mavi ışık yayan diyotlar (RGB-LED) birleştirilerek beyaz ışık üretildiği bilinmektedir. Bu işlem *chromaticity* şemasıyla açıklanabilir. Şemalardan en bilineni CIE 1931 x-y koordinat sistemidir (Şekil 2.5). Ancak bununla beraber, tam farkedilebilen renk farklılığı, mesafe bazında sabit bir genişlik olmayıp,

mesafeye dayalı bir genişlik uygulandığında, tam belirgin renk farklılığının neredeyse tekdüze olduğu yeni bir koordinat alanı oluşturulabilir ve bu nedenle birtakım dönüşümlerle CIE u-v sistemi vb. çeşitli koordinatlar da tanımlanmıştır [44].



Şekil 2.5: CIE 1931 x-y şeması (uyarlama Gage et al.) [43].

Üç farklı renkte ışık yayan diyotları birleştirerek, üç rengin oluşturduğu üçgen içinde yer alan herhangi bir renk noktasını üretmek mümkündür. Hemen hemen tüm beyaz ışık aydınlatma uygulamalarında oluşan ışık, karacisim ışımasını izleyen noktaların bulunduğu alanın ya üzerinde ya da çok yakınında olmalıdır. Akkor lâmbasının karacisim ısısı (CCT) yaklaşık 2700 K'dır. Uygulama ve tercihe göre, floresan lâmbaların çoğu 3000-5000 K arasında CT vermek üzere düzenlenmişlerdir [44].

Aydınlatmanın ana gereksinimlerinden bir diğeri de, beyaz ışık kaynağının spektral özellikleri ile ilgilidir. Algıladığımız objelerin renkleri, onların üzerinde oluşması beklenen ışığın spektrumuna bağlı olup, mesela: kırmızısı çok net olan ancak yetersiz bir ışıkla aydınlanan kırmızı bir obje, siyah olarak görülebilecektir ve aydınlatma endüstrisi, bir ışık kaynağının renk sunuş özelliklerini tayin etmek için standart renk sunuş endeksi kullanmaktadır (CRI) [44]. Renk sunuş indeksi: ışık kaynağının,

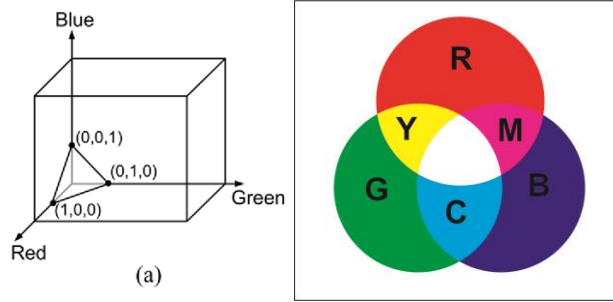
nesnelerin renklerini ortaya çıkartabilme ölçüsü olarak da bilinip, bu özellik, ışık kaynağı ile aynı renk ısısında olan bir karacisim ışık yayıcı ile kıyaslandığında, beyaz ışık kaynağındaki sekiz standart spektrum elemanlarından kurulu olduğu görülmekte olup, örnek olarak: akkor lâmbanın değeri 100, ofislerde kullanılan tipik floresan lâmbalarında bu değer 80, tipik bir ev içi aydınlatması 80, caddelerdeki sokak lâmbaları gibi haricî aydınlatmalar için genellikle 40 veya daha az renk dizisi yeterli gelmektedir [44]. Gerekli olan değer, kullanım amacına göre değişir. Perakende satış yapan bir dükkandaki malların aydınlatılması, renk sunumu endeksinde en çok rağbet gören uygulamadır. Doğru kullanım ise, sunulan ürünlerin içeriğine göre belirlenir. Ürünler değiştikçe farklı renk noktaları arzulanabilir. Konveksiyonel ışık kaynaklarında bunun anlamı, lâmbanın değiştirilmesi gerektiğidir. Örneğin, sadece RGB aydınlatma oranının ayarlanmasıyla RGB-LED'ler arzulan renk noktasına ulaşmayı sağlar. Floresan aydınlatması bulunan ofislerde renk ısısı, akkor lâmbalarda 2700 K'dan 4000K'ya kadar değişebilir. RGB-LED'li bir lâmba, bir sıra renk ısısı elde etmeye yeterlidir.

Beyaz ışık karakterizasyonunda kullanılan üç özellik: *CIE x-y kroma koordinatları*, renkle ilişkili sıcaklık ve renksel geriverim indeksi. Saf beyaz ışık için aydınlatma uygulamalarında CIE x-y koordinatları $x=0.333$ ve $y= 0.333$ olup; CCT için sağlanması gerekli değerler, karacisim kaynağının sağladığı değerler olduğundan, 3000 ile 7500 K arasındadır; CRI değerleri sayısal ölçü olarak 0 ile 100 arasında değişmektedir [34]. RE katkılı camların yaydıkları aydınlatma nicelikleri beyaz ışık kalitesinde: yüksek parlaklık, yüksek aydınlatma yeterliliği, kararlı CIE x-y koordinatları, uygun CCT ve yüksek ölçüde CRI'ya karşılık gelmektedir[34].

2.2.1 CIE-x-y kroma koordinatları

En yaygın olarak kullanılan renk uzayı sistemi şöyle sıralanabilir: CIE 1931 x-y, 1976 $L^*u^*v^*$ ve 1976 $L^*a^*b^*$. r, g, b sistemi için *tanımlı tri-kromatik* teoremin yasaları baz alınarak, kolorimetri için tüm temel matematik araçları ile matematiksel prosedürler kullanılarak rgb sistemden CIE x-y renk özelleştirme sistemine dönüştürmek için kullanılmıştır. Tristimulus değerlerinin, ölçme cihazları aracılığıyla algılanıp iki boyutlu uzayda tanımlanabilmesini sağlamak amacıyla, çok özel çeşitli dönüşüm işlemleri yapılarak, renk özü, doygunluğu ve parlaklık değerleri, X,Y,Z değerlerine dönüştürülüp, çeşitli renk uzayları ve renk haritalarında tanımlı olması

sağlanmıştır (Şekil 2.6). Burada X,Y,Z koordinatları tristimulus değerlerine eş olmayıp, bir çok özel fiziksel ve matematiksel dönüştürücü işlem aracılığıyla eşleştirme matrisleri tanımlanmış ve büyük harflerle gösterilen kırmızı, yeşil, mavi (KYM) temel renkleri (Red-Green-Blue/ Cyan-Magenta-Yellow) ile tanımlı renk uzayının, küçük harflerin üzerinde çizgi ile gösterildiği kym renk eşleştirme fonksiyonları (rgb color matching functions-CMF's) tanımlanarak, gözün lüminans verimliliği değerleri için deneysel olarak her bir dalgaboyu için tek tek r,g,b CMF değerleri elde edilmiş olup, çeşitli eşitlikler aracılığıyla XYZ koordinatlarına dönüşüm sağlanarak, küçük harflerle ve üzerinde çizgi ile gösterilen xyz renk eşleştirme fonksiyonları elde edilmiştir. CIE renk standartları, tanımlanmış renk eşleştirme fonksiyonlarını, önerilen renk uzayını tanımlamak için kullanılan tristimulus değerlerini (x-y, z) hesaplamak için kullanılır [45].



Şekil 2.6: Temel renkler-RGB Renk uzayı ve CMY-K ilişkisi.

2.2.2 CCT

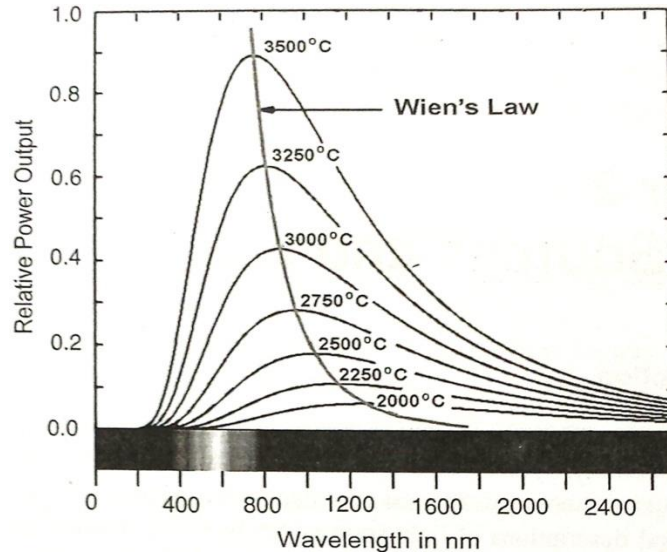
Tek kromaya sahip olmayan ışık kaynakları, kendi spektral güç dağılımları ile karakterize edilebilirler. Küçük aralıklarda dalgaboyu veya frekansta yaydıkları gücün toplam miktarı, spektral güç dağılımı olup, bir objenin algılanan rengi, yalnızca o objenin içsel rengine ya da spektral yansıtıcılığına bağlı olmayıp, aynı zamanda o objeyi aydınlatan ışığın spektral güç dağılımına da bağlıdır [46].

Bir karacisimin rengi yoktur ancak, üzerine düşen tüm ışığı soğurduğu için, siyah olduğu söylenir. Karacisim, mutlak sıfırda (0 K/ -273.15 °C) hiç ışık yansıtmadığı için, tam olarak siyah görülür [46]. Karacisim ısıtıldığında, sıcaklık derecesine bağlı olan bir renk ve ışıma ile aydınlanmaktadır. 1000 K (727 °C) civarında kırmızı, 1500 K (1227 °C) civarında sarı, 4500 K (4227 °C) civarında beyaz, 6500 K (6227 °C) civarında mavimsi-beyaz görülmektedir [46]. Planck sabiti h , Boltzman sabiti k , ışık hızı c , dalgaboyu λ , pik dalgaboyu λ_m , mutlak sıcaklık T olmak üzere, İyi bilinen

“karacisim ışıma yasası” ile elde edilen, karacisimin renk ve spektral ışımasını ifade eden $L(\lambda)$ ’nın nasıl değiştiği, karacisim spektral ışıma fonksiyonu ve Wien yasası aşağıdaki bağıntılarla verilmektedir (Şekil 2.7):

$$L(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{ch/\lambda kT} - 1} \quad (2.1)$$

$$\lambda_m T = \frac{ch}{4.965k} = 0.0028978 \text{ m} \cdot K \quad (2.2)$$



Şekil 2.7: Karacisim spektral ışıma fonksiyonu ve Wien yasası [46].

Bu yasayı kullanarak, yıldız veya fırındaki bir obje gibi akkor cisimin sıcaklığı, renginden yola çıkarak tahmin edilebilir. Bir ışık kaynağının rengi, T sıcaklığında karacisim ile aynı renk ise, o ışık kaynağının sıcaklığı T olarak ifade edilmekle birlikte; renk tam olarak aynı olmayıp da yakın bir renk olduğunda, CT değeri T olarak ifade edilmektedir. Ancak, ışık kaynağı bir karacisim olmadıkça, bu değer gerçek sıcaklık değeri değildir [46].

En önemli ışık kaynağı doğal günışığıdır (daylight), ancak spektral parametreleri hava ve coğrafi konum gibi bir çok değişkene bağlıdır çünkü: atmosferik geçirgenlik ve bulutlar çok kısa anlar içinde gün ışığının değişmesini sağlayabilmektedir. Bunlar gözönünde bulundurulduğunda: gün ışığının sabit bir CT değeri olmayıp, havanın bulutlu, nemli, güneşli, kapalı veya açık oluşu gibi etkenlere bağlıdır ve böylece gün ışığının renk sıcaklığı gündoğumunda ve günbatımında daha düşük ve kırmızıya

dönüktür, akşamları ise daha yüksek ve maviye dönük olup. CT değeri 2000 ile 10.000 K arasında değişebilmektedir [46].

Bazı ışık kaynakları belli amaçlarda aydınlatma için özel olarak tasarlanıp üretilmekte: 1931 CIE-de (CIE, 1932; ISO/CIE, 1991) tavsiye edilen üç standart aydınlatıcı, gerçek ışık kaynakları ile tanımlanıp kabul edilmiş olup, bu standart aydınlatmalar A, B ve C olarak isimlendirilmişlerdir [46].

A aydınlatıcısı, bobinli tungsten teli olan ve kuartz ampulu bulunan gaz dolu bir akkor lâmba ile sağlanmakta olup, CCT değeri 2856 K ve artık yaygın olarak kullanılmayan B isimli ikinci aydınlatıcı öğle güneşi ışığını andırmakta olup, Çizelge 2.2'de gösterildiği gibi bir ışık kaynağı önündeki çift-sıvı filtre ile üretilmiştir [46].

Çizelge 2.2: A aydınlatıcısını B aydınlatıcısına dönüştüren sıvı filtreler [46].

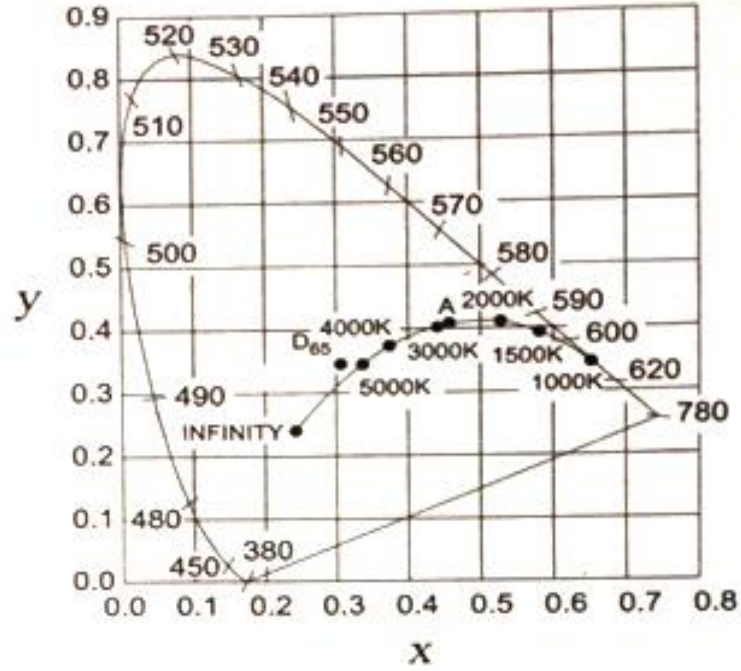
Filtre (kalınlık: 1 cm)	Bileşen	Miktar
Birinci filtre	CuSO ₄ 5H ₂ O	2.452 g
	C ₆ Hg(OH) ₆	2.452 g
	C ₅ H ₅ N	30.00 cm ³
	Saf su	1000 cm ³
İkinci filtre	[CoSO ₄ (NH ₄) ₂ SO ₄ 6H ₂]	27.71 g
	(CuSO ₄ 5H ₂ O)	16.11 g
	(H ₂ SO ₄) (density: 1.835)	10.00 cm ³
	Saf su	1000 cm ³

Ortalama bir günışığını andıran üçüncü aydınlatıcı C, sıvı filtreli aydınlatıcı A'yı andıran ışık kaynağının filtrelenmesiyle üretilmiş olup, günışığında, C aydınlatıcısındakinden daha fazla UV vardır. Doğal günışığının yüksek dalgalanmaları nedeniyle, B ve C aydınlatıcıları yetersiz kabul edilmişlerdir. Bunun yerine CIE kongresi, B ve C aydınlatıcılarının yerine konmak üzere, yaklaşık 5500 (D₅₅), 6500 (D₆₅), ve 7500 K (D₇₅), CCT'lik bir dizi D aydınlatıcıyı tavsiye etmiştir. CIE kongresince 1931'de (CIE 1932) açıklandığı gibi, x ve y kroma koordinatları (x_D aralığı 0.250-0.380, x_D ve y_D kroma koordinatlar olarak), D aydınlatıcıların aşağıdaki ilişkisinde tatminkar bir rol oynamaktadır [46]:

$$2.870y_D^2 - y_D - 3.000x_D^2 - 0.275 = 0 \quad (2.3)$$

İyi günışığı simülatörleri, renk ölçümü ve renk kontrolünde çok önemlidirler. En iyi araçlarda uygun filtreli, yüksek basınçlı zenon ark lambası kullanılır. D aydınlatıcılar pratikte çeşitli şekillerde, örneğin bir tungsten lâmbası veya mavimsi renkli cam

filtre ile yakınlaştırılabilirler. CCT ve CIE 1931 x-y kroma koordinatları ilişkisi, detaylı olarak Şekil 2.8 de görülebilir.



Şekil 2.8: CIE x-y koordinatları ve karacisim ışıması eğrisi CCT değerleri [47].

2.2.3 CRI

Aydınlatmadaki ışık kaynaklarında veya renk ölçümü hedeflerinde -karacisim veya günışığına olduğu şekliyle- ideal ışık kaynağına yakın bir ışık kaynağı ile aydınlatıldığında, renklere ne denli aslına sadık bir şekilde ulaşılabilceğinin bir ölçümü olan, renk sunuş indeksi (CRI) oldukça önemlidir. Karacisim ışıması gibi bir ışık kaynağının, saptamaya göre 100 değerinde CRI'sı vardır. Bu nedenle, hemen hemen karacisimde ışın saçıcıları olmaları nedeni ile, akkor lâmbaların 100 CRI'ları vardır. CRI'nın matematiksel bir tarifi Ohno (2004) tarafından yapılmıştır [48]. Aslına en uygun renk 100 CRI olarak belirtilirken, en zayıf olanı da CRI sıfır (0) olarak belirtilmiştir. Örneğin düşük CRI'lı floresan lâmbalarında çok düşük kırmızı ışık yayan fosforlar mevcuttur. Akkor aydınlatma ile kıyaslandığında, dış yüzey daha az kırmızı bir içerik ile ortaya çıkar. Kırmızı ışığı tespit etmekte göz daha yetersiz olduğu için, kırmızı ışığı arttırmak üzere CRI'da yapılan bir iyileştirme aydınlanma yetersizliğini azaltabilir. Yüksek CRI'nın iyi renk yorumu sağladığı anlamına gelmediğini de belirtmek gerekir; zira referans kaynağının kendisi dengesiz bir renge sahip olabilir. Renk sunum indeksinin pratikte söz konusu renk sunum kalitesiyle, özellikle de floresan lâmbalar veya beyaz ışık yayan diyotlar gibi sivri uçlu emisyon

spektrası olan ışık kaynakları ile her zaman bağlantı kuramadığına ilişkin, Ohno tarafından bir eleştiri de yapılmıştır [49]. Davies ve Ohno tarafından 2010 yılında daha iyi renk sunumu kriterleri teklifi yapılmıştır [50]. Bazı CCT ve CRI değerleri, yaygın kullanılan ışık kaynakları için, Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3: Yaygın kullanılan bazı ışık kaynakları için CCT ve CRI değerleri [51].

Işık kaynağı	CCT (K)	CRI
Yüksek basınçlı sodyum	2100	24
Yüksek basınçlı cıva buharı	3400	49
Halofosfat soğuk beyaz floresan	4230	64
Halofosfat günışığı floresan	6480	77
Trifosfor floresan	3380	82
Akkor/Halojen lamba	3200	100
Beyaz üç-çip ışık yayan diyot	3300	80
Beyaz fosfor ışık yayan diyot	3000	70
Aydınlatıcı A	2856	99
Aydınlatıcı D ₆₅	6500	100

2.3 Lazer ve Üst Enerji Dönüşüm Mekanizması

Teknolojik açıdan tanımlamak gerekirse fotonik, ışık aracılığıyla bilginin transferi olarak tanımlanabilmekte olup, elektronik alanında geline son noktada, bu devrimsel teknolojinin temeli, malzemenin optiksel non-lineerliği ile ilişkilidir [52]. Lazer: morötesi, görünür veya kızılötesi optik bölgelerde, yüksek şiddette aynı dalgaboyunda, aynı frekansta; aynı fazda olup, aynı yönde ilerleyen ışınım kaynağıdır. Lazer mekanizması, uyarılmış emisyonun ısımalı süreçlerine dayanmakta olup, gerektirdiği en önemli koşul: durağan durumdaki başlangıç seviyesinden son durum seviyesine kadar *geniş popülasyon* varlığıdır ve bu fenomen nüfus tersinimi (*population inversion*) olarak bilinmektedir [53]. Lazer mekanizmasını sağlayan bu emisyon süreçlerine ulaşabilmek için, *lazer medyasında* en az üç veya dört enerji seviyesine ihtiyaç vardır. Bu seviyeleri RE geçiş metalleri iyonlarının sağladıkları bilinmektedir. Bir dizi farklı mekanizma: çoklu fonon gevşemesi (*multi-fonon relaxation*), çapraz gevşeme (*cross-relaxation*), ve bileşik üst dönüşüm ile oluşan ışımasız geçişler bir lazerin çalışmasında, istenmeyen enerji kayıplarının başlıca sebepleridir. *Çapraz gevşeme*, aynı miktar ile ayrılmış iki çift enerji seviyesi olan, birbirinden uzaklaştırılmış seçili herhangi iki lantanit iyonu arasında oluşabilir. Uyarılmış haldeki bu iyonlardan biri, enerjisinin yarısını temel seviyedeki iyonlara verir ve böylece sonuçta her iki iyon da ortak seviyede buluşur. Bu seviyede, çoklu-fonon gevşemeler yoluyla her ikisi de hızla temel seviyelerine geçerler, cam

matrislerdeki nadir toprak iyonlarının etkileşiminden kaynaklanan çapraz gevşeme süreçleri lüminesans verimini azaltmada, etkin bir rolü olduğu düşünülmektedir [53]. Komşu iki iyon uyarılmış haldeyken kendiliğinden bileşik üst dönüşüm işlemi oluşur. Bunlardan bir tanesi, enerjisini diğerine transfer ettikten sonra kendisi temel seviyesine geçerken, diğeri daha üst bir seviyeye yükselip, daha sonra ışımalı veya ışımasız olarak hızlı bir şekilde kendi temel seviyesine geçer. Bu bileşik üst enerji dönüşüm sürecinin, örneğin Er^{3+} katkılı camlarda, konsantrasyon nedeniyle ortaya çıkan lüminesans kayıplarının ana etkeni olduğuna inanılmaktadır. Er^{3+} 'nın, $^4\text{I}_{13/2}$ yarı kararlı seviyesi ile $^4\text{I}_{15/2}$ temel seviyesi arasında herhangi ara bir seviye bulunmamaktadır. Temeldeki uyarılmış iyonlar arasında çapraz gevşeme ilişkisi oluşamaz [53].

Lantanit serilerinin nadir toprak iyonları, lazer mekanizmalarında en yaygın olarak kullanılan aktif iyonlardır; sıklıkla kullanılan iyonların bir kısmı için 4f elektron konfigürasyonları arasından bir seçime imkan veren ışıma seviyeleri ve dalgaboyları mevcuttur. Nadir toprak iyonların kullanılması önündeki engellerden biri, iyonun lokal ortamına ve matris titreşim enerjilerine bağlı olan uyarılmış durumların kısa ömürleri ve ışımasız sönümlenmelerdir (Çizelge 2.4) [54]. Er^{3+} iyonları, RE iyonlarının çoğu arasında, lazer geçişliliğindeki tercih edilebilir olumlu özellikleri ile iyi bilinmektedir: $^4\text{I}_{13/2}$ - $^4\text{I}_{15/2}$ geçişlilikte, Er^{3+} iyonları üç seviyeli sistem olarak çalışırlar [55-58].

Çizelge 2.4: İnorganik camların en yüksek titreşim enerjileri [54].

Camlar	$h\nu$ (cm^{-1})
Silicate	1000-1100
Germanate	800-975
Tellurite	600-850
Fluoride	500-600
Chalcogenide	200-300
LaBr_3	175

Bunlar direkt olarak yarı kararlı üst seviyesi olan $^4\text{I}_{13/2}$ ($1.49\mu\text{m}$)'ye veya daha üst seviyelere pompalanabilirler ki, burada yarı kararlı $^4\text{I}_{13/2}$ seviyesinde ışımasız sönümlenme hâli ortaya çıkar. Bu durumda, alt seviye temel seviyedir ($^4\text{I}_{15/2}$). Uyarılmış fotonların, zemin seviyesinden direkt yarı kararlı seviyesine soğurmaları durumu oluşabilir ki, bu durum, üç seviyeli sistemlerin tipik bir özelliği olup, kendi kendini soğurma olarak bilinir [53].

2.3.1 Frekans üst-dönüşümü

Halihazırda, kızılötesinden görülebilir ışıma yeterli frekans dönüşümü sağlayan ışıma materyalleri için yoğun bir ilgi mevcuttur; zira yakın kızılötesi lazer tarafından pompalanan görünür bir kaynak, yüksek kapasiteli bilgi depolayan optik aletler için çok yararlıdır. Uyarılma halindeki bu uyarılış işlemi üst dönüşüm ile düzenlenmiş olup, lazer aksiyonuna belirgin bir örnektir. Bu nedenle, hem ışıma yaşam süresi hem de uyarılmış seviyesinin uyarıcı emisyon kesiti en üst seviyeye getirilirken, ışımasız sönümlenme mekanizması da minimize edilmelidir: ilgilenilen bölgenin dalgaboyu aralığında minimal bir soğurma katsayısı sağlayabilmek için cam bir gövdenin yanısıra, nadir toprak konsantrasyonlarının büyük miktarda birleşebilme kabiliyetine, düşük titreşim enerjilerine ve yüksek bir kırılma endeksine ihtiyaç vardır [53]. Hem florid kristallerde hem de camlarda, üst dönüşümlü görülebilir ışıma sağlayan lantanit katkı maddesi olarak Er^{3+} , en çok kullanılan madde olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, üst-dönüşüm pompalı ışıma beklentisi, daha düşük titreşim enerjili, nadir toprak katkılı oksit cam sistemlerine bağlanmıştır. Uyarılmış üst enerji dönüşüm işlemlerinde, uyarılmış durum soğurulması (stimulated emission absorption-ESA) ve katı matriste nadir toprak iyonları bulunduran enerji transferi, önemli mekanizmalardır. Sırasıyla yeşil ve kırmızı üst enerji dönüşüm verimini sağlayacak Er^{3+} içeren, üst dönüşüm lazerler konusunda epeyce çalışma yapılmıştır. Er^{3+} 'nın Yb^{3+} ile olan duyarlılığı, kızılötesi üst enerji dönüşüm için olumlu olabilir [59-61].

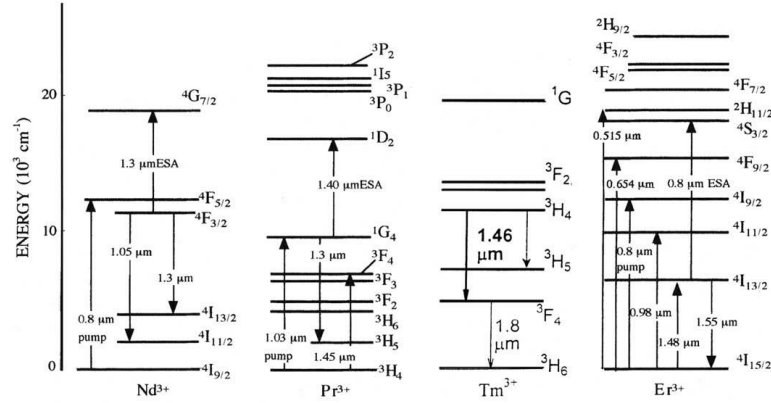
2.3.2 Güçlendirme 1.3 μm ve 1.5 μm 'de

Nadir toprak katkılı fiberler ve gelişmiş optik dalga-kavuzları araştırmalarındaki itici güç: 1.3 ve 1.5 μm 'daki optik iletişim sistemlerindeki zayıf sinyalleri güçlendirmek için kullanılmaları olmuştur. Bunun başarılması, nadir toprak katkılı fiberin uçlarını bir iletken ile birleştirerek, bir fiber çift içinden ışığı enjekte ederek basitçe sağlanabilir. Nadir toprak emisyon bandı içinde oluşturulan sinyal: optik iletişim sinyalini yüksek bir kazanç, yüksek verimlilik ve düşük gürültü ile güçlendirerek, aynı frekanstaki ışımanın emisyonunu uyarır [53]. Bunlar, optik iletişim için arzulanan yüksek avantajları sağlar.

Optik iletişim sistemlerinin dalga kavuzu veya fiber yükselticilerde katkı maddesi olarak kullanılabilecek beş temel nadir toprak adayı vardır: Er^{3+} , Tm^{3+} , Nd^{3+} , Pr^{3+} ve

Dy³⁺. Bunlardan özellikle Er³⁺ ve Tm³⁺ iyonlarına bakarak, 1.5 µm'de merkezleşmiş, 1.4–1.6-µm'de: Er³⁺un ⁴I_{13/2}–⁴I_{15/2} geçişine ve Tm³⁺un ³H₄–³F₄ geçişine dayanan, 1.3 µm telekomünikasyon çerçevesi için potansiyel olarak kullanışlı seçimler oldukları söylenebilir (Şekil 2.9). Nd³⁺'nın ⁴F_{3/2}–⁴I_{13/2} emisyonu, Pr³⁺'nın ¹G₄–³H₅ geçişliliği ve Dy³⁺'nın ⁶F_{11/2}–⁶H_{15/2} geçişliliğinin hepsi, 1.3 µm telekomünikasyon çerçevesi için muhtemelen yararlıdır [62].

Işımalı gevşeme işlemlerine ek olarak, çoklu-fonon gevşemesi, çapraz gevşeme ve bileşik üst-dönüşüm gibi süreçler güçlenme yeterliliğini azaltabilirler. Uyarılmış durum soğurması ve güçlendirilmiş kendiliğinden emisyon (amplified spontaneous emission-ASE), güçlenme yeterliliğini azaltan ve çok istenmeyen süreçler olduğu için, kompozisyonunun değiştirilmesiyle kısmen ortadan kaldırılabilir [62].



Şekil 2.9: Bazı nadir toprak elementlerinin pompalanma ve ışıma ile ilişkili geçiş seviyeleri (Uyarılma) [53].

2.3.3 UV ve NIR Uyarılma ve UC

Üst enerji dönüşüm mekanizmasında genellikle yakıncızılötesi veya kızılötesi'ne düşük enerjili ışık, morötesi veya görünür yüksek enerjilere, çoklu soğurma ya da enerji transferi aracılığı ile dönüştürülür. Son dönem uygulamalarda katıhal lazerlerde, güneş hücrelerinde, biyolojik floresans etiketleme ve benzeri çalışmalar üzerinde yoğunlaşmıştır [63].

Üst enerji dönüşüm işleminde nadir toprak iyonlarından genellikle aktivatör iyonlar olarak Ho³⁺, Er³⁺ ve Tm³⁺ iyonlarının, kırmızı-yeşil-mavi floresans üretmek için en çok kullanılan iyonlar oldukları ifade edilmiştir [63]. Bunun yanında, Ho³⁺, Er³⁺ ve Tm³⁺ iyonları, 980 nm foton enerjisi ile uyumlu enerji seviyeleri olmadığı ya da düşük verimde olduğundan, yeterli emisyon yayamamaktadırlar. Bu nadir toprak iyonlarına karşılık Yb³⁺ iyonları: yakın kızılötesi bölgede geniş soğurma kesiti

sağlaması açısından yeterli verimliliği sayesinde, Ho^{3+} , Er^{3+} ve Tm^{3+} un floresans şiddetini arttırmak için verici olarak, daima ortak katkılanır [63]. Bu uyarma, yakın kızılötesi lazer diyot üzerinden beyaz ışık üretme kaynağı olarak büyük ilgi alanı oluşturmuştur. Beyaz ışık üretimini başarmanın genel yolu, üç temel ışık rengi olan kırmızı, yeşil ve mavi renkleri birleştirmek olup; ana kompozisyonlarının düzenlenmesindeki zorluklar karşısında çözüm olarak, verici ve alıcı iyonların uygun kombinasyonları tasarlanıp yapılmıştır [63].

2.3.4 Ln^{3+} için ışımalı -ışmasız süreçler ve J-O Teori

Ln^{3+} iyonlarının camlarda, uyarılmış durumları, ışımalı ve ışmasız süreçlere göre incelenmektedir. Cam matrisleri içinde lantanit iyonlarının ışımalı ve ışmasız süreçleri Reisfield ve Jorgensen tarafından otuz yıl önce detaylı olarak araştırılmıştır [64-67]. Ln^{3+} iyonları için bazı çok önemli ışımalı geçiş parametreleri, soğurma ve lüminesans spektrumlarından deneysel olarak elde edilen veriler ile standart J-O teori kullanılarak hesaplanmaktadır [68, 69]. Örnek olarak, lantanit iyonları ile katkılanmış kurşun borat camlar için şu söylenebilir: ışımalı ve ışmasız süreçler, uyarılmış durumların gevşemesinde hayati öneme sahiptir ve özellikle, host malzemenin barındırdığı görece olarak yüksek fonon enerjisi dolayısı ile çoklu-fonon ışmasız geçişte, toplam uyarılmış durum gevşemesine katkıda bulunur [70].

Ln^{3+} iyonlarıyla katkılanmış TZ camlar, lüminesans özellikleri dolayısı ile katıhal lazer aktif medyasında, yakın kızılötesi ayarlanabilir (tunable) laserlerde, yakın kızılötesi'den görünüre dönüştürücülerde ve geniş bant optik güçlendiricilerde malzeme olarak kullanılmaktadırlar [70].

Işığın soğurulmasında: soğurucu ortamdan geçen ışık demetinin tek bir dalgaboyunda olduğu ele alındığı bir durum için, enerji seviyeleri olan E_1 ve E_2 arasında tek bir elektron geçişi olduğu varsayıldığında, ışınım şiddeti I ile ışınım şiddetindeki değişim ΔI arasındaki ilişki, uzaklığın (x) fonksiyonu olarak aşağıda yer almaktadır.

$$\Delta I(x) = I(x+\Delta x) - I(x) \quad (2.4)$$

Işınım şiddetindeki değişim homojen bir ortam için, yerdeğiştirme miktarı ile hem de ışınım şiddeti ile orantılı olup, aralarındaki ilişki (2.5) eşitliğinde verilmiştir.

$$\Delta I(x) = \mu I(x) \Delta x \quad (2.5)$$

Soğurma katsayısı olarak da bilinen μ sabiti pozitif bir büyüklük olup, gelen ışığın şiddeti I_0 ile ışıının şiddeti arasındaki ilişiki de, de Lambert- Beer eşitliği olarak bilinen eşitlikle (2.6) gösterilmektedir.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.6)$$

Soğurmadan kaynaklanan ışıının şiddetinin azalışını, eşitlikteki negatif işaret ifade etmektedir.

Soğurma bantlarının spektral şiddetleri, soğurma çizgileri altında kalan alanlar, (2.7) eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$P_{\text{meas}} = 4.318 \times 10^{-9} \int \epsilon(\nu) d\nu \quad (2.7)$$

$\int \epsilon(\nu) d\nu$, soğurma çizgisinin altında kalan alanı ifade eder. Absorbans ($A = \log(I_0/I)$), nadir toprak iyonunun konsantrasyonu (N_0) [iyon/cm³], cam örneğin kalınlığı (l) [cm] olmak üzere, ilgili bandın molar soğuruculuğu (2.8) ifadesiyle verilmektedir.

$$\epsilon(\nu) = A/N_0 l \quad (2.8)$$

Temel seviye soğurmasının soğurma tesir kesiti (2.9) da yer almaktadır.

$$\sigma_a(\lambda) = 2.303 A/N_0 l \quad (2.9)$$

Ln^{3+} iyonunun her bir geçiş için, teorik osilatör şiddeti (2.10) numaralı bağıntıyla hesaplanmaktadır.

$$P_{\text{calc}} = \frac{8\pi^2 mc(n^2 + 2)^2}{3h\lambda(2J + 1) \cdot 9n} \times \sum_{t=2,4,6} \Omega_t (< 4f^N J \| U^t \| 4f^N J' >)^2 \quad (2.10)$$

Bağıntıda elektronun kütlesi (m), ışık hızı (c), Planck sabiti (h), ortamın kırılma indisi (n), ilgili geçişin pik dalgaboyu (λ), indirgenmiş matris elemanlarının karesi ($\|U^t\|^2$) yer almaktadır. $\|U^t\|^2$ indirgenmiş matris elemanlarının karesi (başlangıç ve son durum ile bağlantılı olan U^t birim tensörü operatörü) kullanılarak

hesaplanmaktadır [71, 72]. Elektrik dipol çizgi şiddetini hesaplamak için (2.7) numaralı eşitlik, kullanılmaktadır. Bu eşitlikte yer alan J-O şiddet parametreleri Ω_t ($t= 2, 4, 6$), en küçük karelere fit etme yöntemi aracılığı ile deneysel ve teorik olarak, elektrik dipol osilatör şiddetleri bulunmaktadır. Daha sonra, elde edilen Ω_t değerleri kullanılarak, ışımalı geçiş olasılıkları, lüminesans dallanma oranları ve ışımalı yaşam süreleri hesaplanmaktadır.

