



EGE ÜNİVERSİTESİ

DOKTORA TEZİ

**NADİR TOPRAK ELEMENTİ VE GEÇİŞ METALİ
KATKILI Si VE Ca BAZLI MALZEMELERİN
LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Kemal Fırat OĞUZ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Turgay KARALI

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 01.07.2016

Bornova-İZMİR

2016

EGE ÜNİVERSİTESİ NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**NADİR TOPRAK ELEMENTİ VE GEÇİŞ METALİ
KATKILI Si VE Ca BAZLI MALZEMELERİN
LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Kemal Fırat OĞUZ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Turgay KARALI

Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 01.07.2016

Bornova- İZMİR

2016

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Nadir Toprak Elementi ve Geçiş Metali Katkılı Si ve Ca Bazlı Malzemelerin Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

03 / 06 / 2016

Kemal Fırat OĞUZ

Sayın Kemal Fırat OĞUZ tarafından Doktora Tezi olarak sunulan “Nadir Toprak Elementi ve Geçiş Metali Katkılı Si ve Ca Bazlı Malzemelerin Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 01.07.2016 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday, oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

İmza

Jüri Başkanı : Prof.Dr. Turgay KARALI

Raportör Üye : Doç.Dr. Müslim Murat SAÇ

Üye :Prof.Dr. Mahmut A.A. ASLANİ

Üye :Doç.Dr. Arzu EGE

Üye :Doç.Dr. Mehmet AYVACIKLI

ÖZET**NADİR TOPRAK ELEMENTİ VE GEÇİŞ METALİ KATKILI Si VE Ca
BAZLI MALZEMELERİN LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

OĞUZ, Kemal Fırat

Doktora Tezi, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Turgay KARALI

Temmuz 2016, 231 sayfa

Termal uyartımlı lüminesans malzemeler, iyonize radyasyon doz ölçümlerinde önemli bir araçtır. Son yıllarda personel, klinik, çevresel ve uzay dozu ölçümlerindeki avantajları nedeniyle, daha verimli TL dozimetrelerin üretilmesi için birçok çalışma gerçekleştirilmektedir. Yeni TL malzeme sentezi ve bu malzemelerin lüminesans ve dozimetrik özelliklerinin belirlenmesi, bu malzemeler ile uygulamalarda, doğru doz ölçümlerinin gerçekleştirilebilmesinde önem teşkil etmektedir.

Bu tez çalışmasında, yeni üretilmiş $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$, $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemelerinin lüminesans özellikleri ile dozimetrik özellikleri, beta, gama, X-ışını, UVB (312 nm) ve UVC (254 nm) radyasyon kaynakları kullanılarak incelenmiştir. Dozimetrik bir malzemenin aktivasyon enerjisi (E), frekans faktörü (s) ve kinetik mertebesi (b) gibi tuzak parametrelerinin değerlerinin belirlenmesi, malzemenin örgü yapısındaki tuzaklar hakkında daha ayrıntılı bilgi sahibi olmamızı sağlayabilmektedir. Bu çalışmada, kullanılan dozimetrik malzemelerin tuzak parametrelerinin belirlenebilmesi için farklı ısıtma hızı metodu, izotermal bozunma metodu ve pik şekli metodu yöntemleri kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, dozimetrik malzemelerin kararlılık, sönmüleme, PTTL, duyarlılık ve doz cevabı gibi dozimetrik özellikleri de incelenmiştir.

Bununla birlikte, yeni sentezlenmiş dozimetrik malzemelerin kristal yapı analizleri ve emisyon spektrumları X-ışını kırınımı (XRD), Radyolüminesans (RL) ve fotolüminesans (PL) teknikleri kullanılarak incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan %1 Mn katkılı CaB_4O_7 ve $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ dozimetrik malzemeleri ile elde edilen TL sonuçları doğrultusunda, bu malzemelerin uzay ve klinik doz alanlarında (0-20Gy) kullanımlarının uygun olabileceği sonucuna varılmıştır. Bunlara ek olarak, $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemelerinin yüksek hassasiyet ve kararlılıklarından dolayı tarihleme, çevresel ve personel doz ($\sim 1\text{-}10\mu\text{Gy}$) uygulama alanlarında kullanılabilme potansiyellerinin oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: TL, $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$, $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$, $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$

ABSTRACT**INVESTIGATION OF LUMINESCENCE PROPERTIES OF RARE
EARTH ELEMENTS AND TRANSITION METALS DOPED Si AND Ca
BASED MATERIALS**

OGUZ, Kemal Firat

PhD Thesis, Nuclear Sciences Department

Supervisor: Prof. Dr. Turgay KARALI

July 2016, 231 pages

Thermally stimulated luminescence materials have been an important tool in measuring the ionizing radiation dose. Due to some advantages of the thermoluminescence dosimeters in the field of personal, clinical, environmental and space applications, many studies have been carried out to produce more efficient TL dosimeters in recent years. Determination of luminescence properties and dosimetric characteristics of newly synthesized TL materials are very important in order to obtain correct results in dose assessment studies.

In this thesis, luminescence properties and dosimetric characteristics of recently synthesized $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$, $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ and $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ materials have been investigated using beta, gamma, X-ray, UVB (312 nm) and UVC (254 nm) radiation sources. Determination of the trap parameter values of a dosimetric material such as activation energy (E), frequency factor (s) and kinetic order (b) enables one to gather more information about the traps in the lattice structure of the material. In this study, variable heating rate method, isothermal decay method and peak shape methods were used for determination of trap parameters of the dosimetric materials used. In addition, some dosimetric characteristics such as sensitivity, dose response, fading, PTTL and stability of dosimetric materials were investigated. In addition, emission spectra and crystal structure of newly synthesized dosimetric materials were investigated by Radioluminescence, Photoluminescence and X-ray diffraction techniques.

The obtained results from this study showed that $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}(1\%)$ and $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ dosimetric materials have high sensitivity and stability, which makes them potential materials in dose measurements (0-20Gy) such as space, medical, personal dosimetry and dating. In addition, the results of studies showed that the $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}(3\%)$ and $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ materials have very high sensitivity and stability, which make them potential dosimetry in low dose applications ($\sim 1\text{-}10\mu\text{Gy}$) such as personal dosimetry and dating.

Keywords: TLD, $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$, $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$, $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$



TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam süresince, bilgi, öneri ve deneyimi ile bana daima destek olan ve Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü laboratuvarlarında her türlü imkanı ve çalışma ortamını sağlayan Enstitüsü Müdürümüz ve tez danışmanım Sayın **Prof.Dr. Turgay KARALI** 'ya tüm yardım ve katkılarından dolayı en içten ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Doktora çalışmam için örneklerin hazırlanması ve laboratuvar çalışmalarında bilgi ve deneyimi ile her türlü desteği sunan ve yardımlarını esirgemeyen Sayın **Prof.Dr. Mahmut A.A. ASLANI** 'ye, doktora çalışmam boyunca bilgi, deneyim ve önerileriyle bana yardımcı olan Sayın **Doç.Dr. M.Murat SAÇ** 'a ve Sayın **Doç.Dr. Arzu EGE** 'ye, çalışmam boyunca bilgi ve deneyimi ile yardımcı olan ve yardımlarını esirgemeyen Sayın **Doç.Dr. Elçin KARALI** 'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Bilgi ve deneyimleri ile bana her konuda yardımcı olan ayrıca her türlü desteğini esirgemeyen Sayın **Prof.Dr. Şule AYTAS** 'a, geçmişte Enstitü Müdürlerimiz olan Sayın **Prof.Dr. Perihan ÜNAK** 'a, Sayın **Prof.Dr. Meral ERAL** 'a, Sayın **Prof.Dr. Güngör YENER** 'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Tüm yaşamım boyunca bana her konuda yardımcı olan ve aydın bir insan olmam için maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ailem'e en içten ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kemal Fırat OĞUZ



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	VII
ABSTRACT	IX
TEŞEKKÜR	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XXI
ÇİZELGELER DİZİNİ	XXXVII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XXXIX
1. GİRİŞ	1
2 GENEL BİLGİLER	7
2.1 Lüminesansın Tarihçesi	7
2.2 Lüminesans ve Çeşitleri	11
2.3 Lüminesans Olayının Fiziksel Mekanizması	13
2.4 Kristal Kusurları	15
2.4.1 Noktasal Kusurlar	18
2.5 Termal Uyarımlı Lüminesans (TSL) Olayı	24
2.6 Termal Uyarımlı Lüminesans (TSL) Olayının Fiziksel Mekanizması ve Matematiksel İfadesi	25
2.7 Radyolüminesans (RL) Olayı	33
2.8 Fotolüminesans (PL) Olayı	36
2.9 Termolüminesans Dozimetreler (TLD) ve Kullanım Alanları	39

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.9.1 Personel Dozimetre	41
2.9.2 Çevresel Dozimetre.....	42
2.9.3 Klinik Dozimetre	43
2.9.4 Yüksek Doz Dozimetresi	44
2.10 Termoluminesans Dozimetrelerin Kullanım Avantajları.....	45
2.11 Termoluminesans Dozimetrelerin Kullanımında Önemli Parametreler	46
2.11.1 Kalibrasyon	46
2.11.2 Doz Ölçümündeki Hatalar	46
2.11.3 TLD Malzemelerin Karakteristik Özellikleri.....	47
3. MATERYAL VE YÖNTEM	49
3.1 Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	49
3.1.1 $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ Malzemesinin Hazırlanışı	49
3.1.2 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ Malzemelerinin Hazırlanışı	51
3.1.3 $\text{CaSO}_4:\text{Cu},\text{Tm}$ Malzemesinin Hazırlanışı	53
3.1.4 $\text{CaSiO}_4:\text{Cu}$ Malzemesinin Hazırlanışı.....	54
3.2 Çalışmada Kullanılan Sistemler ve Yöntemler	55
3.2.1 X-Işını Kırınımı (XRD) Sistemi	55
3.2.2 Termoluminesans Dozimetre (TLD) Okuyucu Sistemi	58

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.2.3 Radyolüminesans (RL) ve Fotolüminesans (PL) Spektrometre Sistemi	60
3.2.4 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ Dozimetrik Malzemeleri İçin Tavlama İşlemi.....	63
3.2.5 Beta Kaynağının Kalibrasyonu.....	64
3.2.6 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ Malzemelerinin TSL Işıma Eğrilerinin Belirlenmesi.....	66
3.2.7 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ Malzemelerinin Doz Cevap Eğrilerinin Belirlenmesi.....	67
3.2.8 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ Malzemelerinin Hassasiyetlerinin Belirlenmesi	68
3.2.9 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ Dozimetrik Malzemelerinin Kararlılıklarının Belirlenmesi.....	69
3.2.10 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) ve $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ Malzemelerinin Sönümleme Miktarlarının Belirlenmesi	70
3.2.11 Dozimetrelerin TSL Kinetik Parametrelerinin Belirlenebilmesi Amacıyla Kullanılan Metodlar.....	72
3.2.12 Foton Transferli Termolüminesans (PTTL) Metodu.....	82

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	87
4.1 Malzemelerin X-ışını Kırınım Analizleri.....	88
4.1.1 Tm Katkılı CaCO_3 Malzemesinin XRD Analizi	88
4.1.2 Mn Katkılı CaB_4O_7 Malzemesinin XRD Analizi	89
4.1.3 Cu ve Tm Katkılı CaSO_4 Malzemesinin XRD Analizi.....	90
4.1.4 Cu Katkılı CaSiO_4 Malzemesinin XRD Analizi	92
4.2 Termal Uyarımlı Lüminesans (TSL) Işıma Eğrisi	93
4.2.1 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ Malzemesinin TSL Işıma Eğrisi	93
4.2.2 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) Malzemesinin TSL Işıma Eğrisi	95
4.2.3 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) Malzemesinin TSL Işıma Eğrisi	99
4.2.4 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ Malzemesinin TSL Işıma Eğrisi	103
4.2.5 $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ Malzemesinin TSL Işıma Eğrisi	107
4.3 Beta Kaynağının Kalibrasyon Sonuçları.....	109
4.4 Doz Cevap Eğrisi	112
4.4.1 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ Malzemesinin Doz Cevap Eğrisi	112
4.4.2 %1 Mn Katkılı CaB_4O_7 Malzemesinin Doz Cevap Eğrisi.....	119

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.4.3 %3 Mn Katkılı CaB_4O_7 Malzemesinin Doz Cevap Eğrisi	125
4.4.4 Cu ve Tm Katkılı CaSO_4 Malzemesinin Doz Cevap Eğrisi	131
4.4.5 Cu Katkılı CaSiO_4 Malzemesinin Doz Cevap Eğrisi	137
4.5 Kararlılık	141
4.5.1 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ Malzemesinin Kararlılığı	141
4.5.2 %1 Mn Katkılı CaB_4O_7 Malzemesinin Kararlılığı	143
4.5.3 %3 Mn Katkılı CaB_4O_7 Malzemesinin Kararlılığı	145
4.5.4 Cu ve Tm Katkılı CaSO_4 Malzemesinin Kararlılığı	146
4.5.5 Cu Katkılı CaSiO_4 Malzemesinin Kararlılığı	148
4.6 Hassasiyet	149
4.7 Sönümleme	152
4.8 Farklı Radyasyon Kaynaklarının Malzemenin TSL Işıma Eğrisi Üzerine Etkisi	154
4.9 Tuzak Parametrelerinin Belirlenmesi	157
4.9.1 Farklı Isıtma Hızları (VHR) Metodu Sonuçları.....	157
4.9.2 Işıma Eğrisi Şekli Metodu (Chen Pik Şekli Metodu) Sonuçları.....	162
4.9.3 İzotermal Lüminesans Bozunma (ILD) Metodu Sonuçları	174

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.9.4 $T_{\text{MAKSİMUM}}-T_{\text{DURMA}}$ Sonuçları.....	178
4.10 Foton Transferli Termoluminesans (PTTL) Sonuçları	179
4.10.1 UVB Işık Kaynağı Kullanılarak $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) Malzemesinden Elde Edilen PTTL Sonuçları	180
4.10.2 UVB Işık Kaynağı Kullanılarak $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) Malzemesinden Elde Edilen PTTL Sonuçları	182
4.10.3 UVC Işık Kaynağı Kullanılarak $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) Malzemesinden Elde Edilen PTTL Sonuçları	184
4.10.4 UVC Işık Kaynağı Kullanılarak $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) Malzemesinden Elde Edilen PTTL Sonuçları	187
4.11 Radyoluminesans (RL) Sonuçları	190
4.11.1 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) ve $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) Malzemelerinin RL Sonuçları ...	190
4.11.2 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ Malzemesinin RL Sonuçları	193
4.11.3 $\text{CaSiO}_4:\text{Cu}$ Malzemesinin RL Sonucu	195
4.12 Fotoluminesans (PL) sonuçları	196
4.13 Farklı Işık Kaynağı Kullanılarak Gerçekleştirilen Çalışmalar.....	198
5. SONUÇ	203
KAYNAKLAR DİZİNİ	209

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ.....	231
---------------	-----





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Karakteristik τ_c zamanına göre lüminesans olayının adlandırılması (McKeever, 1985)	13
2.2 Floresans (a) ve fosforesans (b) olayının basit bir gösterimi	14
2.3 Bravais kafes yapıları	16
2.4 Mutlak sıfır sıcaklığında denge durumunda bulunan yalıtkan ya da yarı iletken bir malzemenin enerji seviyeleri	17
2.5 Kristal yapıya sahip bir malzenin örgüsündeki atomsal boşluk (vacancy) kusuru.....	19
2.6 Kristal yapıya sahip bir malzenin örgüsündeki, arayer atom (interstitial) kusuru.....	20
2.7 <i>Kristal yapıya sahip bir malzenin örgüsündeki küçük yeralan (substitutional) atom kusuru</i>	21
2.8 Kristal yapıya sahip bir malzenin örgüsündeki büyük yeralan atom kusuru.....	21
2.9 Kristal yapıya sahip bir malzenin örgüsündeki Frenkel kusuru.....	22
2.10 Kristal yapıya sahip bir malzenin örgüsündeki Schottky kusuru.....	23
2.11 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin 10 dakika (2,82 Gy) beta kaynağı ile ışınlanmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrisi	24

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.12 TSL olayının fiziksel yapısını gösteren basitleştirilmiş enerji bant modeli (McKeveer, 1985)	25
2.13 Bir TSL olayında, zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklık $T(t)$, tekrar birleşme merkezlerindeki tuzaklanmış boşlukların konsantrasyonu n_b ve TSL ışıma şiddeti $I(t)$ (Pagonis vd., 2006)	29
2.14 Birinci ve ikinci dereceden TSL ışıma eğrilerinin şematik olarak karşılaştırılması (Pagonis vd., 2006)	32
2.15 Kinetik derece parametresi b' nin farklı değerleri için TSL ışıma eğrilerinin şematik olarak karşılaştırılması (Pagonis vd., 2006)	32
2.16 Radyolüminesans olayının şematik gösterimi	34
2.17 Fotolüminesans olayının şematik gösterimi	37
2.18 Termolüminesans dozimetrelerin (TLD) kullanım alanları	40
3.1 Gümüş gri renkli Tulyum elementi	50
3.2 $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesi	51
3.3 Mangan Elementi.....	51
3.4 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesi.....	52
3.5 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesi.....	52

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.6 Bakır elementi	53
3.7 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ Malzemesi	54
3.8 $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesi	55
3.9 Bragg yasasının kristal örgü düzlemlerinde gösterimi.....	56
3.10 İzmir Yüksek Teknolojisi Malzeme Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan Philips Marka X’Pert Pro X-ışını kırınım ölçeri sistemi.....	57
3.11 TLD okuyucu sistemi (Harshaw marka Model 3500).....	58
3.12 TLD okuyucu sistemine ait diyagram	59
3.13 Radyolüminesans (RL) ve fotolüminesans (PL) spektrometre sistemleri....	60
3.14 Radyolüminesans (RL) ve Fotolüminesans (PL) spektrometre sistemi için blok diyagram.....	61
3.15 Taramalı spektrometrenin şematik gösterimi.....	62
3.16 28 yıl yarı ömre ve 590 MBq aktiviteye sahip $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağı.....	65
3.17 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) dozimetrik malzemesi için TLD okuyucu kullanılarak elde edilmiş sıcaklığa karşılık ışıma şiddeti grafiği	66
3.18 Bir TSL ışıma piki için yarı genişlik metodu kullanılarak tuzak derinliği (E) ve frekans faktörünün (s) değerlerinin belirlenmesi (Vij, 1998).....	77

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

3.19	312 nm dalga boyuna sahip UVB lambanın spektrumu	84
3.20	254 nm dalga boyuna sahip UVC lambanın spektrumu	85
4.1	Tm katkılı CaCO_3 malzemesi için XRD analiz grafiği (Mavi ve kırmızı spektrum çizgileri sırasıyla, $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ ve referans malzemesine ait XRD sonuçları.)	89
4.2	Mn katkılı CaB_4O_7 için XRD analiz grafiği (Mavi ve kırmızı spektrum çizgileri sırasıyla, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ ve referans malzemesine ait XRD sonuçları.)	90
4.3	Cu ve Tm katkılı CaSO_4 malzemesi için XRD analiz grafiği (Kırmızı ve yeşil spektrum çizgileri sırasıyla, $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve referans malzemesine ait XRD sonuçları.)	91
4.4	$\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesi için XRD analiz grafiği (Mavi ve kırmızı spektrum çizgileri sırasıyla, $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ ve referans malzemesine ait XRD sonuçları.)	92
4.5	$\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin 10 dakika (3.12 Gy) beta kaynağına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL eğrisi	94
4.6	$\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin 10 dakika (2,82 Gy) beta kaynağı ile ışınlanmasından sonra elde edilen TL ışıma eğrisi.....	95

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.7 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1)'ın 2,82 Gy'lık bir doza maruz kalmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrisi ile (a), aynı doza maruz kalmış aynı malzemenin bir günlük süre bekletilmesinin ardından elde edilen TSL ışıma eğrisi şeklinde meydana gelen değişimin (b) karşılaştırılması..... 98
- 4.8 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin 10 dakika (2.82 Gy) beta kaynağı ile ışınlanmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrisi 100
- 4.9 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin 10 saniye (55 mGy) beta kaynağı ile ışınlanmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrisi 103
- 4.10 $\text{CaSiO}_4:\text{Cu}$ malzemesinin 3.12 Gy lik beta ışınyla ışınlanmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrisi 108
- 4.11 Özel Onkomer Radyasyon Onkolojisi bünyesinde bulunan 5,27 yıl yarı ömre ve 441,3 TBq aktiviteye sahip ^{60}Co kaynağı..... 110
- 4.12 $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesinin farklı dozlarda beta ışınyla ışınlanmasından sonra 5°C/s ısıtma hızı ile TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması 113
- 4.13 $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesinin düşük dozlarda beta ışınyla ışınlanmasından sonra 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması 114

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.14 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin yüksek dozlarda beta ışınıyla ışınlanmasından sonra 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.....114
- 4.15 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin yüksek dozlarda beta ışınıyla ışınlanmasından sonra 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.....115
- 4.16 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin düşük sürelerde ışınlanması sonrasında maruz kaldığı doza karşılık tüm TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre elde edilen doz cevap eğrisi.....116
- 4.17 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin yüksek sürelerde ışınlanması sonrasında maruz kaldığı doza karşılık tüm TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre elde edilen doz cevap eğrisi.....117
- 4.18 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin 165 mGy ile 3,3 Gy'lik doz aralığında soğurduğu dozlara karşı TSL ışıma eğrisinin 105 °C, 210 °C, 255 °C ve 405 °C piklerinin TSL şiddetlerine göre çizilenen doz cevap eğrileri.....118
- 4.19 %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin farkı dozlarda beta kaynağı ile ışınlanmasından hemen sonra 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrileri.....120

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.20 %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin düşük dozlarda beta kaynağı ile ışınlanmasından hemen sonra 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrileri..... 120
- 4.21 %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin yüksek dozlarda beta kaynağı ile ışınlanmasından hemen sonra 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrileri..... 121
- 4.22 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin soğurulan doza karşılık TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre elde edilen doz cevap eğrisi 122
- 4.23 Düşük dozlarda beta ışınıyla ışınlanan $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin 220 °C piki için soğurulan doza karşılık TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre elde edilen doz cevap eğrisi 122
- 4.24 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesi için elde edilen 85 °C ve 220 °C piklerine ait doz cevap eğrilerinin karşılaştırılması 123
- 4.25 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) malzemesinin farklı dozlarda beta ışınına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması 126
- 4.26 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) malzemesinin düşük dozlarda beta ışınına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması 127

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.27 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) malzemesinin yüksek dozlarda beta ışınına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.....127
- 4.28 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) malzemesinin farklı dozlarda beta ışınına maruz bırakılmasından hemen sonra 130 °C piki için elde edilen TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alanlara göre çizilen doz cevap eğrisi.....128
- 4.29 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) malzemesinin değişik dozlarda beta ışınına maruz bırakılmasından hemen sonra, malzemenin 130 °C piki için elde edilen TSL şiddetine göre çizilen doz cevap eğrisi.....129
- 4.30 47 mGy ile 282 mGy 'lik doz aralığındaki düşük dozlarda beta ışınıyla ışınlanan $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) malzemesinin 130 °C piki için, soğurulan doza karşılık TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre elde edilen doz cevap eğrisi 130
- 4.31 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesinin farklı dozlarda beta kaynağına maruz bırakılmasından hemen sonra 2 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrileri.....132
- 4.32 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesinin düşük dozlarda beta kaynağına maruz bırakılmasından hemen sonra 2 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrileri.....133

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.33 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesinin yüksek dozlarda beta kaynağına maruz bırakılmasından hemen sonra $2\text{ }^\circ\text{C/s}$ ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrileri..... 133
- 4.34 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesinin değişik dozlarda beta ışınıyla ışınlanmasından sonra $250\text{ }^\circ\text{C}$ piki için elde edilen doz cevap eğrisi 134
- 4.35 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesinin düşük dozlarda beta ışınıyla ışınlanmasından hemen sonra $250\text{ }^\circ\text{C}$ piki için elde edilen doz cevap eğrisi 134
- 4.36 Değişik dozlarda beta ışınına maruz bırakılan $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin $5\text{ }^\circ\text{C/s}$ ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.... 137
- 4.37 Yüksek dozlarda beta ışınına maruz bırakılan $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin $5\text{ }^\circ\text{C/s}$ ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması 138
- 4.38 Düşük dozlarda beta ışınına maruz bırakılan $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin $5\text{ }^\circ\text{C/s}$ ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması... 139

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.39 $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin soğurulan farklı miktardaki dozlara karşılık TSL ışıma eğrisinin altında kalan tüm alana göre çizilen doz cevap eğrisi 140
- 4.40 $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin soğurulan farklı dozlara karşılık 50 °C ile 175 °C ve 175 °C ile 280 °C sıcaklık aralığındaki maksimum TSL şiddeti 90 °C ve 230 °C deki band yapılarının TSL şiddetlerine göre çizilen doz cevap eğrilerinin karşılaştırılması.....140
- 4.41 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin ard arda aynı tavlama ve 3,3 Gy 'lik ışınlama işlemleri sonrasında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması....142
- 4.42 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin ard arda aynı tavlama ve 3,3 Gy'lik ışınlama işlemine maruz bırakılmasından sonra elde edilen bağıl toplam TSL şiddetleri 143
- 4.43 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin aynı tavlama ve 2,82 Gy'lik ışınlama işlemleri sonrasında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması...144
- 4.44 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin ard arda aynı tavlama ve 2,82 Gy'lik ışınlama işlemine maruz bırakılmasından sonra elde edilen bağıl toplam TSL şiddetleri 144

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.45 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) malzemesinin tekrarlanan tavlama ve 2,82 Gy'lik ışınlama işlemleri sonrasında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması 145
- 4.46 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) malzemesinin ard arda aynı tavlama ve 2,82 Gy'lik ışınlama işlemine maruz bırakılmasından sonra elde edilen bağlı toplam TSL şiddetleri..... 146
- 4.47 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesinin tekrarlanan tavlama ve 168 mGy'lik ışınlama işlemleri sonrasında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması 147
- 4.48 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesinin ard arda aynı tavlama ve 168 mGy'lik ışınlama işlemine maruz bırakılmasından sonra elde edilen bağlı toplam TSL şiddetleri..... 147
- 4.49 $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin tekrarlanan tavlama ve 3,12 Gy'lik ışınlama işlemleri sonrasında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması ... 148
- 4.50 $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin ard arda aynı tavlama ve 3,12 Gy'lik ışınlama işlemine maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alanların karşılaştırılması 149

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.51 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin 220 °C piki için TSL yöntemi kullanılarak elde edilmiş zamana karşılık sönümlene grafiği 153
- 4.52 $\text{CaSO}_4:\text{Cu},\text{Tm}$ malzemesinin 250 °C piki için TSL yöntemi kullanılarak elde edilmiş zamana karşılık sönümlene grafiği 154
- 4.53 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin farklı radyasyon kaynakları ile belirli bir süre ışınlandıktan sonra elde edilen ve 220 °C de normalize edilmiş TSL ışıma eğrinin karşılaştırılması 155
- 4.54 $\text{CaSO}_4:\text{Cu},\text{Tm}$ malzemesinin farklı radyasyon kaynakları ile belirli bir süre ışınlandıktan sonra elde edilen ve 250 °C de normalize edilmiş TSL ışıma eğrinin karşılaştırılması 156
- 4.55 $\text{CaSO}_4:\text{Cu},\text{Tm}$ malzemesi için farklı ısıtma hızlarında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması 158
- 4.56 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesi için farklı ısıtma hızlarında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması 158
- 4.57 $\text{CaSO}_4:\text{Cu},\text{Tm}$ malzemesi için farklı ısıtma hızlarında elde edilen sıcaklık gecikmeli ve düzeltilmiş T_m değerlerine göre $\ln(T_m^2/\beta)$ karşılık $1/T_m$ grafiği 160

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.58 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesi için farklı ısıtma hızlarında elde edilen sıcaklık gecikmeli ve düzeltilmiş T_m değerlerine göre $\ln(T_m^2/\beta)$ karşılık $1/T_m$ grafiği..... 160
- 4.59 Farklı ısıtma hızlarına göre $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin 220 °C pikine ait deneysel T_m , T_1 ve T_2 değerlerinin davranışı 165
- 4.60 Farklı ısıtma hızlarıyla elde edilmiş $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin TSL ısıtma eğrisinin 220 °C pikinin altında kalan alan ve maksimum TSL şiddeti değerlerinin normalizasyon sonuçlarının karşılaştırılması 167
- 4.61 Farklı ısıtma hızlarına göre $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesinin 250 °C pikine ait deneysel T_m , T_1 ve T_2 değerlerinin davranışı 171
- 4.62 Farklı ısıtma hızlarıyla $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesi için elde edilen TSL ısıtma eğrisinin 250 °C pikinin altında kalan alan ve maksimum TSL şiddeti değerlerinin normalizasyon sonuçlarının karşılaştırılması 173
- 4.63 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin 220 °C piki için elde edilen izotermal bozunma eğrileri..... 175
- 4.64 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesinin 250 °C piki için elde edilen izotermal bozunma eğrileri..... 175

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.65 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin 220 °C piki için elde edilen $\text{Ln}(m(T))$ 'ye karşılık $1/T$ grafiği 176
- 4.66 $\text{CaSO}_4:\text{Cu},\text{Tm}$ malzemesinin 250 °C piki için elde edilen $\text{Ln}(m(T))$ 'ye karşılık $1/T$ grafiği 176
- 4.67 $\text{CaSO}_4:\text{Cu},\text{Tm}$ malzemesi için T_{DURMA} sıcaklıklarına karşılık $T_{\text{MAKSİMUM}}$ sıcaklık grafiği 179
- 4.68 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin 2,82 Gy'lik beta ışınlanmasından sonra 4 kez arka araya 20 dakika uvb ışık kaynağına maruz bırakılması sonucunda malzemeden elde edilen TSL ışımaya eğrilerinin karşılaştırılması.....181
- 4.69 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin 2,82 Gy'lik beta ışınlanmasından sonra UVB ışık kaynağı ile arka arkaya 4 kez 20 dakika süre ile ışınlanması sonucunda elde edilen TSL ışımaya eğrisindeki piklerin maksimum TSL şiddetlerinin ışınlama sayısına göre değişimi.....181
- 4.70 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin 2,82 Gy'lik beta ışınlanmasından sonra 4 kez arka arkaya 10 dakika UVB ışık kaynağına maruz bırakılması sonucunda elde edilen TSL ışımaya eğrilerinin karşılaştırılması.....183

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

- 4.71 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin malzemesinin 2,82 Gy'lık beta ışınlamasından sonra UVB ışık kaynağı ile 4 kez 10 dakika süre ile ışınlaması sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrisindeki pikin maksimum TSL şiddetlerinin ışınlama sayısına göre değişimi..... 184
- 4.72 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin malzemesinin 2,82 Gy'lık beta ışınlamasından sonra 4 kez arka arkaya 10 dakika UVC ışık kaynağına maruz bırakılması sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması 185
- 4.73 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin malzemesinin 2,82 Gy'lık beta ışınlamasından sonra UVC ışık kaynağı ile 4 kez arka arkaya 10 dakika süre ile ışınlaması sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrisindeki piklerin maksimum TSL şiddetlerinin ışınlama sayısına göre değişimi 186
- 4.74 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin 2,82 Gy'lık beta ışınlamasından sonra 4 kez arka arkaya 10 dakika UVC ışık kaynağına maruz bırakılması sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması 188
- 4.75 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin 2,82 Gy'lık beta ışınlamasından sonra UVC ışık kaynağı ile 4 kez arka arkaya 10 dakika süre ile ışınlaması sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrisindeki piklerin maksimum TSL şiddetlerinin ışınlama sayısına göre değişimi 189
- 4.76 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) ve $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemelerinin RL spektrumlarının karşılaştırılması 191

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

4.77 Cu ve Tm katkılı CaSO_4 malzemesi için elde edilen RL spektrumu	194
4.78 $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin oda sıcaklığında kaydedilen RL spektrumu... .	195
4.79 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) ve $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) malzemelerinin PL spektrumlarının karşılaştırılması	196
4.80 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesine ait PL spektrumu	197
4.81 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin üç kez 5 dakika UVB ışık kaynağına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TL ışıma şiddeti eğrilerinin karşılaştırılması.....	199
4.82 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin üç kez 5 dakika UVC ışık kaynağına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TL ışıma şiddeti eğrilerinin karşılaştırılması.....	200
4.83 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin UVB ışık kaynağına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma şiddeti eğrilerinin karşılaştırılması	201
4.84 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesi için elde edilen UVC doz cevap eğrisi	201
4.85 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin 5 dakika beta, UVC ve UVB ışık kaynaklarına ayrı ayrı maruz bırakılmasından sonra elde edilen normalize edilmiş TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması	202

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β kaynağının özel onkomer onkoloji merkezinde bulunan ^{60}Co kaynağına göre malzemelere vermiş olduğu doz hızı değerleri.....	111
4.2 Malzemelerin TLD100 dozimetresine göre hassasiyet sonuçları	151
4.3 $\text{CaSO}_4:\text{Cu},\text{Tm}$ malzemesinin 250 °C 'deki dozimetrik (ana) piki için farklı ısıtma hızları yöntemi kullanılarak elde edilen, deneysel ve sıcaklık gecikmesinden dolayı düzeltilmiş verileri kullanılarak hesaplanmış olan aktivasyon enerjileri ve frekans faktörleri değerleri.....	161
4.4 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin dozimetrik 220 °C 'deki (ana) piki için farklı ısıtma hızı yöntemi kullanılarak elde edilen, deneysel ve sıcaklık gecikmesinden dolayı düzeltilmiş, verileri kullanılarak hesaplanmış olan aktivasyon enerjileri ve frekans faktörleri değerleri.....	161
4.5 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin TSL ışıma eğrisinin 220 °C'deki dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen parametre değerleri.....	163
4.6 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin TSL ışıma eğrisinin 220 °C'deki dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen parametre değerleri.....	163
4.7 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin TSL ışıma eğrisinin dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen kinetik parametre değerleri....	164
4.8 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin TSL ışıma eğrisinin 220 °C'deki dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen deneysel T_M^2/α parametre değerleri	166