Nadir toprak iyonlarının başlangıç durumundan (J), son duruma (J') uyarılmış seviyeler için ışımalı geçiş olasılıkları (A_J), (2.11) numaralı bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$A_J = \frac{64\pi^2 e^2}{3h(2J+1)\lambda^3} \times \frac{n(n^2+2)^2}{9} \times \sum_{t=2,4,6} \Omega_t (< 4f^N J \| U^t \| 4f^N J' >)^2 \quad (2.11)$$

Son durumların A_J terimlerin toplamı üzerinden hesaplanır. Uyarılmış seviye için ışımalı yaşam süresi (τ_{rad}), toplam ışımalı emisyon olasılıklarının (W_R) tersi olarak şu Şekilde verilmektedir:

$$\tau_{rad} = \frac{1}{\sum_i A_{Ji}} = \frac{1}{W_R} \quad (2.12)$$

Lüminesans dallanma oranları (β) ise (2.13) numaralı bağıntıyla hesaplanmaktadır.

$$\beta = \frac{A_J}{\sum_i A_{Ji}} \quad (2.13)$$

Bu oran, uyarılmış seviyeden tüm temel seviyelere geçişlerin göreceli şiddetlerini vurgulamaktadır. Hesaplanmış emisyon olasılıklarından, oda sıcaklığında pik dalgaboyu zorlamalı ışıma tesir kesitii (σ_{em}) aşağıdaki bağıntıyla elde edilmektedir:

$$\sigma_{em} = \frac{\lambda_p^4}{8\pi c n^2 \Delta\lambda} A_J \quad (2.14)$$

Bu eşitlikte, pik dalgaboyu (λ_p), ışık hızı (c), kırılma endeksi (n), etkin band genişliği ($\Delta\lambda$) yer almaktadır. Yaşam süresi ve zorlamalı ışıma tesir kesitinin çarpımı ($\sigma_{em} \times \tau_{rad}$) yüksek kazanca ulaşmada önemlidir.

Birçok durumda ölçülmüş yaşam süresi değeri (τ_m), hesaplanmış yaşam süresi değerinden (τ_{rad}) dikkat çekecek ölçüde kısadır. Bu durum, Ln^{3+} iyonlarının uyarılmış

durum gevşemelerinin, diğer ışımasız süreçlere katkı sağladığını vurgulamaktadır. Bu değerlerden faydalanarak kuantum verimi (η) elde edilebilir:

$$\eta = \frac{\tau_m}{\tau_{rad}} \times 100\% \quad (2.15)$$

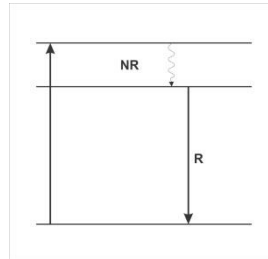
Cam konak malzeme içinde Ln^{3+} iyonlarının uyarılmış durumlar için yaşam süreleri, ışımalı (W_R) ve ışımasız (W_{NR}) süreçler aracılığı ile yönetilebilmektedir. Çoklu-fonon gevşeme olasılığı, enerji süreçleri, Ln^{3+} konsantrasyonundan etkilendiği için cam konak malzemenin fonon enerjisine bağlıdır [73]. Ln-Ln etkileşimi, soğurma ve emisyon tesir kesitlerini etkilediği için aktivatör Ln^{3+} iyonunun konsantrasyonunun artışı ya da azalışı lüminesansta azalma veya artmada etkin olmaktadır. Ln^{3+} iyonlarının uyarılmış durum için yaşam süreleri aşağıdaki Şekilde gösterilmektedir:

$$\frac{1}{\tau_m} = W_R + W_{NR} + W_{OH} \quad (2.16)$$

$$W_R = \frac{1}{\tau_R} \quad (2.17)$$

$$W_{NR} = W_{MRP} + W_{ET} \quad (2.18)$$

Bu eşitliklerde: çoklu-fonon gevşemesi (W_{MPR}), komşu Ln^{3+} iyonları arasında ET olasılığı (W_{ET}) ve OH^- gruplarının titreşim ile ilişkili ışımasız gevşeme olasılığı (W_{OH}) yer almaktadır. Ln^{3+} iyonlarının çoklu-fonon gevşeme işlemleri, pekçok kristal ve camlar için deneysel olarak kanıtlanmıştır. Camlardaki Ln^{3+} iyonlarının uyarılmış durumları, çapraz titreşimleri uyararak ışımasız olarak sönmülenebilir. Uyarılmış durum ile sonraki düşük seviye arasındaki enerji ayrışımının cam gövdenin azamî fonon enerjisinden daha fazla olması halinde, enerji boşluğunu dengeleyebilmek için bazı fononların emisyonu gereklidir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Işımalı ve ışımasız geçiş [74].

Yüksek düzey (≥ 3 fonon) süreçler için açıklandığı gibi, sönümlenme durumu özellikle enerji boşluğunu dengelemek için gerekli olan fonon sayısı ile tespit edilebilir. En yüksek enerji fononları enerjiyi en düşük düzey işlemlerde saklayabildiklerine göre, fononlar uyarılmış haldekilerin en önemli olanlarıdır [75]. Bu olağandışılıklar, çeşitli teorik yaklaşımlarla detaylı olarak incelenmiştir [76-78]. Enerji aralığı yasasına göre, çoklu-fonon gevşeme oranının (W_{MPR}) bir sonraki düşük seviye durumdaki enerji aralığı (ΔE) ile bağımlılığı şu Şekilde gösterilir[78]:

$$W_{MPR} = C \exp(-\alpha \Delta E) \quad (2.19)$$

C ve α konak malzemeye bağlı pozitif sabitlerdir ve Ln^{3+} iyonlarının özel 4f durumlarından bağımsızdırlar.

Düşük konsantrasyonlu aktivatör Ln^{3+} iyonları söz konusu olduğunda, iyon-iyon etkileşimleri göreceli olarak küçük ve ihmal edilebilir oldukları durumda, çoklu-fonon gevşemesi süreçleri önemli rol oynamaktadır [79].

Yüksek aktivatör konsantrasyonu, Ln-Ln iyon iyon etkileşimini artırır ve Ln^{3+} iyonlar arasındaki enerji transferi sonucu oluşan kuantum verimliliğinin azalışı gibi arzu edilmeyen etkilerin artışına yol açar. İyon iyon etkileşmeyi tahmin edebilmek amacıyla lüminesans sönümlenme eğrisi analizi için Inokuti-Hirayama modeli uygulanmıştır; ancak, lüminesans sönümlenmesinden dolayı optik uygulamalar için kullanışsızdır [80]. Sönümlenmenin üstel olmayan yapısı dikkate alındığında, lüminesans şiddetinin zamanla ilişkisi şu Şekilde verilmektedir:

$$I(t) = A \exp[-(t/\tau_o) - \alpha(t/\tau_o)^{3/s}] \quad (2.20)$$

Burada: A sabit; I(t) uyarılma sonrası lüminesans şiddeti; τ_o alıcının olmadığı durumda vericinin içsel geçiş hızı; iyonlar arasındaki dipol-dipol etkileşimi için $s=6$ olup, α aşağıdaki gibidir:

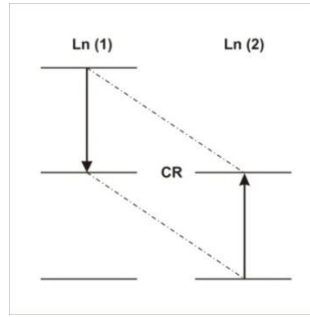
$$\alpha = 4/3\pi\Gamma(1 - 3/s)N_aR_0^3 \quad (2.21)$$

Burada, gamma fonksiyonu (Γ), iyon konsantrasyonu (N_0), donör-akseptör için kritik transfer mesafesi (R_0).Verici-alıcı etkileşme parametresi (C_{da}) ve enerji transferi olasılığı (W_{da}) şu bağıntılarla hesaplanmaktadır:

$$C_{da} = R_0^6 \tau_0^{-1} \quad (2.22)$$

$$W_{da} = C_{da} R_0^{-6} \quad (2.23)$$

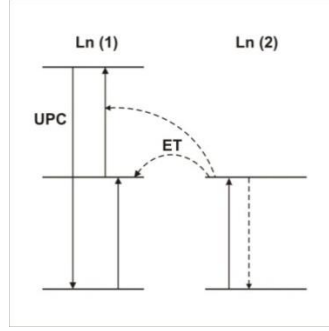
Çapraz gevşeme ayrıca ışmasız enerji sürecine bağlı olup, lüminesansı azaltmada etkin olabilir (Şekil 2.11). Bu etkileşimlerde, ara durumlar yoluyla uyarılmış Ln^{3+} iyonu olan bir durumda, uyarılma enerjisinin parçası çapraz gevşeme süreciyle taşınmış olabilir ve aşağıya doğru bir geçiş yaparken, uyarılmamış bir çift komşu Ln^{3+} iyonu ise yukarı doğru geçiş yapar [81]. Işmasız gevşeme oranı, Ln^{3+} iyonları arasındaki etkileşimin ayrılmasına bağlı olduğu kadar, buna ilişkin geçişlilik arasındaki enerji uyumsuzluğuna da bağlıdır .



Şekil 2.11: Çapraz gevşeme [81].

Çeşitli Ln^{3+} iyonları arasındaki enerji transferi süreçleri gözlemlenebilir. Ln^{3+} iyonlarına örnek olarak, literatürde Pr, Nd, Ho, Er, Tm ve Yb ile katkılı birçok kristal ve kristal olmayan sistemler iyi bilinmektedir.

Nadir toprak elementlerinden Yb^{3+} iyonları, yakın kızılötesi lazerler ve üst enerji dönüşüm sistemleri için enerji transferi süreçlerinde, verimli donör olarak rol oynamaktadırlar. Üst enerji dönüşüm süreçleri ve mekanizmaları Auzel tarafından incelenmiştir (Şekil 2.12) [82]. $\text{Ln}^{3+}(2)$ nin yarı kararlı durumundan uyarılışı için, $\text{Ln}^{3+}(1)$ den $\text{Ln}^{3+}(2)$ ye iki ya da daha fazla üst üste enerji transferi işlemi gerektirmektedir. İlk enerji transferi işlemi $\text{Ln}^{3+}(1)$ iyonunun uyarılmış seviyesinden, $\text{Ln}^{3+}(2)$ iyonunun yarı-kararlı durumuna getirilmesiyle yapılır.



Şekil 2.12: Üst enerji dönüşüm mekanizması [81].

Aynı ya da komşu uyarılmış $\text{Ln}^{3+}(1)$ ışımasız olarak enerjisini bir kez daha $\text{Ln}^{3+}(2)$ ye aktarır ve böylece ikinci bir rezonanssız enerji transferi meydana gelir. Böylece, uyarılmış olan, yarı-kararlı seviyede iki $\text{Ln}^{3+}(2)$ iyonu karşılıklı birbirlerini etkilerler. Bunlardan biri daha üst seviyeye çıkarken, diğeri $\text{Ln}^{3+}(2)$ 'nin temel seviyesine geçer; $\text{Ln}^{3+}(1)$ 'in yakın kızılötesi ışımayla uyarılışı nedeniyle, $\text{Ln}^{3+}(2)$ 'nin üst seviyeye geçişi sonucu lüminesans gözlenir [81]. Bu mekanizmanın çalışması, üst dönüşüm ışıyım şiddetinin (I_{UPC}), uyarma gücü (P_{pump}) ile log-log bağımlılığı olarak tanımlanmıştır ve ilişki bağıntı (2.14) vasıtasıyla sağlanır [81]:

$$I_{UPC} \propto P_{\text{pump}}^n \quad (2.24)$$

Hassas üst enerji dönüşüm lüminesansının kuralsız davranışı dolayısı ile foton sayısını veren n -in deneysel değerleri teorik değerlerinden biraz küçük olabilir [83, 84].

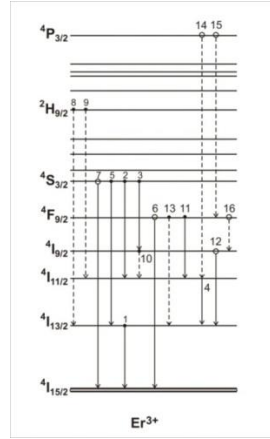
Soğurma ve lüminesans spektrumları ile elde edilen deneysel ölçümlere dayanarak ve J-O teori kullanılarak, yapılan teorik hesaplamalarla, Ln^{3+} iyonlarının TZ camları içerisinde bazı ışıma parametreleri tanımlanmakta ve üç şiddet parametresi ve spektroskopik kalite faktörleri elde edilmektedir. J-O şiddet parametreleri Ω_t ($t= 2, 4, 6$)'nin eğilimleri, 4f elektronları sayılarının ayrı bir fonksiyonu olarak araştırılmıştır. Ω_2 parametresinin küçük değerleri, iyi kimyasal homojenliği vurgulamaktadır [85]. Judd-Ofelt şiddet parametrelerinden Ω_2 kovalent bağa çok duyarlıdır: malzemede ne kadar güçlü bir kovalent bağ varsa Ω_2 daha büyük değer alır. Bu durumda, Ω_2 parametreleri daha kovalent olup olmadıkları görülebilir. Ω_4 ve Ω_6 parametrelerindeki gözlenebilen monoton azalış, Spektroskopik kalite faktörü (Ω_4/Ω_6) ise, taban malzemenin spektrum kalitesini belirlemekte olup, florofosfat camların Ω_4/Ω_6 değeri daha yüksek olduğu ancak tellürit camların florofosfat camlardan daha

iyi kararlılığa sahip olduğu düşünülmekte, dolayısı ile de tellürit camlar kızılötesi floresans ışması için taban malzeme uygulamalarında daha ideal camlar olarak görülmektedir. Kristallerin tersine borat camlarda, Ω_4 ve Ω_6 değerleri U-şeklinde bir eğri üzerinde yer almaktadır [86].

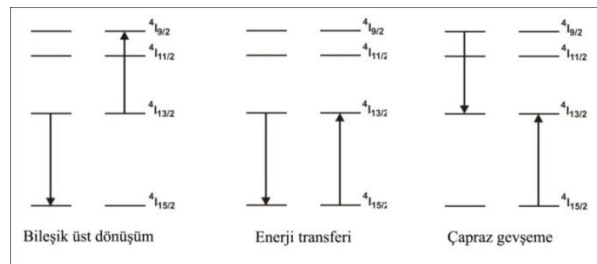
2.3.4.1 Erbiyum iyonu

Üç değerlikli Er^{3+} ($4f^{11}$), enerji seviyeleri Şekil 2.13’de görülebilir. İki komşu Er^{3+} iyonu arasındaki iyon-iyon etkileşim şeması ve Erbiyumun temel ve uyarılmış durum soğurma geçişleri (GSA, ESA) Şekil 2.14 ve Şekil 2.15’de yer almaktadır.

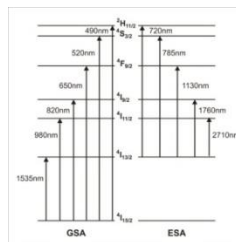
Erbium en çok çalışılmış lantanit iyonudur ve bunun temel sebebi $^4I_{13/2}$ - $^4I_{15/2}$ NIR laser geçişinin ($1.5 \mu\text{m}$) üçüncü nesil telekomünikasyon çerçevesinde kullanışlı olmasıdır ve dolayısıyla birçok cam matris içinde çalışılmıştır (Çizelge 2.5) [87- 96].



Şekil 2.13: Erbiyum iyonu enerji seviyeleri [97].



Şekil 2.14: İki komşu Er^{3+} iyonu arasındaki iyon-iyon etkileşim şeması [98].



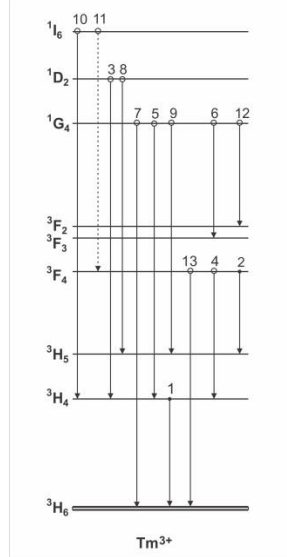
Şekil 2.15: Erbiyumun temel ve uyarılmış durum soğurma geçişleri [99].

Çizelge 2.5. Çeşitli konak malzemeler içinde Er^{3+} un optik parametreleri [100].

	Pik soğurma tesir kesiti (980 nm) [cm^2] $\times 10^{-21}$	$^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ Foto ışıma yaşam süresi [s]	Üst dönüşüm katsayısı [$\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$]	Pik zorlamalı ışınım tesir kesiti (980 nm) [cm^2]	Yarı bant genişliği (Işıma 1535 nm, 300 K'de)[nm]	En yüksek optik aktif konsantrasyo n
Tellürit [194, 193, 190, 197]	4.48	3.3×10^{-3}	2.74×10^{-17}	1.3×10^{-20}	80	% 2.5'de
Alümina [19, 191]	2.0	7.8×10^{-3}	4.0×10^{-18}	6.0×10^{-21}	55	
Silika [19]	1.0	12×10^{-3}	3.0×10^{-21}	7.27×10^{-21}	11	% 0.1'de
Fosfo- silica cam, Silicat cam [19]	2.01	10×10^{-3}	9.0×10^{-21}		27	% 2.5'de

2.3.4.2 Tulyum iyonu

Düşük fonon ağır metal camlara kıyasla Tm^{3+} ($4f^{12}$) iyonların uyarılmış durumdaki enerji seviyeleri Şekil 2.16'de görülebilir. Uyarılmış durumda enerji seviyelerinin geçişleri incelendiğinde, örnek olarak borat camlardaki Tm^{3+} nın $^1\text{G}_4$ seviyesinden $^3\text{H}_6$, $^3\text{F}_4$ ve $^3\text{H}_5$ seviyelerine geçişinde üç emisyon çizgisinin olduğu gözlenmiştir. Tulyum geçişlerinin notasyonunda, bazı çalışmalarda tercih $^3\text{F}_4$ ile $^3\text{H}_4$ ün yer değiştirmiş hali olduğuna dikkat etmek gerekmektedir.



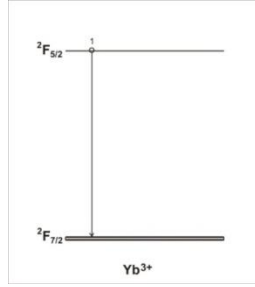
Şekil 2.16: Tulyum iyonu enerji seviyeleri [101]

Diğer lanthanite iyonlarına benzer Şekilde çoklu-fonon ışımasız geçişi, borat camlardaki Tm^{3+} iyonların $^1\text{G}_4$ gevşemesine belirgin bir katkıda bulunmaktadır; zira sadece enerjileri 1320 cm^{-1} olan dört fonon, $^1\text{G}_4$ seviyesi ile bir sonraki düşük yatay $^3\text{F}_2$ seviyesi arasındaki enerji boşluğunu ($\sim 5300 \text{ cm}^{-1}$) kapatabilirler. Tm^{3+} un iki

önemli yakın kızılötesi lazer geçişi ${}^3\text{H}_4\text{-}{}^3\text{F}_4$ (1.48 μm) ve ${}^3\text{F}_4\text{-}{}^3\text{H}_6$ (1.82 μm) olarak bilinmektedir [102-104].

2.3.4.3 İterbiyum iyonu

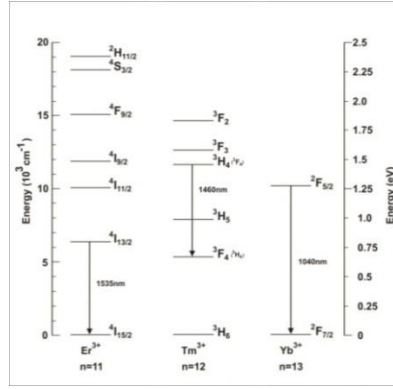
Yb^{3+} ($4f^{13}$) iyonunun her iki seviyedeki enerji seviye şeması kendine özgüdür. Bu Ln^{3+} iyonunun sadece iki seviyesi vardır: ${}^2\text{F}_{7/2}$ temel seviye ve ${}^2\text{F}_{5/2}$ uyarılmış seviye. Bu nedenle, Yb^{3+} 'nın sadece tek ${}^2\text{F}_{5/2}\text{-}{}^2\text{F}_{7/2}$ geçişi olduğundan, J-O teorisini kullanarak ışımalı geçiş parametrelerini hesaplamak mümkün değildir. Işımasız sönmürlenme azalışındaki ana neden: ${}^2\text{F}_{5/2}$ uyarılmış durum ve ${}^2\text{F}_{7/2}$ temel durum arasındaki büyük aralık ve bir ara seviyenin olmayışıdır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17: Yb^{3+} iyonlarının enerji seviye şeması [105].

InGaAs lazer diyot vasıtası ile uyarılma altında, Yb-katkılı cam sistemleri, oldukça yüksek verimlilikte lüminesans yayarlar. Bu bakış açısına göre, örnek olarak kurşun borat camdaki Yb^{3+} iyonlarının ışımalı geçiş parametreleri, düşük-fonon çinko tellürit cam için sağlananla kıyaslanabilir [106]. Yb^{3+} katkılı camların muhtemelen sunduğu imkanlar şöyle sıralanabilir: yüksek aktivatör konsantrasyonu ortaklığı, pompa dalgaboyunda büyük değerlerdeki soğurma kesitlerini ve yüksek verim sağlayacak emisyon kesiti, yüksek darbeli güce izin vermek için uzun ömürlü NIR ışıınımı ve oldukça geniş ışıınım bant genişliği. Bu özellikler, lazer mekanizması açısından: diğer bir deyişle kısa darbeli lazer üretimi veya ayarlanabilir (tunable) lazerler açısından arzulanan özelliklerdir.

Ayrıca Yb^{3+} iyonları, kızılötesi'ni görünüre dönüştüren sistem ve yakın kızılötesi lazerlerin enerji transferi süreçleri için etkili bir sensitizördür. $\text{Yb}^{3+}\text{-Er}^{3+}$ ve $\text{Yb}^{3+}\text{-Tm}^{3+}$ ile ikili katkılanmış olanlar için ET yöntemi analiz edilmiştir [107-111]. Er veya Tm cam sistemleri için kaydedilen soğurma spektrumlarında soğurma bantları sırasıyla Yb^{3+} 'nın ${}^2\text{F}_{5/2}\text{-}{}^2\text{F}_{7/2}$ geçişi, Er^{3+} 'nın ${}^4\text{I}_{15/2}\text{-}{}^4\text{I}_{11/2}$ geçişi ve Tm^{3+} 'nın ${}^3\text{H}_6\text{-}{}^3\text{H}_5$ geçişine denk gelirler. Tm^{3+} ve Yb^{3+} 'nın uyarılmış durumları arasındaki enerji boşluğu, Er^{3+} ve Yb^{3+} arasındakinden çok daha yüksektir (Şekil 2.18).



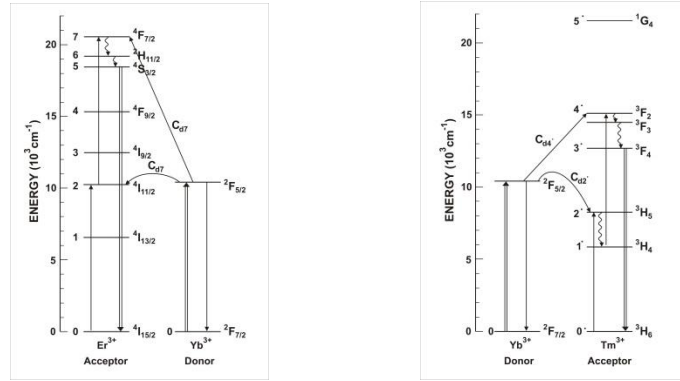
Şekil 2.18: Üç değerlikli Ln³⁺ iyonlarının en yaygın kullanılan ışımalı geçişleri [112].

ET'nin Yb³⁺'nin ²F_{5/2} durumundan Er³⁺'nin ⁴I_{11/2} durumuna transferinden sonra, iki uyarılmış durum gevşeme işlemi gözlemlenebilir. Bunlardan biri, yeşil luminesans oluşturan (Er³⁺'nin ⁴S_{3/2}-⁴I_{15/2} geçişi) üst dönüşüm mekanizmasıyla ilişkilidir. Er³⁺'nin ²F_{5/2} seviyesinin uyarılması için, Yb³⁺-Er³⁺ ortak-katkılı camda birbirini takip eden iki enerji transfer işlemine gereksinim vardır. Yb³⁺, Er³⁺'a enerjisini transfer ederek kendi temel seviyesine geçer; bu da Er³⁺'un ⁴I_{11/2} seviyesinin uyarılmasıyla sonuçlanır. Aynı veya komşu Yb³⁺ da enerjiyi yeniden Er³⁺'a aktarır. Böylece ⁴I_{11/2} durumunda uyarılmış olan iki Er³⁺ iyonu birbirleriyle etkileşime geçerler. Bunlardan biri ²F_{5/2} seviyesine yükselirken, diğeri temel seviyesine geçer. Çoklu-fonon gevşemesiyle, enerji ışımasız olarak çok seri bir şekilde ²F_{5/2} den ⁴S_{3/2} seviyesine aktarılır ve sonrasında yeşil ışık yayarak ışımalı şekilde ⁴I_{15/2} temel seviyesine geçer. İkinci uyarılmış durum gevşemesi 1.5µm'daki yakın kızılötesi luminesansla bağlantılıdır ve bu da optik telekom için önemlidir. Uyarılmış Yb³⁺, enerjisini Er³⁺'a aktarır ve ⁴I_{11/2} durumundan ⁴I_{13/2} yarı kararlı durumuna ışımasız olarak sönümlenir. Sonrasında ⁴I_{13/2}-⁴I_{15/2} lazer geçişine denk gelen 1.5µm yakın kızılötesi luminesans meydana gelir. $\eta=1-\tau_1/\tau_2$ şeklinde gösterilen enerji transfer verimliliği (τ_1 ve τ_2 , Yb³⁺-Er³⁺ ortak-katkılı ²F_{5/2} durumu için; Yb³⁺ da tekli-katkılı cam örnekleri için belirlenmiş ömrü gösterir) oldukça fazladır ve değeri % 80-95'e yakındır [107-110].

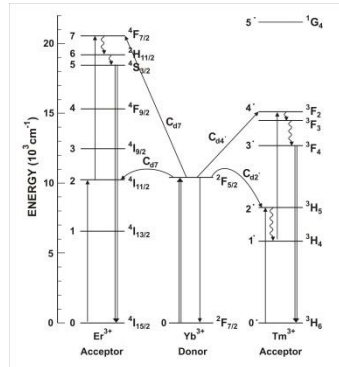
Tm³⁺'nin ³H₄ seviyesinden kaynaklanan UC luminesansı, 975 nm'de bir diyot lazer ile Yb³⁺'nin ²F_{5/2} seviyesinin uyarılmasıyla kayda geçirilmiştir [110, 111]. Üst enerji dönüşüm UC mekanizması, Yb³⁺ vericisinin uyarılması ve bunu takiben Tm³⁺ alıcısına, fonon-destekli ET işlemi yoluyla başarılmıştır. İlk rezonans olmayan ET işlemi Yb³⁺'nin uyarılmış ⁷F_{5/2} durumuun, Tm³⁺'nin ³H₅ durumuna gelişinde ortaya çıkar. Uyarılmış Tm³⁺, ışımasız olarak ³H₅ halinden ³F₄ yarı-kararlı durumuna geçer.

Aynı veya komşu bir başka uyarılmış Yb^{3+} , enerjisini ışımasız olarak Tm^{3+} ’ya aktarır ve ardından ikinci rezonans olmayan enerji transfer işlemi gerçekleşir. Enerji, $^3\text{F}_4$ durumundan, Tm^{3+} ’nın $^3\text{F}_{2/3}$ durumlarına yükselir. $^3\text{F}_{2/3}$ seviyeleri, çoklu-fonon işlemiyle $^3\text{H}_4$ durumuna enerjiyi transfer eder. Kurşun borat camdaki Tm^{3+} iyonlarının $^3\text{H}_4$ - $^3\text{H}_6$ geçişinden kaynaklanan lüminesans, üst enerji dönüşüm mekanizmasının bir sonucu olarak göze çarpar. Bu geçişlilik, $^1\text{G}_4$ seviyesi kaynaklı oluşan emisyonların tespit edildiği tekli Tm^{3+} katkılı örneklerde gözlemlenmiştir [113].

Literatür verilerinde, üçüncü ışımasız enerji transfer işlemlerinin farklı cam matrislerde gözlenebileceği belirtilmektedir. Bu, $^3\text{H}_4$ seviyesinden $^1\text{G}_4$ yarı kararlı seviyesine gevşeme şeklinde sonuçlanır. Böylece, $^1\text{G}_4$ - $^3\text{H}_6$ ve $^1\text{G}_4$ - $^3\text{F}_4$ geçişlerine denk gelen mavi (485 nm) ve kırmızı (655 nm) Üst enerji dönüşüm lüminesans mümkündür. Bu durum, hem mavi hem de kırmızı çizgilerin başarıyla kaydedildiği düşük-fonon camlardaki Tm^{3+} iyonları için de gözlemlenmiştir [114]. Er^{3+} - Yb^{3+} - Tm^{3+} iyonlarının tekli ve üçlü katkılarından elde edilen üst enerji dönüşüm mekanizmasına ve enerji transferine örnekler oluşturması bakımından, Şekil 2.19 ve Şekil 2.20’de şematik olarak verilmiştir [115].



Şekil 2.19: Er^{3+} - Yb^{3+} ve Tm^{3+} - Yb^{3+} ikili katkılı kombinasyonların ET şemaları [115].



Şekil 2.20: Er^{3+} - Yb^{3+} - Tm^{3+} üçlü katkılı kombinasyonların ET şeması [115].

3. DENEYSEL CİHAZ VE YÖNTEMLER

3.1 Malzeme Sentezi

Tez konusu kapsamında 12 adet cam, eritme yöntemi ile üretilmiştir. Çinko oksit tellürit camlar Çizelge 3.1’de listelenen çeşitli kompozisyonlarda hazırlanmıştır. Temel formulasyonda ana malzeme olarak kullanılan çinko oksit tellüritle, katkı malzemesi olarak lantanit iyonlarından Er^{3+} , Tm^{3+} , Yb^{3+} kullanılmıştır. Sentezlerde, 1 mol malzeme için kullanılan formülasyon: $(0.80-x-y-z) TeO_2 + (0.20) ZnO + xEr_2O_3 + yTm_2O_3 + zYb_2O_3$ ve molar oranları $x=0, 0.004, y=0, 0.02$, ve $z=0, 0.05, 0.10$ şeklindedir.

Çizelge 3.1: Sentezlenen cam kompozisyonları (% mol).

NO:	Etiket	TeO ₂	ZnO	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃
1	TZ	80	20			
2	TZE	79.6	20	0.4		
3	TZT	78	20		2	
4	TZY	70	20			10
5	TZEY	69.6	20	0.4		10
6	TZET	77.6	20	0.4	2	
7	TZTY	68	20		2	10
8	TZETY	67.6	20	0.4	2	10
9	TZY-D	75	20			5
10	TZEY-D	74.6	20	0.4		5
11	TZTY-D	73	20		2	5
12	TZETY-D	72.6	20	0.4	2	5

Kimyasal malzemelerin içerik ve kaliteleri şu Şekilde listelenmektedir: TeO₂, (≥ 99 . saflık, Sigma Aldrich -1-8,12 etiketli numuneler; 99.5% saflık, M-9-11 etiketli numune), ZnO (99.999% purity, Chempur chemical company), Er₂O₃ (99.9% saflık, Chempur Chemical Company), Tm₂O₃ (99.9 purity, Alfa Aesar Chemical Company), Yb₂O₃ (99.9 saflık, Alfa Aesar Chemical Company).

Oksitlerin eritme yöntemi ile sentezlenmiş 12 adet camın hazırlanmasında kullanılan tüm kimyasallar, hassas elektronik tartı ile tartılmıştır (Libror AEG 120- Shimadzu).

Numuneler 7 gr olarak sentezlenmiş olup, örgü (latis): $(0.8 - x) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO} + x [\text{RE}_2\text{O}_3]$ şeklindedir. Formülasyon aşağıda listelendiği gibi olup, detaylar EK-A'da:

- 1) TZ: $(0.8) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO}$
- 2) TZE: $(0.8 - x) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO} + (x) \text{Er}_2\text{O}_3$, $x=0.4$ (mol %)
- 3) TZT: $(0.8 - y) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO} + (y) \text{Tm}_2\text{O}_3$, $y= 2$
- 4) TZY: $(0.8 - z) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO} + (z) \text{Yb}_2\text{O}_3$, $z= 10$
- 5) TZEY: $(0.8 -x- z) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO} + (x) \text{Er}_2\text{O}_3 + (z) \text{Yb}_2\text{O}_3$, $x= 0.4$, $z= 10$
- 6) TZET: $(0.8 -x- y) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO} + (x) \text{Er}_2\text{O}_3 + (y) \text{Tm}_2\text{O}_3$, $x= 0.4$, $y= 2.0$
- 7) TZTY: $(0.8 -y-z) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO} + (y) \text{Tm}_2\text{O}_3 + (z) \text{Yb}_2\text{O}_3$, $y= 2.0$, $z= 10$
- 8) TZETY: $(0.8 -x- y-z) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO} + (x) \text{Er}_2\text{O}_3 + (y) \text{Tm}_2\text{O}_3 + (z) \text{Yb}_2\text{O}_3$, $x= 0.4$, $y= 2.0$, $z= 10$
- 9) TZY-D: $(0.8 - 0.05) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO} + (0.05) \text{Yb}_2\text{O}_3$
- 10) TZEY-D: $(0.8 -0.004 - 0.05) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO} + (0.004) \text{Er}_2\text{O}_3 + (0.05)$

Yb_2O_3

- 11) TZTY-D: $(0.8 - 0.02 - 0.05) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO} + (0.02) \text{Tm}_2\text{O}_3 + (0.05)$

Yb_2O_3

- 12) TZETY-D: $(0.8 -0.004 - 0.02 - 0.05) \text{TeO}_2 + (0.2) \text{ZnO} + (0.004) \text{Er}_2\text{O}_3 + (0.02) \text{Tm}_2\text{O}_3 + (0.05) \text{Yb}_2\text{O}_3$

Yedişer gram olarak hazırlanan kimyasal tozlar, karışım miktarları ayarlanarak mermer havana boşaltılmış ve homojen olacak hale gelmesi gözetilerek karıştırılmıştır (Şekil 3.1). Kimyasal toz karışımıyla dolu platin kap, her bir numune için elektrikli fırına (Carbolite type ELF 11/6) yerleştirilmiş ve platin kabın kapağı kapatılarak, erime esnasında oluşabilecek buharlaşmanın sebep olabileceği madde kaybının en aza inmesi sağlanmıştır. Sentez için yapılan tüm hesaplamalar ve oksitlerin eritme süreci detayları ek-A'da yer almaktadır.



Şekil 3.1: Kimyasallar ve üretim gereçleri.