ÇİZELGELER DİZİNİ

Şekil

Sayfa

4.9	CaSO ₄ :Cu, Tm malzemesinin TSL ışıma eğrisinin 250 °C'deki dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen parametre değerleri.....	168
4.10	CaSO ₄ :Cu,Tm malzemesinin TSL ışıma eğrisinin 250 °C'deki dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen parametre değerleri.....	169
4.11	CaSO ₄ :Cu,Tm malzemesinin TSL ışıma eğrisinin dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen parametre değerleri	170
4.12	CaSO ₄ :Cu,Tm malzemesinin TSL ışıma eğrisinin 250 °C piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen deneysel T_M^2/α parametre değerleri	172
4.13	CaB ₄ O ₇ :Mn (%1) malzemesinin dozimetrik (ana) piki için izotermal bozunma yöntemiyle elde edilen deneysel verileri kullanılarak hesaplanmış olan aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri.	177
4.14	CaSO ₄ :Cu,Tm malzemesinin dozimetrik (ana) piki için izotermal bozunma yöntemiyle elde edilen deneysel verileri kullanılarak hesaplanmış olan aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri.	177
5.1	CaB ₄ O ₇ :Mn (%1) ve CaSO ₄ :Cu,Tm dozimetrik malzemelerinin çeşitli metodlar kullanılarak elde edilen kinetik parametre değerleri	207

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
eV	: Elektron volt
b.d.	: Birimsiz değer
Gy	: Gray
mGy	: Mili gray
TSL	: Termal uyartımlı lüminesans
PM	: Fotoçoğaltıcı
PMT	: Fotoçoğaltıcı tüp
ILD	: İzotermal lüminesans bozunma
VHR	: Çeşitli ısıtma hızı
UV	: Ultraviyole ışık
TLD	: Termolüminesans dozimetre
RL	: Radyolüminesans
PL	: Fotolüminesans
PTTL	: Foton transferli Termolüminesans
μ	: Geometrik faktör

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
k	: Boltzmann sabiti
MBq	: Mega Becquerel
s	: Frekans faktörü
E	: Aktivasyon enerjisi
b	: Kinetik derece parametresi
T	: Sıcaklık
τ	: Ortalama ömür
XRD	: X-ışını kırınımı
Kv	: Kilo volt
mA	: Mili Amper
mm	: Mili metre
$F(D)_{Oran}$	: Doz cevap oranı
$S(D)$ göre hassasiyet oranı.	: Dozimetrik malzemenin TLD100 dozimetresine
β	: Isıtma hızı

1. GİRİŞ

Termolüminesans dozimetreler (TLD), radyasyon doz ölçümü amacıyla birçok değişik alanda uzun süredir yaygın olarak kullanılan çok önemli bir araç haline gelmişlerdir. Kullanım alanlarına göre dozimetreler, çevresel, uzay ve kişisel dozimetreler gibi değişik kategorilerde sınıflandırılmaktadırlar. Nükleer santraller, nükleer tıp merkezleri, radyoterapi merkezleri gibi benzeri radyasyon alanlarında çalışan personellerin ve tedavi olan kişilerin, maruz kaldıkları radyasyon doz miktarının Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'nun (IAEA) belirlemiş olduğu limitlerde kalabilmesi amacıyla efektif atom numarası doku eşdeğeri olan kişisel dozimetreler kullanılır. Ayrıca, insan sağlığı açısından önemli olan çevresel radyasyon güvenliği, arkeolojik ve jeolojik yaş tayini gibi alanlarda da radyasyon doz ölçümü için çevresel dozimetreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, uzay araştırmalarında da radyasyon doz ölçümü amacıyla dozimetrik malzemeler yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Termal uyarımlı lüminesans (TSL) yöntemi, bahsi geçen alanlarda kullanılan dozimetrik malzemeler ile radyasyon doz ölçümü yapılabilmesi amacıyla kullanılan verimli bir yöntemdir. Doz ölçümünde kullanılacak dozimetrik malzemenin TSL verimi, hassasiyeti, sönmüleme miktarı, doz cevap eğrisi, kararlılığı ve kinetik parametre değerleri vb. gibi lüminesans özelliklerinin kullanım alanlarına uygun olması önemlidir. Bu nedenle, farklı radyasyon alanlarında dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş olan yeni malzemelerin, bu özelliklerinin incelenerek söz konusu malzemenin radyasyon dozimetre olarak kullanılma potansiyelinin araştırılması gerekmektedir.

Bu doktora tez çalışmasında, dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere yeni üretilmiş olan Tm katkılı kalsiyum karbonat ($\text{CaCO}_3\text{:Tm}$), %1 ve %3 mangan katkılı kalsiyum borat ($\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$), bakır ve Tulyum katkılı kalsiyum sülfat ($\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$) ve bakır katkılı kalsiyum silikat ($\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$) malzemelerinin lüminesans özelliklerinin ve dozimetrik çalışmalarda kullanılabilirliklerinin araştırılması amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalara ilave olarak, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar kullanılarak teorik hesaplamalarda yapılmıştır.

Borat tabanlı malzemeler ile ilgili ilk termal uyartımlı lüminesans (TSL) çalışmalar, Schulman ve arkadaşları tarafından ürettikleri Mn katkılı lityum borat dozimetresi için 1967 yılında gerçekleştirilmiştir (Schulman vd., 1967). Daha sonraki yıllarda ise, çeşitli alkali ve toprak alkali tetra borat malzemeler ile ilgili TSL çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Kazanskaya vd., 1974; Paun vd., 1977; Fukuda vd., 1984; Karali vd., 2002; Manam vd., 2003; Manam vd., 2004; Manam vd., 2004; Can vd., 2006; Karsu vd., 2006, Ege vd., 2007; Maryam vd., 2013; Maryam vd., 2013; Ekdal vd. 2010; Maryam vd., 2014). Lityum borat ve magnezyum borat malzemeleri ile ilgili yapılan TSL çalışmaların sonucunda, bu malzemelerin dozimetrik amaçlı kullanılabilirlikleri açısından çok iyi bileşenlere sahip oldukları belirlenmiştir (Fukuda vd., 1986). Borat tabanlı dozimetrik malzemeler ile ilgili gerçekleştirilen benzer araştırmalar sonucunda, Cu katkılı lityum tetra borat ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Cu}$) malzemesinin kişisel dozimetri olarak kullanılabilmesi yönünden doku eşdeğeri çok mükemmel olan ($Z_{\text{eff}}=7,25$) bir malzeme olduğu belirlenmiştir (Hunda vd., 2000). Borat tabanlı birçok bileşiğin UV den IR ye geniş bir spektral aralığı vardır. Bu karakteristik özellikleri bakımından borat tabanlı malzemeler optoelektronik malzemeler olarak da kullanılabilmektedirler (Berezovskaya vd., 2007; Thakare vd., 2007; Sasaki vd., 2000). Borat tabanlı bileşiklerin düşük erime sıcaklığı ve iyi ısı kararlılığına sahip olmalarından dolayı, bu malzemeler kolay bir şekilde hazırlanabilmektedirler (Anishia vd., 2011). Bunlara ek olarak, borat tabanlı malzemelerin LiF malzemesi ile karşılaştırıldığında daha küçük bir enerji bağımlılığı olduğu sonucuna varılmıştır (McKeever vd, 1995). Literatürde yapılan çalışmaların ışığında borat tabanlı malzemeler, özellikle kişisel dozimetre ve çevresel dozimetre olarak radyasyon alanlarında kullanımlarının yanı sıra optoelektronik malzemeler olarak da kullanımlarının uygun olduğu belirlenmiştir.

Nadir toprak iyonları ile katkılı kalsiyum sülfat tabanlı malzemeler, termal uyartımlı lüminesans dozimetrelere içinde geniş doz aralığı, iyi kimyasal ve termal kararlılık, düşük maliyetle hazırlık kolaylığına sahip olmaları ve çok hassas fosforlar olmalarının yanı sıra 1970 'li yıllardan beri dedektör malzemesi olarak kullanılmalarından dolayı dozimetre alanında önemli bir yere sahiptirler (Yamashita,, 1971). Bu avantajlarından dolayı kalsiyum sülfat malzemeler, diğer dozimetrelere göre kişisel ve çevresel dozimetre olarak yaygın bir şekilde

kullanılırlar (Horowitz, 1984). Bu malzemelerin duyarlılıkların artırılması amacıyla kapsamlı bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir (Schmidt vd., 1974; Atone vd., 1993, 1995; Kasa vd., 1996, Karali vd., 1998, 1999; Maghrabi vd., 2000; Lakshmanan vd., 2002; Lakshmanan vd., 2008; Can vd., 2009; Kudryavtseva vd., 2012; Ekdal vd., 2015). Bununla birlikte bu çalışmalara göre daha az sayıda olsa da, değişik nadir toprak iyonları ile katkılanmış olan kalsiyum sülfat malzemelerinin TSL mekanizmalarının anlaşılabilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Nambi vd., 1974; Matthews vd., 1982; Morgan vd., 1989; Lapraz vd., 1996; Gerome vd., 1999; Bhatt vd., 2006). Gerçekleştirilen bu çalışmalar sonucunda, bu malzemenin TSL mekanizmasının doğasını açıklayabilmek için birçok model ifade edilse de gerçekte bu modellerin hiçbiri tam anlamıyla bunu gerçekleştirememiştir (McKeever, 1985; McKeever vd., 1995; Townsend vd., 1999). Sonuç olarak bu ifadelerden de anlaşılacağı üzere, nadir toprak iyonları gibi çeşitli iyonlarla katkılanmış olan kalsiyum sülfat malzemelerinin çevresel ve kişisel dozimetreler olarak radyasyon doz ölçüm aracı olarak kullanımlarının uygun olduğu tespit edilmiştir.

Lüminesans alanında yüksek TSL ve Optiksel uyatımlı lüminesans (OSL) verimliliğe sahip silikat tabanlı yeni malzemelerin üretilmesi ve geliştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda, özellikle Tb katkılı silikat tabanlı ve benzeri malzemelerin yüksek TSL ve OSL duyarlılığına, geniş bir doz aralığına, düşük sönmüleme miktarına, TLD100 (LiF:Mg,Ti) dozimetrelerine göre yüksek hassasiyet özelliğine ve kimyasal kararlılığa sahip oldukları belirlenmiştir (Hashizume vd., 1971; Nakajima., 1972; Toryu vd., 1973, Bhasin vd., 1976; Konnai, 2005; Mittani vd., 2008; Prokic vd., 2008; Gökçe vd., 2009, Oğuz., 2009). Bu özelliklerinden dolayı dolayı silikat tabanlı dozimetrik malzemeler, medikal uygulama alanlarında farklı radyasyon kaynakları ile gerçekleştirilen çalışmalarda radyasyondan korunma amaçlı, uzay araştırmalarındaki radyasyon dozu ölçümleri, çeşitli tarihlendirme laboratuvarlarındaki kalibrasyon işlemleri gibi doz ölçümü gerektiren benzer işlemlerde ve çevresel radyasyon doz ölçümü, karanlıkta aydınlatma ve trafik sinyalleri gibi birçok farklı alanda 1970 'li yıllardan beri kullanılmaktadırlar (Maruyama vd., 1991; Göksu vd., 1995; Yoshikazu vd., 1996; Yasuda vd., 2000; Miyoshi vd., 2004; Wang vd., 2007; Markazzo vd., 2009; Molina vd., 2010;

Tawara vd., 2011). Sonuç olarak silikat tabanlı malzemelerin, çevresel, uzay ve kişisel dozimetre alanlarında radyasyon doz ölçümü aracı olarak yaygın olarak kullanımlarının son yıllarda tercih edildiği anlaşılmaktadır.

Kalsiyum karbonat bileşiği, doğada bolca bulunmalarının yanı sıra çok ilginç özelliklere ve oldukça kararlı bir yapıya sahip olmalarından dolayı, dolgu malzemesi olarak plastik ve kauçuk, kağıt, yapıştırıcı, boya endüstrisi, yiyecek ve bahçecilik gibi benzeri alanlarda çok fazla kullanılırlar (Cheng vd., 2014). Özellikle son on yıl içerisinde, nadir toprak iyonları katkılanmış kalsiyum karbonat bileşiklerin geliştirilmesi ve lüminesans özelliklerinin teorik ve deneysel olarak araştırılması amacıyla birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda, bu malzemelerin özellikle sahteciliğe karşı kullanılan teknolojiler gibi değişik bir çok alanda kullanımlarının uygun olduğu ifade edilmiştir (Pan vd., 2003; Liu vd., 2008; Kang vd., 2009, 2010; Nara ve Adachi, 2013; Cheng vd., 2014; Schmid ve Dariz, 2014; Cheng vd., 2015, Sun vd., 2015). Farklı iyon katkılı kalsiyum karbonat bileşikleriyle gerçekleştirilen bu çalışmalar bu bileşiklerden TSL malzemesi yapılması yönünde yeni çalışmalar gerçekleştirilebileceği düşüncesini doğurmuştur.

Bu doktora tez çalışması için gerçekleştirilen deneysel ve teorik çalışmalar hakkındaki bilgiler, detaylı olarak 5. Bölüm de anlatılmıştır.

Birinci bölümde (Giriş), yeni üretilmiş olan Cu katkılı CaSiO_4 , Tm katkılı CaCO_3 , %1 ve %3 Mn katkılı CaB_4O_7 ve Cu ve Tm katkılı CaSO_4 dozimetrik malzemelerinin dozimetrik çalışmalarda kullanılabilirliklerinin araştırılması hakkında bilgiler verilmektedir.

İkinci bölümde (Genel Bilgiler), lüminesansın tarihçesi, lüminesansın tanımı ve çeşitleri, lüminesans olayının fiziksel mekanizması, termal uyartımlı lüminesans (TSL) olayı, TSL olayının fiziksel mekanizması ve matematiksel ifadesi, radyölüminesans olayı (RL), fotölüminesans (PL) olayı, termölüminesans dozimetrelerin (TLD) kullanımı ve avantajları, TLD 'lerin dozimetrik özellikleri hakkında bilgiler verilmektedir.

Üçüncü bölümde (Materyal ve Yöntem), çalışmada kullanılan Cu katkılı CaSiO_4 , Tm katkılı CaCO_3 , %1 ve %3 Mn katkılı CaB_4O_7 ve Cu ve Tm katkılı CaSO_4 dozimetrik malzemelerinin yapıları ve hazırlanışları, X-Işını kırınımı (XRD) sistemi, termal uyartımlı lüminesans dozimetre (TLD) okuyucu sistemi, fotolüminesans (PL) spektrometre sistemi, radyolüminesans (RL) spektrometre sistemi, kullanılan dozimetrik malzemeler için tavlama işlemi, beta kaynağının kalibrasyonu, dozimetrelerin TSL ışıma eğrisi yapılarının, doz cevap eğrilerinin, hassasiyetlerinin, kararlılıklarının, sönümleme miktarlarının belirlenmesi ile TSL kinetik parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla kullanılan metodlardan farklı ısıtma hızı metodu, ışıma eğrisi şekli metodu, izotermal lüminesans bozunma metodu, foton transferli lüminesans (PTTL) metodu hakkında ayrıntılı açıklamalar verilmektedir.

Dördüncü bölümde (Bulgular ve Tartışma), doktora tez çalışması için yeni üretilmiş dozimetrik malzemelerle ilgili gerçekleştirilen tüm deneysel ve teorik çalışmaların detaylı sonuçları ile bu sonuçların yorumları ve benzer diğer çalışmalar ile karşılaştırmaları verilmektedir.

Beşinci bölümde ise (Sonuç), doktora tez çalışması ile ilgili olarak gerçekleştirilen tüm çalışmaların genel bir değerlendirmesi verilmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Lüminesansın Tarihçesi

İlginç ve gizemli yönü bakımından son birkaç yüzyıldır birçok bilim insanının dikkatini çekmeyi başaran lüminesans (ışırma) olayı, keşfedilmesine kadar geçen süre boyunca, ağaç kökleri, belirli böcekler, mantarlar, balık pulları, deniz yosunları, mineraller ve benzeri canlı ya da cansız varlıklardan yayılan zayıf (soğuk) ışırma olarak tanımlanmıştır (Vij, 1998).

Latince zayıf ışık anlamına gelen lüminesans terimi literatürde ilk olarak 1888 yılında Alman fizikçi ve bilim tarihçisi Eilhardt Wiedemann tarafından, sıcaklık artışına bağılı olmaksızın meydana gelen tüm ışık yayılım olaylarını ifade etmek için kullanılmıştır.

Yapılarındaki sıcaklık artışıyla sıcaklıkları mutlak sıfırın üzerine sürekli bir şekilde çıkarılan katı ve sıvıların hemen hemen hepsi, çok küçük dalga boylu ışırma olayı gerçekleştirirler. Sonuç olarak, malzemeden göz tarafından algılanabilen ve önce kırmızı daha sonra beyaz renkteki dalga boylarında ışımlar yayınlanır. Bu durum lüminesans (soğuk ışık) olayının aksine akkorluk (sıcak ışık) olayıdır. Güneşte de sürekli meydana gelen bu akkorluk olayı, yüzyıllar boyunca meşale, kandil, gaz lambası ve tungsten filament gibi ısı ve ışık kaynağı olarak aydınlatma ve ısınma alanlarında kullanılan evrensel bir yöntem haline gelmiştir.

1900 'lü yıllara kadar lüminesans konusu ile ilgili yayınlanmış ve bu konu üzerine yazılmış doğru ya da yanlış birçok çalışma bulunmaktadır. Eski zamanlardan beri fosforlu taşlar ve ısıtılı mücevherlere etrafa yaydığı ışık nedeniyle insanlar tarafından ilgi duyulmuş, fakat bu olayın ışık yayılımı yerine ışık yansıması olayı olduğu düşüncesi kabul görmüştür (Harvey, 1957).