Numunelerden, Yb^{3+} katkıları dışındaki camlar için, fırın dakikada $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ artışa ayarlandıktan sonra, $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye ulaştıktan itibaren 1 saat, eritme işlemi için yeterli olmuştur. Yb^{3+} katkılı numuneler için $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ de eritme mümkün olamamış, daha yüksek olan $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye, dakikada $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ artışla ulaştıktan itibaren, 1 saat aynı sıcaklıkta kaldıktan sonra eritme mümkün olabilmektedir. Fırından uzun bir maşa yardımı ile alınan platin kaptaki karışımdan erime sonucu meydana gelmiş olan eriyikler, paslanmaz çelik kalıplara özenle dökülmüş ve eriyik dolu çelik kalıp cam geçiş sıcaklığı gözetilerek, önceden $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ısıtılmış olan etüve (EHRET TK/L4061) yerleştirilerek, camlaşma süreci için 1 saat bekletilmiştir. Kalıba dökülme esnasında platin kap içinde katılaşp kalan eriyikler, platin kaşık yardımıyla kazınarak ayrıca numune kaplarına konmuştur. Fırın ve çelik kalıp Şekil 3.2’de görülebilir.



Şekil 3.2: Fırın ve çelik kalıp.

Sentezlenen camların, $0.1\text{ Yb}_2\text{O}_3$ katkılı numuneler opak, diğer numuneler ise şeffaf olarak elde edilmişlerdir. Numunelerin, ışığı en iyi şekilde geçirebilmeleri ve saçılmaların en aza indirilebilmesi (soğurma ve lüminesans spektrumlarının en iyi şekilde elde edilebilmesi) amacıyla, yüzeyleri pürüzsüz ve paralel hale getirilmesi için, her iki geniş yüzeyleri zımparalanıp parlatılmıştır. Zımparalama işleminde, paralel ve pürüzsüz yüzeyler elde edebilmek üzere saf su ve çeşitli zımpara kalınlıkları, en iri dişliden en ince dişliye (320, 400, 800, 1200, 1500, 2000, 2500) adım adım geçilerek kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Zımpara ve parlatma ekipmanları.

Daha sonra parlatma amacıyla keçe, alümina ve saf su kullanılmıştır. Zımpara ve parlatma işlemlerinin ardından: önce etanol dolu kaba daha sonra da saf su dolu kaba, numuneler bırakılıp bir süre bekletilerek, numuneler, üzerlerindeki kalıntılardan arındırılmıştır.

Tüm bu hazırlıklardan sonra, soğurma ve lüminesans verileri alınabilecek hale getirilen numuneler, etiketlenen saklama kaplarına yerleştirilmiştir (Şekil 3.4)



Şekil 3.4: Sentezlenen camlar.

3.2 Optiksel Özelliklerin İncelenmesi

Spektroskopik özelliklerinin incelenmesi için tüm numunelerin yüzeyleri paralel hale gelecek şekilde zımparalanıp, parlatılmıştır. Fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Soğurma spektrumları, lüminesans spektrumları ve UC Lüminesans spektrumları elde edilmiştir. Tüm ölçümler oda sıcaklığında elde edilmiştir.

3.2.1 Yoğunluk ölçümü ve iyon konsantrasyonu hesabı

Optik bant aralığı hesabı ve J-O şiddet parametreleri hesabı için gerekli olan, fiziksel özelliklerin belirlenmesi süreci: soğurma spektrumunda kullanılan numunelerin kalınlıklarının ölçümü; lüminesans spektrumunda kullanılan numunelerin yoğunluk ölçümü ve iyon konsantrasyonları hesabının yapılması şeklinde özetlenebilir.

Yoğunluk ölçümünde Archimed prensibinden faydalanılarak, cam kap (pycnometer), saf su ve hassas tartı kullanılmıştır. Yoğunluk ve iyon konsantrasyonu hesabı için kullanılan bağıntılar ve hesaplamalar Ek-A.3 ve Ek-A.4’de yer almaktadır. Yoğunluk ve iyon konsantrasyon hesaplamaları, sonuçlarının tablosu, deneysel sonuçlar bölümünde fiziksel özellikler Çizelgesi olarak yer almaktadır.

3.2.2 Soğurma spektroskopisi

Soğurma spektrumları, Cary 100 UV-VIS Spektrometresi ile 350-900 nm aralığında ve Cary 5000 UV-VIS-NIR, versiyon 1.12 ile 300-2000 nm aralığında, Scan Software 3.00(182) aracılığı ile alınmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Soğurma spektrometresi.

3.2.3 Lüminesans spektroskopisi

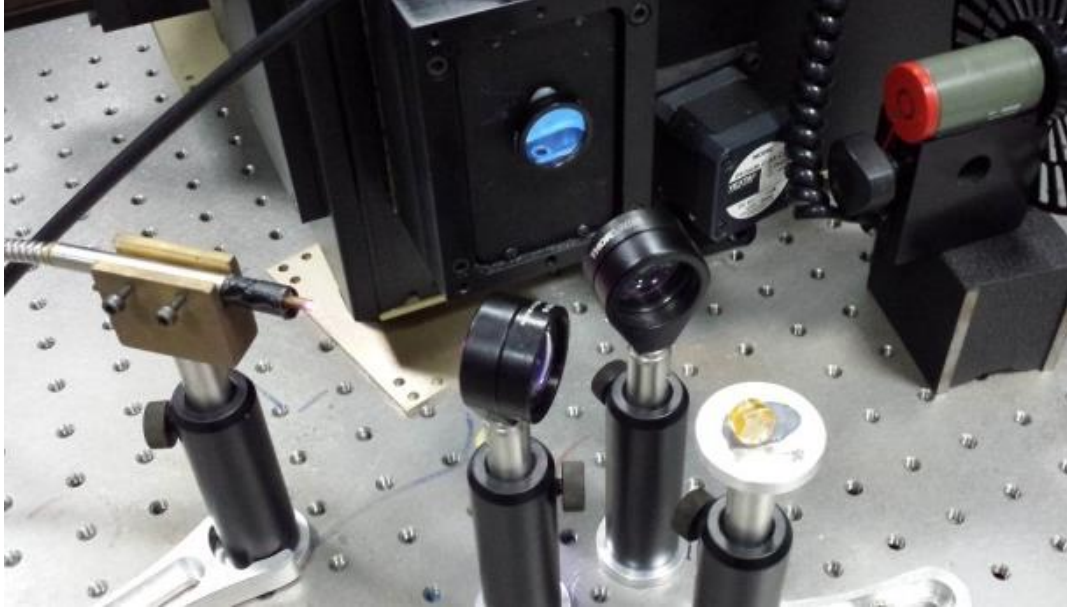
Numunelerin lüminesans emisyon ve UC lüminesans emisyon spektrumlarının derlenmesinde: 805.2 ve 980 nm için, Princeton Instruments SP 2500i model monokromatör kullanılmıştır.

Dedektör olarak: IR – NIR (800-1700 nm) aralığının lüminesans ölçümleri için Acton serisi ID-441-C InGaAs; UV-VIS (440-1100 nm) aralığının lüminesans ölçümleri için SI-440 Silikon fotodiyod dedektör ile elde edilmiştir.

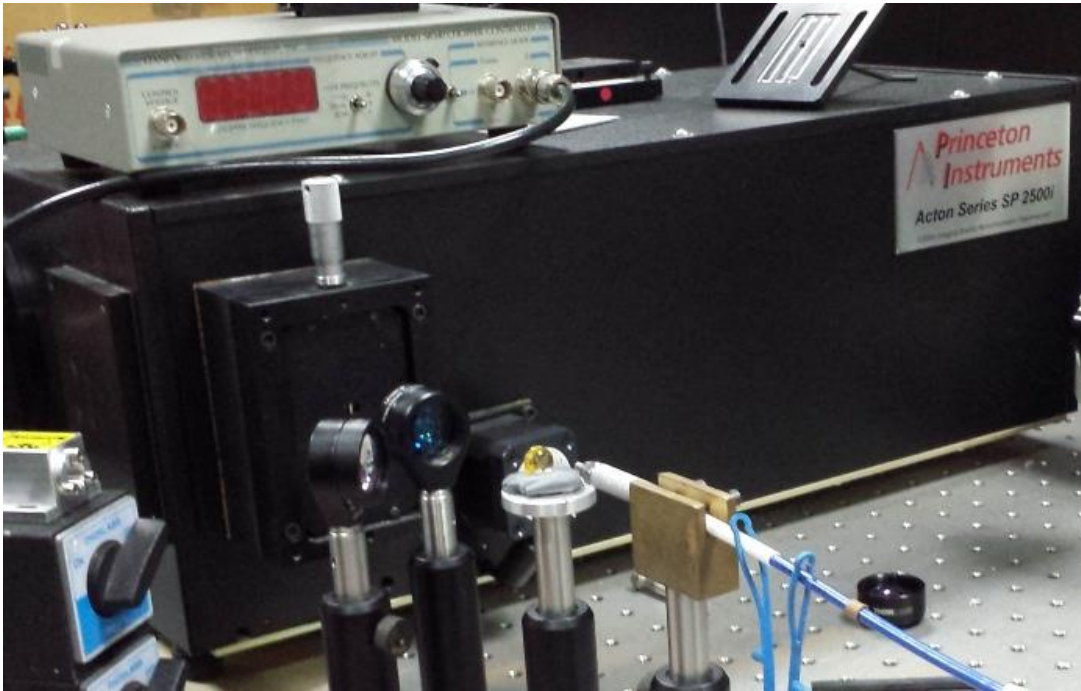
Pompalama kaynağı olarak, 805.2 ve 980 nm CW lazer diyod (Apollo Instruments diode laser - Model No: S30-808-6) kullanılmıştır.

Lazerlerin pompalama güçleri: 805.2 nm CW lazer diyod için 3 mW, 980 nm CW lazer diyod için 3 mW.

Dedektör arayüzü (spektrometre) olarak Acton Spectra Hub ve Spectra Sense programı kullanılmıştır (Şekil 3.6, Şekil 3.7).



Şekil 3.6: Lüminesans spektrumu ölçümü için kurulan deney düzeneği.

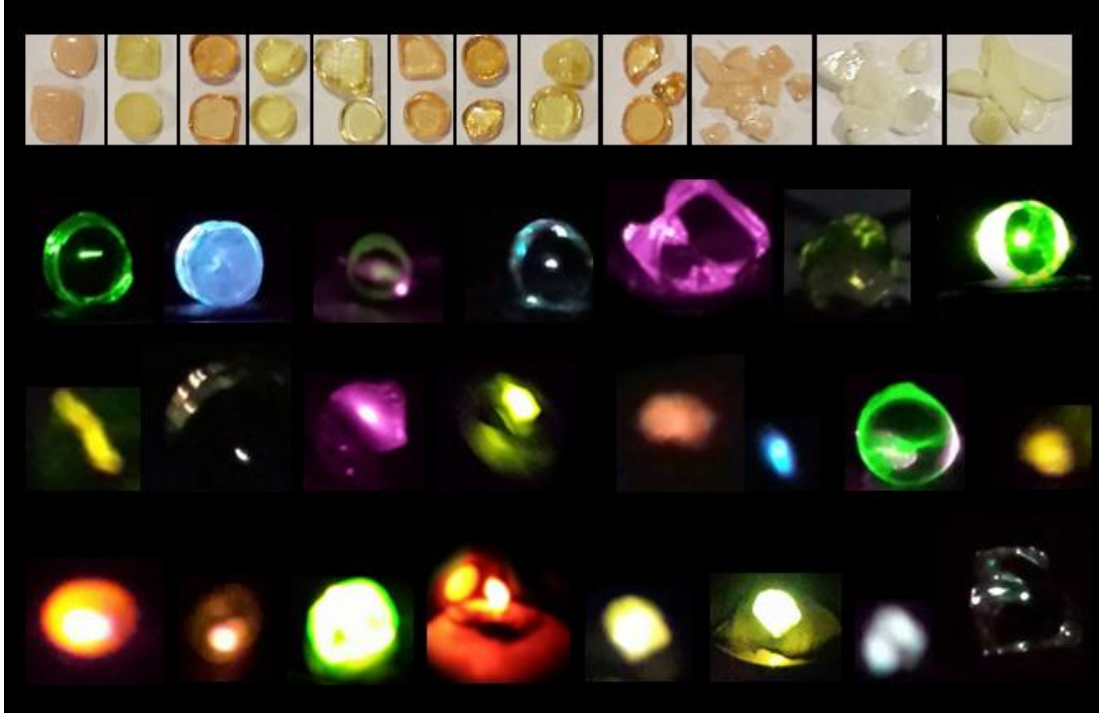


Şekil 3.7: Lüminesans spektrumu ölçümü için kurulan deney düzeneği ve ölçüm cihazları.

3.3 Beyaz Işık Parametrelerinin Ölçümü

Beyaz ışık parametrelerinin belirlenmesinde ve karşılaştırılmasında, CIE 1931 x-y koordinatları standartları kullanılmıştır (CIE 1931 x-y Chromaticity Diagram- color map).

CIE x-y, CCT ve CRI ölçümleri için değerler, numuneler üzerinde 980 nm lazerle uyarılma altında UC lüminesans emisyonları illüminansmetre (AsenseTek Lighting Passport) ile elde edilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Lazerle uyarmalar altında camların yaydıkları renkler.

4. DENEYSEL BULGULAR

4.1 Fiziksel Özellikler

Soğurma ve lüminesans spektrumlarında kullanılan parçaların kalınlık, yoğunluk ve iyon konsantrasyonları ölçülüp hesaplanarak Çizelge 4.1’de listelenmiştir. İlgili hesaplamalar ek-A’da yer almaktadır. Kırılma indisi olarak, 2.03 alınmıştır [20, 40].

Çizelge 4.1: Sentezlenen cam örneklerin fiziksel özellikleri.

NO	Etiket	Fotoğraf	l Kalınlık (cm)	d Yoğunluk (g/cm ³)	mw Moleküler ağırlık(g/mol)	N ₀ İyon konsantrasyonu (*10 ²⁰ iyon/cm ³)
1	TZ		0.49	5.3484	143.96	
2	TZE		0.38	5.3826	144.851	Er ³⁺ :0.89479
3	TZT		0.46	5.534	148.4853	Tm ³⁺ :4.4873
4	TZY		0.475	5.7777	167.408	Yb ³⁺ : 20.7766
5	TZEY		0.07	6.1362	168.2997	Er ³⁺ :0.88/ Yb ³⁺ :21.95
6	TZET		0.49	5.785	149.377	Er ³⁺ :0.9325/ Tm ³⁺ 4.6
7	TZTY		0.18	5.8112	171.9333	Tm ³⁺ :4.07/ Yb ³⁺ :20.35
8	TZETY		0.325	6.3896	172.825	Er ³⁺ :0.89/ Tm ³⁺ 4.45/ Yb ³⁺ 22.26
9	TZY-D		0.325	5.3033	155.684	Yb ³⁺ : 10.2534
10	TZEY-D		0.445	5.1081	156.5757	Er ³⁺ :0.79/ Yb ³⁺ 9.82
11	TZTY-D		0.37	5.7059	160.2093	Tm ³⁺ :4.29/ Yb ³⁺ :10.72
12	TZETY-D		0.375	5.579	161.101	Er ³⁺ 0.83/ Tm ³⁺ :4.17/ Yb ³⁺ 10.42

4.2 Spektroskopi

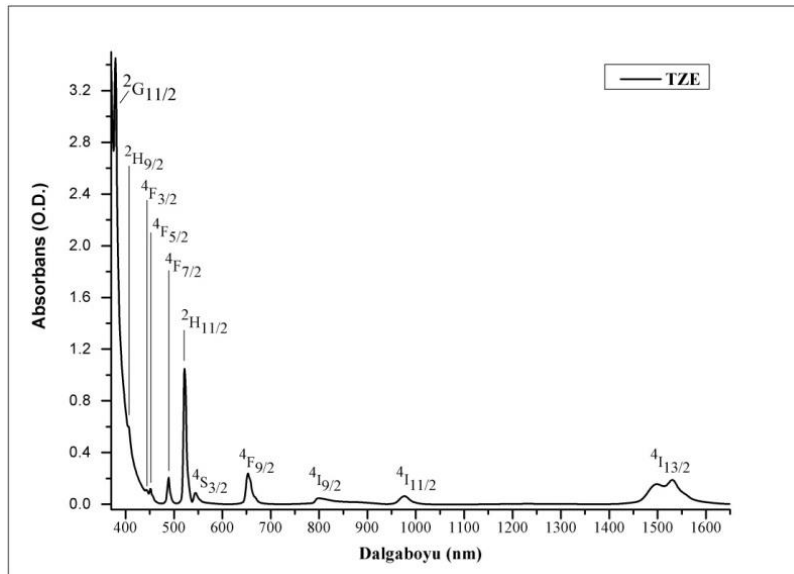
Soğurma spektroskopisi, nadir toprak elementlerinin $4f-4f$ geçişlerine karşılık gelen soğurma enerjilerinin ve spektral profillerinin ölçülerek, J-O şiddet parametrelerinin ve ışımalı geçiş olasılıklarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

Lüminesans spektroskopisi, optik olarak aktif iyonlarla katkılandırılmış katılarda oluşan, lüminesans geçiş çizgilerinin genişliği ve pozisyonlarının ölçülmesinde, iyonlar arası etkileşmeye dayalı enerji transfer proseslerinin belirlenmesinde, EDFA (erbiyum katkılı fiber yükseltici), TDFA (tulyum ve iterbiyum ortak katkılı fiber yükseltici) ve TYDFA (tulyum ve iterbiyum ortak katkılı fiber yükseltici) sistemlerinde kullanılan 1.5 ve 1.8 μm deki geçişleri için zorlamalı geçiş profillerinin ve zorlamalı geçiş olasılıklarının hesaplanmasında kullanılmıştır.

Lüminesans spektrumlarına göre gözlenen beyaz ışık renk parametrelerinin belirlenmesinde ve karşılaştırılmasında, CIE 1931 x-y standartları kullanılmıştır.

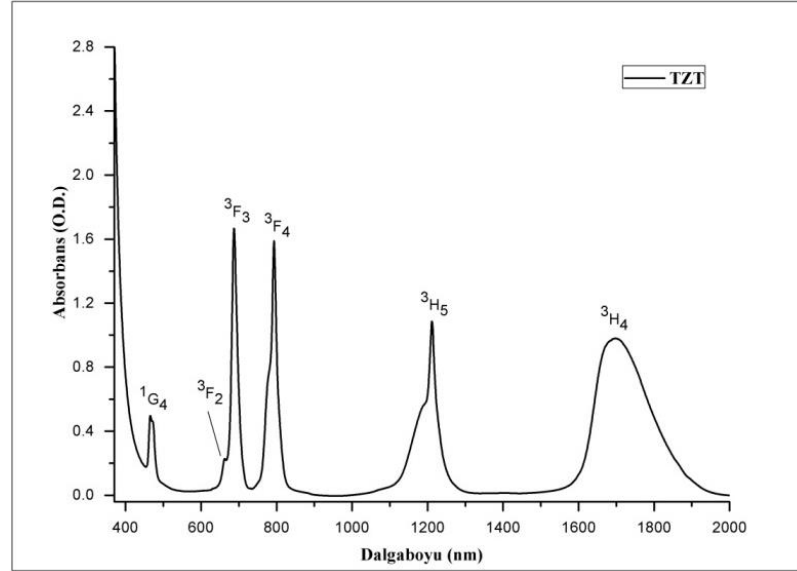
4.2.1 Soğurma spektrumları

TZE etiketli, Er^{3+} katkılı çinko oksit tellürdioksit cam matrisinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma spektrumunda gözlenen bantların merkezi pik dalga boyları ve geçişler Şekil 4.1’de görülebilir.



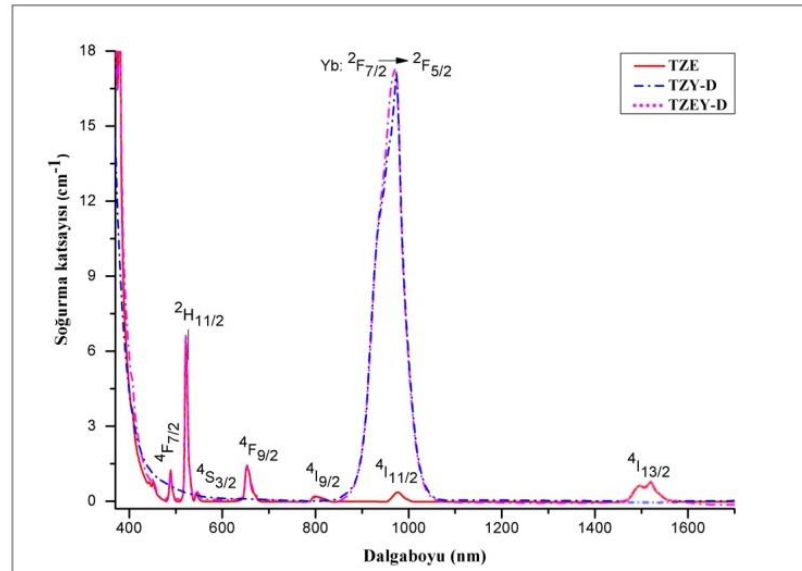
Şekil 4.1: Er^{3+} katkılı çinko oksit tellürit cam matrisinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma spektrumu.

TZT etiketli, Tm^{3+} katkılı çinko oksit tellürdioksit cam matrisinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma spektrumunda gözlenen bantların merkezi pik dalgaboyları ve geçişler Şekil 4.2’de işaret edildiği gibidir.



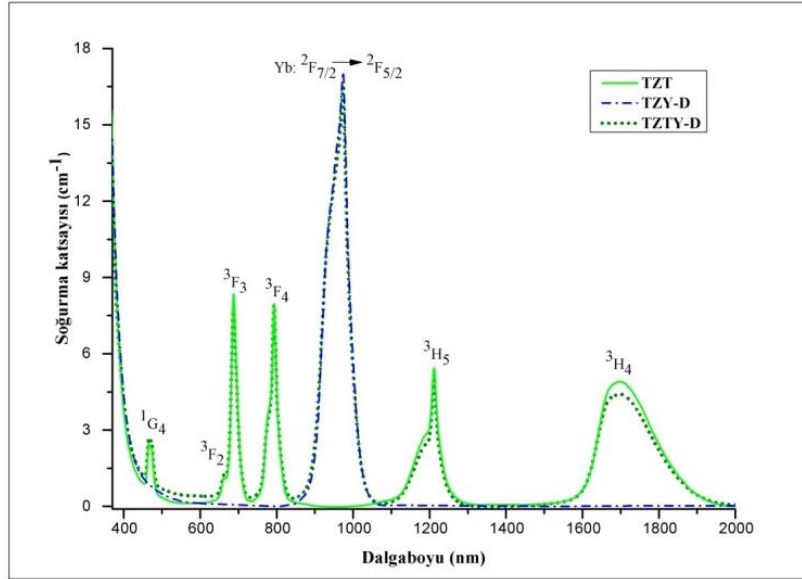
Şekil 4.2: Tm^{3+} katkılı çinko oksit tellürit cam matrisinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma spektrumu.

TZEY-D etiketli, Er^{3+} ve Yb^{3+} ile tekli ve ikili katkılı çinko oksit tellürdioksit cam matrislerinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma spektrumlarında gözlenen bantların merkezi pik dalgaboyları ve geçişler Şekil 4.3’de görülebilir.



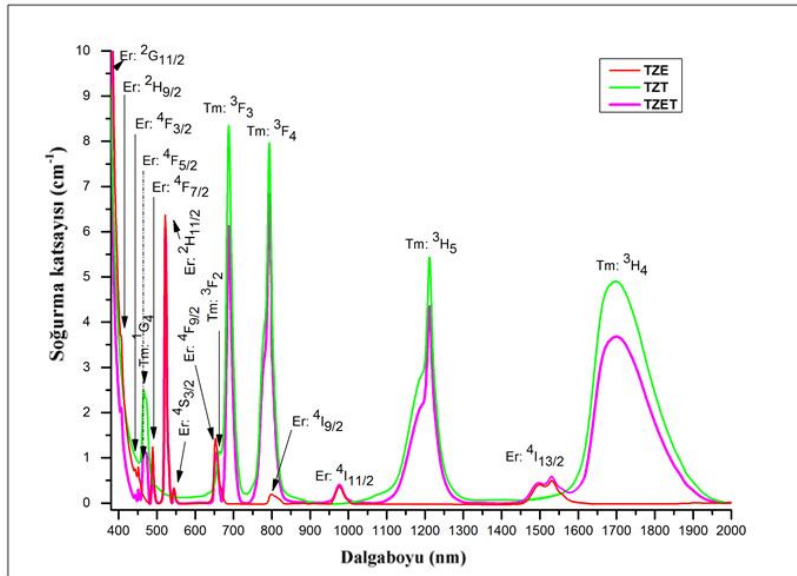
Şekil 4.3: Er^{3+} - Yb^{3+} katkılı çinko oksit tellürit cam matrislerinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma spektrumları.

TZTY-D etiketli, Tm^{3+} ve Yb^{3+} ile tekli ve ikili katkılı çinko oksit tellürdioksit cam matrislerinin ve TZ matrisinin, VIS-NIR-IR bölgede soğurma spektrumlarında gözlenen bantların merkezi pik dalgalıboyları ve geçişler Şekil 4.4’de görülebılır.



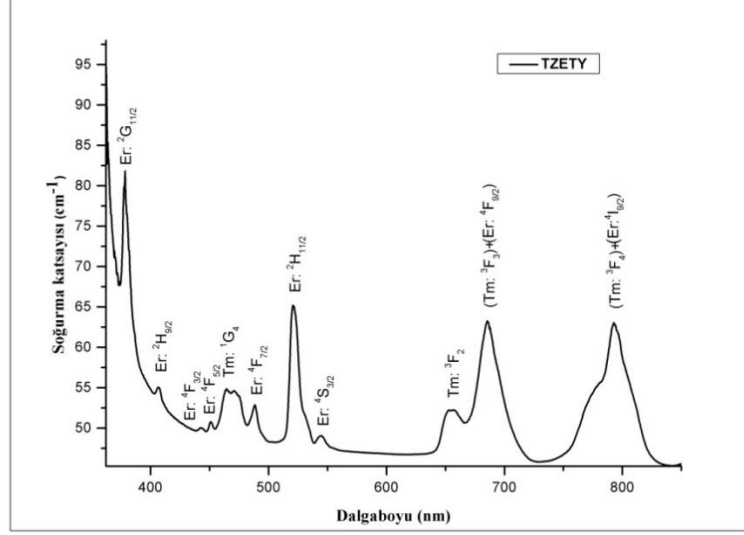
Şekil 4.4: TZTY-D cam matrisinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma katsayısı.

TZET etiketli, Tm^{3+} ve Er^{3+} ile tekli ve ikili katkılı çinko oksit tellürdioksit cam matrislerinin, VIS-NIR-IR bölgede soğurma spektrumlarında gözlenen bantların merkezi pik dalgalıboyları ve geçişler Şekil 4.5’de görülebılır.



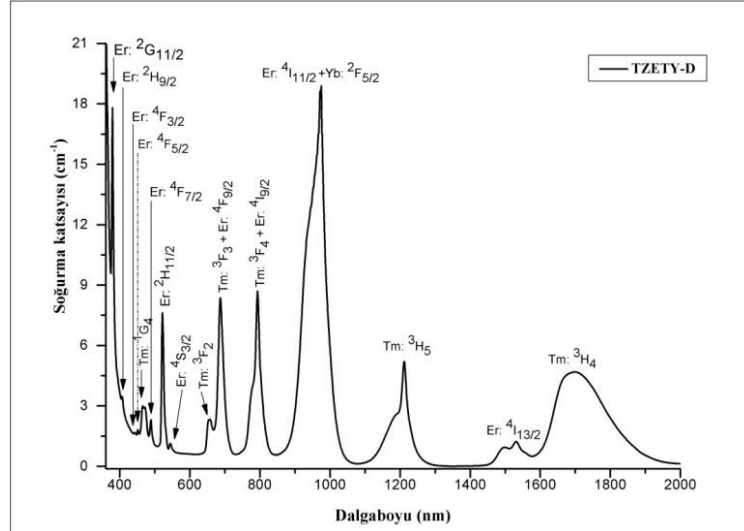
Şekil 4.5: Er^{3+} - Tm^{3+} katkılı çinko oksit tellürit cam matrisinin VIS-NIR-IR bölgede soğurma katsayısı.

TZETY etiketli, Tm^{3+} , Er^{3+} ve Yb^{3+} ile üçlü katkılı çinko oksit tellürdioksit cam matrisinin, VIS-bölgede soğurma spektrumunda gözlenen bantların merkezi pik dalgaboyları ve geçişler Şekil 4.6’da görülebilir.



Şekil 4.6: Er^{3+} - Tm^{3+} - Yb^{3+} ile üçlü katkılı çinko oksit tellürdioksit cam matrisinin VIS bölgesinde soğurma spektrumu.

TZETY-D etiketli cam matrisinin, VIS-NIR-IR bölgede elde edilen soğurma spektrumlarında gözlenen bantların merkezi pik dalgaboyları ve geçişler Şekil 4.7’de görülebilir.



Şekil 4.7: TZETY-D etiketli cam matrisinin VIS-NIR-IR bölgesinde soğurma spektrumu.

4.2.1.1 Er^{3+} ve Tm^{3+} için J-O analizi bulguları

Hesaplamalar için kullanılan Judd-Ofelt analiz yöntemine göre camlarda lantanit iyonları için ışımalı ve ışımasız süreçlerin belirlenmesi bölüm 2.3.4’de verilmiştir.

Erbiyum katkılı $\text{Te}_2\text{O-ZnO}$ (TZ) cam matrisleri içinde erbiyum iyonunun ölçülen ve hesaplanan osilatör şiddetleri, $^4\text{I}_{15/2}$ temel seviyesinden diğer seviyelere vurgulanmış olup tablolanmış değerler ek-B’de yer almaktadır (Çizelge B.1). Çizelge B.1’de tablolanmış veriler yardımı ile, Er^{3+} katkılı TZ cam sistemlerinin J-O şiddet parametreleri ve spektroskopik kalite faktörleri hesaplanmış olup, sonuçlar bölümünde yayınlanmıştır. Elde edilen J-O şiddet parametreleri kullanılarak yapılan hesaplamalarla, lantanit katkılı TZ camlarda Er^{3+} için, hesaplanmış kendiliğinden geçiş olasılıkları, ışımalı yaşam süreleri ve dallanma oranları hesaplanmış olup, Çizelge 4.2’de tablolanmıştır.

Çizelge 4.2: Lantanit katkılı TZ camlarda Er^{3+} için, hesaplanmış kendiliğinden geçiş olasılıkları, ışımalı yaşam süreleri ve dallanma oranları.

Geçişler	TZE				TZEY-D				TZEY			
	Ort. Frekans (cm ⁻¹)	A _{ed} (s ⁻¹)	β	τ _R (ms)	Ort. Frekans (cm ⁻¹)	A _{ed} (s ⁻¹)	β	τ _R (ms)	Ort. Frekans (cm ⁻¹)	A _{ed} (s ⁻¹)	β	τ _R (ms)
$^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$	6572.	301.4	1.	3.32	6572.	326.	1.	3.069	6572.	873.	1.	1.15
$^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$	10 163.	442.	0.898	2.03	10 164.	456.	0.9004	1.976	10 163.	1122.4	0.9	0.80
$\rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$	3590.	50.2	0.102		3590.	50.	0.0996		3590.	127.04	0.10	
$^4\text{I}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$	12 513.	478.	0.72	1.51	12 525.	936.	0.8269	0.883	12 538.	1.7×10^{-20}	0.61	----
$\rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$	5940.	138.	0.208		5953.	131.	0.1154		5965.	6.4×10^{-20}	0.23	
$\rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$	2350.	47.	0.07		2363.	66.	0.0575		2375.	4.2×10^{-20}	0.15	
$^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$	15 319.	4231.	0.906	0.214	15 319.	6871	0.9183	0.134	15 328.	12 256.	0.91	0.07
$\rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$	8746.	232.	0.05		8746.	381.	0.0509		8756.	630.1	0.05	
$\rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$	5156.	194.	0.042		5156.	214.	0.0285		5165.	542.2	0.40	
$\rightarrow ^4\text{I}_{9/2}$	2806.	12.	0.003		2794.	16.2	0.0021		2790.	22.6	0.00	
$^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$	18 382.	3501.	0.802	0.23	18 382.	3266	0.7891	0.242	18 409.	10 162.	0.80	0.08
$\rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$	11 810.	289.	0.066		11 810.	267.	0.0645		11 837.	833.	0.07	
$\rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$	8220.	420.	0.096		8220.	411.	0.0993		8247.	1263.	0.1	
$\rightarrow ^4\text{I}_{9/2}$	5870.	152.	0.035		5857.	193.	0.0467		5872.	439.1	0.04	
$\rightarrow ^4\text{F}_{9/2}$	3064.	1.7	0.0004		3064.	1.62	0.0004		3081.	5.0004	0.00	
$^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$	19 172.	911.	0.387	0.424	19 172.	1509	0.4132	0.274	19 187.	2641.	0.45	0.17
$\rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$	12 599.	947.	0.402		12 599.	1450	0.3971		12 614.	2056.	0.35	
$\rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$	9009.	387.	0.164		9009.	578.	0.1584		9024.	899.	0.15	
$\rightarrow ^4\text{I}_{9/2}$	6659.	101.	0.043		6647.	99.6	0.0272		6649.	280.	0.05	
$\rightarrow ^4\text{F}_{9/2}$	3853.	12.	0.005		3853.	14.	0.0038		3859.	31.3	0.01	
$\rightarrow ^4\text{S}_{3/2}$	789.	0.11	0.0001		789.4	0.22	0.0001		777.	0.32	...	
$^4\text{F}_{7/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$	20 483.	8068.	0.753	0.093	20 458.	9759	0.6737	0.069	20 458.	23 235.	0.76	0.03
$\rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$	13 911.	1552.	0.145		13 886.	3052	0.2107		13 886.	4429.1	0.14	
$\rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$	10 321.	687.	0.064		10 296.	1182	0.0816		10 296.	1993.	0.07	
$\rightarrow ^4\text{I}_{9/2}$	7971.	377.	0.035		7933.	456.	0.0315		7921.	1013.	0.03	
$\rightarrow ^4\text{F}_{9/2}$	5165.	22.	0.002		5140.	33.	0.0023		5130.	5015.	0.00	
$\rightarrow ^4\text{S}_{3/2}$	2101.	0.098	0.0001		2076	0.18	0.0000		2049.	0.256	...	
$\rightarrow ^2\text{H}_{11/2}$	1312.	2.95	0.0003		1287	3.42	0.0002		1272.	6.034	0.00	

Tulyum katkılı TZ cam matrisleri içinde tulyum iyonunun ölçülen ve hesaplanan osilatör şiddetleri, $^3\text{H}_6$ temel seviyesinden diğer seviyelere vurgulanmış olup tablolanmış değerler ek-B’de yer almaktadır (Çizelge B.2). Çizelge B.2’de tablolanmış veriler yardımı ile, Tm^{3+} katkılı TZ- cam matrislerinin J-O şiddet parametreleri ve spektroskopik kalite faktörleri hesaplanmış olup, sonuçlar bölümünde yayınlanmıştır. Elde edilen J-O şiddet parametreleri kullanılarak yapılan hesaplamalarla, lantanit

katkılı TZ camlarda Tm^{3+} için, hesaplanmış kendiliğinden geçiş olasılıkları, ışımalı yaşam süreleri ve dallanma oranları hesaplanmış olup, Çizelge 4.3’de tablolanmıştır.

Çizelge 4.3: Lantanit katkılı TZ camlarda Tm^{3+} için, hesaplanmış kendiliğinden geçiş olasılıkları, ışımalı yaşam süreleri ve dallanma oranları.