Termal uyartımlı lüminesans (TSL) olayı (termal uyartım ortadan kalktıktan sonra ışık yayılım olayı) genel ve yaygın bir olgu olup doğada bu olayın gerçekleşebildiği bilinen birkaç bin doğal mineral bulunmaktadır.

Hindistan, Brezilya ve İzlanda bölgelerinde yaygın olarak bulunan kalsiyum florit (CaF_2) gibi bazı doğal mineraller, tarihlendirme alanında çok verimli TSL materyaller arasındadır. TSL olayı, balıklar, kemikler, diş minesi, organik katılar, organik bileşikler, balık pullarında gözlemlenebilir. Literatürde, TSL olayının gözlemlenmesi olayının ilk kez Robert Boyle tarafından 1663 yılında elmas malzemesiyle gerçekleştirilen (karanlık bir ortamda elmasın insan vücudu üzerinde sıcaklığın etkisiyle bu olayı sergilemesi) çalışmalar sırasında gerçekleşmiş olduğu ve bu olayın parıldayan (ışılıklı) ışık olarak ifade edildiği belirtilmektedir (Horowitz, 1984). Benzer olay 1676 yılında Elsholtz tarafından feldspat malzemesi ile yapılan çalışmalar esnasında da gözlemlense de 19. yüzyılın ortalarına kadar, TSL olayı ile ilgili sistematik bir çalışma gerçekleştirilememiştir.

1852 yılında Stokes tarafından yapılan çalışmalar sonucunda yarı iletken ya da yalıtkan malzemelerin, maruz kaldıkları uyartıcı radyasyonun dalga boyundan daha büyük dalga boyuna sahip bir lüminesans ışıması elde edildiği ifade edilmiştir. Bu açıklama, lüminesans olayı için tanımlanan ilk kural olup Stokes kuralı olarak bilinir (McKeever, 1985).

Termal uyartımlı lüminesans (TSL) olayı daha sonraki yıllarda Trowbridge ve Burbank (1898) tarafından doğal malzemeler üzerine yaptıkları deneysel çalışmalar esnasında gözlemlemiş olmasına karşın, bilimsel anlamda doğal ve sentetik malzemelerle gerçekleştirilen kapsamlı TSL araştırmalar ilk olarak Widemann ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir (Horowitz, 1984). Widemann ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bu çalışmalarda, deformasyondan kaynaklanan ışıma üzerine araştırmalar yapılmış ve lüminesans mekanizmasının içindeki aktivatörlerin önemine değinilmiştir. Birçok malzeme ile yaptıkları geniş çaplı araştırmalar sonucunda, günümüzde de hala sıkça kullanılan ve lüminesans özellikleri iyi bilinen doğal florit ve $\text{CaF}_2\text{:Mn}$ malzemelerinde güçlü bir termolüminesans olayı gözlemlemişlerdir. Termal uyartımlı lüminesans alanındaki bu başarılı deneysel çalışmalar doğrultusunda, Widemann ve Schmidt'in bilimsel olarak ilk kez TSL araştırmalarını yapan kişiler olmaları gerektiği önerilmiştir (Becker, 1974).

Malzemelerin ışınlama yolu ile fosforesans olayını gerçekleştirmeleri 19. yüzyılın sonlarına doğru anlaşılmaya başlamıştır. Curie 'nin 1904 yılında gerçekleştirdiği ve doktora tezinde de bu ilişkiye yer verdiği çalışmada, radyoaktif radyum materyaline maruz kalan CaF_2 malzemesinde TSL olayının gerçekleştiğini yazmış ve bu çalışmaların sonucunda malzeme içerisinde depolanmış radyasyonun termal uyartımlı lüminesans (TSL) olayını oluşturduğunu gözlemlemiştir (Wick, 1925).

Daha sonraki yıllarda ise Lind ve Bardwell (1923) tarafından termal uyartımlı lüminesans (TSL) olayı üzerine gerçekleştirilen benzer çalışmalarda, radyum kaynağı kullanılarak çeşitli mücevher ve saydam minerallerde radyasyonun etkisi araştırılmıştır (McKeever, 1985). Daha sonra, 1925 yılında Wick tarafından karbonlar, floritler ve doğal mineraller radyum kaynağına maruz bırakılmış ve gerçekleştirilen bu deneysel çalışmalar sonucunda termal uyartımlı lüminesans olayı gözlemlenmiştir. Bu çalışmaları takiben Lyman (1935) yılında, ultraviyole radyasyona maruz bıraktığı bir fosfor malzemesinde termal uyartımlı lüminesans olayını gözlemlenmiştir (Becker, 1974).

TSL alanında daha sonraki yıllarda gerçekleştirilen detaylı çalışmalar sonucunda, 1945 yılında Randall ve Wilkins tarafından birinci dereceden kinetikleri ifade eden, 1948 yılında ise Garlick ve Gibson tarafında ikinci dereceden kinetikleri ifade eden matematiksel denklemler oluşturulmuştur (Randall ve Wilkins, 1945; McKeever, 1985). Bu denklemler yardımıyla 1950'lerin başında termolüminesansın kullanımı artmıştır. Gerçekleştirilen tüm bu deneysel çalışmalara rağmen, TSL olayının mekanizmasının anlaşılabilmesi için tuzak parametrelerinin ölçülmesi gerektiği düşünülmüş ve bu ölçüm ilk olarak 1950'lerde Farrington Daniels ve araştırma grubu tarafından Amerika'da Wisconsin üniversitesinde yapılmıştır.

1953 yılında, Daniels ve arkadaşları radyasyon dozimetresi ve jeolojik yaş tayini için lüminesans metodunun uygun bir yöntem olabileceği ile ilgili bir makale yayınlamışlardır. Daniels 'in TSL olayında ilgisini çeken ilk araştırması, TSL olayını gerçekleştiren minerallerin radyoaktif olduğu gerçeği ile ilgili olup daha sonra bu araştırması uranyum zenginleştirmesi için yeni bir yöntemin

geliştirilmesine imkân sunmuştur. TSL alanında gerçekleştirilen bu çalışmalara ek olarak, tedavi amaçlı iyot (I-131) enjekte edilmiş bir kanser hastasına yerleştirilmiş bir LiF ile radyasyon dozimetresinin uygulama alanında ölçümler yapılmıştır. Bununla birlikte 1952 yılında, atom bombası patlaması esnasında birkaç bin Röntgen (R) 'lik radyasyon dozuna maruz bırakılan LiF çipleri ile radyasyon doz ölçümü yapılmıştır. Daniels, TLD olarak pellet şeklinde hazırlanmış malzemeler ve bu malzemeleri okuyan bir sistem kullanarak atom bombası patlaması sonrası doz ölçümlerini görüntülemeyi başarmıştır. Daniels tarafından bu çalışmada kullanılan malzemeler, karanlık ve sıcaklıktan etkilenmeyecek bir ortamda tutulmuşlardır. Karmaşık bir yapıya sahip olan fotoçoğaltıcı sisteminin geliştirilmesinden sonra LiF malzemeler kullanılarak birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalar ile iyonlaştırıcı radyasyonun daha net ve hızlı bir şekilde anlaşılır olması sağlanmıştır. TSL alanında radyasyon dozimetresi olarak ilk girişim LiF üzerine olsa da, diğer bir dozimetrik teşebbüs Al_2O_3 ve $CaSO_4:Mn$ malzemeleriyle olmuştur. Fakat bunların yetersiz TSL verimlilikleri ve sığ tuzak derinliklerine ve sinyal yetersizliğine sahip olmalarından dolayı kullanılmalarından vazgeçilmiştir. Daha sonraki yıllarda ise, TSL yönteminin personel dozimetresi alanında kullanımı $CaF_2:Mn$ dozimetrelerinin (yüksek verim ve kararlı tuzak merkezlerinin basit dağılımı) geliştirilmesiyle yeni bir ivme kazanmıştır. $CaF_2:Mn$ dozimetresinin geliştirilmesine paralel olarak Cameron ve arkadaşlarının çalışmalarını takiben LiF malzemesi üzerine ilginç gelişmeler olmuştur (Horowitz, 1984). Bu çalışmaları takiben lüminesans yönteminin kullanım alanlarının artması sonucunda, son 30 yıldır bir çok bilim insanı değişik alanlarda kullanılmak üzere daha verimli dozimetrik malzemelerin geliştirilmesi üzerine bir çok çalışma gerçekleştirmişlerdir (McKeever, 1985; McKeever vd., 1995; Pagonis vd., 2005)

Dozimetrik malzeme olarak sentezlenmiş yarı iletken ya da yalıtkan malzemeler, uygun kullanım alanlarında göre kişisel, çevresel, yüksek doz ve uzay dozimetresi olarak değişik katagorilerde sınıflandırılmışlardır. Radyasyon alanlarında çalışan kişilerin maruz kaldıkları radyasyon doz miktarları, kişisel dozimetreler ile belirlenmektedir. Böylece, bu alanlarında çalışan kişilerin maruz kaldıkları radyasyon dozu miktarının belirli bir limitte kalması sağlanmaktadır. Yaş tayini ve çevresel radyasyon dozu tayini gibi benzer alanlarda ise, çevresel

dozimetre ile farklı ışıma teknikleri kullanılması sonucunda radyasyon doz ölçümleri gerçekleştirilmektedir.

Bunların yanı sıra, radyoterapi alanında tedavi amaçlı kullanılan radyasyon dozu miktarının belirli limitlerde kalmasının sağlanması amacıyla, farklı ışıma tekniklerinden yararlanılarak TLD 'ler kullanılmaktadır. Sonuç olarak, günümüzde çevre ve insan radyasyon güvenliğinin sağlanması ve farklı radyasyon alanlarında çalışan personellerin kişisel doz değerlerinin tespit edilip belirli bir limite kalmasının sağlanması amacıyla TLD 'lerin kullanımı birçok alanda vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir.

2.2 Lüminesans ve Çeşitleri

Radyoaktif bir kaynak gibi herhangi bir uyartıcı kaynağa maruz kalan yarı iletken ya da yalıtkan katı bir malzemenin enerji soğurması sonucunda uyarılan ve kararsız hale geçen atom ya da molekülleri, kazandıkları bu enerjiyi dışarıya vererek temel hale dönmek isterler. Bu enerji salınım olayı ışık yayılması (enerjinin foton olarak dışarı verilmesi) şeklinde gerçekleşebilir. Yayımlanan bu foton kullanılan radyasyon kaynağının ve malzemenin karakteristik bir özelliği olup malzemenin örgü yapısı içerisinde gerçekleşen bu ışık yayılım olayına genel olarak lüminesans (ışıma) adı verilmiştir (McKeever, 1985).

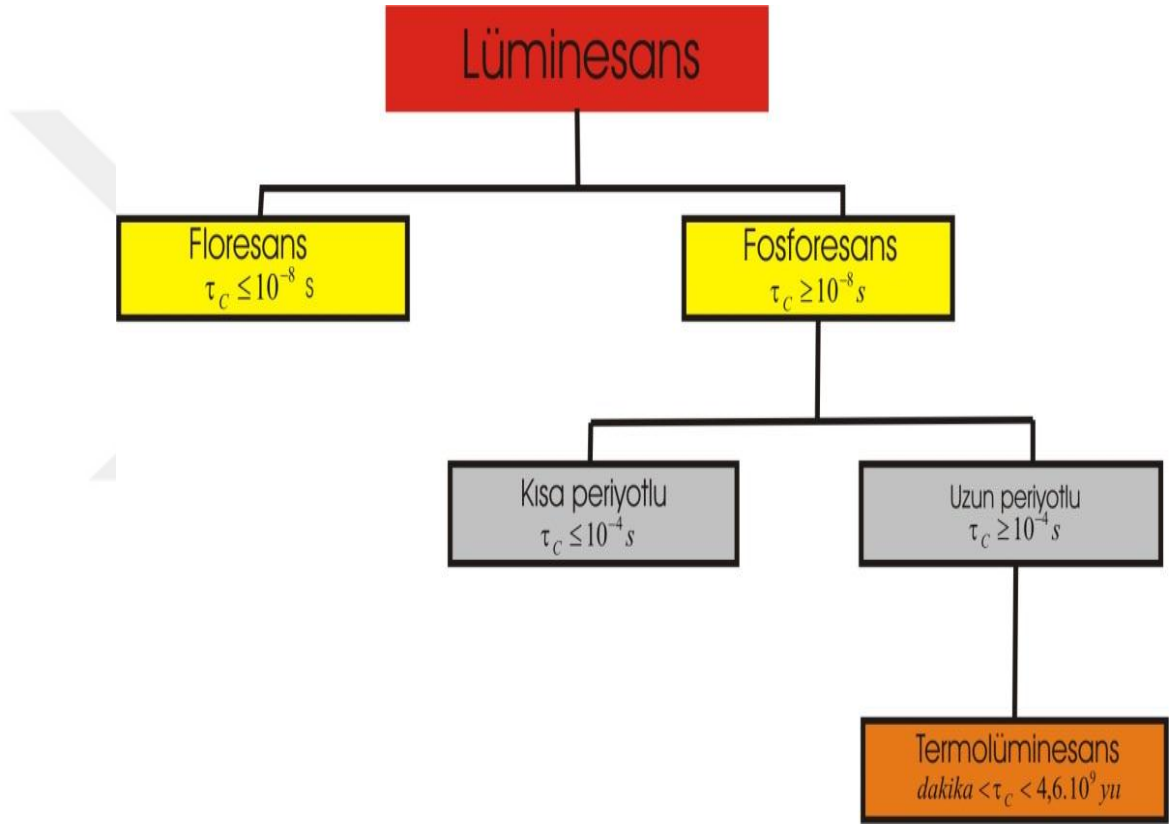
Yarı iletken ya da yalıtkan bir malzemenin maruz kaldığı radyasyon ve benzeri etkenlere göre lüminesans olayı aşağıdaki gibi değişik isimler alır;

- Termal uyartımlı lüminesans (Thermally Stimulated Luminescence): Herhangi bir radyasyon kaynağına maruz kalmış yalıtkan ya da yarı iletken bir malzemenin ısı yoluyla uyartılması sonucunda ışık yayması olayıdır.

- Fotolüminesans (Photoluminescence): Yarı iletken ya da yalıtkan bir malzemenin UV, IR ve görünür bölgedeki ışık ile uyartılması sırasında meydana gelen ışık yayım olayıdır.
- Radyolüminesans (Radioluminescence): Malzemelerin X-ışınları, beta ışınları ve gama ışınları ile uyartılması sırasında ışık yaymaları olayıdır.
- Optiksel uyartımlı lüminesans (Optically Stimulated Luminescence): Yalıtkan ya da yarı iletken malzemelerin herhangi bir radyasyon kaynağına maruz kalmasından sonra görünür bölgedeki herhangi bir ışık kaynağı ile uyartılması sonucunda gerçekleşen bir olaydır.
- Biyolüminesans (Bioluminescence): Canlı bir organizmada kimyasal bir reaksiyon esnasında meydana gelen ışık yayım olayıdır.
- Kimyasal lüminesans (Chemiluminescence): Kimyasal reaksiyon esnasında yayımlanan ışık olayıdır.
- Elektrolüminesans (Electroluminescence): Malzemelerin elektrik alan kullanılarak uyartılması esnasında meydana gelen ışık yayım olayıdır.
- Lyolüminesans (Lyoluminescence): Çözelti formundaki malzemelerin içerisinde gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda malzemelerin uyartılması ile oluşan ışık yayım olayıdır.
- Sürtünmeyle lüminesans (Triboluminescence): Yarı iletken ya da yalıtkan bir malzemenin üzerindeki sürtünme yolu ile uyartılması sonucunda meydana gelen ışık yayım olayıdır.
- Katodolüminesans (Cathodoluminescence): Malzemelerin yüksek enerjili elektronlar kullanılarak uyartılması sırasında gerçekleşen bir olaydır.

2.3 Lüminesans Olayının Fiziksel Mekanizması

Herhangi bir radyasyon kaynağına maruz bırakılan yarı iletken ya da yalıtkan bir katı maddenin enerji soğurması sonucunda, malzemeden ışık salınım olayının gerçekleşebilmesi için τ_c gibi karakteristik bir zamanın geçmesi gerekir. Sonuç olarak, sistem içerisinde ışık salınım olayının meydana gelebilmesi için gerekli olan bu karakteristik zamana göre hangi tür lüminesans olayının gerçekleştiğini ifade edebiliriz (McKeever, 1985) (Şekil 2.1).

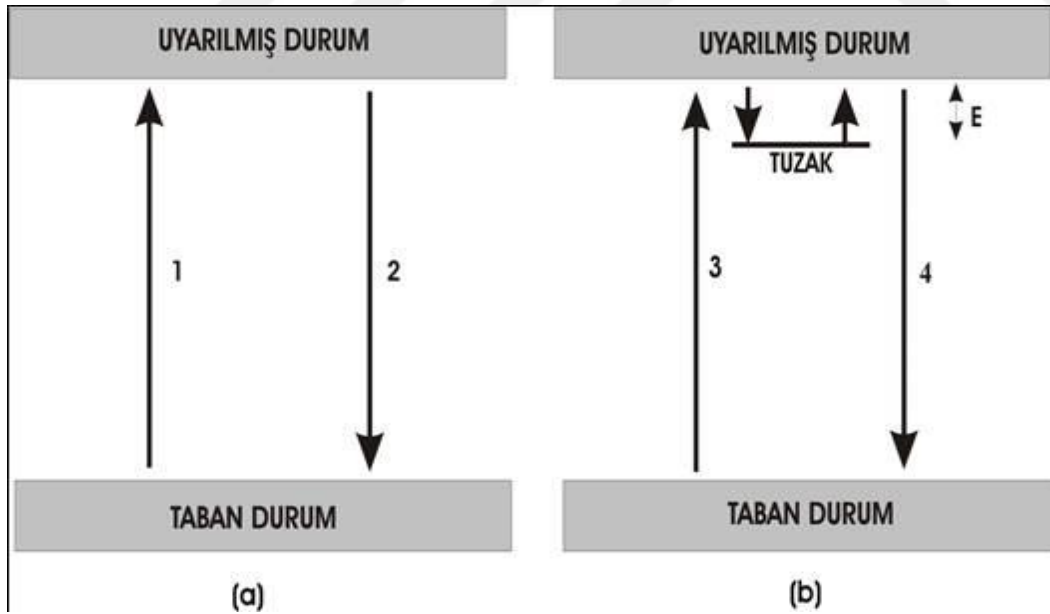


Şekil 2.1 Karakteristik τ_c zamanına göre lüminesans olayının adlandırılması (McKeever, 1985).