Geçişler	TZT				TZTY-D				TZTY			
	Ortalama Frekans (cm ⁻¹)	A _{ed} (s ⁻¹)	β	τ _R (ms)	Ortalama Frekans (cm ⁻¹)	A _{ed} (s ⁻¹)	β	τ _R (ms)	Ortalama Frekans (cm ⁻¹)	A _{ed} (s ⁻¹)	β	τ _R (ms)
¹ G ₄ → ³ H ₆	21 277.	5784.	0.43	0.08	21 277.	6589.	0.43	0.07	21 277.	36816.	0.5	0.048
→ ³ H ₄	15 391.	5276.	0.39		15 453.	6307.	0.41		15 453.	29202.	0.4	
→ ³ H ₅	13 027.	1990.	0.15		12 887.	2187.	0.14		12 887.	7932.	0.11	
→ ³ F ₄	8669.	82.15	0.01		8669.	86.4	0.01		8669.	342.	0.005	
→ ³ F ₃	6725.	145.	0.01		6716.	151.	0.01		6716.	567.	0.008	
→ ³ F ₂	6180.	67.	0.01		6180.	70.4	0.01		6180.	395.	0.005	
³ F ₂ → ³ H ₆	15 097.	944.	0.17	0.18	15 097.	940.	0.15	0.16	15 097.	-193.	-0.007	0.9
→ ³ H ₄	9211.	3841.	0.67		9273.	4614.	0.72		9273.	24741.	0.87	
→ ³ H ₅	6846.	698.	0.12		6707.	663.	0.1		6707.	2901.	0.102	
→ ³ F ₄	2489.	71.6	0.01		2489.	86.	0.01		2489.	442.	0.016	
→ ³ F ₃	545.	0.07	0.03		536.	0.074	0.02		536.	442.	0.02	
³ F ₃ → ³ H ₆	14 552.	5693.	0.62	0.11	14 550.	5758.	0.6	0.11	14 550.	23209.	0.53	0.02
→ ³ H ₄	8666.	1509.	0.16		8737.	1676.	0.18		8737.	8994.	0.21	
→ ³ H ₅	6301.	1884.	0.2		6171.	2091.	0.22		6171.	11417.	0.262	
→ ³ F ₄	1945.	1.08	0.00		1953.	1.13	0.00		1953.	0.78	0.0000	
³ F ₄ → ³ H ₆	12 607.	131.	0.92	0.08	12 607.	130.4	0.92	0.07	12 607.	502.	0.93	0.05
→ ³ H ₄	6721.	459.	0.03		6784.	540.5	0.03		6784.	2793.	0.03	
→ ³ H ₅	4356.	12 665	0.01		4218.	14 487	0.01		4218.	79983.	0.006	
³ H ₄ → ³ H ₆	5886.	534.	0.04	1.87	5823.	599.	0.04	1.67	5823.	2875.	0.033	1.23
Geçişler	TZET				TZETY-D				TZETY			
	Ortalama Frekans (cm ⁻¹)	A _{ed} (s ⁻¹)	β	τ _R (ms)	Ortalama Frekans (cm ⁻¹)	A _{ed} (s ⁻¹)	β	τ _R (ms)	Ortalama Frekans (cm ⁻¹)	A _{ed} (s ⁻¹)	β	τ _R (ms)
¹ G ₄ → ³ H ₆	21 277.	4389.	0.41	0.09	21277.	7206.	0.421	0.06	21277.	23107.	0.4545	0.02
→ ³ H ₄	15 391.	4395.	0.41		15391.	7048.	0.41		15422.	20803.	0.4092	
→ ³ H ₅	13 026.	1808.	0.17		13026.	2533.	0.15		12880.	6128.	0.1205	
→ ³ F ₄	8669.	72.05	0.01		8669.	92.	0.01		8662.	224.	0.0044	
→ ³ F ₃	6725.	130.	0.01		6759.	164.	0.01		6689.	370.	0.0073	
→ ³ F ₂	6009.	47.	0.01		60942	67.2	0.00		6009.	202.	0.004	
³ F ₂ → ³ H ₆	15 267.	1126.	0.22	0.19	15267.	1062.	0.14	0.11	15267.	865.	0.0418	----
→ ³ H ₄	9381.	3130.	0.61		9381.	5337.	0.72		9412.	17267.	0.8334	
→ ³ H ₅	7016.	634.	0.12		7016.	783.	0.10		6871.	1838.	0.0887	
→ ³ F ₄	2660.	67.7	0.01		2660.	119.	0.02		2652.	378.	0.0183	
→ ³ F ₃	715.	0.122	0.02		749.	119.	0.02		679.2	378.	0.0179	
³ F ₃ → ³ H ₆	14 552.	4952.	0.65	0.13	14518.	5913.	0.58	0.1	14588.	14108.	0.5197	0.04
→ ³ H ₄	8666.	1172.	0.15		8632.	1721.	0.17		8733.	5397.	0.199	
→ ³ H ₅	6301.	1442.	0.19		6267.	2449.	0.24		6192.	7638.	0.281	
→ ³ F ₄	1945.	1.19	0.00		1911.	1.157	0.00		1973.	1.559	0.0000	
³ F ₄ → ³ H ₆	12 607.	117.	0.91	0.09	12607.	157.	0.91	0.06	12615.	356.	0.924	0.02
→ ³ H ₄	6721.	363.	0.03		6721.	580.	0.03		6760.	1607.	0.0329	
→ ³ H ₅	4356.	9680.	0.01		4356.	15901.	0.01		4218.	50769.	0.0065	
³ H ₄ → ³ H ₆	5886.	437.	0.04	2.29	5886.	691.	0.04	1.45	5855.	2012.	0.0366	0.5

4.2.2 Lüminesans spektrumları

Kullanılan lüminesans spektroskopisinde kullanılan cihazlar ve teknik bölüm 3.2.3'de anlatılmıştır.

Bu ana başlık altında iki farklı dalgaboyunda lüminesans spektumu yer almakta olup, ilkinde 805.2nm ve 980nm'de, ikincisinde ise 805.2 nm ve 980 nm'de UC lüminesans spektrumlarından derlenen veriler, ayrıca lazerin çıkış akımının değiştirilmesine bağlı olarak değişen lazer pompalama gücü ile 980 nm de UC lüminesansının değişen spektrumları derlenmiş, elde edilen grafikler yayınlanmıştır.

4.2.2.1 Lüminesans spektrumları ($\lambda_{exc}=805.2$ nm)

Lantanit iyonları ile tekli, ikili ve üçlü olarak çeşitli kombinasyonlarda katkılanmış TZ cam matrislerinin 805.2nm lazer ile uyarılma altında gözlenen lüminesans spektrumlarından okunan geçişler ve bant aralıkları ile merkezi pikleşmeleri aşağıda açıklamaları ve şekilleri ile verilmiştir.

TZE etiketli cam matrisinin 805.2 nm lazerle uyarılma altında, elde edilen lüminesans spektrumlarında Er^{3+} geçişleri: $^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ geçişi 950-1050 nm bant aralığında, pik 980 nm'de ve $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ geçişi 1400-1700 nm bant aralığında, pik 1533nm'de gözlenmiş (Şekil 4.19).

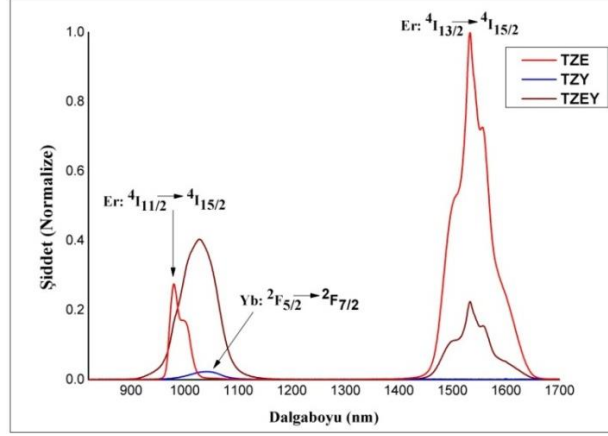
TZT etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans spektrumunda: Tm^{3+} geçişleri: 1.2 μm 'de merkezileşen düşük şiddetli (1100-1350 nm) bant, ve $^3F_4 \rightarrow ^3H_4$ (1350-1550 nm) bant aralıkları gözlenmiş (Şekil 4.25).

TZY etiketli cam matrisinin, 805.2 nm lazerle uyarılma altında lüminesans spektrumunda: $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ geçişi 950-1100 nm bant aralığında, piki 1040nm'de gözlenmiştir (Şekil 4.19).

TZY-D cam matrisinin, 805.2 nm lazerle uyarılma altında lüminesans spektrumunda: $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ geçişi 950-1100 nm bant aralığın, piki 1025nm'de gözlenmiştir (Şekil 4.22).

TZEY etiketli cam matrisinin 805.2 nm lazerle uyarılma altında lüminesans spektrumunda: $^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ Er^{3+} geçişi ve $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ Yb^{3+} geçişi 900-1100nm bandında, pik 1027nm'de; $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ Er^{3+} geçişi 1450-1650nm bant aralığında, pik ise 1533nm'de gözlenmiştir (Şekil 4.8).

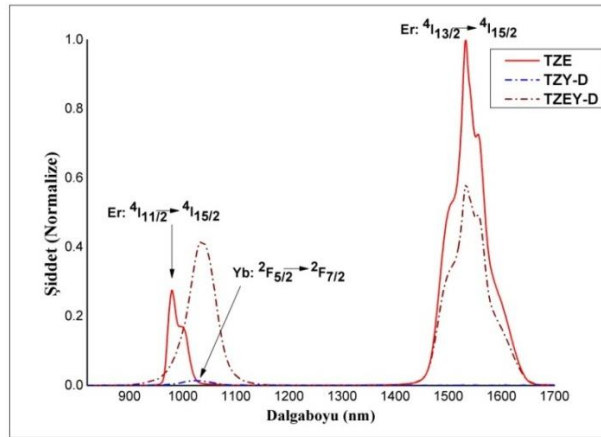
Er^{3+} ve Yb^{3+} ortak katkısıyla 900-1100nm bandının genişlediği, lüminesans şiddetinin arttığı ve pikin iki iyonun orta seviyesine geldiği; 1450-1650nm bandının ise yaklaşık 100 nm kadar daralıp, lüminesans şiddetinin azaldığı ve pikin yerdeğiştirmediği gözlenmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Er^{3+} - Yb^{3+} katkılı TZEY etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu.

TZEY-D etiketli cam matrisinin 805.2 nm lazerle uyarılma altında lüminesans spektrumunda: $4I_{11/2} \rightarrow 4I_{15/2}$ Er^{3+} geçişi ve $2F_{5/2} \rightarrow 2F_{7/2}$ Yb^{3+} geçişi 900-1150nm bandında, pik 1036nm’de; $4I_{13/2} \rightarrow 4I_{15/2}$ Er^{3+} geçişi 1400-1700nm bant aralığında, pik ise 1533nm’de gözlenmiştir (Şekil 4.19).

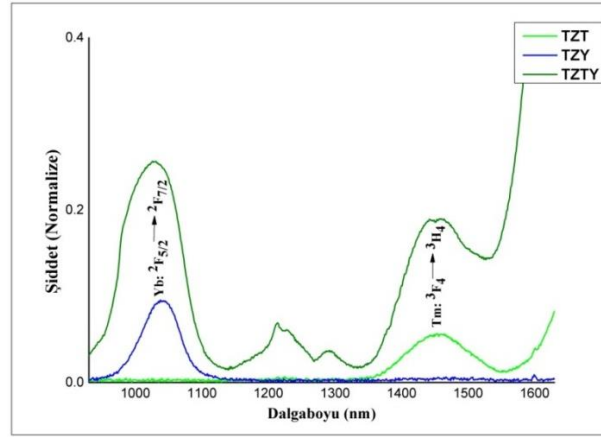
Er^{3+} ve Yb^{3+} ortak katkısıyla 900-1150nm bandının 100nm kadar genişlediği, lüminesans şiddetinin arttığı ve pikin iki iyonun orta seviyesine geldiği; 1400-1700nm bandının ise genişliğinin aynı kalıp, lüminesans şiddetinin azaldığı ve pikin yerdeğiştirmediği gözlenmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9: Er^{3+} - Yb^{3+} katkılı TZEY-D etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu.

TZTY etiketli cam matrisinin 805.2 nm lazerle uyarılma altında lüminesans spektrumunda: 900-1150nm, 1150-1350nm ve 1350-1550nm bant aralıklarında pikleşmeler gözlenmiştir. $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ Yb^{3+} geçişi 900-1150nm bandında, pik 1031nm'de; Tm^{3+} da gözlenen 1150-1350nm bant aralığında, pik 1214nm'de; $^3F_4 \rightarrow ^3H_4$ Tm^{3+} geçişi 1350-1550nm bant aralığında, pik 1450nm'de gözlenmiştir (Şekil 4.10).

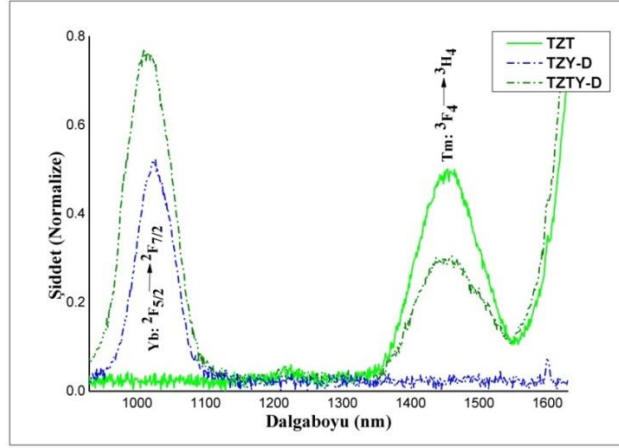
Tm^{3+} ve Yb^{3+} ortak katkısıyla 900-1150nm bandının 60nm kadar genişlediği, lüminesans şiddetinin arttığı ve pikin 10 nm kadar kaydığı; 1150-1350nm bandının . 1.2 μm 'de merkezileşen 1214 nm'de pikinin lüminesans şiddetinin belirgin şekilde arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.10, Şekil 4.14, Çizelge 4.4). 1350-1550nm bandının genişliğinin aynı kalıp, şiddetinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10: Tm^{3+} - Yb^{3+} katkılı TZTY etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu.

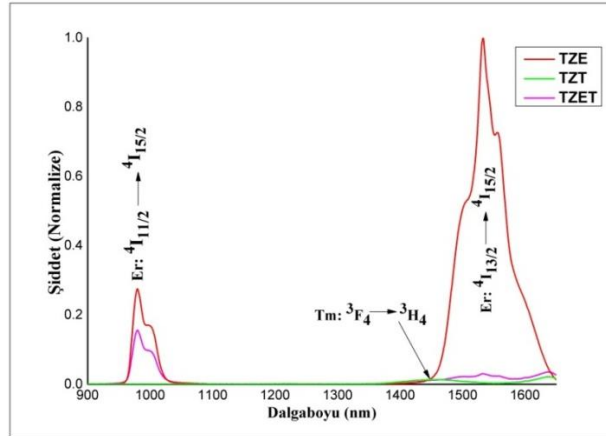
TZTY-D etiketli cam matrisinin 805.2 nm lazerle uyarılma altında lüminesans spektrumunda: $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ Yb^{3+} geçişi 900-1150nm bandında, pik 1015nm'de; Tm^{3+} da gözlenen 1150-1350nm bant aralığında, pik 1214nm'de; $^3F_4 \rightarrow ^3H_4$ Tm^{3+} geçişi 1350-1550nm bant aralığında, pik 1454nm'de gözlenmiştir (Şekil 4.11).

Tm^{3+} ve Yb^{3+} ortak katkısıyla 900-1150nm bandının 60nm kadar genişlediği, lüminesans şiddetinin arttığı ve pikin 10 nm kadar kaydığı; 1150-1350nm bandının lüminesans şiddetinin değişmediği ve pikin değişmediği; 1350-1550nm bandının genişliğinin aynı kalıp şiddetinin TZTY'de görülenin aksine, azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4.11).



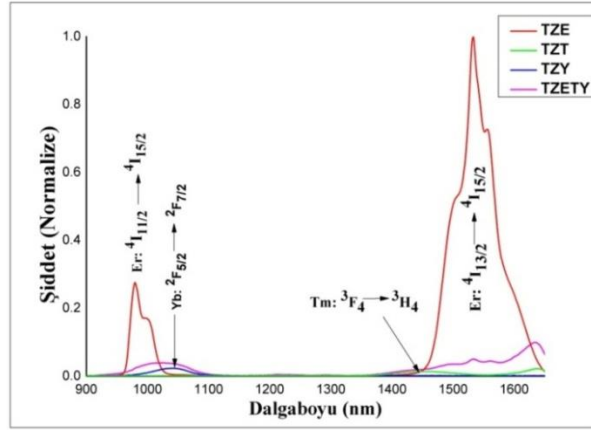
Şekil 4.11: Tm³⁺-Yb³⁺ katkılı TZTY-D etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu.

TZET etiketli cam matrisinin 805.2 nm lazerle uyarılma altında lüminesans spektrumunda: $^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ Er³⁺ geçişi 900-1150nm bandında bant genişliği aynı fakat şiddeti azalmış, pik 980nm’de; 1350-1590nm bant aralığında pikin 1533nm’de, Tm³⁺, un $^3F_4 \rightarrow ^3H_4$ geçişi ve Er³⁺, un $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ geçişinin katkısıyla bandın daralmış ve şiddetinin düşmüş olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.12).

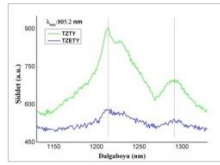


Şekil 4.12: Er³⁺-Tm³⁺ katkılı TZET etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu.

TZETY etiketli cam matrisinin 805.2 nm lazerle uyarılma altında lüminesans spektrumunda: 900-1150nm bant aralığı, Yb³⁺ $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ geçişinin genişliği ile aynı, lüminesans şiddeti azalmış, pik 1025nm’ye Er³⁺ geçişine doğru kaymış; 1.2 µm’de merkezileşmiş zayıf şiddet artışı; 1350-1590nm bant aralığında Tm³⁺, Er³⁺ ve Yb³⁺ katkısıyla: Er³⁺ geçişine göre band 100 nm kadar genişlemiş, şiddeti düşmüş ve pik 1533nm’de Er³⁺ ile aynı, Tm³⁺ geçişine göre de bandın Tm³⁺ ile aynı olduğu ve 1.2 µm’de merkezileşmiş şiddet artışı gözlenmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Çizelge 4.4).



Şekil 4.13: Er³⁺-Tm³⁺-Yb³⁺ katkı, TZETY etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu.

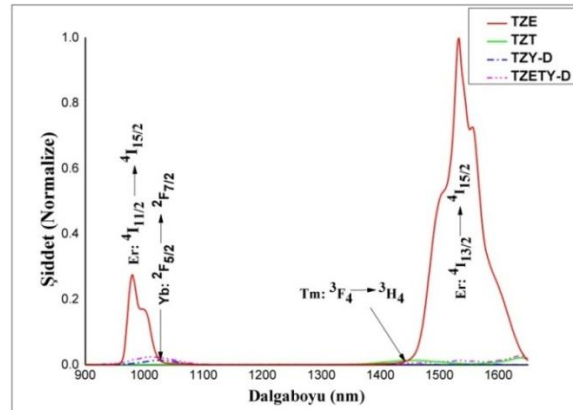


Şekil 4.14: TZTY ve TZETY etiketli örneklerin 1.2 µm’de şiddet değişimi.

Çizelge 4.4: 1.2 µm’de merkezileşen iki pikin şiddet değişimi.

Örnek	1.2 µm’de şiddet değişimi	
	λ_{exc} : 805.2 nm 1214 nm’de	λ_{exc} : 805.2 nm 1290 nm’de
TZTY	399	141
TZETY	86	47

TZETY-D etiketli cam matrisinin 805.2 nm lazerle uyarılma altında lüminesans spektrumunda: 900-1150nm bant aralığı, 10 nm kadar genişlemiş, lüminesans şiddeti azalmış, pik 1015nm’ye kaymış; 1350-1590nm bant aralığında Tm³⁺, Er³⁺ ve Yb³⁺ katkısıyla: Er³⁺ geçişine göre bant genişliği aynı kalmış şiddeti düşük ve pik 1533nm’de Er³⁺ ile aynı olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Er³⁺-Tm³⁺-Yb³⁺ katkı, TZETY-D etiketli cam matrisinin 805.2 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu.

4.2.2.2 Lüminesans spektrumları ($\lambda_{exc}=980$ nm)

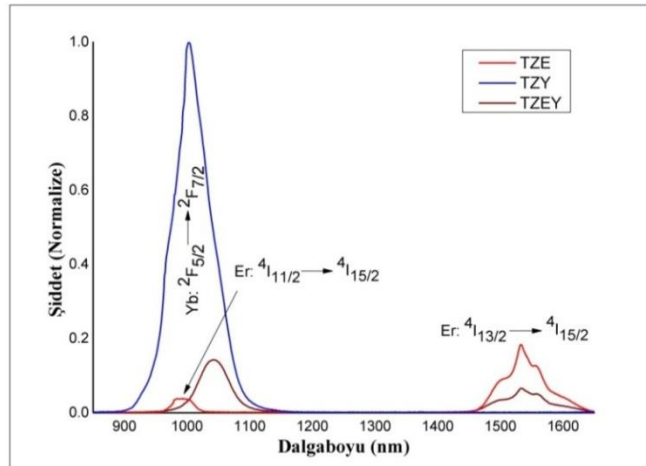
TZE cam matrisinin 980 nm uyarılma altında, Er^{3+} $^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ geçişi 950-1050nm bant aralığında ve $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ geçişi 1450-1650nm aralığında gözlenmiştir (Şekil 4.16).

TZY cam matrisinin 980 nm lazerle uyarılma altında lüminesans spektrumunda, Yb^{3+} $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ geçişi 900-1200nm bant aralığında gözlenmiştir (Şekil 4.16).

TZY-D cam matrisinin 980 nm lazerle uyarılma altında spektrumunda, Yb^{3+} $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ geçişi 900-1200nm bant aralığında gözlenmiştir (Şekil 4.17).

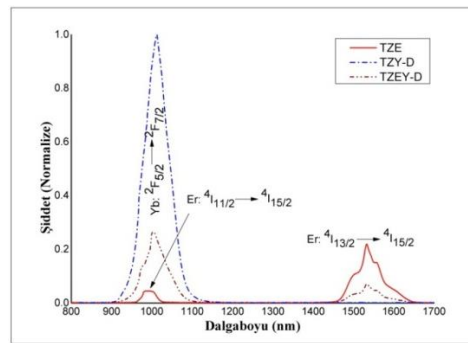
TZT cam matrisinin 980 nm uyarılma altında, Tm^{3+} geçişleri ve bant aralıkları: Tm^{3+} $^3H_4 \rightarrow ^3H_6$ geçişi 1.64 μm 'de merkezileşen 1600-1680nm bant aralığında pikleşme gözlenmiştir (Şekil 4.18, Şekil 4.19).

TZEY etiketli cam matrisinin 980 nm lazerle uyarılma altında derlenen lüminesans spektrumunda, 950-1150nm ve 1450-1650nm bant aralıklarında pikleşmeler gözlenmiş ve katkılanmış Yb^{3+} iyonunun $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ geçişi ile Er^{3+} iyonunun $^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ geçişi ve $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ geçişi işaret edilmiştir (Şekil 4.16). İlk pikleşme $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ geçişi ve $^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ geçişinin etkisiyle, merkezinin 1.05 μm 'e yani iki iyonun ortak bölgesine doğru kaydığı, bant genişliğinin ve şiddetin de ortak bölgede kaldığı; $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ geçişinde ise şiddetin azalıp, bant genişliği ve merkezi pikin aynı kaldığı gözlenmiştir.



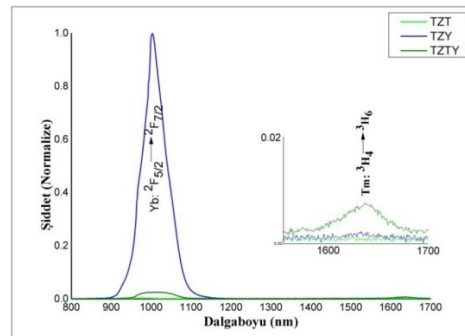
Şekil 4.16: Er^{3+} - Yb^{3+} katkılı, TZEY etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu.

TZEY-D etiketli cam matrisinin 980 nm lazerle uyarılma altında derlenen lüminesans spektrumunda, 900-1100nm ve 1450-1650nm bant aralıklarında pikleşmeler gözlenmiş ve katkılanmış Yb^{3+} iyonunun $^2\text{F}_{5/2} \rightarrow ^2\text{F}_{7/2}$ geçişi ile Er^{3+} iyonunun $^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ geçişi ve $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ geçişi işaret edilmiştir (Şekil 4.17). İlk pikleşme $^2\text{F}_{5/2} \rightarrow ^2\text{F}_{7/2}$ geçişi ve $^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ geçişinin etkisiyle, merkezinin Yb^{3+} iyonunun sahip olduğu gibi 1. μm 'de ve bant genişliğinin de Yb^{3+} iyonunun sahip olduğuna eşit olduğu, şiddetin de ortak bölgede olduğu; $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ geçişinde ise şiddetin yarıya düşerken bant genişliği ve merkezi pikin 1.5 μm olarak aynı olduğu gözlenmiştir.



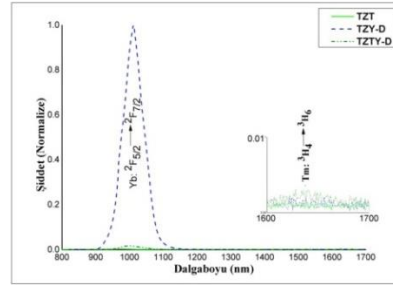
Şekil 4.17: Er^{3+} - Yb^{3+} katkılı, TZEY-D etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu.

TZTY etiketli cam matrisinin 980 nm lazerle uyarılma altında derlenen lüminesans spektrumunda, 950-1100nm bant aralığının 1. μm 'de ve 1575-1700nm bant aralığının 1.64 μm 'de merkezileşen pikleşmeler gözlenmiş olup, katkılanmış Yb^{3+} iyonunun $^2\text{F}_{5/2} \rightarrow ^2\text{F}_{7/2}$ geçişi 1. μm 'de, Tm^{3+} iyonunun $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ geçişi 1.64 μm 'de merkezileşmiş olarak işaret edilmiştir (Şekil 4.18). İki pikleşmenin de şiddetleri oldukça düşük gözlenmiştir. İlk pikleşmede bant aralığının Yb^{3+} iyonunun sahip olduğuna oranla dar, Tm^{3+} iyonunun sahip olduğuna oranla ise 50 nm kadar geniş olduğu gözlenmiştir.



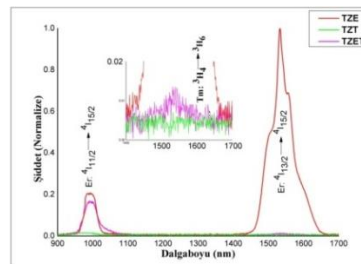
Şekil 4.18: Tm^{3+} - Yb^{3+} katkılı, TZTY etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu ve 1.64 μm 'de detay.

TZTY-D etiketli cam matrisinin 980 nm lazerle uyarılma altında derlenen lüminesans spektrumunda, 950-1100nm bant aralığının 1. μm 'de ve 1575-1700nm bant aralığının 1.64 μm 'de merkezileşen pikleşmeler gözlenmiş olup, katkılanmış Yb^{3+} iyonunun $^2\text{F}_{5/2} \rightarrow ^2\text{F}_{7/2}$ geçişi 1. μm 'de, Tm^{3+} iyonunun $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ geçişi 1.64 μm 'de merkezileşmiş olarak işaret edilmiştir (Şekil 4.19). İki pikleşmenin de şiddetleri oldukça düşük ve TZTY-D cam matrisinin şiddetinin TZTY matrisinin şiddetine oranla yarıyariya olduğu gözlenmiştir. İlk pikleşmede bant aralığının Yb^{3+} iyonunun sahip olduğuna oranla dar, Tm^{3+} iyonunun sahip olduğuna oranla ise 50 nm kadar geniş olduğu, ve şiddetinin TZTY matrisinin şiddetine oranla yarıyariya olduğu gözlenmiştir.



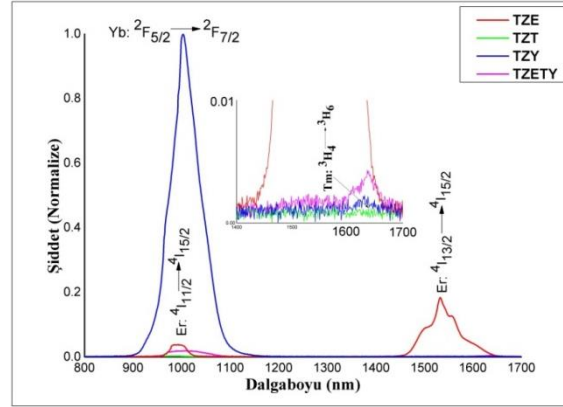
Şekil 4.19: Tm^{3+} - Yb^{3+} katkılı, TZTY-D etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu ve 1.64 μm 'de detay.

TZET etiketli cam matrisinin 980nm lazerle uyarılma altında spektrumunda, 900-1100nm bant aralığı (1. μm 'de merkezileşen) ve 1400-1650nm bant aralığı (1.55 μm 'de merkezileşen) gözlenmiştir. 1. μm 'de merkezileşen pikin şiddeti Er^{3+} iyonunun $^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ geçişinin şiddetine oranla bir miktar azaldığı, ve bant genişliğinin ise 50nm kadar genişlediği gözlenmiştir. Er^{3+} iyonunun 1.55 μm 'de merkezileşen $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ geçişi ile Tm^{3+} iyonunun 1.64 μm 'de merkezileşmiş $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ geçiş bandının üstüste binmesi ve iki iyonun etkileşmesi sonucu oluşan bandın Er^{3+} iyonununki ile aynı kalıp, bir miktar şiddet gözlenmiş olup, İki pikleşmenin de şiddetlerinin oldukça düşük oldukları gözlenmiştir (Şekil 4.20).



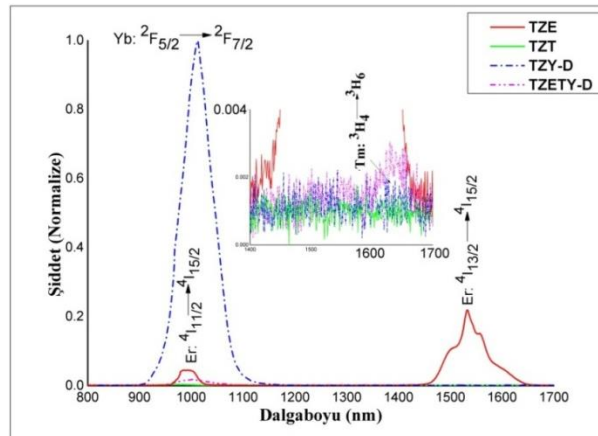
Şekil 4.20: Er^{3+} - Tm^{3+} katkılı, TZET etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu ve 1.5 μm 'de detay .

TZETY etiketli cam matrisinin 980nm lazerle uyarılma altında derlenen spektrumunda gözlenen bantlar 900-1100nm ve 1500-1700nm olup, bunlar Yb^{3+} iyonunun 1. μm 'de $^2\text{F}_{5/2} \rightarrow ^2\text{F}_{7/2}$ geçişi, Er^{3+} iyonunun 1.55 μm 'de $^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ geçişi ve Tm^{3+} iyonunun 1.64 μm 'de merkezileşmiş $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ geçişine işaret etmektedir. İki bandın da şiddeti düşük olsa da, ilk bandın şiddeti ikinci bandın pikleşmesine oranla daha belirgin gözlenmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21: Er^{3+} - Tm^{3+} - Yb^{3+} katkılı, TZETY etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu ve 1.64 μm 'de detay.

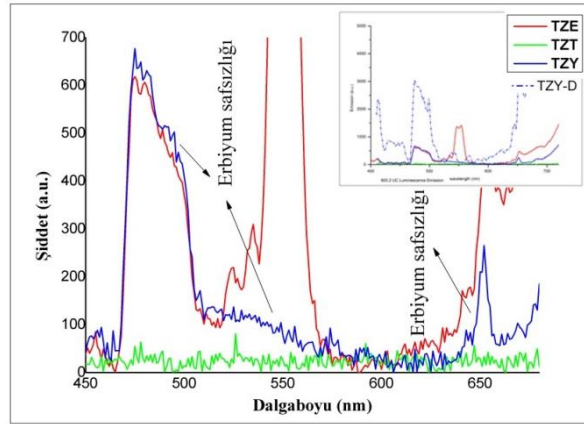
TZETY-D etiketli cam matrisinin 980nm lazerle uyarılma altında derlenen spektrumunda gözlenen bantlar 900-1100nm ve 1500-1700nm olup, bunlar Yb^{3+} iyonunun 1. μm 'de $^2\text{F}_{5/2} \rightarrow ^2\text{F}_{7/2}$ geçişi, Er^{3+} iyonunun 1.55 μm 'de $^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ geçişi ve Tm^{3+} iyonunun 1.64 μm 'de merkezileşmiş $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ geçişine işaret etmektedir. İki bandın da şiddeti düşük olsa da, ilk bandın şiddeti ikinci bandın pikleşmesine oranla daha belirgin gözlenmiştir (Şekil 4.22). TZETY-D cam matrisinin şiddetinin TZETY matrisinin şiddetine oranla yaklaşık dörtte biri (1/4) olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.22: Er^{3+} - Tm^{3+} - Yb^{3+} katkılı, TZETY-D etiketli cam matrisinin 980 nm uyarılma altında lüminesans emisyonu ve 1.64 μm 'de detay.

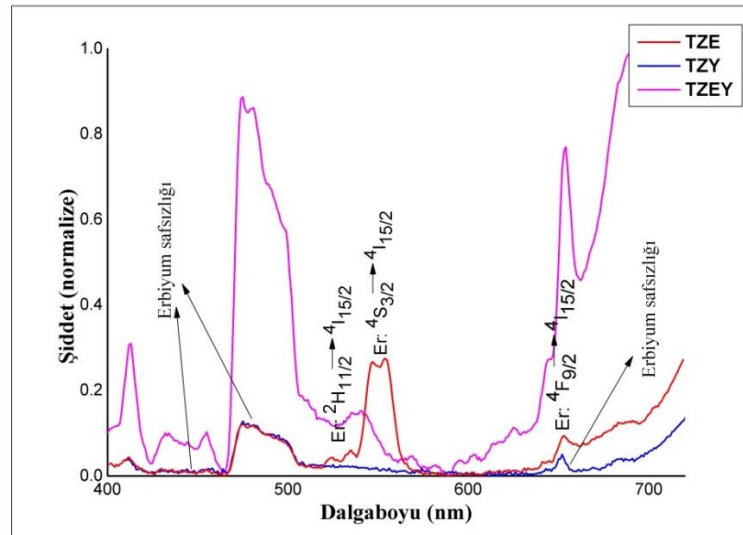
4.2.2.3 UC Lüminesans spektrumları ($\lambda_{exc}=805.2$ nm)

TZE, TZT, TZY ve TZY-D etiketli cam matrislerinin 805.2 nm UC uyarılma altında derlenen lüminesans emisyonunda geçişler işaret edilmiş olup, 475 nm civarında bileşik (cooperative) UC, ve Yb^{3+} katkılı örneklerin Er^{3+} safsızlığı gözlenmiştir (Şekil 4.23).



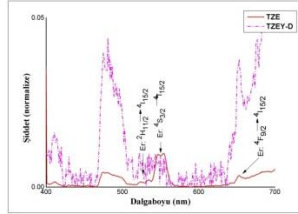
Şekil 4.23: $Er^{3+}/Tm^{3+}/Yb^{3+}$ tekli katkılı TZ cam matrislerinin 805.2 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu. 475 nm civarı bileşik UC , ve Erbiyum safsızlığı

TZEY etiketli, Er^{3+}/Yb^{3+} tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.1) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 805.2 nm UC uyarılma altında derlenen lüminesans emisyonunda geçişler işaret edilmiş olup, 475 nm civarında bileşik UC, ve Yb^{3+} katkılı örneğin erbiyum safsızlığı gözlenmiştir (Şekil 4.24).



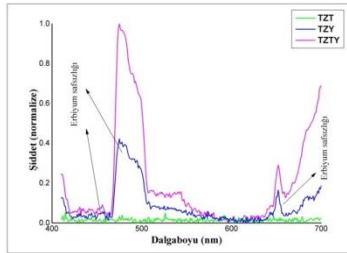
Şekil 4.24: Er^{3+}/Yb^{3+} tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.1) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 805.2nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu, 475nm civarı bileşik UC, ve Yb^{3+} katkılı örneğin erbiyum safsızlığı.