Radyasyon kaynağına maruz kalan yarı iletken ve yalıtkan katı bir malzemenin uyartımı sonucunda örgü yapısı içerisinde foton yayılım olayı olarak isimlendirilen lüminesans olayının oluşumu, ısınlanma olayı sonucunda kristalin uyartılmış durumdaki elektronlarının taban duruma (karalı hale) geçerken sahip oldukları fazla enerjiyi foton olarak transfer etmeleri şeklinde açıklanabilir (McKeever, 1985). Lüminesans olayını, oluşması için geçen süreye göre floresans

ve fosforesans olarak iki ana başlık altında isimlendirebiliriz. Yarı iletken ya da yalıtkan bir kristalin radyasyon kaynağına maruz bırakılmasından sonra, taban durumundaki (değerlik bandındaki) bir elektronu Şekil 2.2 'de gösterildiği gibi uyarılmış duruma (iletkenlik bandı) geçer (1.Geçiş). Daha sonra, iletkenlik bandında (uyarılmış durumda) bulunan bu elektron tekrar taban duruma (karalı durum) geçebilir ve bu esnada sistemden lüminesans fotonunun yayılım olayı gerçekleşebilir (2.Geçiş). Sonuç olarak, bu geçişler arasındaki gecikme eğer 10^{-8} saniyeden daha az ise bu olay floresans olarak isimlendirilir ve malzemenin sıcaklığından bağımsızdır (Şekil 2.2-a).

Bunun yanı sıra, taban durum ve uyarılmış durum arasında bulunan yasak bant olarak ifade edilen bölge içindeki yarı kararlı bir seviyenin (tuzak) varlığıyla tanımlanmış başka bir modelleme ile sıcaklığa bağlı olan fosforesans olayının ilk açıklaması 1935 yılında Jablonski tarafından yapılmış olup bu modelleme Şekil 2.2-b de gösterilmiştir (McKeever, 1985).

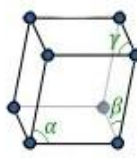
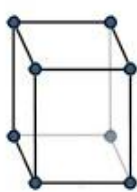
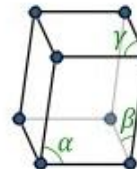
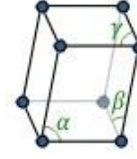


Şekil 2.2 Floresans (a) ve fosforesans (b) olayının basit bir gösterimi.

Bu modellemeye göre, radyasyon kaynağına maruz bırakılan yalıtkan ya da yarı iletken bir malzemenin değerlik bandında (taban durum) bulunan bir elektronun uyarılması sonucunda iletkenlik bandına (uyarılmış durum) geçebilir. Daha sonra, uyarılmış durumda bulunan bu elektron yasak bant aralığı içerisinde bulunan yarı kararlı bir seviye tarafından tuzaklanabilir. Yarı kararlı seviye tarafından tuzaklanmış olan bu elektronu tuzaktan kurtarıp tekrar taban duruma dönmesini sağlamak için, tuzak derinliğini ifade eden (E) kadar bir enerjinin (minimum enerjinin) elektrona verilmesi gerekir. Şekil 2.2-b 'de gösterildiği gibi tuzaklanmış durumda olan bu elektrona aktivasyon enerjisinin ısı kaynağı gibi uyartıcı bir kaynak ile verilmesinden sonra, elektron önce iletkenlik bandına (uyarılmış durum) daha sonra da taban duruma dönebilir. Elektronun uyarılmış durumdan kararlı duruma (taban durum) geçişi esnasında yayımlanan ışık (foton) salınım olayı kısaca fosforesans olarak isimlendirilir. Bu ifadelerde açıklanan lüminesans çeşitlerini gerçekleştirebilen malzemelere genel olarak lüminesans ya da fosfor malzemeler denir.

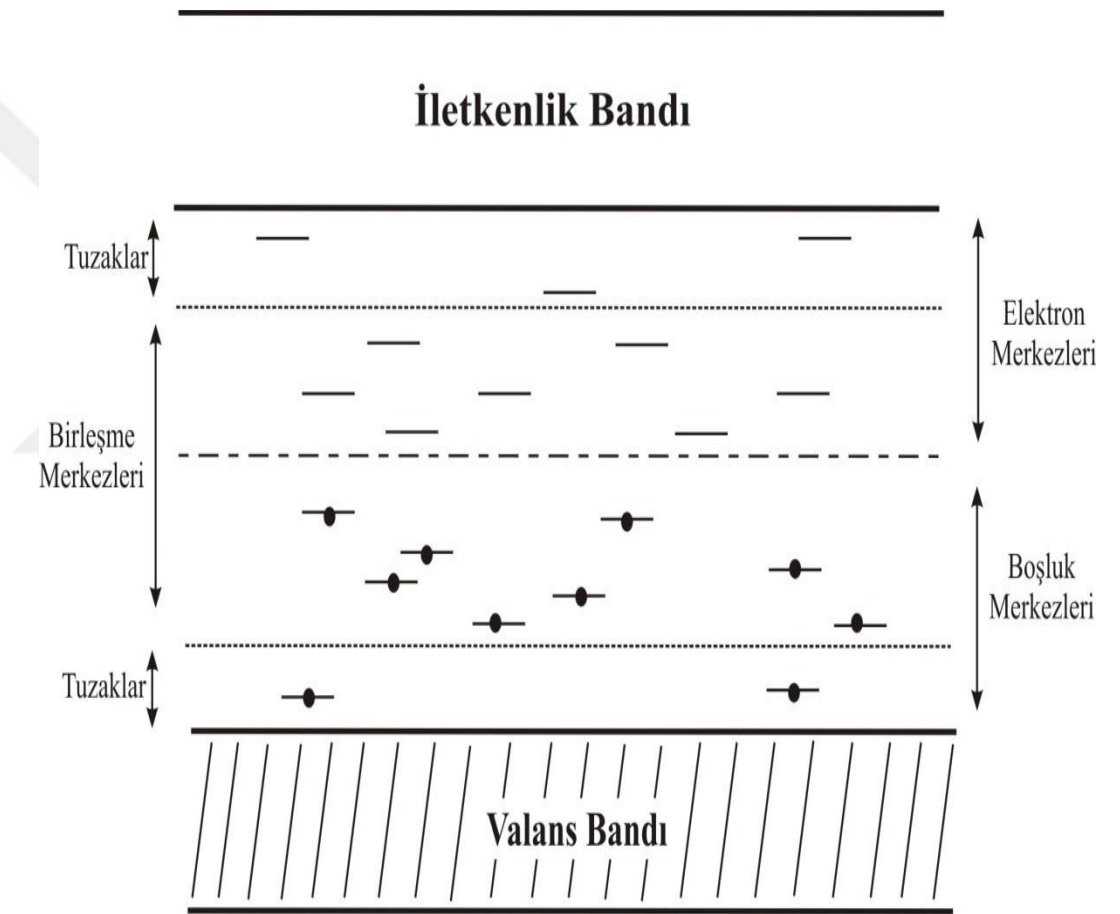
2.4 Kristal Kusurları

Kristal yapıya sahip bir katı malzeme, atom veya moleküllerinin pozisyonları birim hücre parametreleri (kafes parametreleri) tarafından belirlenen sabit bir mesafede periyodik bir şekilde üç boyutlu bir yapı oluşturacak şekilde sıralanmasıyla oluşur. Bu kristaller doğada Bravais kafes yapısı olarak isimlendirilen 7 farklı düzende dizilirler (Şekil 2.3). Bununla birlikte, bu atom ya da moleküllerin periyodik şekilde üç boyutlu olarak sıralanmasıyla oluşan kristal malzemelerin mükemmel bir yapıya sahip oldukları söylenemez. Bunun nedeni, düzenli desenlerden oluşan üç boyutlu bu yapının kristalografik kusurlar tarafından engellenmesidir. (Crawford ve Slifkin, 1975; Siegel, 1982; Ehrhart, 1991; Watkins, 1997).

	Temel yapılar	Hacim merkezli yapılar	Yüzey merkezli yapılar	Taban merkezli yapılar
Kübik				
Hegzagonal (altıgen)				
Rombohedral				
Tetragonal				
Ortorombik				
Monoklinik				
Triklirik				

Şekil 2.3 Bravais kafes yapıları.

Kusursuz olarak tanımlanabilecek ideal bir kristal, yalnızca mutlak sıfır sıcaklığında bulunabilir ve mutlak sıfır sıcaklığında denge durumundaki yarı iletken ya da yalıtkan bir malzemenin enerji seviyeleri Şekil 2.4 'deki gibi tanımlanmıştır (McKeever, 1985). Mutlak sıfırın dışındaki tüm sıcaklıklarda ise, kristal yapı içerisinde ısı, elektronik ya da atomik kusurlar mevcuttur ve bu kusurların şekli, boyutu ve miktarları ne olursa olsun kristal bir katının tümü üzerinde büyük bir etkiye neden olurlar.



Şekil 2.4 Mutlak sıfır sıcaklığında denge durumunda bulunan yalıtkan ya da yarı iletken bir malzemenin enerji seviyeleri.

Denge durumunda olan bir atomun kendi etrafındaki titreşimlerini ısı kusurları belirler. Kristal içerisindeki ısı değişiminden dolayı meydana gelen

yerdeğiştirme fonon adı verilen dalgalar şeklinde olur. Kristal içerisindeki atomların titreşimleri yani bulundukları denge durumundaki sapmaları sonucunda, kristalin sıcaklığında dolayısıyla termal titreşimlerde bir artış meydana gelir. Kristal yapıya sahip bir malzemenin sahip olduğu ısı kusurları manyetik ve elektrik özellikleri etkilerler. Kristal bir yapıdaki malzemenin sahip olduğu elektron ve boşluklardan dolayı oluşan kusura elektronik kusur denir ve bu kusurlar özellikle yarı iletken malzemelerin yapısal özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesinde etkin bir rol oynarlar. Kristal bir malzemenin sahip olduğu elektronların uyartılarak yüksek bir enerji durumuna geçmeleri sonucunda eksiton adı verilen boşluklar meydana gelir (McKeever, 1985). Bunların yanı sıra, atomik boyutta ki kusurlar ise örgüsel ve kimyasal olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Kristal bir malzemenin sahip olduğu örgüsel kusurlar ise;

1. Noktasal kusurlar
2. Çizgisel kusurlar
3. Düzlemsel kusurlar
4. Hacimsel kusurlar

olmak üzere dörde ayrılır.

2.4.1 Noktasal Kusurlar

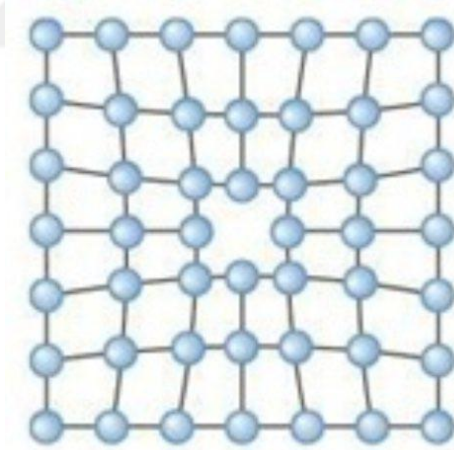
Noktasal kusurlar, kristal bir yapının tek bir örgü noktası üzerinde ya da etrafında oluşur. Kristal bir yapıya sahip bir malzemenin örgü yapısı içerisinde oluşan bu kusurların boyutunun sınırları tam anlamıyla tanımlanamazsa da bu kusur, malzemenin sahip olduğu atomların örgü yapısı içerisinde bulunması gereken yerde olmayışı ya da birden fazla atomun aynı yerde bulunmasından dolayı oluşur. Düzenli bir kristal yapı içerisindeki daha büyük kusurlara ise dislokasyon (kayma) denir. Bunlara ek olarak, daha önceki bilimsel çalışmalar incelendiğinde, özellikle iyonik kristallerde olmak üzere birçok noktasal kusur, merkezler olarak isimlendirilirler. Bu merkezlere örnek vermek gerekirse, birçok iyonik kristal yapıdaki katı bir malzemenin sahip olduğu boşluklar lüminesans

merkezi, renk merkezi ya da F merkezleri olarak isimlendirilirler (McKeever, 1985). Noktasal kusurlar 6 ana başlık altında isimlendirilirler;

1. Atomsal boşluk (vacancy) kusuru
2. Arayer (interstitial) atom kusuru
3. Küçük yeralan (substitutional) atom kusuru
4. Büyük yeralan atom kusuru
5. Frenkel kusuru
6. Schottky kusuru

2.4.1.1. Atomsal Boşluk (Vacancy) Kusuru

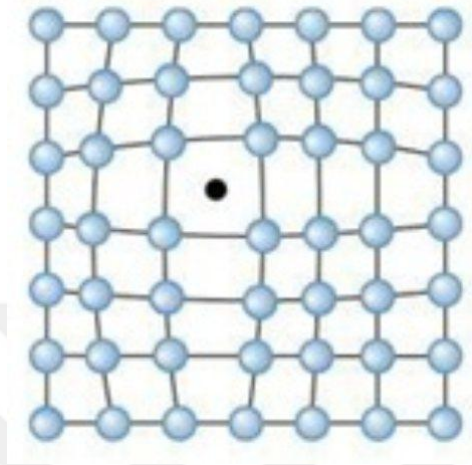
Kristal yapıdaki bir malzemenin örgü yapısı içerisinde, bir atomun olması gereken yerde olmayışından kaynaklanan bir kusurdur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Kristal yapıya sahip bir malzenin örgüsündeki atomsal boşluk (vacancy) kusuru.

2.4.1.2. Arayer Atom (Interstitial) Kusuru

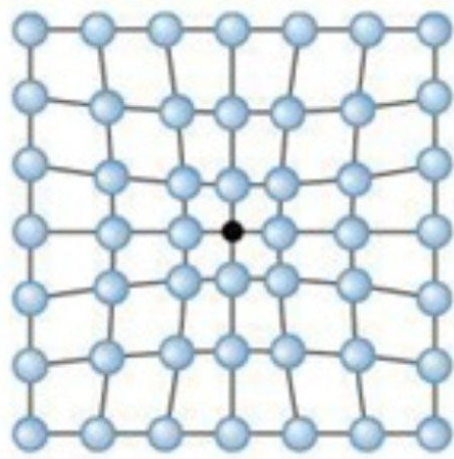
Kristal yapıdaki bir malzemenin örgü yapısı içerisindeki bir atomun olması gereken yerde birden fazla sayıda atomun bulunması nedeniyle oluşan bir kusurdur (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Kristal yapıya sahip bir malzenin örgüsündeki, arayer atom (interstitial) kusuru.

2.4.1.3. Küçük Yeralan (Substitutional) Atom Kusuru

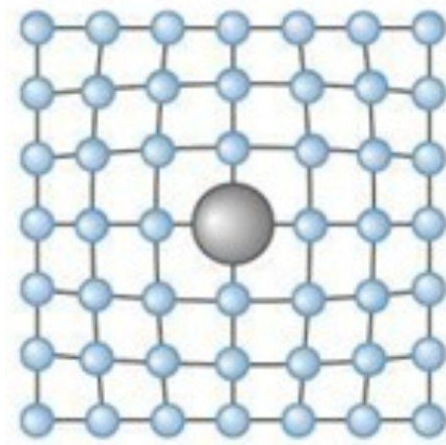
Kristal yapıdaki bir malzemenin düzenli örgü yapısı içerisinde boyut olarak diğer atomlardan küçük bir atomun örgün noktalarında yer alması nedeniyle oluşan bir kusurdur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kristal yapıya sahip bir malzenin örgüsündeki küçük yeralan (substitutional) atom kusuru.

2.4.1.4.Büyük Yeralan Atom Kusuru

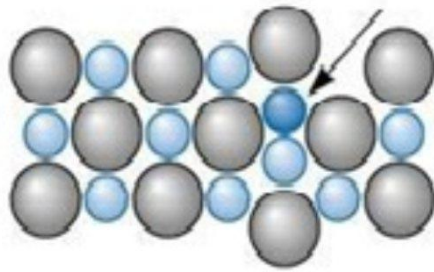
Kristal yapıdaki bir malzemenin düzenli örgü yapısı içerisinde boyut olarak diğer atomlardan büyük bir atomun örgü noktalarında yer alması nedeniyle oluşan bir kusurdur (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Kristal yapıya sahip bir malzenin örgüsündeki büyük yeralan atom kusuru.