TZEY-D etiketli, $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZO cam matrislerinin (0.05) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 805.2 nm UC uyarılma altında derlenen lüminesans emisyonunda geçişler işaret edilmiş olup, 475 nm civarında bileşik UC, ve Yb^{3+} katkılı örneğin erbiyum safsızlığı gözlenmiştir (Şekil 4.25).



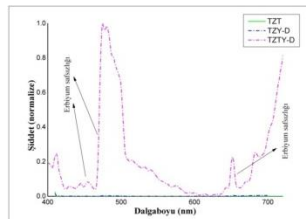
Şekil 4.25: $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.05) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 805.2nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu, 475nm civarı bileşik UC, ve Yb^{3+} katkılı örneğin erbiyum safsızlığı.

TZTY etiketli, $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.1) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 805.2 nm UC uyarılma altında derlenen lüminesans emisyonunda geçişler işaret edilmiş olup, 475 nm civarı bileşik UC, ve Yb^{3+} katkılı örneğin erbiyum safsızlığı gözlenmiştir (Şekil 4.26).



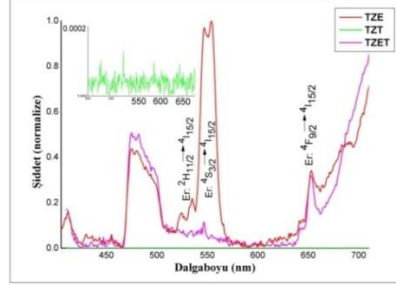
Şekil 4.26: $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.1) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 805.2 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu, 475 nm civarı bileşik UC, ve Yb^{3+} katkılı örneğin erbiyum safsızlığı.

TZTY-D etiketli, $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.05) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 805.2 nm UC uyarılma altında derlenen lüminesans emisyonundagözlenen geçişler işaret edilmiş olup, 475 nm civarı bileşik UC, ve Yb^{3+} katkılı örneğin erbiyum safsızlığı gözlenmiştir (Şekil 4.27).



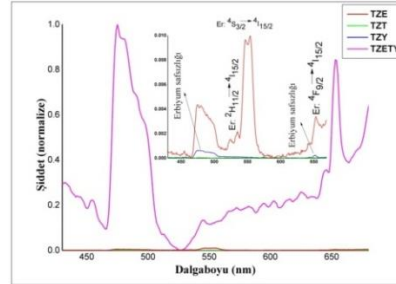
Şekil 4.27: $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.05) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 805.2 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu, 475 nm civarı bileşik UC, ve Yb^{3+} katkılı örneğin erbiyum safsızlığı.

TZET etiketli, $\text{Er}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin, 805.2 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonunda geçişler ve 475 nm civarında gözlenen bileşik UC (Şekil 4.28).



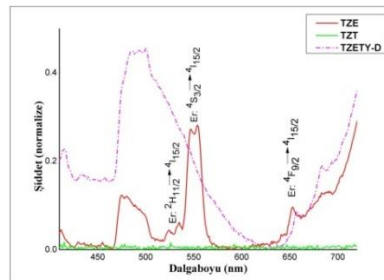
Şekil 4.28: $\text{Er}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin, 805.2 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu, 475nm civarında bileşik UC.

TZETY etiketli, $\text{Er}^{3+}-\text{Tm}^{3+}-\text{Yb}^{3+}$ üçlü katkılı, TZETY etiketli cam matrisinin 805.2 nm UC uyarılma altında derlenen lüminesans emisyonunda gözlenen geçişler ve 450-650 bandının TZT detayı verilmiş olup, 475 nm civarında bileşik UC gözlenmiştir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29: TZETY etiketli cam matrisinin 805.2nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu ve 450-650 bandının detayı, 475nm civarında bileşik UC.

TZETY-D etiketli, $\text{Er}^{3+}-\text{Tm}^{3+}-\text{Yb}^{3+}$ üçlü katkılı, TZETY-D etiketli cam matrisinin 805.2 nm UC uyarılma altında derlenen lüminesans emisyonunda gözlenen geçişler işaret edilmiş olup, 475 nm civarında bileşik UC gözlenmiştir (Şekil 4.30).

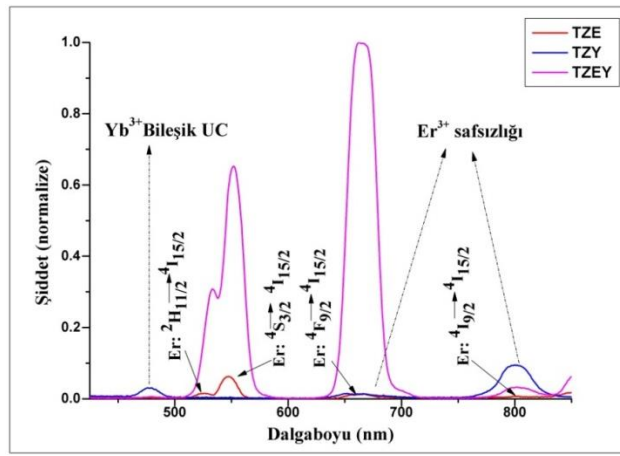


Şekil 4.30: TZETY-D etiketli cam matrisinin 805.2nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu. 475nm civarında gözlenen bileşik UC.

4.2.2.4 UC Lüminesans spektrumları ($\lambda_{exc}=980$ nm)

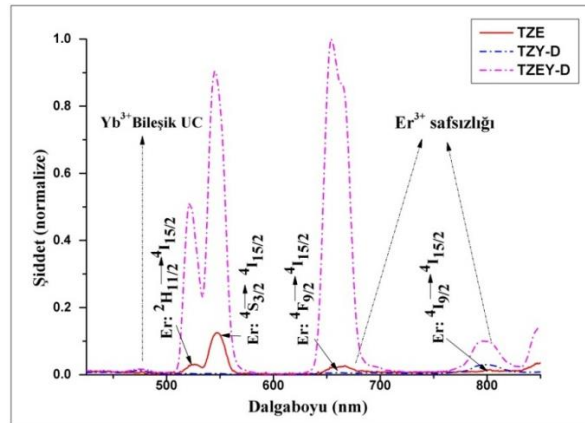
Er^{3+} - Tm^{3+} - Yb^{3+} iyonları ile tekli, ikili ve üçlü olarak çeşitli kombinasyonlarda katkılı tellür dioksit çinko oksit cam matrislerinin, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonlarında gözlenen: bulgulara işaret edilmiştir.

TZEY etiketli, Er^{3+}/Yb^{3+} tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.1) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu. Yb^{3+} katkılı numunede bileşik UC ve Er^{3+} safsızlıkları gözlenmiş ve uyarılma altında gözlenen geçişler şekilde işaret edilmiştir (Şekil 4.31).



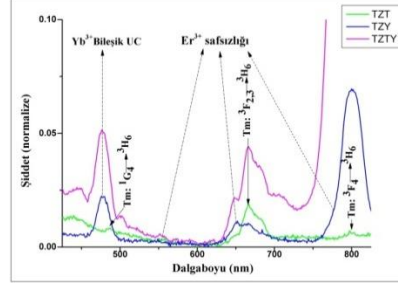
Şekil 4.31: Er^{3+}/Yb^{3+} tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.1) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu.

TZEY-D etiketli, Er^{3+}/Yb^{3+} tekli ve ikili katkılı TZO cam matrislerinin, (0.05) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu. Yb^{3+} katkılı numunede bileşik UC ve Er^{3+} safsızlıkları gözlenmiş ve uyarılma altında gözlenen geçişler şekilde işaret edilmiştir (Şekil 4.31, Şekil 4.32, Şekil 4.33).



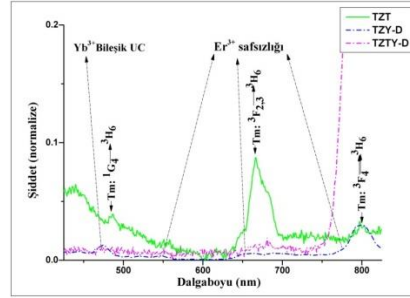
Şekil 4.32: Er^{3+}/Yb^{3+} tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.05) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu.

TZTY etiketli, $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZO cam matrislerinin (0.1) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu. Yb^{3+} katkılı numunelerde bileşik UC ve Er^{3+} safsızlıkları gözlenmiş ve uyarılma altında gözlenen geçişler şekilde işaret edilmiştir (Şekil 4.33).



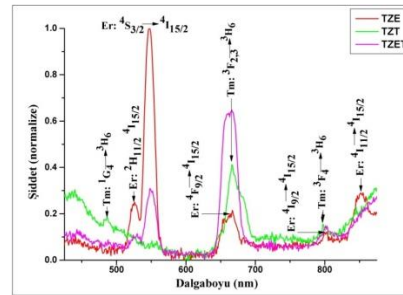
Şekil 4.33: $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.1) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu.

TZTY-D etiketli, $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.05) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 980 nm UC uyarılma altında derlenen lüminesans emisyonu: Yb^{3+} katkılı numunelerde bileşik UC ve Er^{3+} safsızlıkları gözlenmiş ve gözlenen geçişler şekilde işaret edilmiştir (Şekil 4.34).



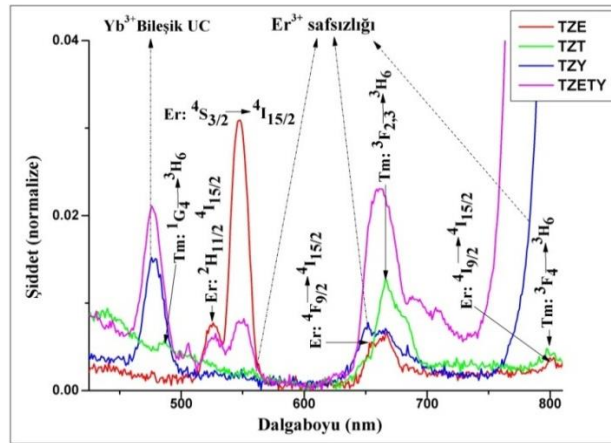
Şekil 4.34: $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin (0.05) Yb_2O_3 katkılı olanlarının, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu.

TZET etiketli, $\text{Er}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonunda gözlenen geçişler şekilde işaret edilmiştir (Şekil 4.35).



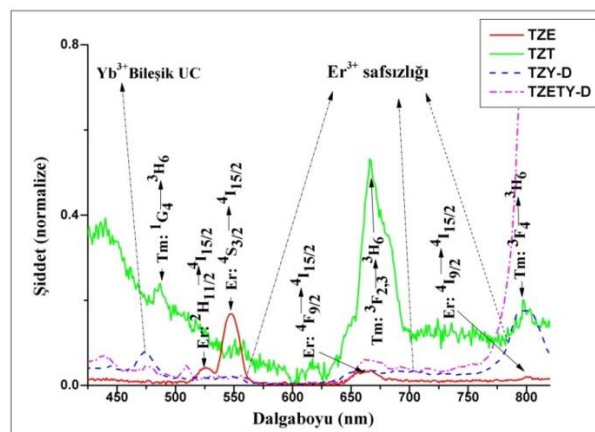
Şekil 4.35: $\text{Er}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$ tekli ve ikili katkılı TZ cam matrislerinin, 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu.

TZETY etiketli, $\text{Er}^{3+}\text{-Tm}^{3+}\text{-Yb}^{3+}$ katkılı, (0.1) Yb_2O_3 katkılı cam matrislerinin 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonlarında gözlenen: geçişler ve Yb^{3+} katkılı numunelerde bileşik UC ve Er^{3+} safsızlıkları şekilde işaret edilmiştir (Şekil 4.36).



Şekil 4.36: Er^{3+} - Tm^{3+} - Yb^{3+} katkılı, (0.1) Yb_2O_3 katkılı cam matrislerinin 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonu.

TZETY-D etiketli, $\text{Er}^{3+}\text{-Tm}^{3+}\text{-Yb}^{3+}$ katkılı, (0.05) Yb_2O_3 katkılı cam matrislerinin 980 nm UC uyarılma altında lüminesans emisyonlarında gözlenen: geçişler, Yb^{3+} katkılı numunelerde bileşik UC ve Er^{3+} safsızlıkları şekilde işaret edilmiştir (Şekil 4.37). TZETY şiddetleri TZETY-D matrisinde gözlenene oranla 0.02 seviyelerinden 0.08 civarlarındadır gözlenmiştir



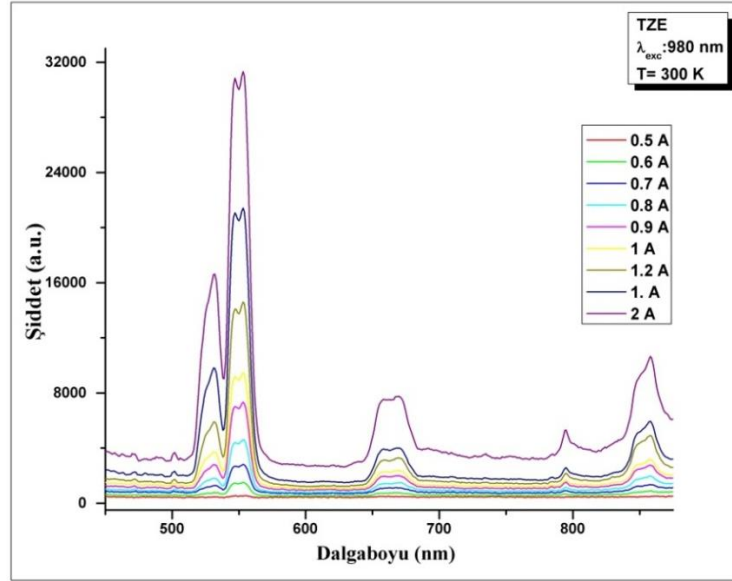
Şekil 4.37: Er^{3+} - Tm^{3+} - Yb^{3+} katkılı, (0.05) Yb_2O_3 katkılı cam matrislerinin 980 nm UC uyarlma altında lüminesans emisyonu.

Lüminesans bulgularından, Yb³⁺ katkılı kompozit cam matrislerinin % 0.5 ve % 1.0 katkılı olanları için karşılaştırmalı lüminesans spektrumları ($\lambda_{exc}=980$ nm UC) ek-C’de verilmiştir.

4.2.2.5 Güç değişimi ve UC luminesans spektrumları ($\lambda_{exc}=980$ nm)

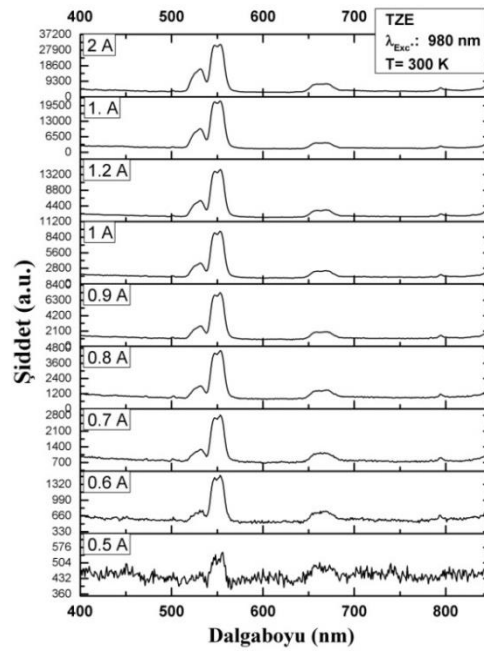
Lazerin çıkış akımının değiştirilmesine bağlı olarak değişen lazer pompalama gücü ile 980 nm de UC luminesansının değişen spektrumları özellikle görünür spektrum aralığı için derlenmiş ve elde edilen grafikler ve gözlenen geçişler aşağıda yer almaktadır.

TZE'nin güç değişimine karşılık luminesans değişimi grafikleri aşağıda verilmiştir.



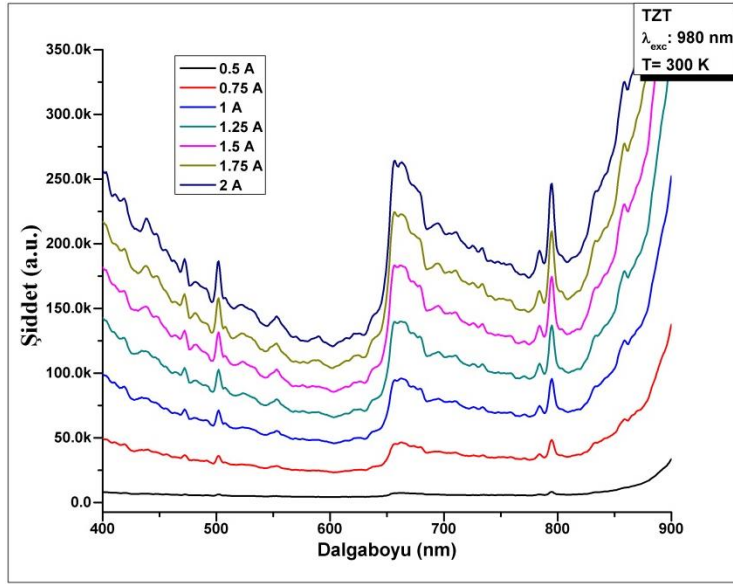
Şekil 4.38: 980 nm UC uyarılma altında TZE camının güce bağlı luminesans şiddeti.

TZE camının mavi-yeşil-kırmızı bölgelerde güce bağlı luminesans şiddeti değişimi.



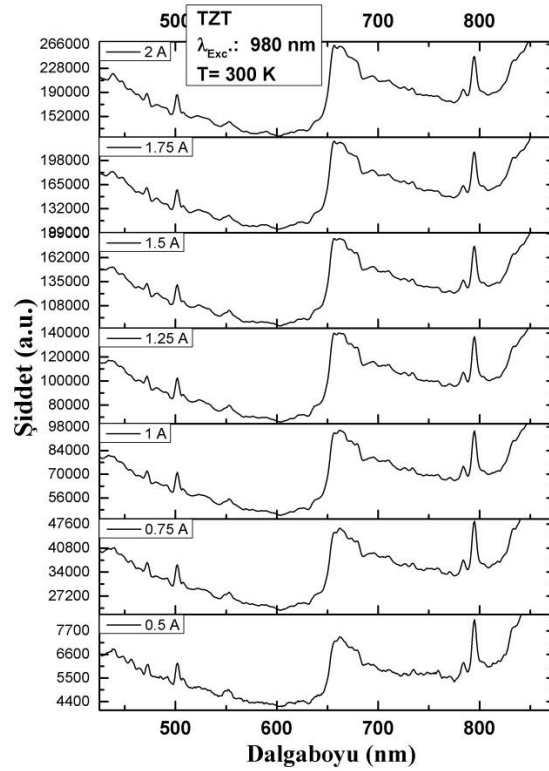
Şekil 4.39: TZE camının güce bağlı luminesans şiddeti değişimi.

TZT'nin güç değişimine karşılık lüminesans değişimi grafikleri aşağıda verilmiştir.



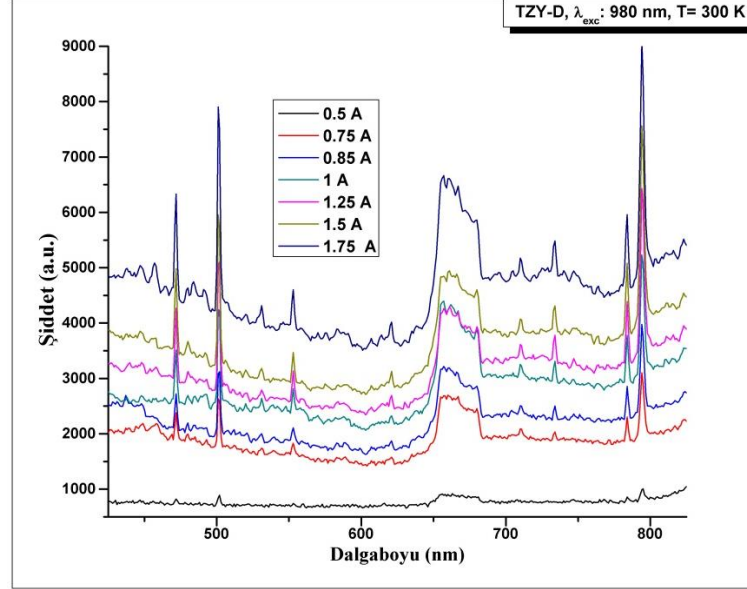
Şekil 4.40: 980 nm UC uyarılma altında TZT camının güce bağlı lüminesans şiddeti.

TZT camının mavi-yeşil-kırmızı bölgelerde güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.



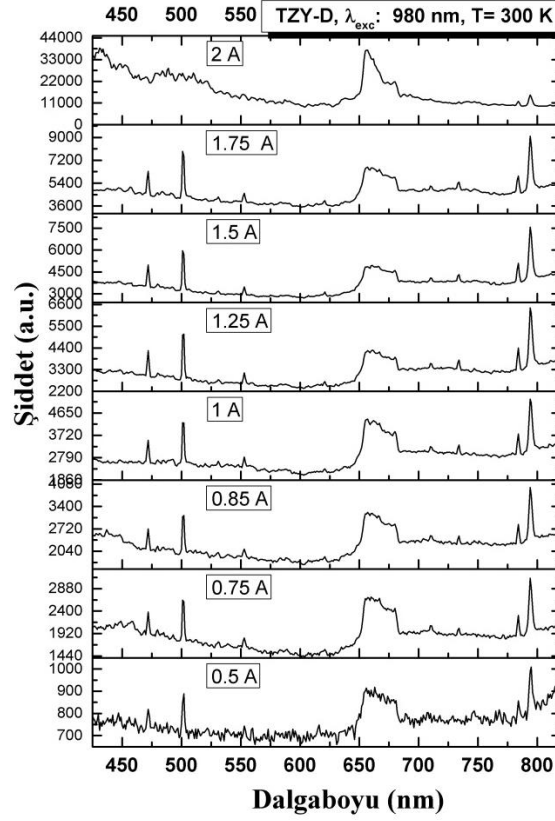
Şekil 4.41: TZT camının güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.

TZY-D'nin güç değişimine karşılık lüminesans değişimi grafikleri aşağıda verilmiştir.



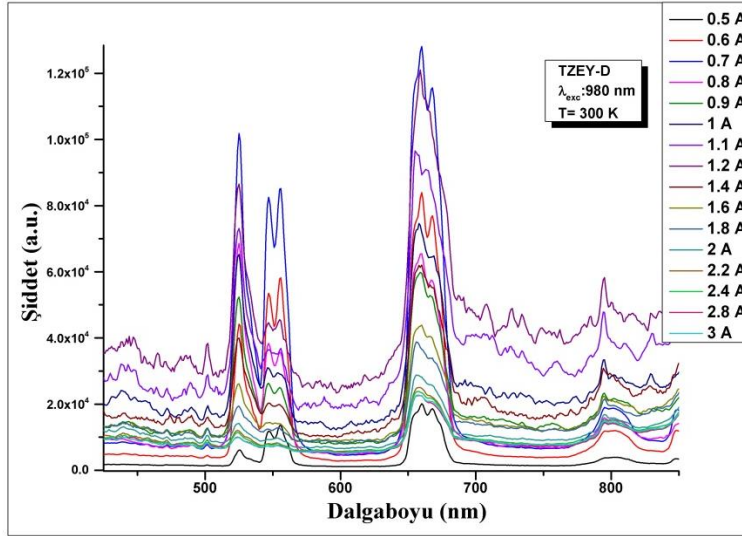
Şekil 4.42: 980 nm UC uyarılma altında TZY-D camının güce bağlı lüminesans şiddeti.

TZY-D camının mavi-yeşil-kırmızı bölgelerde güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.



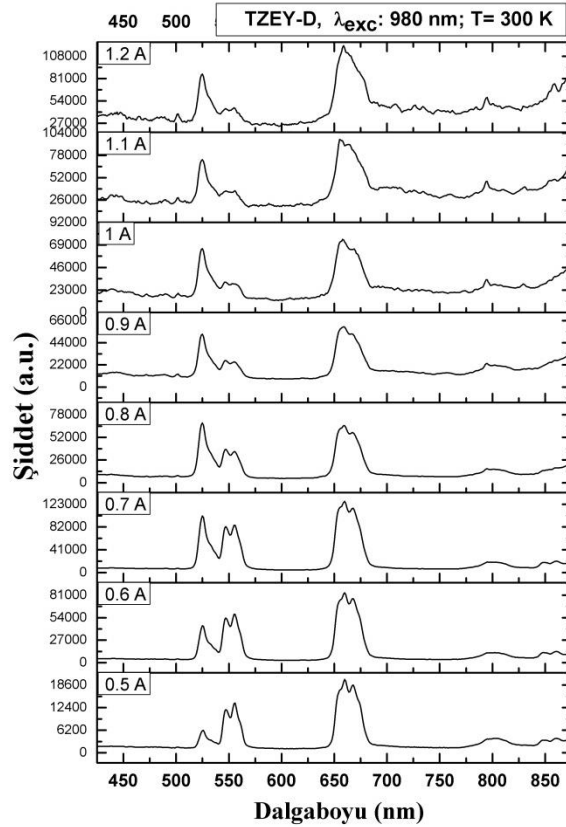
Şekil 4.43: TZY-D camının güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.

TZEY-D'nin güç değişimine karşılık luminesans değişimi grafikleri aşağıda verilmiştir.

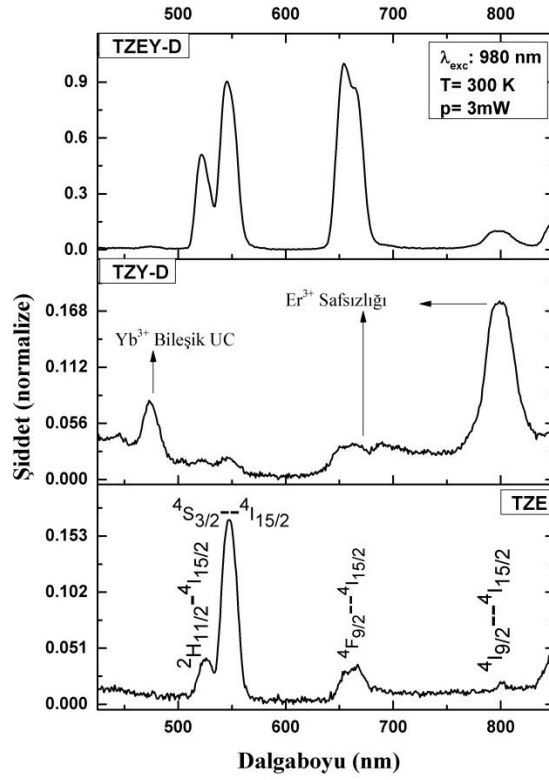


Şekil 4.44: 980 nm UC uyarılma altında TZEY-D camının, güce bağlı luminesans şiddeti değişimi.

980 nm UC uyarılma altında TZEY-D camının mavi-yeşil-kırmızı bölgelerde luminesans şiddeti değişimi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

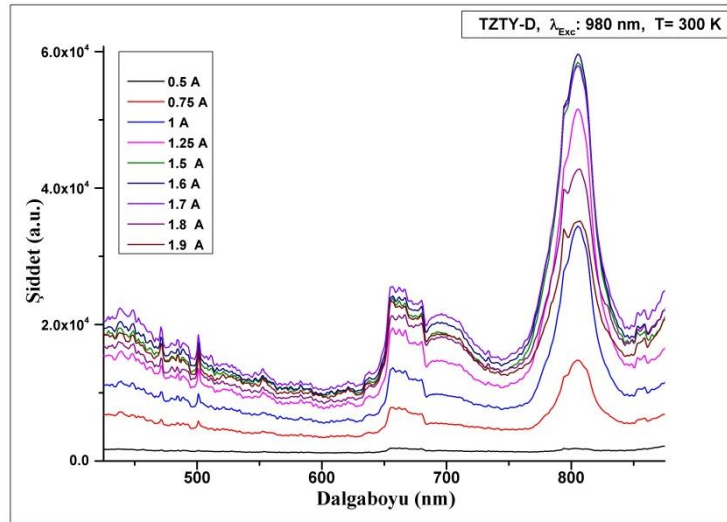


Şekil 4.45: TZEY-D camının güce bağlı luminesans şiddeti değişimi.

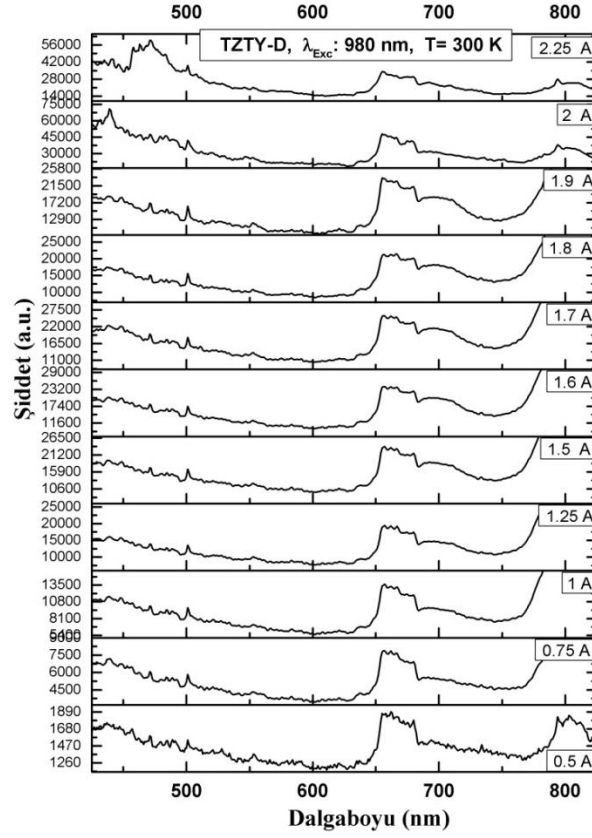


Şekil 4.46: 980 nm UC uyarılma altında TZEY-D camının lüminesans şiddeti ve geçişler.

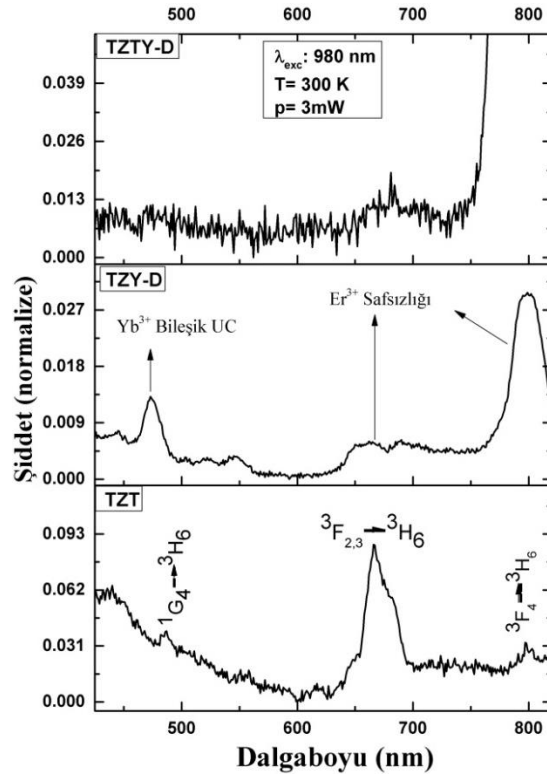
TZTY-D'nin güç değişimine karşılık lüminesans değişimi grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.47: 980 nm UC uyarılma altında TZTY-D camının, güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.

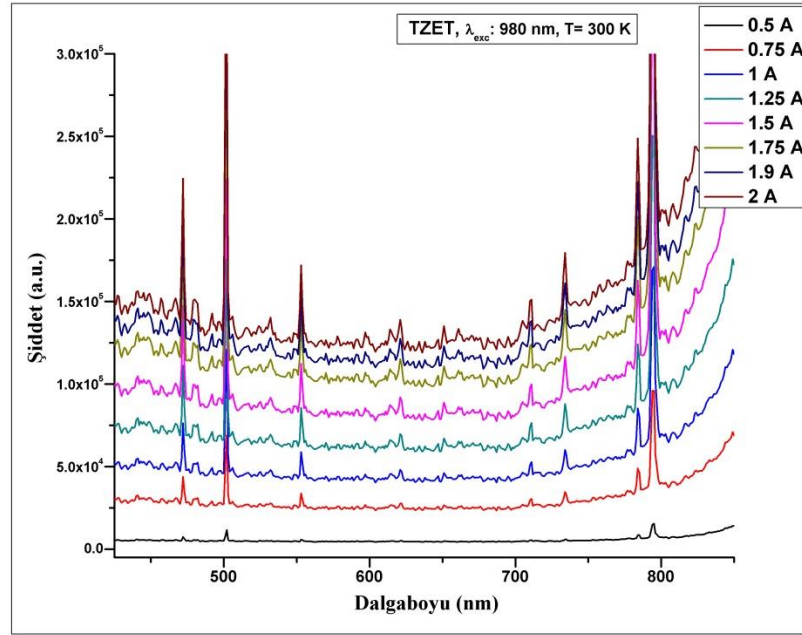


Şekil 4.48: TZTY-D camının mavi-yeşil-kırmızı bölgelerde güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişimi.

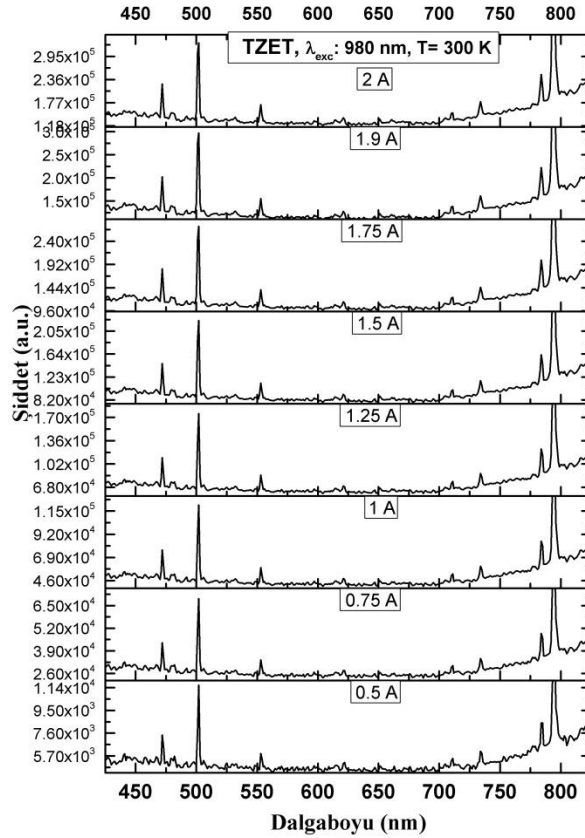


Şekil 4.49: 980 nm UC uyarılma altında TZTY-D camının lüminesans şiddeti ve geçişler.

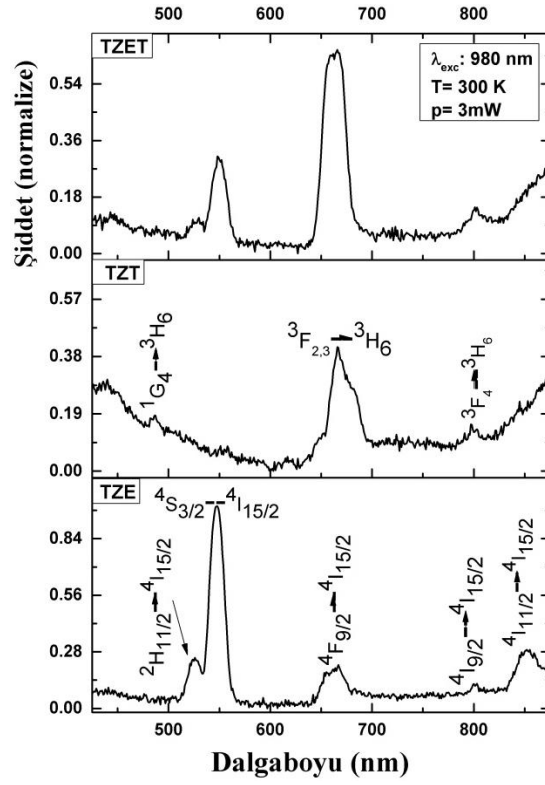
TZET'nin güç değişimine karşılık lüminesans değişimi grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.50: 980 nm UC uyarılma altında TZET camının, güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.

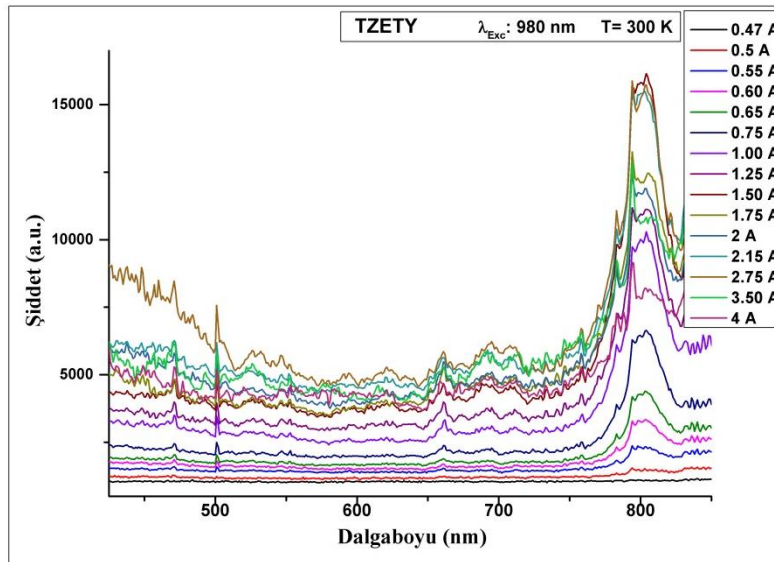


Şekil 4.51: TZET camının mavi-yeşil-kırmızı bölgelerde güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişimi.

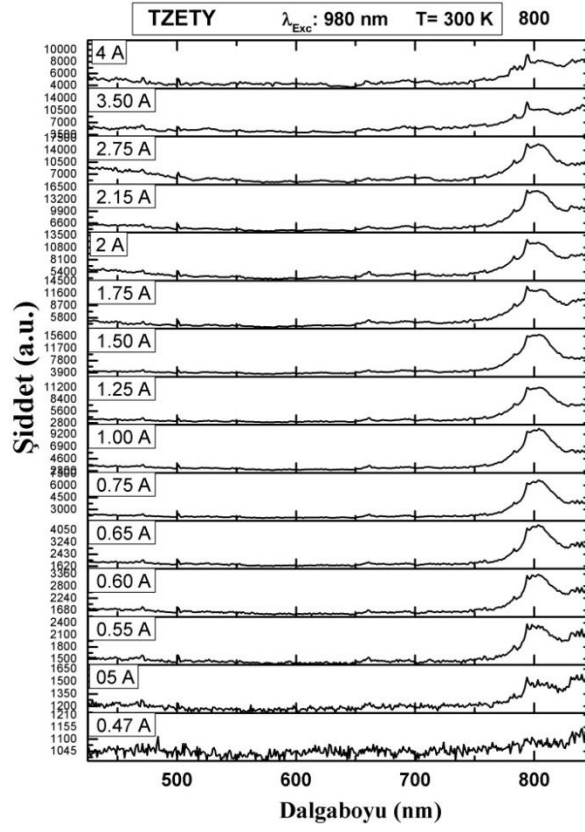


Şekil 4.52: 980 nm UC uyarılma altında TZET camının lüminesans şiddeti ve geçişler.

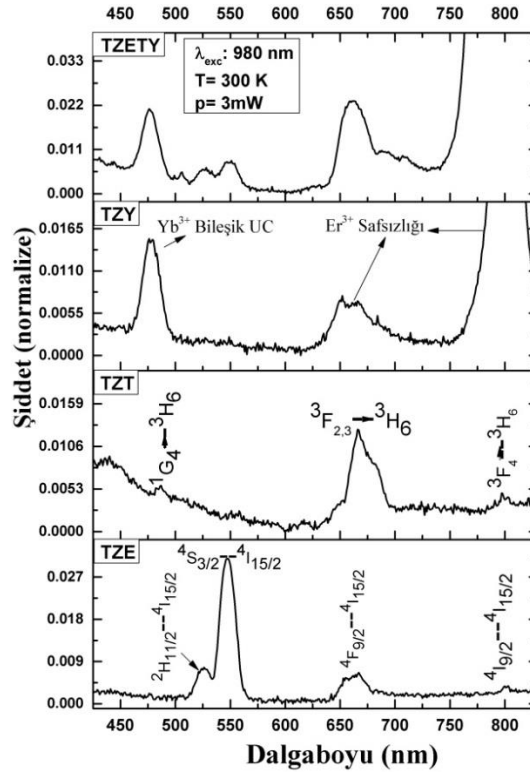
TZETY'nin güç değişimine karşılık lüminesans değişimi grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.53: 980 nm UC uyarılma altında TZETY camının, güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.

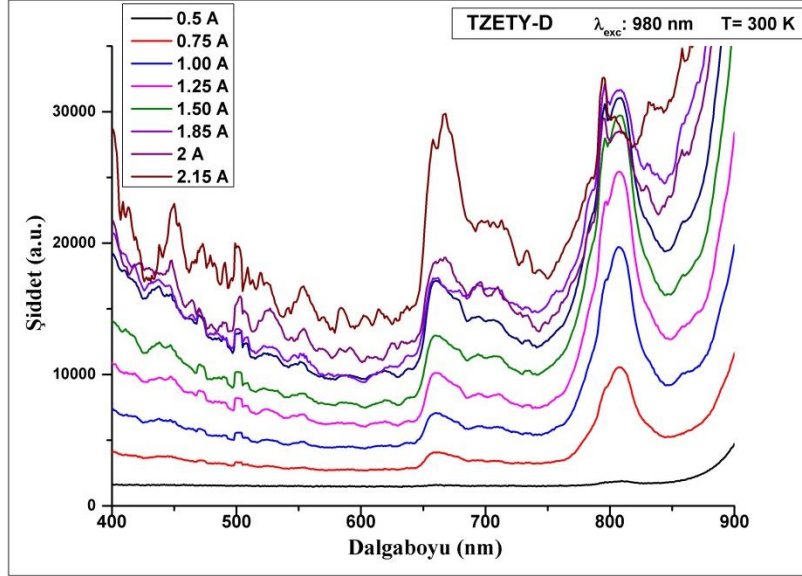


Şekil 4.54: TZETY camının mavi-yeşil-kırmızı bölgelerde güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişimi.

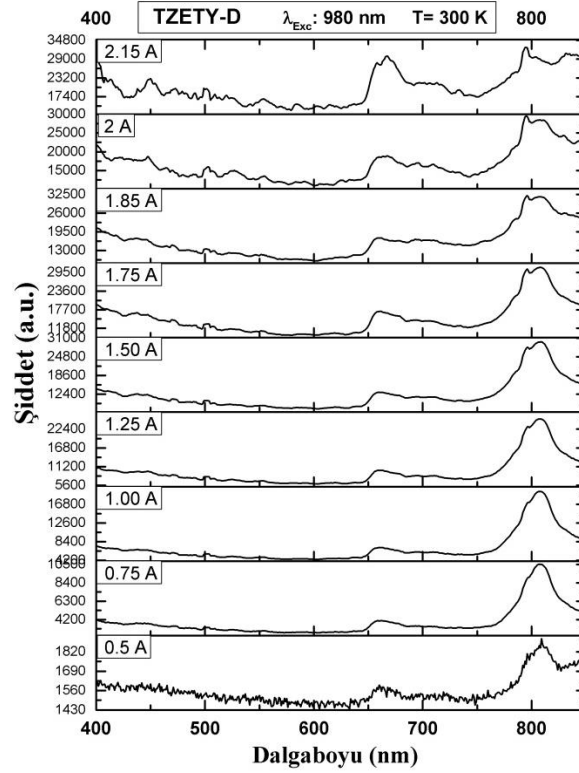


Şekil 4.55: 980 nm UC uyarılma altında TZETY camının lüminesans şiddeti ve geçişler.

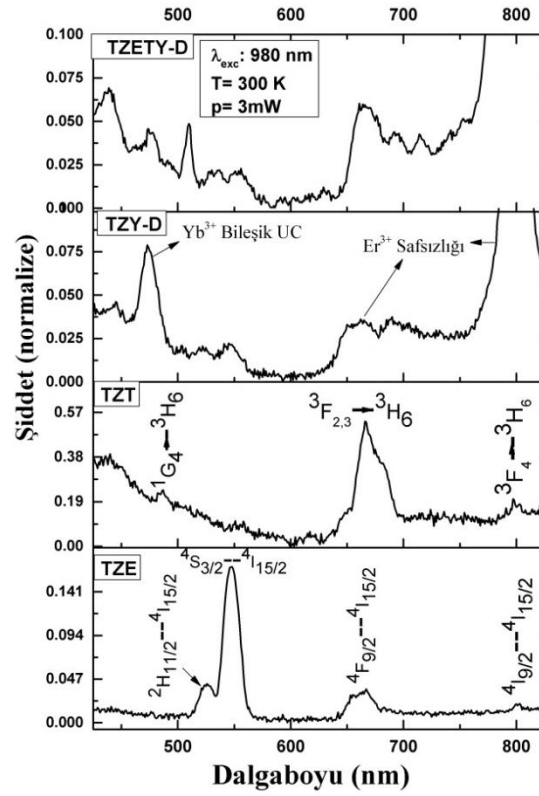
TZETY-D'nin güç değişimine karşılık lüminesans değişimi grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.56: 980 nm UC uyarılma altında TZETY-D camının, güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.



Şekil 4.57: TZETY-D camının güce bağlı lüminesans şiddeti değişimi.



Şekil 4.58: 980 nm UC uyarılma altında TZETY-D camının lüminesans şiddeti ve geçişler.

Bu bölümde yeralan veriler ışığında, akım değişimine bağlı olarak değişen güç ile değişen lüminesans pikleşmelerinin eğimleri elde edilmiştir. Bu eğim değerleri ile foton sayıları tablosu oluşturulmuştur. İlgili sonuçlar tablolar ve grafikler halinde sonuçlar bölümünde yer almaktadır.

980 nm UC uyarılma altında TZY ve TZY-D, TZEY ve TZEY-D, TZTY ve TZTY-D, TZETY ve TZETY-D camlarının karşılaştırmalı lüminesans şiddeti değişim grafikleri ek-C’de yer almaktadır.

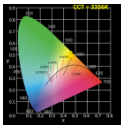
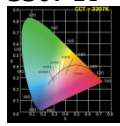
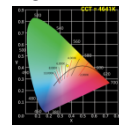
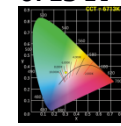
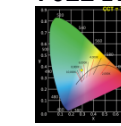
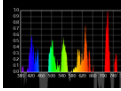
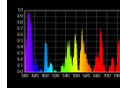
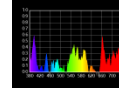
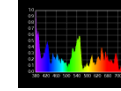
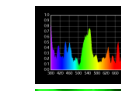
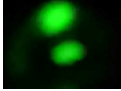
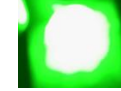
Ayrıca 980 nm ve 805.2 nm uyarılma altında UC lüminesanslarının spektrumlarından gözlenen geçişler aracılığı ile Er^{3+} ve Yb^{3+} katkılı TZEY, Er^{3+} ve Yb^{3+} katkılı TZEY-D, Tm^{3+} ve Yb^{3+} katkılı TZTY, Tm^{3+} ve Yb^{3+} katkılı TZTY-D, Er^{3+} ve Tm^{3+} katkılı TZET, Er^{3+} , Tm^{3+} ve Yb^{3+} katkılı TZETY, Er^{3+} , Tm^{3+} ve Yb^{3+} katkılı TZETY-D cam matrislerinin enerji transfer şemaları yorumlanmış olup, ek-D’de yer almaktadır.

4.3 Beyaz Işık Parametreleri

Lantanit iyonları ile tekli, ikili ve üçlü olarak çeşitli kombinasyonlarda katkılanmış TZ cam matrislerinin 980 nm lazerin çıkış akımının değiştirilmesine bağlı olarak değişen lazer pompalama gücü ile gözlenen UC lüminesans değişimlerinden lüminesansmetre aracılığı ile oda sıcaklığında elde edilen beyaz ışık parametreleri verileri ve cam kompozit malzemelerin, lazer etkisi altında çekilen fotoğrafları tablolar olarak bu bölümde yayınlanmıştır. Beyaz ışık parametreleri: CIE kroma koordinatları x-y-, CCT, CRI değerleri olarak derlenmiştir. Derlenen veriler sonuçlar bölümünde ayrıca tablolar halinde sunulmuştur.

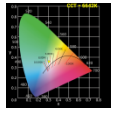
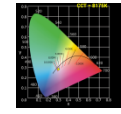
TZE etiketli cam matrisinin ölçülmüş beyaz ışık parametreleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5: TZE etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri ve fotoğrafları.

TZE	0.5 A	0.9 A	1.2 A	1.5 A	2 A
CİE x-y	0.4664, 0.5253 3356 K	0.4067, 0.3722 3307 K	0.3647, 0.4173 4641 K	0.3056, 0.3488 6713 K	0.2952, 0.3690 7022 K
CCT					
CRI	20	67	48	78	70
SPECTR					
FOTO					

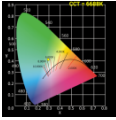
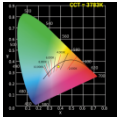
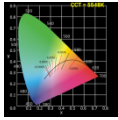
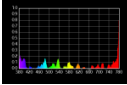
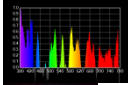
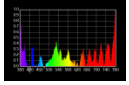
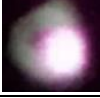
TZT etiketli cam matrisinin ölçülmüş beyaz ışık parametreleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6: TZT etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri.

TZT	2 A	2 A
CİE x-y	0.3052, 0.3604 6442 K	0.3001, 0.2841 8175 K
CCT		
CRI	78	87

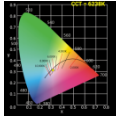
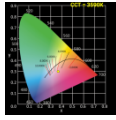
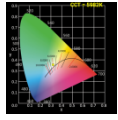
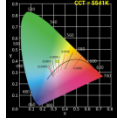
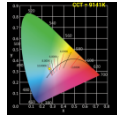
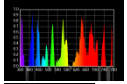
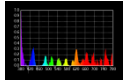
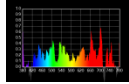
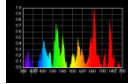
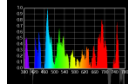
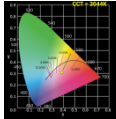
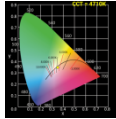
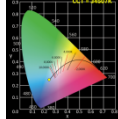
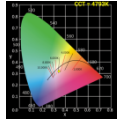
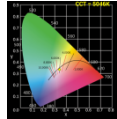
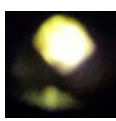
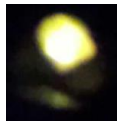
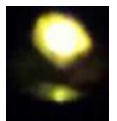
TZY-D etiketli cam matrisinin ölçülmüş beyaz ışık parametreleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7: TZY-D etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri.

TZY-D	1.75 A	1.85 A	2 A
CİE x-y	0.2951, 0.4158	0.3819, 0.3555	0.3314, 0.4522
CCT	6688 K 	3783 K 	5448 K 
CRI	61	78	65
Spektrum			
Fotoğraf			

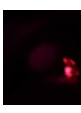
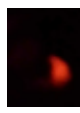
TZEY-D etiketli cam matrisinin ölçülmüş beyaz ışık parametreleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8: TZEY-D etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri.

TZEY-D	0.5 A	0.8 A	1.10 A	1.25 A	1.50 A
CİE x-y	0.3192, 0.3145	0.3695, 0.3011	0.3208, 0.3574	0.3316, 0.3969	0.2722, 0.3258
CCT	6238 K 	33590 K 	5982 K 	5541 K 	9141 K 
CRI	81	53	90	78	86
Spektrum					
Fotoğraf					
TZEY-D	2.40 A	2.40 A	2.80 A	2.80 A	3 A
CİE x-y	0.3900, 0.3106	0.3525, 0.3495	0.2450, 0.2497	0.3468, 0.3215	0.3427, 0.3364
CCT	3044 K 	4710 K 	34507 K 	4793 K 	5046 K 
CRI	57	87	85	66	78
Fotoğraf					

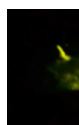
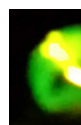
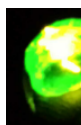
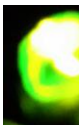
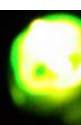
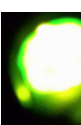
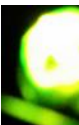
TZTY-D etiketli cam matrisinin ölçülmüş beyaz ışık parametreleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9: TZTY-D etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri.

TZTY-D	0.5 A	0.9 A	1.10 A	1.20 A	1.40 A
CİE x-y	0.33, 0.27	0.30, 0.30	0.29, 0.27	0.30, 0.27	0.27, 0.28
CCT	5953 K 	7641 K 	8686 K 	8838 K 	7609 K 
CRI	29	87	84	87	87
Fotoğraf					
TZTY-D	1.80 A	2.20 A	2.40 A	2.80 A	3 A
CİE x-y	0.30, 0.27	0.30, 0.24	0.3034, 0.3443	0.327, 0.2664	0.37, 0.31
CCT	7872 K 	10947 K 	6665 K 	5938 K 	3408 K 
CRI	86	57	84	78	86
Fotoğraf					

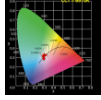
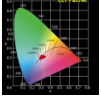
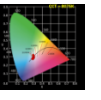
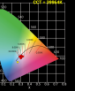
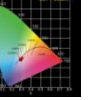
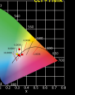
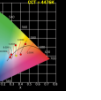
TZET etiketli cam matrisinin ölçülmüş beyaz ışık parametreleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10: TZET etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri.

TZET	0.5 A	0.75 A	1 A	1.25 A	1.50 A	1.75 A	2 A
CİE x-y	0.27, 0.25	0.3057, 0.3016	0.3550, 0.4671	0.2816, 0.3088	0.2923, 0.2685	0.3057, 0.3016	0.3218, 0.3254
CCT	8379 K 	7641 K 	5011 K 	8815 K 	9815 K 	7219 K 	5482 K 
CRI	79	81	74	92	80	81	90
Fotoğraf							

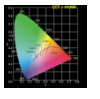
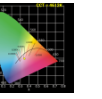
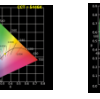
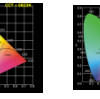
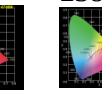
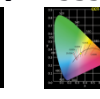
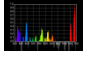
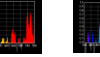
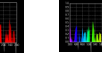
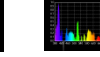
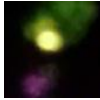
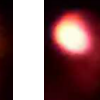
TZETY etiketli cam matrisinin ölçülmüş beyaz ışık parametreleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11: TZETY etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri.

TZETY	1 A	1.50 A	2 A	2.50 A	3 A	3.50 A	4 A
CİE x-y	0.30, 0.33	0.31, 0.30	0.29, 0.31	0.26, 0.23	0.30, 0.28	0.30, 0.34	0.35, 0.31
CCT	6970 K 	8215 K 	8075 K 	6782 K 	8063 K 	7161 K 	4476 K 
CRI	79	90	92	85	86	89	68
Fotoğraf							

TZETY-D etiketli cam matrisinin ölçülmüş beyaz ışık parametreleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12: TZETY-D etiketli cam örneğin, beyaz ışık parametreleri.

TZETY-D	0.75 A	1 A	1.50 A	1.75 A	1.85 A	2 A	2 A
CİE x-y	0.3532 0.3145	0.3471, 0.2977	0.3337, 0.3422	0.3244, 0.3611	0.3699, 0.4874	0.4470, 0.3495	0.3460, 0.3497
CCT	4449K 	4912 K 	5446 K 	5823 K 	4748 K 	2385 K 	4959 K 
CRI	29	28	76	82	44	62	68
Spektrum							
Fotoğraf							

5. SONUÇLAR

5.1 Soğurma Spektroskopisi

Çalışma çerçevesinde sentezlenen tüm cam matrisleri için soğurma spektrumlarından elde edilen geçişler ve FWHM değerleri Er^{3+} , Tm^{3+} ve Yb^{3+} için aşağıda tablolar halinde listelenmiştir (Çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3).

Çizelge 5.1: Er^{3+} için soğurma spektrumunda gözlemlenen geçişler, pikler ve FWHM.

Er^{3+} Geçişler	$\lambda_p(\text{nm})$	TZE FWHM(nm)	TZET FWHM(nm)	TZEY-D FWHM(nm)	TZEY FWHM(nm)	TZETY-D FWHM(nm)	TZETY FWHM(nm)
$^4\text{I}_{13/2}$	1530	70.49	70	70		71.1	
$^4\text{I}_{11/2}$	976	24.79	25.3	64.2		62.3	
$(\text{Yb}^{3+})^2\text{F}_{7/2}$	974						
$^4\text{I}_{9/2}$	799	28.15	17.32	27.3	16.8	17.11	33.5
$^4\text{F}_{9/2}$	653	12.58	16.93	12.8	14.2	17.43	21.4
$^4\text{S}_{3/2}$	544						
$^2\text{H}_{11/2}$	521	6.95	6.9	6.92	8.8	6.97	8.5
$^4\text{F}_{7/2}$	488	6.28	5.9	6.33	6.9	6.4	7.2
$^4\text{F}_{5/2}$	451	5.61	3.15	4.6	5.02	3.13	3.3
$^4\text{F}_{3/2}$	443	4.49	5.02	3.4	4.3	5.95	4.38
$^2\text{H}_{9/2}$	406						4.9

Çizelge 5.2: Tm^{3+} için soğurma spektrumunda gözlemlenen geçişler, pikler ve FWHM.

Tm^{3+} Geçişler	$\lambda_p(\text{nm})$	TZT FWHM(nm)	TZET FWHM(nm)	TZTY-D FWHM(nm)	TZTY FWHM(nm)	TZETY-D FWHM(nm)	TZETY FWHM(nm)
$^3\text{H}_4$	1700	161.74	156.60	164.6		160.01	
$^3\text{H}_5$	1212	39.24	31.7	27.7		28.44	
$^3\text{F}_4$	793	18.62	17.32	15.9	34.9	17.11	33.5
$^3\text{F}_3$	687						
$^3\text{F}_2$	662	17.09	16.93	17.3	20.5	17.43	21.4
$^1\text{G}_4$	470	15.44	14.4	16.1	18.5	14.98	17.03

Çizelge 5.3: Yb^{3+} için soğurma spektrumunda gözlemlenen geçişler, pikler ve FWHM.

Yb^{3+} Geçişler	$\lambda_p(\text{nm})$	TZY-D FWHM(nm)	TZTY-D FWHM(nm)	TZEY-D FWHM(nm)	TZETY-D FWHM(nm)
$^2\text{F}_{7/2}$	974	66.42	65.9	64.2	62.3

Er^{3+} ve Tm^{3+} , Yb^{3+} iyonlarının gözlenen soğurma geçişlerine ait yarı şiddetteki band genişliklerine latis içinde bulunan diğer nadir toprak iyonlarının etkisinin olmadığını dolayısıyla bu iyonların lokal alanlarını değiştirmediklerini göstermektedir.

5.1.1 Judd-Ofelt şiddet parametreleri

Çalışma çerçevesinde sentezlenen tüm cam matrisleri için soğurma spektrumlarından elde edilen pikler ve piklerin altında kalan geniş bant aralıklarının alanları (osilatör şiddetleri) hesapları ve okunan geçişler ışığında Er^{3+} ve Tm^{3+} için hesaplanmış J-O şiddet parametreleri ve spektroskopik kalite faktörleri aşağıda tablolar halinde listelenmiştir (Çizelge 5.4, Çizelge 5.5).

Çizelge 5.4: Er^{3+} katkılı TZ- cam matrislerinin J-O şiddet parametreleri ($\Omega_{t=2,4,6} 10^{-20} \text{ cm}^2$) ve spektroskopik kalite faktörleri ($\chi = \Omega_4 / \Omega_6$).

Örnek	Ω_2	Ω_4	Ω_6	$\chi = \Omega_4 / \Omega_6$	$\Delta f_{rms} (X10^{-6})$
TZE	8.9220	2.2223	1.4417	1.5409	0.1008
TZET	9.8234	24.7447	-3.1782	-7.7856	6.9741
TZEY-D	12.1844	4.4292	1.3452	3.2924	0.6316
TZEY	16.8461	6.4279	4.1676	1.5423	0.7152
TZETY-D	10.8953	26.8944	-2.9963	-8.9756	6.9555
TZETY	47.06	98.62	-17.2	-5.74	31.27

Çizelge 5.5: Tm^{3+} katkılı TZ- cam matrislerinin J-O şiddet parametreleri ($\Omega_{t=2,4,6} 10^{-20} \text{ cm}^2$) ve spektroskopik kalite faktörleri ($\chi = \Omega_4 / \Omega_6$).

Örnek	Ω_2	Ω_4	Ω_6	$\chi = \Omega_4 / \Omega_6$	$\Delta f_{rms} (X10^{-6})$
TZT	11.2975	4.4083	0.8621	5.1133	1.9603
TZET	8.7550	3.1735	0.9979	3.1799	2.1476
TZTY-D	13.742	4.4820	0.8586	5.2199	1.9773
TZTY	21.17	5.1752	0.27	19.03	74.5
TZETY-D	15.6384	4.5134	0.9380	4.8114	2.0775
TZETY	50.6464	14.5076	0.7435	19.5122	8.6792

Yukarıdaki (5.1) gözlemin aksine J-O parametreleri katkı iyon ve latis içerisindeki konsantrasyona bağlı olarak değişmektedir. Özellikle Yb^{3+} iyonu hem Er^{3+} hem de Tm^{3+} iyonlarının lokal alanları üzerine etkisi gözlenmiştir. Omega-2 parametresi örneğin Er^{3+} iyonun lokal olarak koordinasyon sayısını, yani oksijen bağ sayısını belirlemektedir. Bu parametrenin büyük olması hem Tm^{3+} hem de Er^{3+} -Oksijen bağ sayısı dolayısıyla da yapıdaki kovalent bağların sayısını artırmaktadır.

5.1.2 Işımalı geçiş parametreleri

Çalışma çerçevesinde sentezlenen tüm cam matrisleri için soğurma spektrumlarından elde edilen pikler ve piklerin altında kalan geniş bant aralıklarının alanları (osilatör şiddetleri) hesapları ve okunan geçişler ışığında Er^{3+} ve Tm^{3+} için hesaplanmış J-O

şiddet parametreleri kullanılarak elde edilmiş olan radyatif geçiş parametreleri tablolar halinde listelenmiştir (Çizelge 5.6, Çizelge 5.7).

Genel yorum yapıldığında: Er^{3+} ve Tm^{3+} iyonlarının ışımalı geçiş olasılıkları diğer iyonların varlığına ve latis içerisindeki konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı, dolayısı ile yarı-kararlı enerji seviyelerinin yaşam sürelerinin kısaldığı gözlenmiştir. Lokal yapıda kovalent bağın artması Er^{3+} ve Tm^{3+} iyonlarının ışımalı geçiş olasılıklarını arttırdığı gözlenmiştir denebilir.

Çizelge 5.6: Ln^{3+} katkılı TZ cam matrislerinin Er^{3+} için hesaplanmış kendiliğinden ışımalı geçiş olasılıkları ve yaşam süreleri.

Geçiş	TZE		TZEY-D		TZEY		TZET		TZETY-D		TZETY	
	Ort. frekans (cm^{-1})	τ_R (ms)	Ort. frekans (cm^{-1})	τ_R (ms)	Ort. frekans (cm^{-1})	τ_R (ms)	Ort. frekans (cm^{-1})	τ_R (ms)	Ort. frekans (cm^{-1})	τ_R (ms)	Ort. frekans (cm^{-1})	τ_R (ms)
$^4\text{I}_{13/2}$	6572.5	3.32	6572.5	3.069	6572.5	1.146	6572.5	4.99	6572.5	7.42	6572.5	0.55
$^4\text{I}_{11/2}$	10 163.	2.03	10 164.	1.976	10 163.	0.80	10163.	1.82	10163.	2.06	10163.	0.30
$^4\text{I}_{9/2}$	12 513.	1.51	12 525.	0.883	12 538.		12607.	0.19	12607.	0.18	12615.	0.054
$^4\text{F}_{9/2}$	15 319.	0.21	15 319.	0.134	15 328.	0.07	14552.	0.04	14552.	0.037	14588.	0.011
$^4\text{S}_{3/2}$	18 382.	0.23	18 382.	0.242	18 409.	0.08	18382.	0.11	18382.	0.1	18351.	0.02
$^2\text{H}_{11/2}$	19 172.	0.42	19 172.	0.274	19 187.	0.17	19172.	0.09	19172.	0.08	19206.	0.024
$^4\text{F}_{7/2}$	20 483.	0.09	20 458.	0.069	20 458.	0.03	20475.	0.03	20475.	0.026	20463.	0.010

Çizelge 5.7: Ln^{3+} katkılı TZ cam matrislerinin Tm^{3+} için hesaplanmış kendiliğinden ışımalı geçiş olasılıkları ve yaşam süreleri.

Geçiş	TZT		TZTY-D		TZTY		TZET		TZETY-D		TZETY	
	Ort. frekans (cm^{-1})	τ_R (ms)	Ort. frekans (cm^{-1})	τ_R (ms)	Ort. frekans (cm^{-1})	τ_R (ms)	Ortalama frekans (cm^{-1})	τ_R (ms)	Ort. frekans (cm^{-1})	τ_R (ms)	Ort. frekans (cm^{-1})	τ_R (ms)
$^1\text{G}_4$	21 277.	0.08	21 277.	0.065	21277.	0.048	21 276.6	0.0922	21276.6	0.0584	21276.6	0.02
$^3\text{F}_2$	15 096.	0.18	15 096.	0.156	15069.3	0.9	15 267.3	0.1966	15267.3	0.11	15267.2	
$^3\text{F}_3$	14 551.	0.11	14 550.	0.105	14552.	0.02	14 551.8	0.1322	14518.	0.0992	14587.9	0.04
$^3\text{F}_4$	12 607.	0.08	12 607.	0.066	12613.5	0.05	12 607.2	0.0984	12607.2	0.0601	12614.7	0.02
$^3\text{H}_4$	5885.8	1.87	5823.4	1.67	5823.4	1.24	5885.8	2.2866	5885.8	1.447	5854.8	0.49

5.2 Lüminesans Spektopisi

Çalışma çerçevesinde , Er^{3+} , Tm^{3+} ve Yb^{3+} iyonları ile katkılanarak sentezlenen cam matrisleri için, lazerle 805.2 ve 980 nm uyarılma altında derlenen lüminesans spektrumlarından okunan: geçişler, bant genişlikleri ve pikler, bölüm 4.2.2 başlığı altında, verilmiştir.

Çalışma çerçevesinde , Er^{3+} , Tm^{3+} ve Yb^{3+} iyonları ile katkılanarak sentezlenen cam matrisleri için, lazerle 805.2 ve 980 nm uyarılma altında derlenen UC lüminesans spektrumlarından okunan: geçişler, bant genişlikleri ve pikler, bölüm 4.3.3 ve bölüm 4.3.4'te verilmiştir.

980 nm UC lüminesans spektrumlarından ve çıkış akımının değişimi ile değişen güce bağlı 980 nm UC lüminesans değişimi verilerinden okunan geçişler, bant genişlikleri

ve pikler Er^{3+} , Tm^{3+} ve Yb^{3+} katkılı malzemeler için bölüm 4.2.2.3, bölüm 4.2.2.4 ve 4.2.2.5'te verilmiştir.

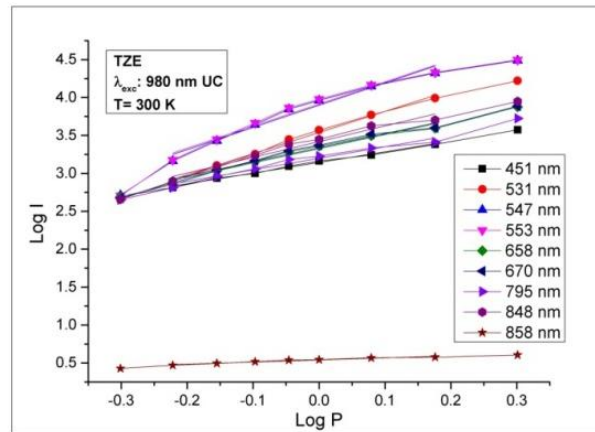
Kompozit camlar için, 980nm UC lüminesans spektrumlarından elde edilen geçişler aracılığı ile çizilen UC-ve ET şemaları ve yorumları ek-D'de verilmiştir.

5.2.1 Güç değişimine bağlı lüminesans değişimi- ve foton sayısı

Bölüm 4.3.5'de sunulmuş olan, 980 UC Lüminesans spektrumlarından, lüminesans şiddetleri uyarma gücüne bağlı olarak ölçülmüş ve çıkış akımının değişimi ile değişen güce bağlı 980 nm UC lüminesans değişimi verilerinden okunan geçişler, bant genişlikleri ve piklerin Er^{3+} , Tm^{3+} ve Yb^{3+} katkılı malzemeler için değişim grafikleri $\log I/\log(P)$ şeklinde elde edilerek, grafiklerdeki eğimlerden, UC proseslerine giren foton sayısı olan n , elde edilmiştir. Elde edilen grafik ve ilgili pikler aşağıda yer almaktadır.

Her bir cam matris için, 980 nm UC uyarılma altında gözlenen pikler ve ilgili foton sayıları, Çizelge 5.8'de tablolannmıştır.

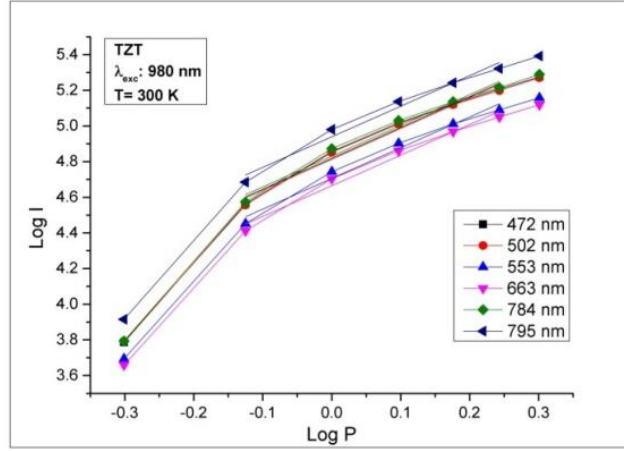
TZE'nin, $\log I$ 'nin uyarma gücüne bağlı grafiklerinden yeşil bölgede gözlenen UC- luminanslarına sebep olan mekanizmalar, enerji transfer ve ısı ışıma mekanizmalarıdır. Bu sebeple, eğimler beklenen değeri olan iki (2)'den sapma göstermektedir (Şekil 5.1, Çizelge5.8).



Şekil 5.1: TZE cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri.

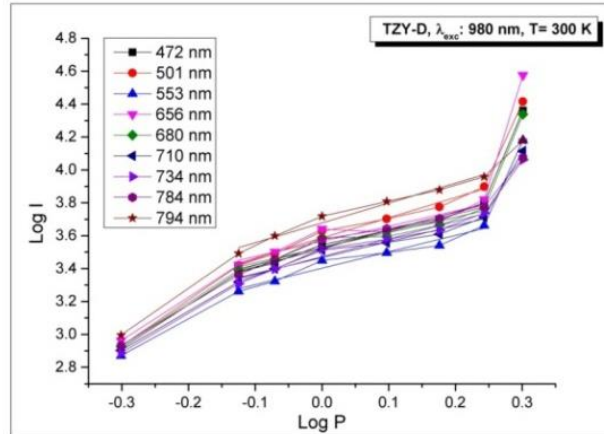
TZT'nin, $\log I$ 'nin uyarma gücüne bağlı grafiklerinden gözlenen UC- luminanslarına sebep olan mekanizmalar, enerji transfer ve termal ışıma mekanizmalarıdır. Bu

sebeple, eğimler beklenen değeri olan iki (2)'den sapma göstermektedir (Şekil 5.2, Çizelge 5.8).