2.4.1.5. Frenkel Kusuru

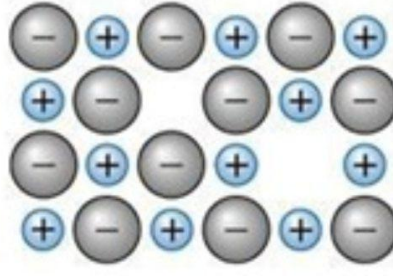
İyonik bağa sahip kristal bir malzemenin kararlı bir yapıya sahip olabilmesi için elektriksel yükünün sıfır olması gerekir. İyonik bağa sahip bir malzemenin örgü yapısında bulunması gereken (+) ya da (-) yüklü iyonlardan biri yerinde boşluk oluşmuş ve bu yük boşluğuna neden olan iyon kafes içerisinde yer değiştirmiş yani kafes konumundan bir arayer konumuna atlamış olabilir. Böylece, malzemenin kristal yapısı içerisinde boşluk ile arayer kusuru aynı anda oluşmuş olur. Oluşan bu duruma Frenkel kusuru adı verilir (Şekil 2.9) (Dikicioğlu, 2015).



Şekil 2.9 Kristal yapıya sahip bir malzenin örgüsündeki Frenkel kusuru.

2.4.1.6. Schottky Kusuru

Bir malzemenin kristal yapısı içerisinde, bir iyonun bulunması gereken yerde bir boşluk oluşmuş ise yük dengesizliğinin ortadan kalkması için diğer zıt yüklü iyon pozisyonlarında da boşluk oluşmuş olabilir. İyonik bir kristal malzemenin örgü yapısı içerisindeki zıt elektriksel yüke sahip iki iyonun, malzemenin kristal kafesinde olması beklenen yerde bulunmaması nedeniyle oluşan bu kusura Schottky kusuru denir. Sonuç olarak, böyle bir kusur bulunduran kristal yapı içerisinde elektriksel nötrlük korunmuş olur (Şekil 2.10) (Dikicioğlu, 2015).



Şekil 2.10 Kristal yapıya sahip bir malzenin örgüsündeki Schottky kusuru.

Yarı iletken ya da yalıtkan katı bir malzeme iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldığında, taban durumunda bulunan bir elektron uyarılmış bir enerji seviyesine çıkar. Daha sonra bu elektron tekrar taban düzeyine geri dönerken, kristal katı içerisindeki yukarıda anlatılan örgü kusurları tarafından tuzaklanabilirler. Kristallerin örgü yapıları içerisinde tuzaklanmış halde bulunan bu elektronun, tuzaktan kurtulması için tuzak derinliği olarak da ifade edilen aktivasyon enerjisinin elektrona aktarılması gerekir. Aktivasyon enerjisinin elektrona aktarılması sonucunda, elektron tuzaktan kurtulur ve elektron bir boşlukla birleştiğinde ise lüminesans olayı meydana gelir.

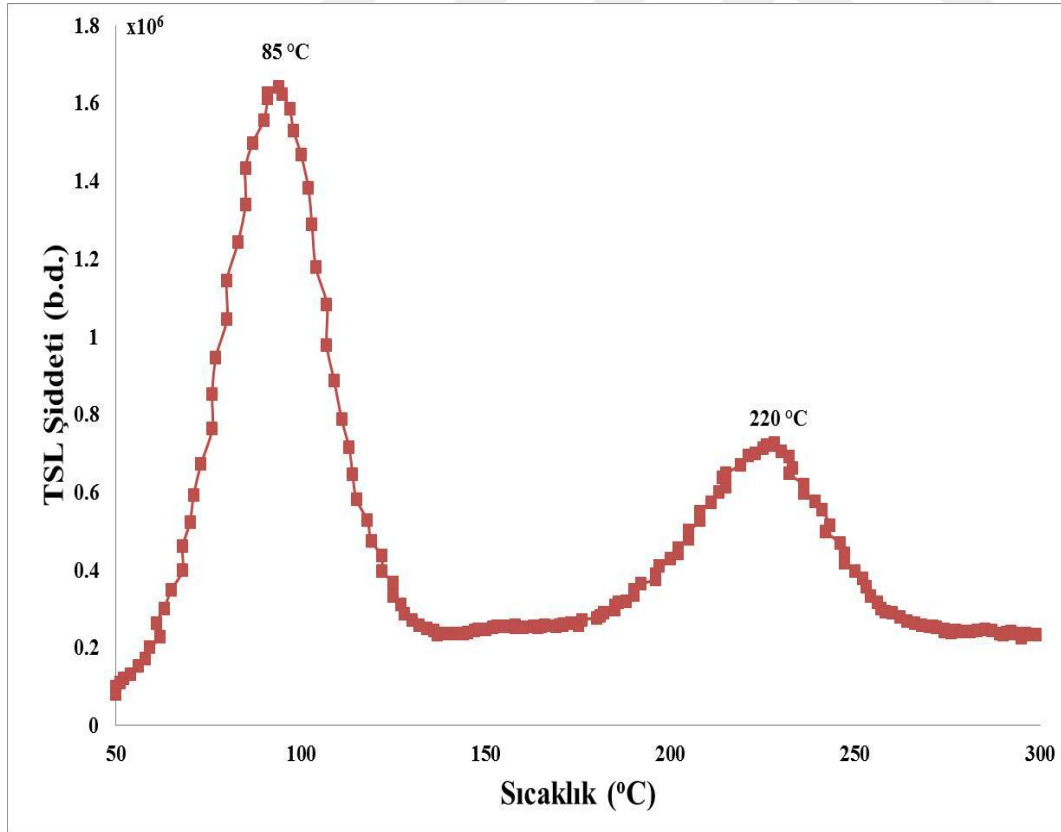
Bu tür malzemelerin örgü yapısı içerisinde lüminesans olayına neden olabilecek olası merkezler ise;

- Nadir toprak elementleri ($\text{Sm}^{+2,+3}$, Dy^{+3} , Tm^{+3} vb.)
- Geçiş metali iyonları (Cr^{+3} , Mn^{+2} , Fe^{+3} vb.)
- Ağır metaller (Pb^{+2} , Tl^{+1} , vb.)
- Dislokasyonlar
- Elektron boşluk merkezleri

Şeklinde ifade edilebilir (Kibar, 2007).

2.5 Termal Uyarımlı Lüminesans (TSL) Olayı

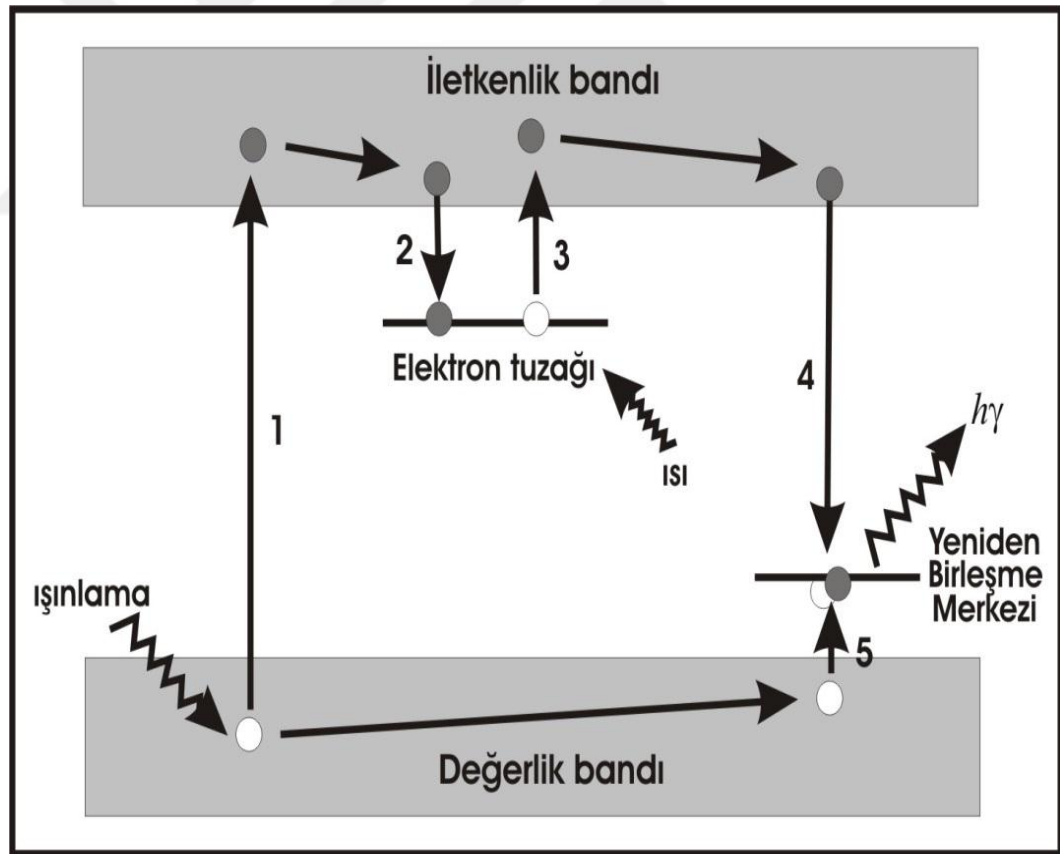
Radyasyona maruz kalan yarı iletken ya da yalıtkan katı bir maddenin enerji soğurmasıyla kararlı durumda bulunan elektronlarının uyartılması sonucunda yasak bant aralığında bulunan yarı kararlı seviyelerde tuzaklanan elektronlarının tuzaktan kurtulmaları için, tuzak derinliği olarak da ifade edilen aktivasyon enerjisi (E) kadar bir enerjinin bu elektronlara verilmesi gerekir. Bu enerji sabit bir ısıtma hızı ile ısı enerjisi olarak yarı iletken veya yalıtkan bir maddeye aktarıldığında, malzemenin tuzaklarında tuzaklanmış elektronlarının tuzaklardan kurtulup taban seviyeye dönmeleri esnasında sistemden ışık yayılım (lüminesans) olayı gözlemlenir ve bu olaya genel olarak termal uyarımlı lüminesans denir. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak bu ışık yayılım olayı sonucunda elde edilen eğriye termal uyarımlı lüminesans (TSL) ışıma eğrisi denir. Şekil 2.11 'de %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesine ait sıcaklığa bağlı TSL ışıma eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 2.11 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin 10 dakika (2,82 Gy) beta kaynağı ile ışınlanmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrisi.

2.6 Termal Uyarımlı Lüminesans (TSL) Olayının Fiziksel Mekanizması ve Matematiksel İfadesi

Yalıtkan ya da yarı iletken bir katı malzemenin örgü yapısı içerisinde gerçekleşen lüminesans olayına neden olan olgular tam anlamıyla hala açıklanamamış olmasına rağmen, lüminesans olayını malzemenin enerji seviyeleri modeli ile basit bir şekilde açıklayabiliriz. Yalıtkan ya da yarı iletken bir malzemenin enerji modeline göre, malzemenin kristal yapısı tamamen dolu olan değerlik (valans) bandı ve tamamen boş durumu ifade eden iletkenlik bandı ile bu bantların arasında yapı kusurları ve safsızlıkları da içerebilen yasak band adı verilen üç bölgeden oluşur (Vandenbergh, 2003).



Şekil 2.12 TSL olayının fiziksel yapısını gösteren basitleştirilmiş enerji bant modeli (McKeever, 1985).

Şekil 2.12 'de gösterilmiş olan enerji seviyeleri modeline göre, iyonize radyasyona maruz kalan yalıtkan ya da yarı iletken maddelerin enerji soğurması sonucunda valans bandında bulunan elektronlarının uyarılmasıyla iletkenlik bandında serbest elektronlar ve valans bandında ise serbest boşluklar oluşur. Bununla birlikte, bu esnada bu tür malzemeler daha fazla iletken olur (1.Geçiş). Daha sonra, yeniden birleşme olayının gerçekleşebilmesi için, öncelikle boşlukların yeniden birleşme merkezlerinde tuzaklanmaları gerekir (5.Geçiş). 1.Geçiş ile anlatılan olaylardan sonra, iletkenlik bandında serbest halde hareket eden elektronlar yasak band aralığında bulunan yarı kararlı seviyelerdeki tuzaklar tarafından tuzaklanabilirler (2.Geçiş). Yasak band aralığında bulunan yarı kararlı bir seviyedeki tuzak içerisinde tuzaklanmış olan bir elektron ise, tuzaktan kurtulması için gerekli olan ve aktivasyon enerjisi (tuzak derinliği) olarak daha öncede ifade edilen E kadar bir enerjiyi alıncaya kadar tuzak içerisinde depolanır ve bu depolanma süresi çok uzun yıllara tekabül edebilir. Tuzaklanmış elektronların tuzaklardan kurtulmaları için gerekli olan bu enerjiyi ısı enerjisi olarak almaları sonucunda (termal uyarılma), elektronlar iletkenlik bandında tekrar serbest hale geçebilirler (3.Geçiş) ve daha sonra yeniden birleşme merkezlerinde bulunan boşluklar ile tekrar birleşebilirler (4.Geçiş). Bu birleşme esnasında sistemden $E = h\gamma$ enerjisine sahip lüminesans fotonunun yayımlanması olayı gözlemlenir ve bu olaya genel olarak termal uyartımlı lüminesans denir.

Yukarıdaki ayrıntılarıyla açıklanan ifadelerden de anlaşılacağı üzere malzemenin yapısı içerisinde oluşan lüminesans olayının gecikmesinin nedeni, yarı kararlı seviyede tuzaklanmış olan elektronların tuzaklarda depolanma sürelerinden kaynaklanmaktadır ve bu süre Arrhenius tarafından öne sürülen denklem 2.1 'deki matematiksel ifade ile tanımlanmıştır.

$$\tau = s^{-1} \cdot \exp\left(\frac{E}{kT}\right) \quad (2.1)$$

Yarı iletken ya da yalıtkan bir malzemenin yarı kararlı enerji seviyesinde tuzaklanmış olan bir elektronun tuzaktan kurtulma olasılığı ise denklem 2.2 ile ifade edilen matematiksel ifade ile tanımlanmıştır.

$$p = \frac{1}{\tau} = s \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.2)$$

Burada,

τ = Ortalama ömür (elektronun yarı kararlı seviyedeki tuzakta geçirdiği süre)

s = Frekans faktörü (s^{-1})

E = Aktivasyon enerjisi ya da tuzak derinliği (eV)

k = Boltzmann sabiti ($eV K^{-1}$)

T = Fosforesans olayının gerçekleştiği mutlak sıcaklık (K)

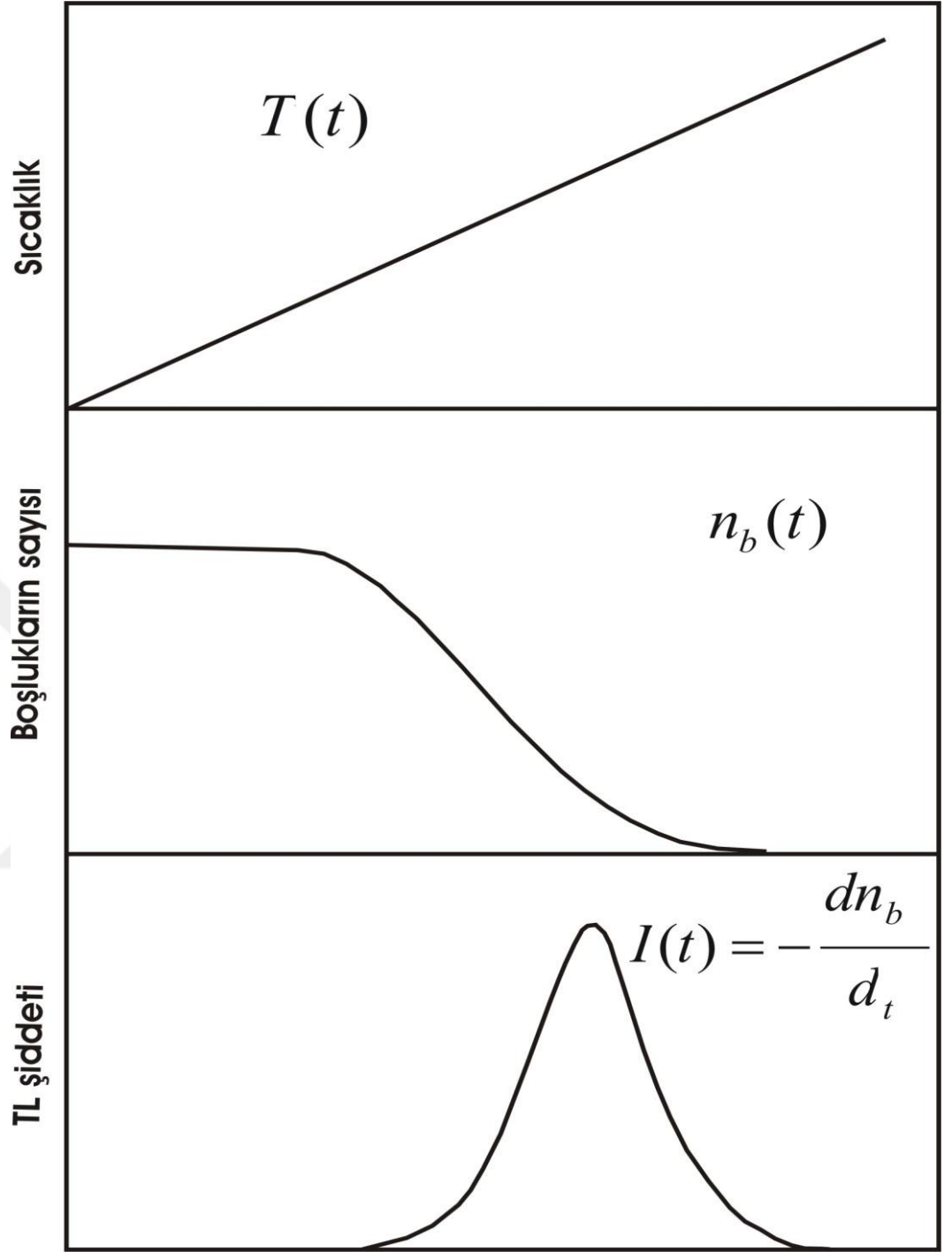
Enerji seviyeleri modeline göre serbest elektronlar ve boşluklar çiftler halinde oluşup çiftler halinde yok olduğundan dolayı, iyonize radyasyona maruz bırakılan bir katı maddenin yeniden birleşme merkezindeki boşluklarının sayısı serbest halde ya da yasak band aralığındaki yarı kararlı enerji seviyelerindeki tuzaklarda tuzaklanmış durumda olan elektronlarının sayısı ile aynı olmak zorundadır. Denge halini temsil eden Fermi seviyesi tuzaklanmış elektronların tuzaklanmış olduğu yarı kararlı enerji seviyesinin altında ve yeniden birleşme merkezinde bulunan boşlukların enerji seviyesinin üzerinde bulunur. Yarı iletken ya da yalıtkan katıların yasak band aralığındaki yarı kararlı enerji seviyelerinde

tuzaklanmış elektronlarının ve boşluklarının varlığı, bu malzemeler için dengesiz bir durumu ifade eder.