Şekil 5.2: TZY cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri.

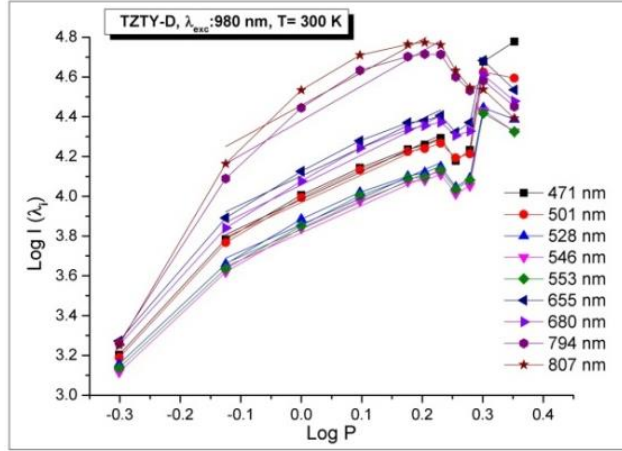
TZY-D'de, çok keskin olarak gözlenen pikleşmeler, kullanılan ölçüm düzeneğinden kaynaklanan hatalardır. Uyarma enerjisinin düzenek tarafından farklı dalgalarda saçılmasıdır. Bu malzemede 980nm uyarma altında UC-emisyonu kullanılan deney düzeneği ile kaydedilememiştir (Şekil 5.3, Çizelge 5.8).



Şekil 5.3: TZY-D cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri.

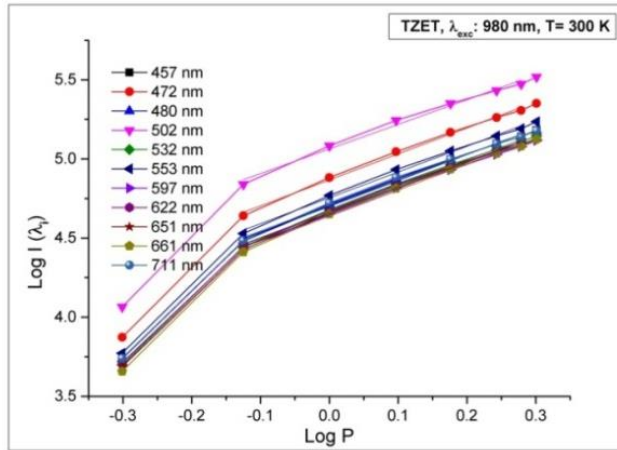
TZTY-D'nin, TZETY-D'de gözlemlendiği gibi, UC-emisyon şiddetleri uyarma gücü ile artmaktadır. Dalga boyu 600 nm ve daha büyük olan UC-emisyonlarının güç değişimine bağlı değişimi için eğim yaklaşık iki olarak bulunmuştur. Bu sonuç ile gözlenen emisyonların en az iki foton soğurulması ile gerçekleştiği anlaşılmaktadır. 600 nm'de küçük dalga boylarındaki UC-emisyon şiddetleri lineerlikten sapma

göstermektedir. Bu etki ısı lüminesans mekanizmalarının yüksek enerjili UC-emisyonlarında daha etkin olduğunu göstermektedir (Şekil 5.4, Çizelge 5.8).



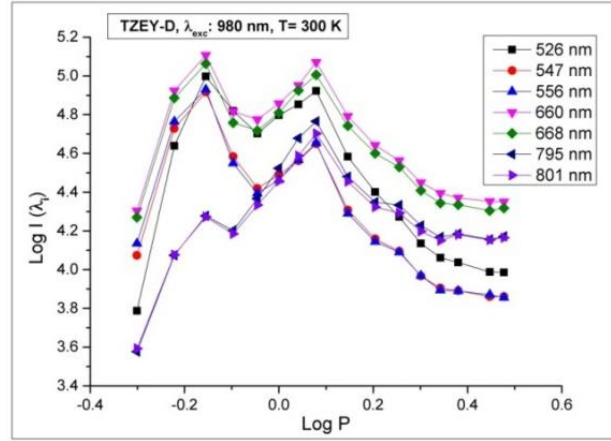
Şekil 5.4: TZTY-D cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri.

TZET'nin, $\log I$ nın uyarma gücünün değişimine bağlı grafiklerinden gözlenen UC-luminanslarına sebep olan mekanizmalar enerji transfer ve termal ışıma mekanizmalarıdır. Bu sebeple eğimler beklenen değeri olan iki (2)'den sapma göstermektedir (Şekil 5.5, Çizelge 5.8).



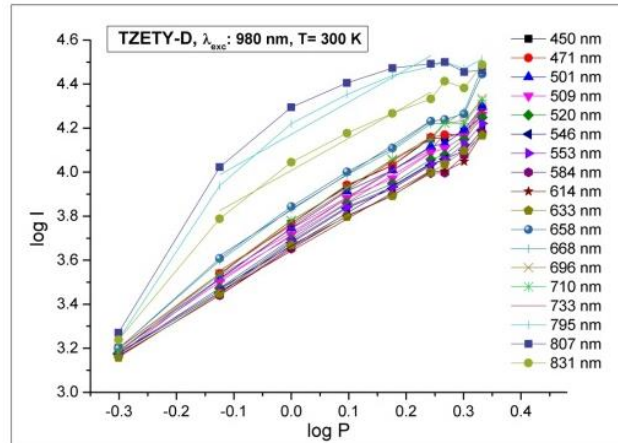
Şekil 5.5: TZET cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri.

TZEY-D'nin, ısı süreçler nedeniyle $\log (P) = 0.1$ değerlerinin üzerindeki uyarılma enerjilerinde UC-emisyon şiddetine ısı etkiler oluşmakta ve UC süreçlerini zayıflatmaktadır (Şekil 5.6, Çizelge 5.8).



Şekil 5.6: TZEY-D cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri.

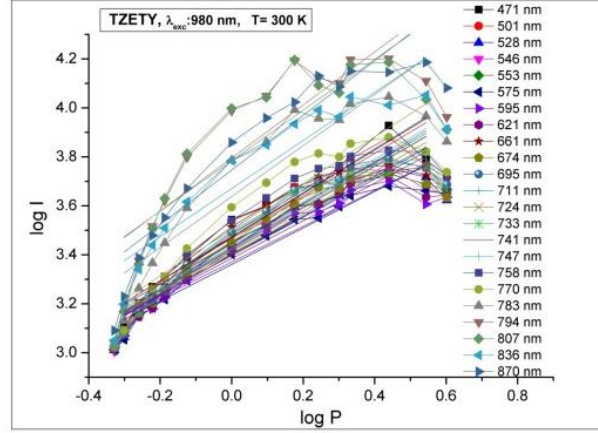
TZETY-D'de, Er^{3+} UC-emisyon şiddetleri uyarma gücü ile artmaktadır. Dalgaboyu 600 nm ve daha büyük olan UC-emisyonlarının gücün değişimine bağlı değişimi için, eğim yaklaşık iki (2) olarak bulunmuştur. Bu sonuç ile gözlenen emisyonların en az iki foton soğurulması ile gerçekleştiği anlaşılmaktadır. 600 nm'den büyük dalga boylarındaki UC-emission şiddetleri lineerlikten sapma göstermektedir. Bu etki ısı lüminesans mekanizmalarının yüksek enerjili UC-emisyonlarında daha etkin olduğunu göstermektedir (Şekil 5.7, Çizelge 5.8).



Şekil 5.7: TZEY-D cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri.

TZETY'nin, TZE'de gözlemlendiği gibi, $\log I$ 'nin uyarma gücünün değişimine bağlı grafiklerinden yeşil bölgede gözlenen UC lüminanslarına sebep olan mekanizmalar, enerji transferi ve ısı ışıma mekanizmalarıdır. Bu sebeple, eğimler beklenen değeri olan iki (2)'den sapma göstermektedir. UC emisyon şiddetinin uyarma gücüne bağımlılığında lineer davranıştan sapma artmakta olup eğim değerleri bir (1)'e

yaklaşmaktadır. Bu da Yb^{3+} konsantrasyonundaki artış ile ısı etkilerinin daha baskın hale geldiğini göstermektedir (Şekil 5.8, Çizelge 5.8).



Şekil 5.8: TZETY cam matrisinin belirgin piklerindeki güç değişimine bağlı lüminesans şiddeti değişiminin eğimleri.

Aşağıda tüm cam malzemelerin grafiklerdeki eğimlerden elde edilmiş foton sayıları tablolanarak verilmiştir.

Çizelge 5.8: Geçişler, pikler ve foton sayıları (λ_{exc} : 980 UC),
($(\log I / \log(P)) = n$: Foton sayısı).

TZE	TZT	TZY-D	TZET	TZEY-D	TZTY-D	TZETY-D	TZETY
$\lambda_p(\text{nm})$ n	$\lambda_p(\text{nm})$ n	$\lambda_p(\text{nm})$ n	$\lambda_p(\text{nm})$ n	$\lambda_p(\text{nm})$ n ₁ n ₂	$\lambda_p(\text{nm})$ n	$\lambda_p(\text{nm})$ n	$\lambda_p(\text{nm})$ n
531 2.7	502 1.7	501 1.2	472 1.64	547 0.5 -1.35	501 1.39	471 1.65	501 0.87
547 2.9	553 1.7	553 0.9	480 1.62	556 0.3 -1.3	528 1.35	501 1.61	528 0.80
553 2.9	663 1.7	656 1.	502 1.55	660 1.1 -1.32	546 1.37	509 1.57	546 0.78
658 1.9	784 1.7	680 1.	532 1.63	668 1.08 -1.3	553 1.38	520 1.56	553 0.77
670 1.9	795 1.7	710 1.1	553 1.63	795 2.7 -0.9	655 1.44	546 1.55	575 0.74
795 1.5		784 1.1	597 1.60	801 2.5 -0.8	680 1.50	553 1.54	595 0.73
848 2.1		794 1.2	622 1.61		794 1.74	584 1.49	621 0.76
			651 1.63		807 1.66	614 1.50	661 0.82
			661 1.64			633 1.46	674 0.79
			711 1.61			658 1.66	695 0.86
						668 1.66	711 0.86
						696 1.67	724 0.81
						710 1.66	733 0.84
						733 1.58	741 0.84
						795 1.46	747 0.87
						807 1.26	758 0.89
						831 1.46	770 0.94
							783 1.04
							794 1.08
							807 1.03
							836 0.98
							870 1.1

5.3 Beyaz Işık Parametreleri- CIE x-y, CCT, CRI

Saf beyaz ışık için CIE x-y koordinatları: (0.333, 0.333) olarak literatüre geçmiştir (Şekil 2.5). CT için sağlanması gerekli değerler: kara cisim kaynağının sağladığı değerlere eş olduğundan, 3000 ile 7500 K arasındadır, günışığının CT değeri 2000 K ile 10.000 K arasında değişebilmektedir. CRI değerleri: sayısal ölçü olarak 0 ile 100 arasında değer alır. CCT ve CIE 1931 x-y kroma koordinatları ilişkisi Şekil 2.8’de ve yaygın kullanılan ışık kaynakları için CCT ve CRI değerleri, Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çalışma için üretilmiş olan çeşitli oranlarda lantanid katkılı cam matrisleri üzerine uygulanan 980 nm lazer uyarılma altında, değişen çıkış akımıyla birlikte gücün değişimine bağlı olarak elde edilmiş olan UC lüminesansların beyaz ışık parametreleri, illüminansmetre ile elde edilmiş olup, kaydedilen değerler aşağıda tablolanmıştır.

Standart değerler ile ölçülen değerler karşılaştırıldığında, UC ve ısıl süreçlere dayalı beyaz ışık tekli, ikili ve üçlü katkılı malzemelerin hepsinde gözlenmiştir. Beyaz ışık parametreleri, incelenen cam matrisleri için tablolanarak ilgili başlıklar altında verilmiştir.

TZE: uyarma gücü arttıkça yeşilden renk maviye kaymaktadır.

Çizelge 5.9: TZE için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.

TZE			
Akım (A)	CIE x-y	CCT (K)	CRI
0.9	0.4067, 0.3722	3307	67
1.2	0.3647, 0.4173	4641	48
1.5	0.3056, 0.3488	6713	78
2.	0.2952, 0.3690	7022	70

TZT’nin ölçülen beyaz ışık parametreleri aşağıda tablolanmıştır.

Çizelge 5.10: TZT için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.

TZT			
Akım (A)	CIE x-y	CCT (K)	CRI
2.	0.3052, 0.3604	6442	78
2.	0.3001, 0.2841	8175	87

TZY-D: Değişim yönü maviden kırmızıya doğru olup, parametreleri aşağıda tablolanmıştır.

Çizelge 5.11: TZY-D için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.

TZY-D			
Akım (A)	CIE x-y	CCT (K)	CRI
1.25	0.2863, 0.2521	12500	55
1.75	0.2951, 0.4158	6688	61
1.85	0.3819, 0.3555	3783	78
2.	0.3314, 0.4522	5448	65

TZEY-D'nin ölçülen beyaz ışık parametreleri aşağıda tablolanmıştır.

Çizelge 5.12: TZEY-D için, değişen çıkış akımıyla, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.

TZEY-D			
Akım (A)	CIE x-y	CCT (K)	CRI
0.5	0.3192, 0.3145	6238	81
0.8	0.3695, 0.3011	33590	53
1.10	0.3208, 0.3574	5982	90
1.25	0.3316, 0.3969	5541	78
1.50	0.2722, 0.3258	9141	86
2.40	0.3900, 0.3106	3044	57
2.40	0.3525, 0.3495	4710	87
2.80	0.2450, 0.2497	34507	85
2.80	0.3468, 0.3215	4793	66
3.	0.3427, 0.3364	5046	78
3.	0.3373, 0.2892	5146	46

TZTY-D'nin ölçülen beyaz ışık parametreleri aşağıda tablolanmıştır.

Çizelge 5.13: TZTY-D için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.

TZTY-D			
Akım (A)	CIE x-y	CCT (K)	CRI
0.5	0.33, 0.27	5953	29
0.9	0.30, 0.30	7641	87
1.10	0.29, 0.27	8686	84
1.20	0.30, 0.27	8838	87
1.40	0.27, 0.28	7609	87
1.60	0.28, 0.27	7860	85
1.80	0.30, 0.27	7872	86
2.20	0.30, 0.24	10947	57
2.40	0.30, 0.34	6665	84
2.80	0.32, 0.26	5938	78
3.	0.37, 0.31	3408	86

TZET'nin ölçülen beyaz ışık parametreleri aşağıda tablolanmıştır.

Çizelge 5.14: TZET için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.

TZET			
Akım (A)	CIE x-y	CCT (K)	CRI
0.5	0.27, 0.25	8379	79
0.75	0.3057, 0.3016	7641	81
1.	0.3550, 0.4671	5011	74
1.25	0.2816, 0.3088	8815	92
1.50	0.2923, 0.2685	9815	80
1.75	0.3057, 0.3016	7219	81
1.90	0.2737, 0.2794	11557	91
2.	0.3218, 0.3254	5482	90

TZETY'nin ölçülen beyaz ışık parametreleri aşağıda tablolanmıştır.

Çizelge 5.15: TZETY için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.

TZETY			
Akım (A)	CIE x-y	CCT (K)	CRI
0.75	0.3364, 0.4048	5396	68
1.	0.30, 0.33	6970	79
1.25	0.29, 0.27	10767	90
1.50	0.31, 0.30	8215	90
1.75	0.34, 0.29	5461	90
2.	0.29, 0.31	8075	92
2.15	0.31, 0.31	6846	94
2.50	0.26, 0.23	6782	85
2.75	0.29, 0.28	10011	83
3.	0.30, 0.28	8063	86
3.50	0.30, 0.34	7161	89
4.	0.35, 0.31	4476	68

TZETY-D'nin ölçülen beyaz ışık parametreleri aşağıda tablolanmıştır.

Çizelge 5.16: TZETY-D için, değişen çıkış akımıyla değişen lüminesans şiddetinin, illüminansmetre aracılığı ile kaydedilen beyaz ışık parametreleri.

TZETY-D			
Akım (A)	CIE x-y	CCT (K)	CRI
0.75	0.3532, 0.3145	4449	29
0.75	0.3299, 0.3696	5602	74
1.	0.3471, 0.2977	4912	28
1.	0.2899, 0.3092	8300	80
1.50	0.4622, 0.4186	2728	84
1.50	0.3337, 0.3422	5446	76
1.75	0.3244, 0.3611	5823	82
1.85	0.3699, 0.4874	4748	44
2.	0.4470, 0.3495	2385	62
2.	0.3460, 0.3497	4959	68
2.	0.3449, 0.3047	4783	55

5.4 Öneriler ve Devam Eden Çalışmalar

5.4.1 Öneriler

Önerilen üst enerji dönüşüm mekanizması ve ısı ışıma modellerinin, geliştirilmesi ve elde edilen verilerin bu modellere uygunluğunun test edilmesi.

980 ya da 805nm uyarma enerjisi altında, mavi bölgede lazer ışığı üretmenin mümkün olup olmadığının, kazanç ölçümleri yapılarak aydınlatılması.

TDFA ve EDFA yükseltme faktörlerinin ölçülerek, literatürde yer alan ve günümüz fiber sistemlerinde kullanılan yükselticilerin yükseltme faktörlerine göre uygunluğunun araştırılması.

Güneş panellerinde, verim artırmak amacı ile kullanılıp kullanılamayacağının araştırılması.

Er^{3+} katkılı malzemelerin, sıcaklık sensörü olarak kullanılabilirliğinin araştırılması.

5.4.2 Devam Eden Çalışmalar

- Spectroscopic investigation of zinc tellurite glasses doped with Yb^{3+} and Er^{3+} ions.
- Judd-Ofelt Analysis and Optical specifications of $\text{Er}^{3+}/\text{Tm}^{3+}$ co-doped Zinc tellurite glasses.
- Spectroscopy of $\text{TeO}_2\text{-ZnO}$ glass doped with $\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ under 805 and 980 nm laser light excitations.
- Judd-Ofelt Analysis and Optical specifications of $\text{Er}^{3+}/\text{Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ tri-doped Zinc tellurite glasses.

KAYNAKLAR

- [1] **S. Xu et al.** / Materials Letters 59 (2005) 3066– 3068
- [2] **Vetrone et al.**, Appl. Phys. Lett., Vol. 80, No. 10, 11 March 2002
- [3] **H Hu, Y Bai** - Journal of Alloys and Compounds, Elsevier, , 25 June 2012, Pages 25–29
- [4] **S.Strite, in H.J. Quessier (ed.)** Ad. Solid State Phys. Springer 1994.
- [5] **Thompson et al.** Chem. Mater., Vol. 12, No. 6, 2000
- [6] **W. M. Yen**, in Optical Spectroscopy of Glasses, edited by I. Zschokke~Reidel, Dordrecht, 1986, pp. 23–64.
- [7] **Z. Duan et al.** / Materials Letters 61 (2007) 2200–2203
- [8] **J.H. Huang, X.H. Gong, Y.J. Chen, Y.F. Lin, Z.D. Luo, Y.D. Huang**, J. Alloys Comp. 585 (2014) 163.
- [9] **W. Stambouli, H. Elhouichet, C. Barthou, M. Ferid**, J. Alloys Comp. 580 (2013) 310.
- [10] **D. Kasprowicz, M.G. Brik, A. Majchrowski, E. Michalski, P. Gluchowski, J.** Alloys Comp. 577 (2013) 687.
- [11] **X. Wu, K.W. Kwok, F.L. Li**, J. Alloys Comp. 580 (2013) 88.
- [12] **V.D. Rodriguez, J. Mendez-Ramos, V.K. Tikhomirov, J. del-Castillo, A.C. Yanes, V.V. Moshchalkov**, Opt. Mater. 34 (2011) 179.
- [13] **J.E.C. da Silva et al.** / Journal of Alloys and Compounds 344 (2002) 260–263
- [14] **R. Adhikari, B. Joshi, R. Narro-Garcia, E. De la Rosa, S.w. Lee**, J. Lumin. 145 (2014) 866.
- [15] **Y.J. Li, Z.G. Song, C. Li, R.H. Wan, J.B. Qiu, Z.W. Yang, Z.Y. Yin, Y. Yang, X. Wang, Q. Wang**, Ceram. Int. 39 (2013) 8911.
- [16] **Y.H. Jin, Y.H. Hu, L. Chen, X.J. Wang, G.F. Ju**, Opt. Mater. 35 (2013) 1378.
- [17] **M.H. Zhang, J.D. Yu, X.H. Pan, Y.X. Cheng, Y. Liu**, J. Non-Cryst. Solids 378 (2013) 106.

- [18] **H. Takebe, K. Yoshino, T. Murata, K. Morinaga, J. Hector, W.S. Brocklesby, D.W. Hewak, J. Wang, D.N. Payne**, Appl. Optics 36 (24) (1997) 5839.
- [19] **G. Ozen, B. Demirata, M.L. Ovecoglu, A. Genc**, Spectrochimica Acta Part A 57 (2001) 273–280
- [20] **S. Peng, F. Yang, L. Wu, Y. Qi, S. Zheng, D. Yin, X. Wang, Y. Zhou**, J. Alloys Comp. 609 (2014) 14–20 (Deneyisel bulgular bol ref)
- [21] **S. Tanabe, K. Hirao, N. Soga**, J. Non-Cryst. Solids 122 (1990) 79.
- [22] **J.S. Wang, E.M. Vogel, E. Snitzer, J.L. Jackel, V.L. Da Silva, Y. Silberberg**, J. Non- Cryst. Solids 178 (1994) 109.
- [23] **N. Jaba, A. Kanoun, H. Mejri, A. Selmi, S. Alaya, H. Maaref**, J. Phys. Condens. Matter. 12 (2000) 4523.
- [24] **M. Yamada, et al.**, IEEE Photonics Technol. Lett. 10 (1998) 1244.
- [25] **J.E. Stanworth**, J. Soc. Glass Technol. 36 (1952) 217.
- [26] **J.E. Stanworth**, J. Soc. Glass Technol. 36 (1954) 425.
- [27] **J.E. Stanworth**, Nature 169 (1952) 581.
- [28] **M.R. Sahar, A.K. Jehbu, M.M. Karim**, J. Non-Cryst. Solids 213–214 (1997) 164.
- [29] **H. Lin., S. Tanabe, L. Lin, D.L. Yang, K. Liu, W.H. Wong, J.Y. Yu, E.Y.B. Pun**, J. Phys. Lett. A 358 (2006) 474.
- [30] **L. Leneindre, T. Luo, B.C. Hwang, J. Watson, S.B. Jiang, N. Peyghambarian**, in: **S. Jiang, S. Hokkanen (Eds.)**, SPIE Proceedings Rare-Earth-Doped Materials and Devices III, vol. 3622, SPIE, Bellingham, Washington, USA (1999), p. 58.
- [31] **H. Ebendorff-Heidepriem, D. Ehrt, M. Bettinelli, A. Speghini**, in: **S. Jiang, S. Hokkanen (Eds.)**, SPIE Proceedings of Rare-Earth-Doped Materials and Devices III, vol. 3622, SPIE, Bellingham, Washington, USA (1999), p. 19.
- [32] **A. Narazaki, K. Tanaka, K. Hirao, N. Soga**, J. Appl. Phys. 85 (1999) 2046.
- [33] **B. Aitken et al.**, US Patent 6194334 B1, (2001)
- [34] **Toru Yoshizawa**, Handbook of Optical Metrology: Principles and Applications, CRS Press, (2009), p. 1.

- [35] **Daniel Malacara**, Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, 2nd ed., SPIE Press, Bellingham, (2011), p. 1.
- [36] **Daniel Malacara**, Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, 2nd ed., SPIE Press, Bellingham, (2011), p. 2.
- [37] **S. Thorgerson, G. Hardie**, Pink Floyd, Dark Side of the Moon album cover, UK, 1973 **Daniel Malacara**, Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, 2nd ed., SPIE Press, Bellingham, 2011, p. 2.
- [38] **Daniel Malacara**, Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, 2nd ed., SPIE Press, Bellingham, (2011), p. 41, p.47.(Chroma-glass.ucsd.edu)(www.ies.org)
- [39] **Daniel Malacara**, Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, 2nd ed., SPIE Press, Bellingham, (2011), p. 3
- [40] **Shvell, S. K. Ed.** The Science of Color, 2nd ed., Optical Society of America, Washington DC (2003), Elsevier, Amsterdam.
- [41] **Neitz, J., Carrol, J. And Neitz M.**, “Color vision, almost reason enough for having eyes,” Opt. Photonics News, January, 26-33 (2001)
- [42] **Daniel Malacara**, Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, 2nd ed., SPIE Press, Bellingham, (2011), p. 59.
- [43] **Gage et al.**, 1977, alındığı tarih 25.01.2016, adres: [https://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap17/F17-03%20Chromaticity%20diagram%20\(Gage\).jpg](https://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap17/F17-03%20Chromaticity%20diagram%20(Gage).jpg)
- [44] **Subramanian Muthu**, Associate Member, *IEEE*, Frank J. P. Schuurmans, and Michael. D. Pashley, Red, Green, and Blue Leds For White Light Illumination, Ieee Journal on Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 8, No. 2, March/April 2002
- [45] **Daniel Malacara**, Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, 2nd ed., SPIE Press, Bellingham, (2011), p. 60-68, 72-82.
- [46] **Daniel Malacara**, Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, 2nd ed., SPIE Press, Bellingham, (2011), p. 23, 24, 33-35.
- [47] **Daniel Malacara**, Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, 2nd ed., SPIE Press, Bellingham, (2011), p. 89.
- [48] **Ohno, Y.**, “Color rendering and luminous efficacy of white LED spectra,” Proc. SPIE 5530, 88-98 (2004).
- [49] **Ohno, Y.**, “Optical metrology for LED’s and solid state lighting,” Proc. SPIE 6046,25 (2006).

- [50] **Davies w., and Ohno Y.**, “Color quality scale,” Opt. Eng. 49 (3), 033602 (2010).
- [51] **Daniel Malacara**, Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, 2nd ed., SPIE Press, Bellingham, (2011), p. 38.
- [52] **P.A. Tick**, Extended Abstracts of the International Symposium on Non-Oxide Glasses, Sheffield, UK, 1998, p. 14.
- [53] **M. Yamane, Y. Asahara**, Glasses for Photonics, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2002.
- [54] **R. Reisfeld, C.K. Jorgensen**, Excited State Phenomena in Vitreous Materials, in: K.A. Gschneidner Jr, L. Eyring (Eds.), Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Vol. 9, North Holland, Amsterdam, 1987, p. 1.
- [55] **M.J. Weber**, Non-Metallic Compound II, in: K.A. Gschneidner Jr, L.R. Eyring (Eds.), Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Vol. 4, Chap. 35, North-Holland Physics Publishing, Amsterdam, 1979, p. 275.
- [56] **D.W. Hall, M.J. Weber, in: M.J. Weber (Ed.)**, CRC Handbook of Laser Science and Technology, Supplement 1: Lasers, CRC Press, Boca Raton, 1991, p. 137.
- [57] **M.J. Weber**, J. Non-Crystalline Solids 123 (1990) 208.
- [58] **J.A. Caird, S.A. Payne, M.J. Weber (Eds.)**, CRC Handbook of Laser Science and Technology, Supplement 1, Lasers, CRC Press. Boca Raton, 1991, p. 3.
- [59] **F. Auzel**, J. Lumin. 45 (1990) 341.
- [60] **Y. Mita, K. Hiram, N. Ando, H. Yamamoto, S. Shionoya**, J. Appl. Phys. 74 (1993) 4703.
- [61] **Y. Mita**, J. Appl. Phys. 43 (1972) 1772.
- [62] **M. Clara Gonçalves et al.**, C. R. Chimie 5 (2002) 845–854.
- [63] **J. Zhang et al.** / Journal of Solid State Chemistry 184 (2011) 2178–2183
- [64] **Reisfield, R.**, In *Spectra and energy transfer of rare earth ions in inorganic glasses*, Struct. Bonding (Berlin), 1975, 13, 53.
- [65] **Reisfield, R.**, In *Radiative and non-radiative transities of rare earth ions in glasses*, Struct. Bonding (Berlin), 1975, 22, 123.
- [66] **Reisfield, R.; Jorgensen C.K.**, In *Lasers and Excited States of Rare Earts*, Springer-Verlag, New York, 1977.

- [67] **Reisfield, R.; Jorgensen C.K.**, In *Excited states phenomena in vitreous materials*, Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Gschneidner, K.A.; Eyring, L., Eds.; Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1987.
- [68] **Judd, B.R.**, *Phys. Rev.* 1962, 127, 750.
- [69] **Ofelt, G.S.**, *J. Chem. Phys.* 1962, 37, 511.
- [70] **Joanna Pisarska and Wojciech A. Pisarski**, Lanthanide doped lead borate glass for optical applications, New York, 2010, pg.1-4.
- [71] **Carnall, W.T.; Fields, P.R.; Rajnak, K.** *J. Chem. Phys.* 1968, 49, 4412.
- [72] **Kaminskii, A.A.**, In *Crystalline lasers: Physical processes and operating schemes*, CRS Press, Laser and optical science and technology series, Boca Raton, New York, London, Tokyo, 1996.
- [73] **Weber, M. J.** *Phys. Rev. B* 1973, 8, 54.
- [74] **Joanna Pisarska and Wojciech A. Pisarski**, Lanthanide doped lead borate glass for optical applications, New York, 2010, pg. 8.
- [75] **Mehta, V.; Aka, G.; Dawar, A.L.; Mansing, A.**, *Opt. Mater.* 1999, 12, 53.
- [76] **Carnall, W.T.**, In *Handbook of Physical Chemical Rare Earths*, North-Holland, Amsterdam, 1979.
- [77] **Miyakawa, T.; Dexter, D.L.**, *Phys. Rev. B* 1970, 1, 2961.
- [78] **Riseberg, L.A.; Moos, H.W.**, *Phys. Rev.* 1968, 174, 429.
- [79] **Joanna Pisarska and Wojciech A. Pisarski**, Lanthanide doped lead borate glass for optical applications, New York, 2010, pg8
- [80] **Joanna Pisarska and Wojciech A. Pisarski**, Lanthanide doped lead borate glass for optical applications, New York, 2010, pg. 9
- [81] **Joanna Pisarska and Wojciech A. Pisarski**, Lanthanide doped lead borate glass for optical applications, New York, 2010, pg. 10
- [82] **Auzel, F.**, *Chem. Rev.* 2004, 104, 139.
- [83] **Pollnau, M.; Gamelin, D.R.; Lüthi, S.R.; Güdel, H.U.; Hehlen, M.P.** *Phys. Rev. B* 2000, 61, 3337.
- [84] **Suwyer, J.F.; Aebischer, A.; Garcia-Revilla, S.; Gerner, P.; Güdel, H.U.** *Phys. Rev. B* 2005, 71, 125123.

- [85] **Reisfield, R.; Jorgensen C.K.** In *Excited states phenomena in vitreous materials*, Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earth, Eds.; Elsevier Science Publisher, 1987, chap. 58.
- [86] **Peacock, R.D.** In *The Intensities of lanthanide $f\rightarrow f$ transitions*, Struct. Bonding (Berlin, 1975, 22, 83.
- [87] **Pisarski, W.A.** *J. Mol. Struct.* 2005, 744-747, 473.
- [88] **Chen, Q.; Ferraris, M.; Menke, Y.; Milanese, D.; Monchiero, E.** *J. Non-Cryst. Solids* 2003, 324, 1.
- [89] **Chen, Q.; Ferraris, M.; Milanese, D.; Menke, Y.; Monchiero, E.; Perrone, G.** *J. Non-Cryst. Solids* 2003, 324, 12.
- [90] **Kassab, L.R.P.; Courrol, L.C.; Seragioli, R.; Wetter, N.U.; Tatumi, S.H.; Gomes, L.** *J. Non-Cryst. Solids* 2004, 348, 94.
- [91] **Pisarski, W.A.** *J. Mater. Sci.: Mater. El.* 2006, 17, 245.
- [92] **Pisarski, W.A.; Pisarska, J.** *Glass Technol.: Eur. J. Glass Sci. Technol. A* 2006, 47, 159
- [93] **dos Santos, E.A.; Courrol, L.C.; Kassab, L.R.P.; Gomes, L.; Wetter, N.U.; Vieira Jr, N. D.; Ribeiro, S.J.L.; Messaddeq, Y.** *J. Lumin.* 2007, 124, 200.
- [94] **Pisarski, W.A.; Goryczka, T.; Pisarska, J.; Ryba-Romanowski, W.** *J. Phys.: Chem. B* 2007, 111, 2427.
- [95] **Pisarski, W.A.; Goryczka, T.; Pisarska, J.; Dominiak-Dzik, G.; Ryba-Romanowski, W.** *J. Non-Cryst. Solids* 2008, 354, 492.
- [96] **Pisarski, W.A.; Pisarska, J.; Lisiecki, R.; Grobelny, L.; Dominiak-Dzik, G.; Ryba-Romanowski, W.** *Chem. Phys. Letters* 2009, 472, 217.
- [97] **A. A. Kaminskii**, *Crystalline Lasers: Physical Processes and Operating Schemes* (CRC Press, Boca Raton, FL, 1996), p.45.
- [98] **A.J. Kenyon**, *I Progress in Quantum Electronics* 26 (2002) 239
- [99] **A.J. Kenyon**, *I Progress in Quantum Electronics* 26 (2002) 241
- [100] **A.J. Kenyon**, *I Progress in Quantum Electronics* 26 (2002) 230
- [101] **A. A. Kaminskii**, *Crystalline Lasers: Physical Processes and Operating Schemes* (CRC Press, Boca Raton, FL, 1996), p. 47
- [102] **Heo, J.; Shin, Y. B.; Jang, J.N.** *Appl. Optics* 1995, 34, 4285

- [103] **Han, Y.S.; Song, J.H.; Heo, J.** *J. Appl. Phys.* 2003, 94, 2817.
- [104] **Yamauchi, H.; Murugan, G.S.; Ohishi, Y.** *J. Appl. Phys.* 2004, 96, 7212.
- [105] **A. A. Kaminskii**, Crystalline Lasers: Physical Processes and Operating Schemes (CRC Press, Boca Raton, FL, 1996), p. 47.
- [106] **Wang, G.; Xu, S.; Dai, S.; Yang, J.; Hu, L.; Jiang, Z.** *J. Non-Cryst. Solids* 2004, 336, 102.
- [107] **Kassab, L.R.P.; Courrol, L.C.; Morais, A.S.; Tatum, S.H.; Wetter, N.U.; Gomes, L.** *J. Opt. Soc. Am. B* 2002, 19, 2921.
- [108] **Shang, Z.; Ren, G.; Yang, Q.B.; Xu, C.; Liu, Y.; Zhang, Y.; Wu, Q.** *J. Alloys Compd.* 2008, 460, 539.
- [109] **Liu, Y.; Yang, Q.B.; Ren, G.; Xu, C.; Zhang, Y.** *J. Alloys Compd.* 2009, 467, 351.
- [110] **Pisarska, J.; Ryba-Romanowski, W.; Dominiak-Dzik, G.; Goryczka, T.; Pisarski, W.A.** *Opt. Appl.* 2005, 35, 837.
- [111] **Pisarska, J.; Lisiecki, R.; Ryba-Romanowski, W.; Dominiak-Dzik, G.; Pisarski, W.A.** *J. Alloys Compd.* 2008, 451, 226.
- [112] **A.J. Kenyon**, *I Progress in Quantum Electronics* 26 (2002) 232,233
- [113] **Pisarski, W.A.; Pisarska, J.; Dominiak-Dzik, G.; Ryba-Romanowski, W.** *J. Phys.: Condens. Matter* 2004, 16, 6171.
- [114] **Shi, D.M.; Zhang, Q.Y.; Yang, G.F.; Zhao, C.; Yang, Z.M.; Jiang, Z.H.** *J. Alloys Compd.* 2008, 466, 373.
- [115] **D. C. Yeh, R. R. Petrin, W. A. Sibley, V. Madigou, J. L. Adam, and M. J. Suscavage**, *Phys. Rev. B* 39, 80 – Published 1 January 1989.
- [116] **Ref. A. Shankar, et al.**, *J. Mater. Sci. Lett.*, 4 (1983), p. 697.

EKLER

EK A1: Formülasyon

EK A2: Sentez hesapları ve notları

EK A3: Yoğunluk hesapları

EK A4: İyon konsantrasyonu hesapları

EK B: Er³⁺ ve Tm³⁺ için osilatör şiddeti tabloları

EK C: Karşılaştırmalı lüminesans spektrumları ($\lambda_{exc}=980$ nm UC)

EK D: UC-ve ET şemaları

EK A1: Formülasyon

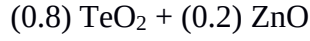
➤ İlk Set

(x= 0.4 mol % Er₂O₃; ; y= 2.0 mol % Tm₂O₃; ; z= 10 mol % Yb₂O₃; T: 750 °C)

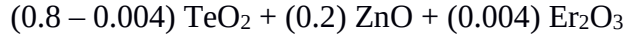
➤ İkinci Set: Yb³⁺ katkıları -D ile etiketlenmiştir

(x= 0.4 mol % Er₂O₃; ; y= 2.0 mol % Tm₂O₃; ; z= 5 mol % Yb₂O₃; T:950 °C)

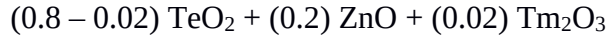
1. TZ:



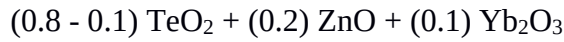
2. TZE



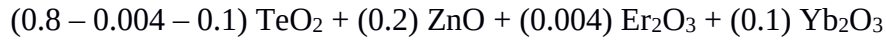
3. TZT



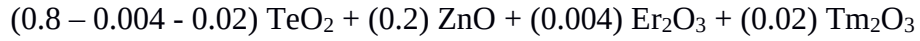
4. TZY



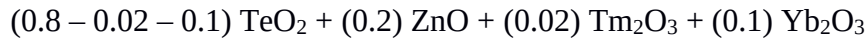
5. TZEY



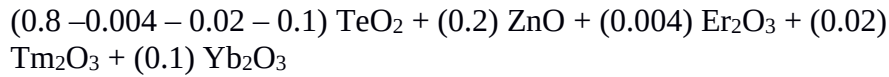
6. TZET



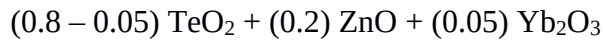
7. TZTY



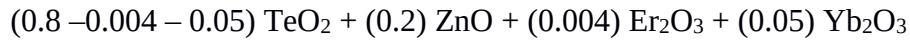
8. TZETY



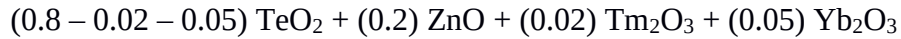
9. TZY-D



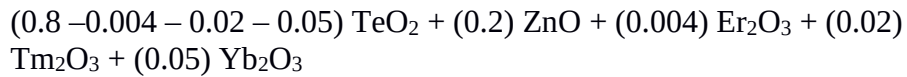
10. TZEY-D



11. TZTY-D

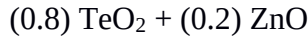


12. TZETY-D



EK A2: Sentez hesapları ve notları

1) TZ



$$(0.8)x(159.6)+(0.2)x(81.4)=143.96 \text{ gr.}$$

7 gr.lık numune için:

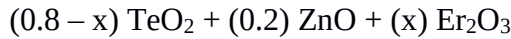
T: 6.2062 gr ($\geq 99. \%$ Aldrich)

Z: 0.7934 gr (99.999 % Chempur)

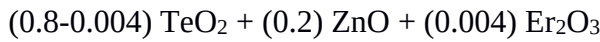
T: 750 $^{\circ}\text{C}$ (sp rr: +10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$, +1 saat)

Etüv: 150 $^{\circ}\text{C}$ +1 saat

2) TZE:



$$X = 0.4 \text{ mol } \%$$



$$(0.796)x(159.6)+(0.2)x(81.4)+(0.004)x(382.52)=144.851 \text{ gr.}$$

7 gr.lık numune için:

T: 6.1439 gr. ($\geq 99. \%$ Aldrich)

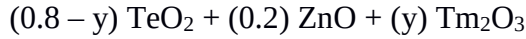
Z: 0.7883 gr. (99.999 % Chempur)

E: 0.0756 gr. (99.9 % Chempur)

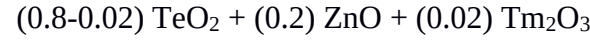
T: 750 $^{\circ}\text{C}$ (sp rr: +10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$, +1 saat)

Etüv: 150 $^{\circ}\text{C}$ +1 saat

3) TZT



$$y = 2 \text{ mol } \%$$



$$(0.78)x(159.6)+(0.2)x(81.4)+(0.02)x(385.866)=148.4853 \text{ gr.}$$

7 gr.lık numune için:

T: 5.87 gr. ($\geq 99. \%$ Aldrich)

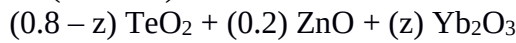
Z: 0.767 gr. (99.999 % Chempur)

T: 0.3654 gr. (99.9 % Alfa Aesar)

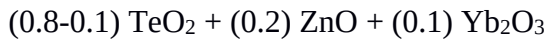
T: 750 $^{\circ}\text{C}$ (sp rr: +10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$, +1 saat)

Etüv: 150 $^{\circ}\text{C}$ +1 saat

4*) TZY* (1000 $^{\circ}\text{C}$)



$$Z = 10 \text{ mol } \%$$



$$(0.7)x(159.6)+(0.2)x(81.4)+(0.1)x(394.08)=167.408 \text{ gr.}$$

7 gr.lık numune için:

T: 4.6730 gr. ($\geq 99. \%$ Sigma Aldrich)

Z: 0.6813 gr. (99.999 % Chempur)

Y: 1.6492 gr. (99.9 % Alfa Aesar)

T: 1000 $^{\circ}\text{C}$ (sp rr: +10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$, +1 saat)

Kalıp: Dışarıda (oda sıcaklığından düşük tutuldu)

Etüv: 150 $^{\circ}\text{C}$ +1 saat

Elde edilen numune, transparan oldu!...

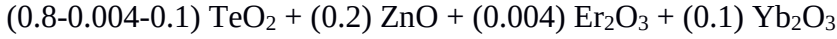
(ilk deneme olarak 750 $^{\circ}\text{C}$ de elde edilen numune opak ve soğurma ölçümünde kullanılmadı. TZY isimli ölçümde 1000 $^{\circ}\text{C}$ de elde edilen bu numune kullanıldı)

5) TZEY



X= 0.4 mol %

z= 10 mol %



$$(0.696)x (159.6) + (0.2)x (81.4) + (0.004)x (382.52) + (0.1)x (394.08) = 168.2997 \text{ gr.}$$

7 gr.lık numune için:

T: 4.6215 gr. ($\geq 99. \%$ Sigma Aldrich)

Z: 0.6771 gr. (99.999 % Chempur)

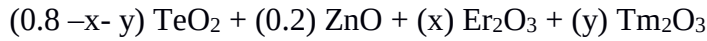
E: 0.06364 gr. (99.9 % Chempur)

Y: 1.6391 gr. (99.9 % Alfa Aesar)

T: 1000 $^{\circ}\text{C}$ (sp rr: +10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$, +1 saat)

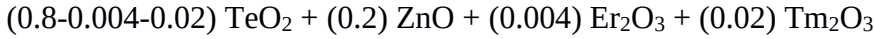
Etüv: 150 $^{\circ}\text{C}$ +1 saat

6) TZET



X= 0.4 mol %

Y= 2.0 mol %



$$(0.776)x (159.6) + (0.2)x (81.4) + (0.004)x (382.52) + (0.02)x (385.866) = 149.377 \text{ gr.}$$

7 gr.lık numune için:

T: 5.8095 gr. ($\geq 99. \%$ Sigma Aldrich)

Z: 0.7636 gr. (99.999 % Chempur)

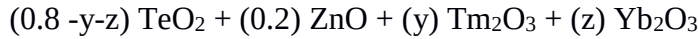
E: 0.0746 gr. (99.9 % Chempur)

T: 0.3636 gr. (99.9 % Alfa Aesar)

T: 750 $^{\circ}\text{C}$ (sp rr: +10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$, +1 saat)

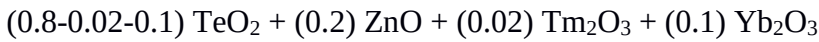
Etüv: 150 $^{\circ}\text{C}$ +1 saat

7) TZTY



y= 2.0 mol %

z= 10 mol %



$$(0.68)x (159.6) + (0.2)x (81.4) + (0.02)x (385.866) + (0.1)x (394.08) = 171.9333 \text{ gr.}$$

7 gr.lık numune için:

T: 4.4282 gr. ($\geq 99. \%$ Sigma Aldrich)

Z: 0.6629 gr. (99.999 % Chempur)

T: 0.3164 gr. (99.9 % Alfa Aesar)

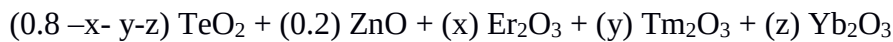
Y: 1.6043 gr. (99.9 % Alfa Aesar)

T: 1000 $^{\circ}\text{C}$ (sp rr: +10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$, +1 saat)

Etüv: 150 $^{\circ}\text{C}$ +1 saat

NOT: İterbium katkılı tüm numuneler, temp: 950 $^{\circ}\text{C}$ de tekrar yapıldı (tekli, ikili ve üçlü katkılar için)

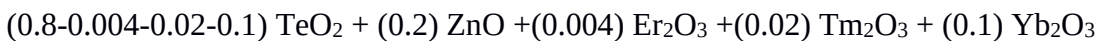
8) TZETY



X= 0.4 mol %

Y= 2.0 mol %

Z= 10 mol %

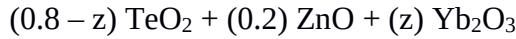


$$(0.676) \cdot (159.6) + (0.2) \cdot (81.4) + (0.004) \cdot (382.52) + (0.02) \cdot (385.866) + (0.1) \cdot (394.08) = 172.825 \text{ gr.}$$

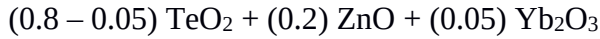
7 gr.lık numune için:

T: 4.3731 gr. ($\geq 99. \%$ Sigma Aldrich)
 Z: 0.6622 gr. (99.999 % Chempur)
 E: 0.0621 gr. (99.9 % Chempur)
 T: 0.3124 gr. (99.9 % Alfa Aesar)
 Y: 1.5972 gr. (99.9 % Alfa Aesar)
 T: 1000 $^{\circ}\text{C}$ (sp rr: +10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$, +1 saat)
 Etüv: 150 $^{\circ}\text{C}$ +1 saat

9) TZY-D



$$Z = 5.0 \text{ mol } \% \text{Yb}_2\text{O}_3$$



$$(0.75) \cdot (159.6) + (0.2) \cdot (81.4) + (0.05) \cdot (394.08) = 155.684 \text{ gr.}$$

7 gr.lık numune için:

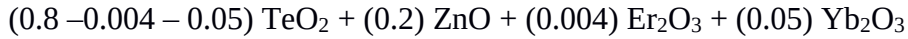
T: 5.3820 gr. (99.5 % M)
 Z: 0.732 gr. (99.999 % Chempur)
 Y: 0.8859 gr. (99.9 % Alfa Aesar)
 T: 950 $^{\circ}\text{C}$ (sp rr: +10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$, +1 saat)
 Etüv: 150 $^{\circ}\text{C}$ +1 saat (kalıp, oda sıcaklığında)
 NOT: transparan, çok açık sarı

10) TZEY-D



$$X = 0.4 \text{ mol } \% \text{Er}_2\text{O}_3$$

$$Z = 5 \text{ mol } \% \text{Yb}_2\text{O}_3$$

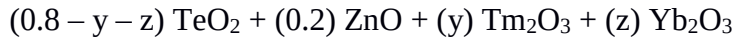


$$(0.746) \cdot (159.6) + (0.2) \cdot (81.4) + (0.004) \cdot (382.52) + (0.05) \cdot (394.08) = 156.5757 \text{ gr.}$$

7 gr.lık numune için:

T: 5.323 gr. (99.5 % M)
 Z: 0.728 gr. (99.999 % Chempur)
 E: 0.0684 gr. (99.9 % Chempur)
 Y: 0.880 gr. (99.9 % Alfa Aesar)
 T: 950 $^{\circ}\text{C}$ (sp rr: +10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$, +1 saat)
 Etüv: 150 $^{\circ}\text{C}$ +1 saat
 NOT: transparan, pembemsi-turuncuya kayan

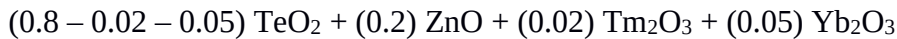
11) TZTY-D



$$X = 0 \text{ mol } \% \text{Er}_2\text{O}_3$$

$$Y = 2.0 \text{ mol } \% \text{Tm}_2\text{O}_3$$

$$Z = 5 \text{ mol } \% \text{Yb}_2\text{O}_3$$



$$(0.73) \cdot (159.6) + (0.2) \cdot (81.4) + (0.02) \cdot (385.866) + (0.05) \cdot (394.08) = 160.2093 \text{ gr.}$$

7 gr.lık numune için:

T: 5.091 gr. (99.5 % M)
 Z: 0.7116 gr. (99.999 % Chempur)
 T: 0.3372 gr. (99.9 % Alfa Aesar)
 Y: 0.8604 gr. (99.9 % Alfa Aesar)

T: 950 °C (sp rr: +10 °C/dk, +1 saat)

Etüv: 150 °C +1 saat (Kalıp oda sıcaklığında) NOT: transparan, açık sarı

12) TZETY-D

$(0.8 - x - y - z) \text{ TeO}_2 + (0.2) \text{ ZnO} + (x) \text{ Er}_2\text{O}_3 + (y) \text{ Tm}_2\text{O}_3 + (z) \text{ Yb}_2\text{O}_3$

X= 0.4 mol % Er_2O_3

Y= 2.0 mol % Tm_2O_3

Z= 5 mol % Yb_2O_3

$(0.8 - 0.004 - 0.02 - 0.05) \text{ TeO}_2 + (0.2) \text{ ZnO} + (0.004) \text{ Er}_2\text{O}_3 + (0.02) \text{ Tm}_2\text{O}_3 + (0.05) \text{ Yb}_2\text{O}_3$

$(0.726)x(159.6) + (0.2)x(81.4)$

$+ (0.004)x(382.52) + (0.02)x(385.866) + (0.05)x(394.08) = 161.101 \text{ gr.}$

7 gr.lık numune için:

(1-8,12)

T: 5.0345 gr. ($\geq 99. \%$ Sigma Aldrich)

Z: 0.7063 gr. (99.999 % Chempur)

E: 0.0662 gr. (99.9 % Chempur)

T: 0.3360 gr. (99.9 % Alfa Aesar)

Y: 0.8562 gr. (99.9 % Alfa Aesar)

T: 950 °C (sp rr: +10 °C/dk, +1 saat)

Etüv: 150 °C +1 saat

NOT: transparan, pembemsi-sarı

(9-10-11)T: 5.091 gr. (99.5 % M);

(1-8,12)

EK A3: Yoğunluk hesapları

$$v_c = (m_{PS} + m_C) - m_{PSC} \quad (A3.1)$$

$$d_c = m_c / v_c \text{ [g/cm}^3\text{]} \quad (A3.2)$$

d_{ss} : saf suyun yoğunluğu= 1 g/cm³ olduğuna dikkat edilmeli

$$(m_c / d_{ss}) = v_c = (m_{PS} + m_C) - m_{PSC}$$

m_{pyc} : pycnometer kütlesi,

m_{cam} : yoğunluğu hesaplanacak cam malzemenin kütlesi

m_{ps} : pycnometer içi dolu su ile kütlesi

m_{PSC} : içi saf su ile dolu pycnometer içinde cam malzememizle kütlesi

m_{ss} : saf suyun kütlesi=1 g

v_{ss} : saf suyun hacmi [cm³]

d_c : cam malzemenin yoğunluğu

v_c : cam malzemenin hacmi

TZ-1:

$$m_{PS} = 24.5468 \text{ g}, m_C = 0.4744 \text{ g}, m_{PSC} = 24.9326 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5468 - 0.4744 - 24.9326 = 0.0886 \text{ g}$$

$$d_c = 0.4744 / 0.0886 = 5.3 \text{ g.cm}^{-3}$$

TZE-1:

$$m_{PS} = 24.5485 \text{ g}, m_C = 0.04007 \text{ g}, m_{PSC} = 24.8740 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5485 + 0.04007 - 24.8740 = 0.0752 \text{ g}$$

$$d_c = 0.04007 / 0.0752 = 5.3284 \text{ g.cm}^{-3}$$

TZY-1* (1000 °C) :

$$m_{PS} = 24.5485 \text{ g}, m_C = 0.1196 \text{ g}, m_{PSC} = 24.6474 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5485 + 0.1196 - 24.6474 = 0.0207 \text{ g}$$

$$d_c = 0.1196 / 0.0207 = 5.7777 \text{ g.cm}^{-3}$$

TZT-1:

$$m_{PS} = 24.5448 \text{ g}, m_C = 0.5476 \text{ g}, m_{PSC} = 24.9935 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5448 + 0.5476 - 24.9935 = 0.0989 \text{ g}$$

$$d_c = 0.5476 / 0.0989 = 5.534 \text{ g.cm}^{-3}$$

TZY-1 (750-900 °C)

$$m_{PS} = 24.5485 \text{ g}, m_C = 0.3095 \text{ g}, m_{PSC} = 24.802 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5485 + 0.3095 - 24.8002 = 0.0548 \text{ g}$$

$$d_c = 0.3095 / 0.0548 = 5.6478 \text{ g.cm}^{-3}$$

TZEY-1:

$$m_{PS} = 24.5485 \text{ g}, m_C = 0.2749 \text{ g}, m_{PSC} = 24.7786 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5485 + 0.2749 - 24.7786 = 0.0448 \text{ g}$$

$$d_c = 0.2749 / 0.0448 = 6.1362 \text{ g.cm}^{-3}$$

TZET-1:

$$m_{PS} = 24.5422 \text{ g}, m_C = 0.4200 \text{ g}, m_{PSC} = 24.8580 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5422 + 0.4200 - 24.8580 = 0.1027 \text{ g}$$

$$d_c = 0.42 / 0.1027 = 4.1 \text{ g.cm}^{-3}$$

TZTY-1:

$$m_{PS} = 24.5413 \text{ g}, m_C = 0.9083 \text{ g}, m_{PSC} = 25.2933 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5413 + 0.9083 - 25.2933 = 0.1563 \text{ g}$$

$$d_c = 0.9083 / 0.1563 = 5.8112 \text{ g.cm}^{-3}$$

TZY-D1:

$$m_{PS} = 24.5460 \text{ g}, m_C = 0.6608 \text{ g}, m_{PSC} = 25.0814 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5460 + 0.6608 - 25.0814 = 0.1246 \text{ g}$$

$$d_c = 0.6608 / 0.1246 = 5.3033 \text{ g.cm}^{-3}$$

TZETY-1:

$$m_{PS} = 24.5417 \text{ g}, m_C = 0.3101 \text{ g}, m_{PSC} = 24.7920 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5417 + 0.3101 - 24.7920 = 0.0598 \text{ g}$$

$$d_c = 0.3101 / 0.0598 = 5.1856 \text{ g.cm}^{-3}$$

TZETY-D1:

$$m_{PS} = 24.5426 \text{ g}, m_C = 0.4845 \text{ g}, m_{PSC} = 24.9315 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5426 + 0.4845 - 24.9315 = 0.0956 \text{ g}$$

$$d_c = 0.4845 / 0.0956 = 5.068 \text{ g.cm}^{-3}$$

TZEY-D1:

$$m_{PS} = 24.5415 \text{ g}, m_C = 0.5905 \text{ g}, m_{PSC} = 25.0164 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5415 + 0.5905 - 24.0164 = 0.1156 \text{ g}$$

$$d_c = 0.5905 / 0.1156 = 5.1081 \text{ g.cm}^{-3}$$

TZTY-D1:

$$m_{PS} = 24.5412 \text{ g}, m_C = 0.3783 \text{ g}, m_{PSC} = 24.8532 \text{ g}$$

$$v_c = 24.5412 + 0.3783 - 24.8532 = 0.0663 \text{ g}$$

$$d_c = 0.3783 / 0.0663 = 5.7059 \text{ g.cm}^{-3}$$

EK A4: İyon konsantrasyonu hesapları

$N_a=6.02*10^{23}$ (Avagadro sayısı)

$$N_0 = [(\% \text{ mol RE})x(N_a)x(d)]/(mw) \quad [116]. \quad (A4.1)$$

TZE:

Er^{3+} : $x=0.004$ % mol

$d=5.3284 \text{ g/cm}^3$

$mw= 144.851 \text{ g/mol}$

$N_0=(5.3284/144.851)*(0.004)*(6.02*10^{23})=0.0008857921*10^{23} \text{ iyon/cm}^3$

TZT:

Tm^{3+} : $y=0.02$ % mol

$d=5.534 \text{ g/cm}^3$

$mw= 148.4853 \text{ g/mol}$

$N_0=(5.534/148.4853)*(0.02)*(6.02*10^{23})=0.0044872698*10^{23} \text{ iyon/cm}^3$

TZY:

Yb^{3+} : $z=0.1$ % mol

$d=5.7777 \text{ g/cm}^3$

$mw= 167.408 \text{ g/mol}$

$N_0=(5.7777/167.408)*(0.1)*(6.02*10^{23})=0.0207766379*10^{23} \text{ iyon/cm}^3$

TZY-D:

Yb^{3+} : $z_d=0.05$ % mol

$d=5.3033 \text{ g/cm}^3$

$mw= 155.684 \text{ g/mol}$

$N_0=(5.3033/155.684)*(0.05)*(6.02*10^{23})=0.01025344191*10^{23} \text{ iyon/cm}^3$

EK B: Er³⁺ ve Tm³⁺ için osilatör şiddeti tabloları

Soğurma bulgularından, Er³⁺ ve Tm³⁺ için hesaplanan osilatör şiddeti tabloları bu bölümde vaerilmiştir.

Çizelge B.1: TZE camı içinde Erbiyum iyonunun ölçülen ve hesaplanan osilatör şiddetleri (⁴I_{15/2} temel seviyesi).

Geçişler	λ (nm)	TZE		TZET		TZEY		TZEY-D		TZETY		TZETY-D	
		f _{mea} x10 ⁻⁶	f _{cal} x10 ⁻⁶	f _{mea} x10 ⁻⁶	f _{cal} x10 ⁻⁶	f _{mea} x10 ⁻⁶	f _{cal} x10 ⁻⁶	f _{mea} x10 ⁻⁶	f _{cal} x10 ⁻⁶	f _{mea} x10 ⁻⁶	f _{cal} x10 ⁻⁶	f _{mea} x10 ⁻⁶	f _{cal} x10 ⁻⁶
⁴ I _{9/2}	799	0.3994	0.3508	16.6124	3.8676	0.9320	0.9936	1.7821	0.6016	73.3000	14.668	16.4838	3.7625
⁴ F _{9/2}	652	1.3467	1.3315	9.9461	9.2731	3.8111	3.7752	1.9807	1.8850	34.4099	33.637	9.7665	9.1613
⁴ S _{3/2}	544	0.8172	0.1906	0.1738	0.4378	1.8004	0.5397	0.5620	0.1561	1.5617	2.2620	1.0220	0.3691
² H _{11/2}	521	4.2317	4.2463	4.5175	10.1046	8.2576	8.4532	5.2023	5.3515	19.9855	41.3465	4.5175	9.9263
⁴ F _{7/2}	488	0.8214	0.6600	0.6312	0.9194	2.5175	1.8742	0.7831	0.7044	2.8963	1.9932	0.6764	1.0371
N ₀ (10 ²⁰ iyon/cm ³)		0.8947		0.9325		0.8779		0.7855		0.8902		0.8339	
% rms hata		11.124		175.291		37.0518		53.3157		187.285		176.326	

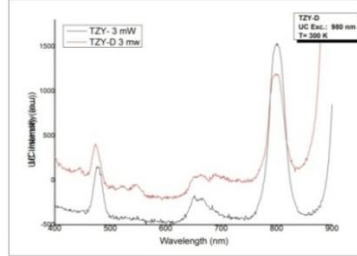
Çizelge B.2: TZT camları içinde Tulyum iyonunun ölçülen ve hesaplanan osilatör şiddetleri (³H₆ temel seviyesi).

Geçişler	λ(nm)	TZT		TZET		TZTY		TZTY-D		TZETY		TZETY-D	
		f _{mea} x10 ⁻⁶	f _{cal} x10 ⁻⁶	f _{mea} x10 ⁻⁶	f _{cal} x10 ⁻⁶	f _{mea} x10 ⁻⁶	f _{cal} x10 ⁻⁶	f _{mea} x10 ⁻⁶	f _{cal} x10 ⁻⁶	f _{mea} x10 ⁻⁶	f _{cal} x10 ⁻⁶	f _{mea} x10 ⁻⁶	f _{cal} x10 ⁻⁶
³ F ₄	793	19.1831	19.7694	16.6124	16.8668	93.2838	99.24	21.4912	21.9052	73.3000	74.9062	23.5458	23.8027
³ F ₃	687	11.7429	9.8823	9.9467	8.9300	49.1987	36.5494	11.3576	9.529	30.6038	24.0591	11.2405	9.6257
³ F ₂	662	0.8358	0.9998	3.0502	1.1892	2.18031	0.2459	0.4519	0.9516	6.2556	0.8458	1.9526	0.9996
¹ G ₄	470	2.9286	2.8254	2.0036	2.2287	26.765	16.2994	2.6958	3.0763	10.3921	11.1984	2.4156	3.2725
N ₀ (10 ²⁰ iyon/cm ³)		4.4872		4.6627		4.0694		4.2880		4.4513		4.1695	
% rms hata		34.5715		44.1352		64.8219		32.3401		43.34		31.7144	

EK C: Karşılaştırmalı lüminesans spektrumları ($\lambda_{exc}=980$ nm UC)

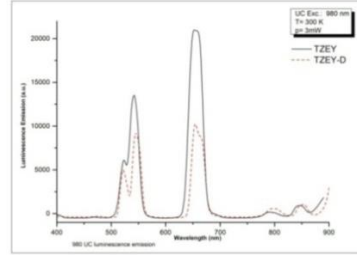
Lüminesans bulgularından, Yb^{3+} katkılı kompozit cam matrislerinin % 0.5 ve % 1.0 katkılı olanları için karşılaştırmalı lüminesans spektrumları ($\lambda_{exc}=980$ nm UC) bu bölümde bulunmaktadır.

TZY/TZY-D cam matrislerinin UC lüminesans şiddet grafikleri aşağıda verilmiştir.



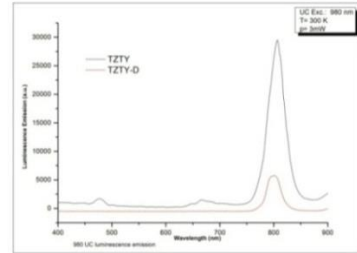
Şekil C.1: 980 nm UC uyarılma altında TZY ve TZY-D camlarının karşılaştırmalı lüminesans şiddeti değişimi.

TZEY/TZEY-D cam matrislerinin UC lüminesans şiddet grafikleri aşağıda verilmiştir.



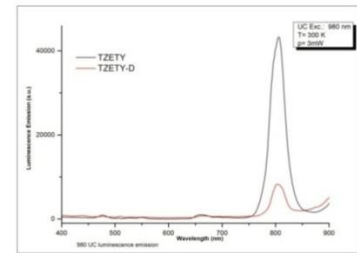
Şekil C.2: 980 nm UC uyarılma altında TZEY ve TZEY-D camlarının karşılaştırmalı lüminesans şiddeti değişimi.

TZTY/TZTY-D cam matrislerinin UC lüminesans şiddet grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil C.3: 980 nm UC uyarılma altında TZTY ve TZTY-D camlarının karşılaştırmalı lüminesans şiddeti değişimi.

TZETY/TZETY-D'nin UC lüminesans şiddet grafikleri aşağıda verilmiştir.



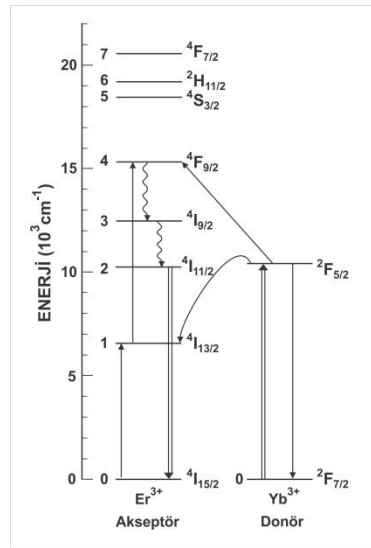
Şekil C.4: 980 nm UC uyarılma altında TZETY ve TZETY-D camlarının karşılaştırmalı lüminesans şiddeti değişimi.

EK D: UC-ve ET şemaları

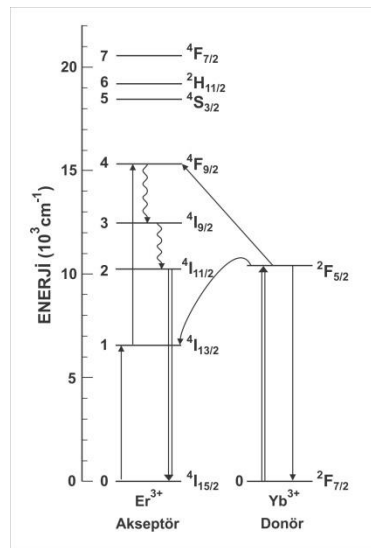
980 nm UC Lüminesans spektrumlarından okunan geçişler aracılığı ile çizilen UC-ve ET şemaları aşağıda verilmiştir.

TZEY, TZEY-D, TZETY, TZETY-D etiketli örneklerin Er^{3+} 'un 526, 548, 666 ve 803 nm piklerinde sırası ile şu geçişleri gözlenmiştir: $^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$, $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$, $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$, $^4\text{I}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$,

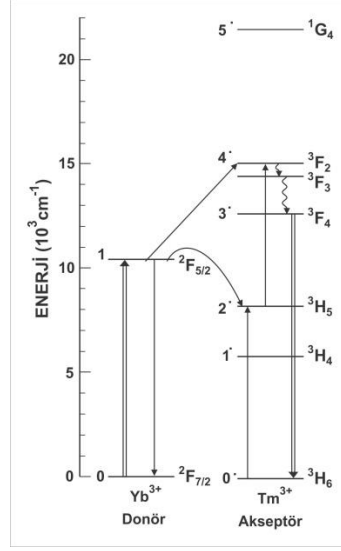
Er^{3+} ve Yb^{3+} 'un birlikte katkılı olduğu durumlarda, Yb^{3+} 'un varlığında 666 nm'nin çok şiddetli olduğu gözlenmiştir. Dolayısı ile Yb^{3+} 'dan ET ile Er^{3+} 'un $^4\text{I}_{11/2} \rightarrow ^4\text{F}_{7/2}$ 'ye nazaran $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{F}_{9/2}$ geçişinin tercih edildiği görülmüştür.



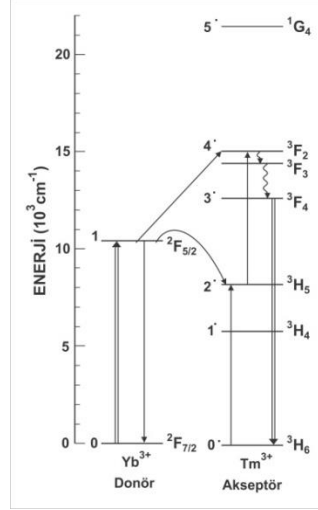
Şekil D.1: Er^{3+} ve Yb^{3+} katkılı TZEY cam matrisinin enerji transfer şeması.



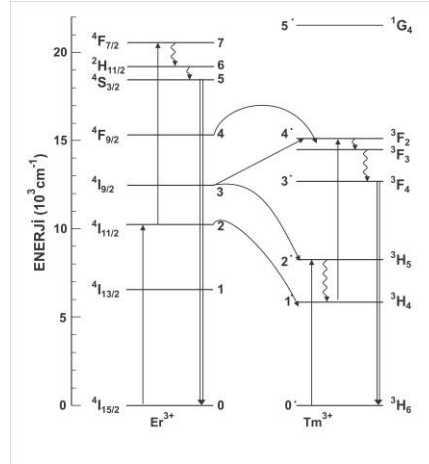
Şekil D.2: Er^{3+} ve Yb^{3+} katkılı TZEY-D cam matrisinin enerji transfer şeması.



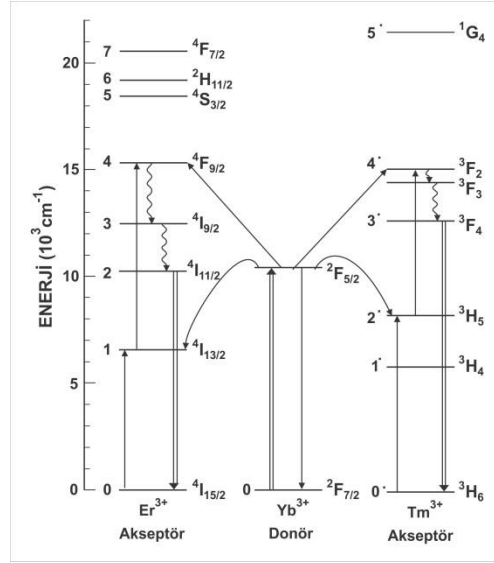
Şekil D.3: Tm³⁺ ve Yb³⁺ katkılı TZTY cam matrisinin enerji transfer şeması.



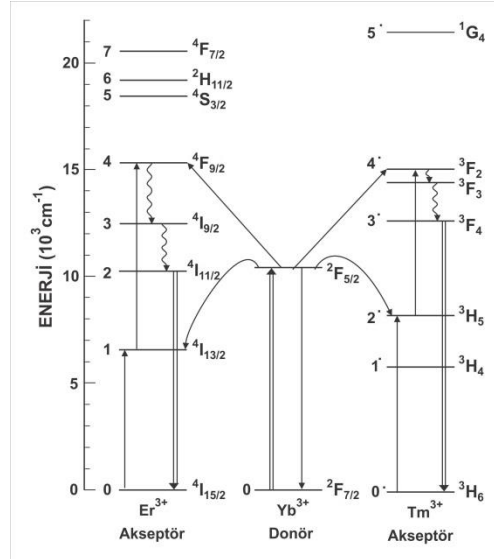
Şekil D.4: Tm³⁺ ve Yb³⁺ katkılı TZTY-D cam matrisinin enerji transfer şeması.



Şekil D.5: Er³⁺ ve Tm³⁺ katkılı TZET cam matrisinin enerji transfer şeması.



Şekil D.6: Er³⁺, Tm³⁺ ve Yb³⁺ katkılı TZETY cam matrisinin ET şeması.



Şekil D.7: Er³⁺, Tm³⁺ ve Yb³⁺ katkılı TZETY-D cam matrisinin ET şeması.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Ayfer Kaya
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul, 03.06.1972
E-Posta : kayaayfer8@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İTÜ, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM

- “Raytracing Application” Lisans Tezi, 2010
- “The Usage of Quantum Theory in Information Technology”, Final Projesi, 2011
- “Optical Coatings For Lasers”, Fnal projesi, 2013

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

- Spectroscopic investigation of zinc tellurite glasses doped with Yb³⁺ and Er³⁺ ions. (Yayın aşamasında: Spectrochimica Acta A -D-15-02461)
- Judd-Ofelt Analysis and Optical specifications of Er³⁺/ Tm³⁺ co-doped Zinc tellurite glasses. (Yazım aşamasında)
- Spectroscopy of TeO₂-ZnO glass doped with Tm³⁺ / Yb³⁺ under 805 and 980 nm laser light excitations.(Yazım aşamasında)
- Judd-Ofelt Analysis and Optical specifications of Er³⁺/ Tm³⁺/ Yb³⁺ tri-doped Zinc tellurite glasses. (Yazım aşamasında)