Yarı iletken ya da yalıtkan bir malzemenin kristal yapısı içerisinde gerçekleşen termal uyartımlı lüminesans (TSL) olayında, katı maddenin ısıtılması sırasında TSL şiddetinin zamanla değişimi, enerji seviyeleri modelinde açıklanan yeniden birleşme merkezindeki boşlukların ve elektronların tekrar birleşme hızı ile doğrudan orantılıdır (McKeever, 1985). Katı bir madde içerisinde yukarıda anlatılan olaylar sonucunda oluşan boşlukların sayısı n_b ile ifade edilirse, termal uyartımlı lüminesans (TSL) şiddetinin zamana göre değişimini veren matematiksel ifade denklem 2.3 'deki gibi olur.

$$I(t) = -\frac{dn_b}{dt} \quad (2.3)$$

TSL şiddeti $I(t)$ ile boşlukların sayısı n_b arasındaki ilişki aşağıdaki şematik gösterimden daha da iyi anlaşılabilir. Termal uyartımlı lüminesans işlemi esnasında malzemenin sıcaklığı zamanla lineer olarak artarken malzemenin yarı kararlı seviyelerindeki tuzaklarda tuzaklanmış olan elektronları bu tuzaklardan salıverilir ve tekrar birleşme merkezlerindeki tekrar birleşme olayı sonucunda boşlukların sayısında zamanla azalma meydana gelir.



Şekil 2.13 Bir TSL olayında, zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklık $T(t)$, tekrar birleşme merkezlerindeki tuzaklanmış boşlukların konsantrasyonu n_b ve TSL ışıma şiddeti $I(t)$ (Pagonis vd., 2006).

Gerçekleşen bu olayların sonucunda TSL şiddetinde artış gözlemlenir. Malzemenin tuzaklarında tuzaklanmış olan elektronlarının sayısının zamanla azalması sonucunda yeniden birleşme hızında da azalma meydana gelir ve bunun

sonucunda da TSL şiddetinde azalma meydana gelir. Bu olaylar sonucunda ise, sıcaklığa bağlı olarak karakteristik bir TSL ışıma eğrisi oluşur (Şekil 2.13).

Bunların yanı sıra, termal uyartımlı lüminesans (TSL) olayını matematiksel olarak açıklayabilmek amacıyla bazı matematiksel ifadeler öne sürülmüştür. Yasak band aralığında bulunan yarı kararlı enerji seviyelerinde bulunan tuzaklarda tuzaklanmış olan elektronların, bu tuzaklardan kurtulduktan sonra tekrar tuzaklanamayacağı düşüncesinden yola çıkarak Randall ve Wilkins birinci dereceden kinetikler olarak ifade ettikleri durumu açıklamak için denklem 2.4 ile gösterilen matematiksel ifadeyi kullanmışlardır.

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad \text{Birinci derece} \quad (2.4)$$

Yarı iletken veya yalıtkan bir maddenin yasak band aralığında bulunan yarı kararlı bir enerji seviyesindeki tuzakta tuzaklanmış elektronlarının, bu tuzaktan kurtulduktan sonra tekrar tuzaklanabileceği düşüncesinden yola çıkarak Garlick ve Gibson ise ikinci derece kinetikler olarak ifade ettikleri durumu açıklamak için denklem 2.5 ile gösterilen matematiksel ifadeyi kullanmışlardır.

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \left[1 + \left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right] \quad \text{İkinci derece} \quad (2.5)$$

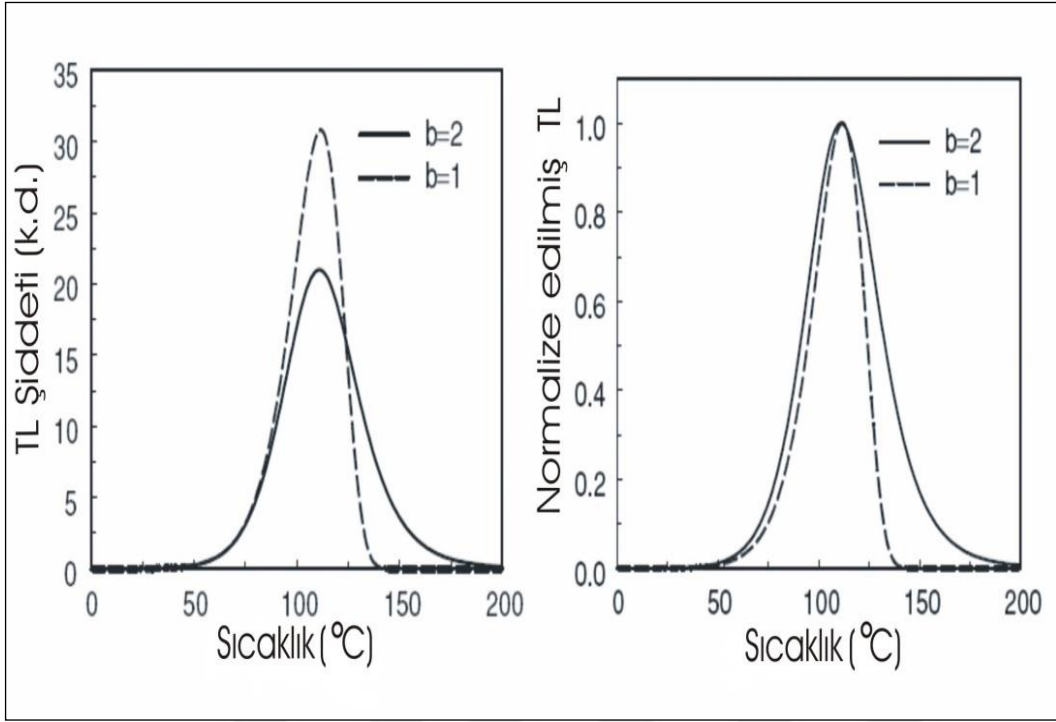
Bunların yanı sıra, bu alanda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda birinci ve ikinci dereceden kinetiklere uymayan durumlar ortaya çıkmıştır. May ve Partridge genel dereceden kinetikler olarak ifade ettikleri bu durumları

açıklayabilmek için ise denklem 2.6 ile gösterilen matematiksel ifadeyi kullanmışlardır (Pagonis vd., 2006).

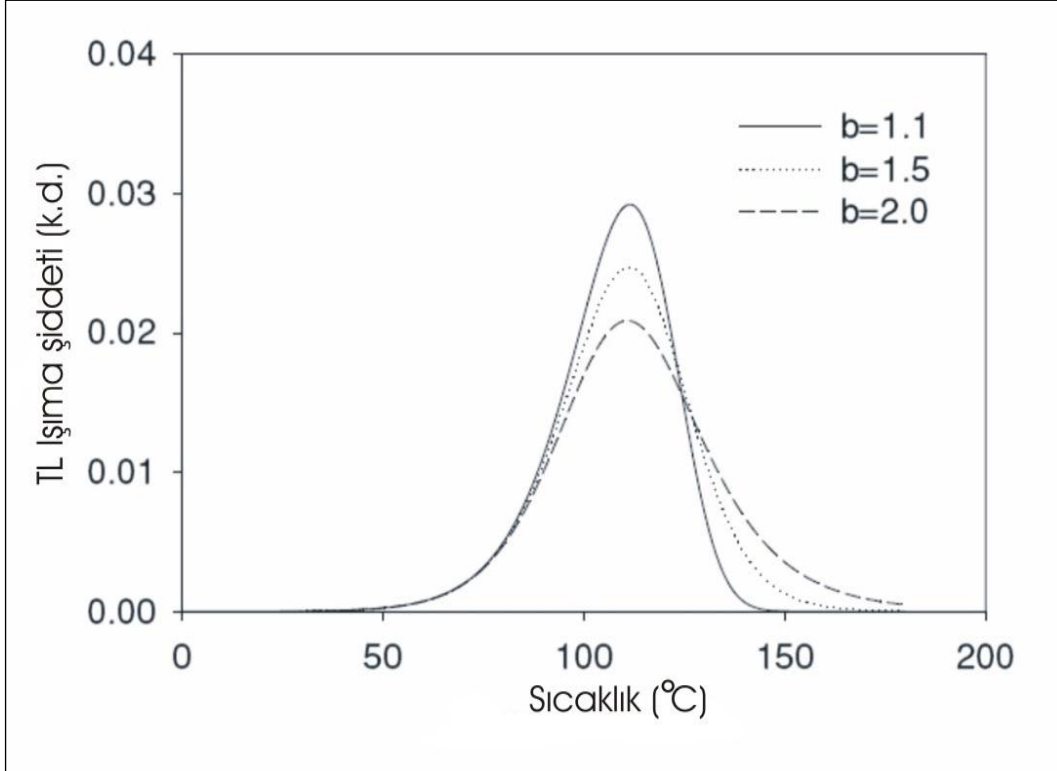
$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s.\exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right)\left[1 + (b-1)\left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right] \quad \text{Genel derece} \quad (2.6)$$

Yukarıda bahsedilen birinci dereceden ($b=1$) kinetikler ile ikinci dereceden ($b=2$) kinetiklere uyan yarı iletken ya da yalıtkan katı maddelerin TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 2.14 'te gösterilmiştir. Bu şekildeki ilk grafikte ikinci dereceden kinetiklerin birinci dereceden kinetiklere göre yüksek sıcaklık bölgesine doğru TSL ışıma eğrisindeki pikinin genişlediği açıkça görülmektedir. Bu durumun daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 2.14 'ün ikinci grafiğinde birinci ve ikinci dereceden kinetiklere sahip dozimetrik malzemelerin TSL ışıma eğrilerinin dozimetrik (ana) piklerinin maksimum sıcaklıklarına karşılık gelen TSL şiddetlerinin normalize edilmiş hali gösterilmiştir. Gerçekleştirilen TSL deneysel çalışmalarından elde edilen verilerin yorumlanması sonucunda, ikinci dereceden kinetiğe uyan dozimetrik bir malzemenin tuzaklarında tuzaklanmış olan bir elektronun bu tuzaktan kurtulduktan sonra tekrar tuzaklandığı sonucuna varılmıştır.

Bunlara ek olarak, birinci ($b=1$), ikinci ($b=2$) ve genel ($b=1,5$) dereceden kinetiklere sahip olan dozimetrik malzemelerin sıcaklığa bağlı TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması ise Şekil 2.15 'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Birinci ve ikinci dereceden TSL ısıma eğrilerinin şematik olarak karşılaştırılması (Pagonis vd., 2006).

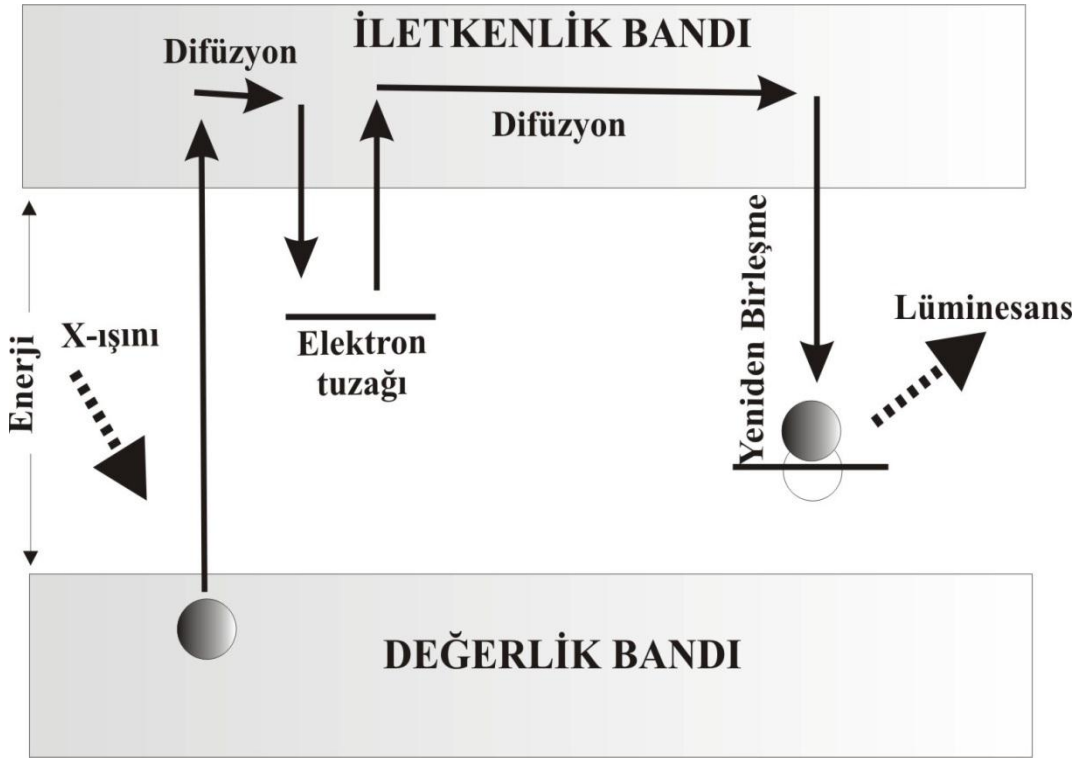


Şekil 2.15 Kinetik derece parametresi b 'nin farklı değerleri için TSL ısıma eğrilerinin şematik olarak karşılaştırılması (Pagonis vd., 2006).

2.7 Radyolüminesans (RL) Olayı

Radyolüminesans olayı sayesinde yarı iletken ya da yalıtkan katı bir malzeme içindeki kusurlar hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilebilir. Yarı iletken ya da yalıtkan katı bir malzemenin X-ışınları ile ışınlanmasından sonra gözlemlenen radyolüminesans olayı aynı zamanda malzemenin alfa, beta ve gama parçacıkları ile ışınlanmasından sonrada gözlemlenebilir. Bir malzemenin X-ışını ile bombardıman edilmesi esnasında yayımladığı emisyonun dalgaboyuna göre kaydedilmesiyle RL spektrumu elde edilir (Kibar, 2007). Radyolüminesans (RL) olayı yayımlanma mekanizması bakımından katodolüminesans (CL) olayı ile benzer özelliklere sahip olup katodolüminesansta hızlandırılmış elektronlar kullanılır. Bunun yanı sıra, RL yönteminde kullanılan X-ışınlarının giriciliklerinin parçacık radyasyonlarına göre yüksek olmasından dolayı, malzemenin tümü hakkında bilgi edinilebilirken, CL yöntemi kullanılarak sadece örneğin yüzeyi ile ilgili bilgi edinilebilmektedir.

Radyolüminesans (RL) olayı şematik olarak Şekil 2.16 'da gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, X-ışını ile bombardıman edilen bir katı maddenin elektronlarının uyartılması sonucunda elektron önce iletkenlik bandına daha sonra yeniden birleşme olayı sonucunda tekrar değerlik bandına geri döner. Yeniden birleşme olayı esnasında sistemden bir ışık salınım olayı gözlemlenir. Bu ışık salınım olayına kısaca radyolüminesans (RL) adı verilir. RL yöntemi kullanılarak yarı iletken ya da yalıtkan bir malzemenin uyartılan elektronları sayesinde malzemenin hangi dalga boylarında ışık yaydığı ve ışık yayan bu merkezlerin ne olduğu hakkında ayrıntılı bilgiler elde edinilebilir (Karalı, 1999).



Şekil 2.16 Radyolüminesans olayının şematik gösterimi.

RL yöntemi kullanılarak malzemelerin sahip oldukları safsızlıkların belirlenmesi üzerine bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir (Karalı vd., 1999; Maghrabi vd., 2000; Kotan vd., 2013; Kelemen vd., 2013; Oliveria vd., 2014). Oliveria ve arkadaşlarının katkısız ve Ca ve Zn gibi farklı elementlerle katkılanmış olan Y_2O_3 seramiğinin X-ışınları ile ışınlanması sonucunda gerçekleştirdikleri RL ölçümleri sonucunda, 495 nm dalgaboyuna sahip karakteristik geniş bir emisyon spektrumu gözlemlemişlerdir (Oliveria vd., 2014). Gözlemlenen bu emisyonun, malzemenin örgü yapısı içerisindeki oksijen boşluğu ve diğer kusurlardan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Malzemeye Ca ve Zn gibi farklı elementler katkılандığında, bu emisyonun yapısının değişmediği belirlenmiştir. Bununla birlikte, aynı malzemeye Mn katkılандığında ise bu emisyonun ortadan kalktığı gözlemlenmiştir.

Mn^{+2} ve Nd^{+3} katkılı $SrAl_2O_4$ malzemesiyle gerçekleştirilen bir başka RL ölçümünden elde edilen spektruma göre, yaklaşık olarak 550 nm dalgaboyuna

sahip geniş bir band emisyonun Mn^{+2} iyonuna ve 880 ile 960 nm arasındaki spektral bölgede gözlemlenen piklerin ise Nd^{+3} iyonuna ait olduğu tespit edilmiştir (Kotan, 2013).

2000 yılında Maghrabi ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada, Ce, Dy, Mn ve Ag ile katkılanmış olan $CaSO_4$ malzemesinin lüminesans spektrumları incelenmiştir. Dy katkılı $CaSO_4$ malzemesinin oda sıcaklığında gerçekleştirilen RL ölçümlerinden elde edilen sonuçlara göre, dar bir spektral bölgede bulunan 480 nm ve 570 nm dalgaboylarına sahip piklerin malzemeye katkılanmış olan Dy^{+3} iyonundan dolayı olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte, malzeme Dy ve Ag ile katkıldığında RL spektrumunda tekrar aynı dalgaboylarına sahip iki pikin oluştuğu fakat Dy emisyonlarının şiddetinin Ag katkısından dolayı değiştiği ifade edilmiştir. Ce katkılı $CaSO_4$ malzemesinden elde edilen RL spektrumu incelendiğinde ise, yaklaşık olarak 320 nm dalgaboyuna sahip geniş bir band yapısının olduğu belirlenmiştir. $CaSO_4$ malzemesine Ce ve Mn katkıldığında ise, malzemenin RL spektrumunun 320 nm ve yaklaşık olarak 490 nm dalgaboyuna sahip iki farklı band yapısından oluştuğu belirlenmiştir. Bu RL spektrumundaki 490 nm pikinin, malzemeye katkılanan Mn iyonundan kaynaklandığı ifade edilmiştir (Maghrabi vd., 2000).

Karalı ve arkadaşlarının 1999 yılında nadir toprak iyonları (Dy ve Tm) ile katkılanmış $CaSO_4$ ve MgB_4O_7 malzemeleriyle gerçekleştirdikleri bir başka çalışmada ise, Tm ve Dy ile katkılanmış $CaSO_4$ malzemesinin 340 nm, 360 nm, 455 nm, 480 nm ve 580 nm dalgaboyuna sahip beş farklı emisyon verdiği belirlenmiştir. Bu emisyonlardan 340 nm, 360 nm ve 455 nm olanların Tm iyonundan ve 480 ve 580 nm dalgaboylarına sahip olanların ise Dy iyonundan dolayı olduğu ifade edilmiştir. Aynı katkılarla katkılanmış olan magnezyum borat malzemesinin verdiği emisyonlar ile kalsiyum sülfat malzemesinden elde edilen emisyonlar karşılaştırıldığında ise, Dy iyonunun verdiği emisyonlardan 580 nm dalgaboyuna sahip olanın şiddetinde bir değişiklik olmadığı fakat pik genişliğini arttığı ve 480 nm dalgaboyuna sahip pikin şiddetinin ise azaldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, kalsiyum sülfat malzemesinde katkılanmış olan Tm iyonun verdiği emisyonlardan 340 nm ve 360 nm piklerinin magnezyum borat malzemesinde 360 nm dalgaboyuna sahip daha düşük şiddetli tek bir emisyon

olarak gözlemlendiği ve 455 nm dalgaboyuna sahip olanın ise şiddetinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir (Karalı vd., 1999).

Tm ve Cu katkılı kalsiyum sülfat malzemesi ile ilgili olarak Kelemen ve arkadaşlarının 2013 yılında gerçekleştirdikleri bir başka çalışmada ise, malzemenin RL spektrumunun 450 nm dalgaboyuna sahip baskın bir emisyon piki ile 350-360 nm dalgaboyu aralığındaki ikinci bir emisyon bandından oluştuğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, 450 nm dalgaboyuna sahip olan emisyon pikinin Tm^{3+} iyonundan 350-360 nm dalgaboyuna sahip olan emisyon bandının ise malzemenin örgü yapısı içerisindeki kusurlardan dolayı oluştuğu ifade edilmiştir (Kelemen vd., 2013).

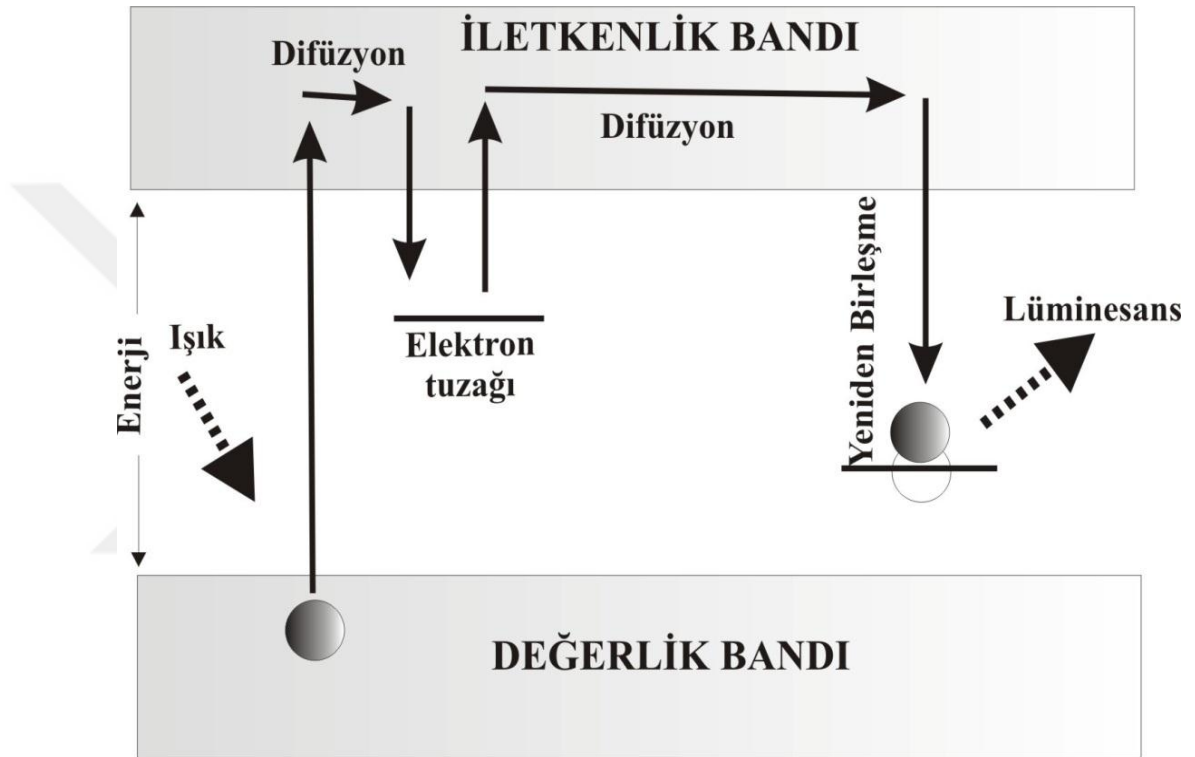
2.8 Fotolüminesans (PL) Olayı

Fotolüminesans olayı sayesinde de RL yönteminde olduğu gibi bir malzemenin kristal yapısı içerisindeki kusurlar hakkında bilgi edinilebilir. Fotolüminesans olayı, yarı iletken ya da yalıktan katı bir maddenin optik uyartım kaynakları kullanılarak bombardıman edilmesiyle gözlemlenen bir olaydır.

Fotolüminesans olayı daha küçük enerjilere ve lüminesans şiddetine sahip olmasından dolayı, yüksek uyarma enerjilerine sahip RL ve CL ile karşılaştırıldığında verimi daha düşüktür. PL sistemlerindeki foton enerjisi eV mertebesinde iken RL ve CL sistemindeki foton enerjileri keV mertebesinde. Fotolüminesansın bahsedilen diğer yöntemlere göre farklı olan bu özelliğinden dolayı, fotolüminesans yöntemi ile elde edilen sinyaller söz konusu yöntemlerden elde edilen sinyallerin bir alt kümesini oluşturmaktadır (Kibar, 2007).

Fotolüminesans olayı şematik olarak Şekil 2.17 'de gösterilmiştir. Yarı iletken ya da yalıktan katı bir malzemenin güçlü bir ışık kaynağı ile ışınlaması esnasında malzemenin değerlik bandında bulunan elektronları, önce iletkenlik bandına daha sonra yeniden birleşme merkezinde bulunan bir boşlukla birleşerek tekrar valans (değerlik) bandına geri dönerler. Bu esnada sistemden bir ışık

yayılım olayı gerçekleşir ve bu ışık yayılım olayına kısaca fotolüminesans (PL) adı verilir. Sonuç olarak, katı bir malzemenin UV ya da lazer gibi ışık kaynakları kullanılarak uyartılması sonucunda, dalgaboyuna göre PL ışınım şiddeti grafiği yani PL spektrumu elde edilir. Elde edilen bu spektrumdan yararlanılarak malzemenin kristal yapısı içerisindeki tuzak merkezleri hakkında daha fazla bilgi sahibi oluruz.



Şekil 2.17 Fotolüminesans olayının şematik gösterimi.

Lüminesans malzemelerinde Mn ve Cu katkısının etkisinin incelenmesi konusunda PL yöntemi kullanılarak son zamanlarda bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir (Patra vd., 2012; Gaedtke vd., 2013; Kotan, 2013)

Patra ve arkadaşlarının 2012 yılında Cu ve Ag katkılı tek kristal $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (LTB) malzemesinin PL özellikleri adlı çalışmalarında, Cu katkılı LTB kristalinin PL emisyon spektrumunun 360 nm dalgaboyuna sahip geniş bir band yapısından oluştuğu ve bu emisyonun malzemenin örgü yapısına katkılanmış olan Cu^+

iyonundan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, Ag ve Cu katkılı LTB kristalinin emisyon spektrumunun ise 264 nm ve 370 nm deki 2 farklı band yapısından oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu emisyon piklerinden 264 nm dalgaboyuna sahip olanın malzemenin örgü yapısına katkılanmış olan Ag^+ iyonundan ve 370 nm deki pikin ise Cu^+ iyonundan dolayı oluştuğu ifade edilmiştir.

Mn ve Eu katkılı $RbMgF_3$ malzemesi ile yapılan bir başka PL çalışma, Gaedtke ve arkadaşları tarafından 2013 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, %1 Mn katkılı $RbMgF_3$ malzemesinin PL spektrumunun 580 nm de Mn^{+2} iyonundan kaynaklanan tek bir band yapısından oluştuğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, %5 Mn katkılı $RbMgF_3$ malzemesinin PL spektrumunun ise 590 nm dalgaboyuna sahip pikten oluştuğu tespit edilmiştir. Ev sahibi kristal yapı içerisinde yer alan Mn^{2+} iyonunun eşit olmayan C_{3v} ve D_{3d} simetri grupları sırasıyla, Mn1 ve Mn2 olarak ifade edilir. Malzemenin emisyon dalgaboyundaki küçük kaymanın ise, yüksek konsantrasyondaki Mn^{2+} iyonundaki Mn1/Mn2 oranından kaynaklanmış olabileceği ifade edilmiştir.

$SrAl_2O_4:Mn$, Nd malzemesiyle gerçekleştirilen PL ölçümlerinden elde edilen sonuçlara göre, malzemenin PL spektrumun 550 nm, 878nm, 1059 nm ve 1333 nm dalga boylarında 4 farklı band yapısının olduğu gözlemlenmiştir. Bu emisyon piklerinden 550 nm dalgaboyuna sahip pikin malzemenin örgü yapısına katkılanmış olan Mn^{+2} iyonundan ve 878 nm, 1059 nm ve 1333 nm dalga boylarındaki piklerin ise Nd^{+3} iyonundan dolayı olduğu ifade edilmiştir (Kotan, 2013).

$SrAl_2O_4:Mn,Er$ malzemesiyle gerçekleştirilen PL ölçümlerinden elde edilen sonuçlara göre ise, malzemenin PL spektrumunun 508 nm, 546 nm ve 690 nm dalgaboylarına sahip 3 farklı pik oluşumu gözlemlenmiştir. Malzemeye ait bu emisyon piklerinden 505 nm ve 546 nm dalgaboyuna sahip olanların, malzemenin örgü yapısına katkılanmış olan Mn iyonundan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Bununla birlikte, 690 nm de gözlemlenen emisyonun ise malzemenin hazırlanması esnasında malzemeye kontamine olmuş olan Fe elementinden kaynaklandığı ifade edilmiştir (Kotan, 2013).

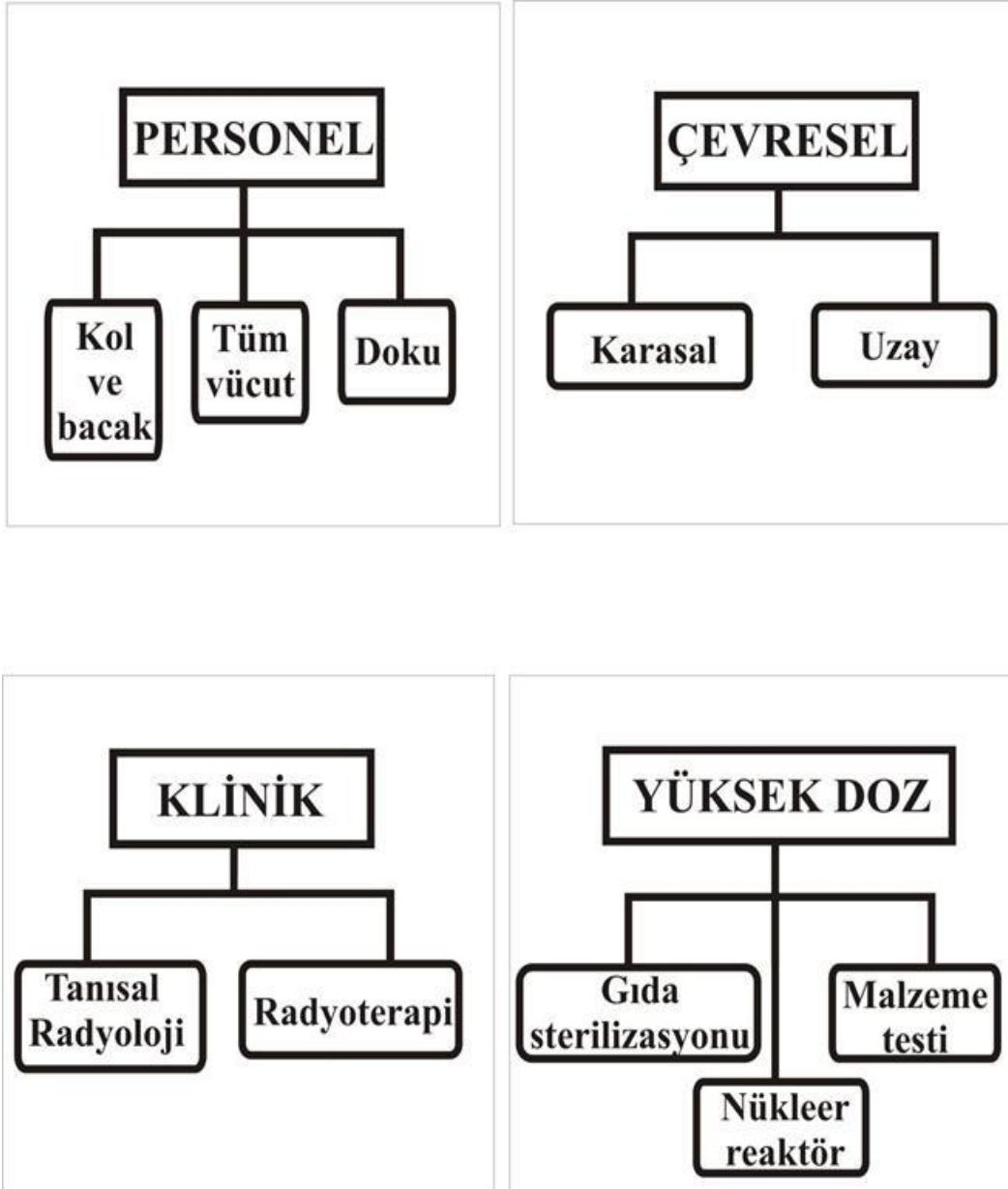
2.9 Termolüminesans Dozimetreler (TLD) ve Kullanım Alanları

Yaşadığımız Dünya gezegeninde çeşitli nedenlerden dolayı iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalmaktayız. Bu iyonlaştırıcı radyasyon, güneşten ve uzaydan, Dünyada bulunan doğal radyoaktif materyaller gibi kaynaklardan, yapı malzemelerinden, hatta günlük yaşamımızda kullandığımız su ve yiyeceklerden kaynaklanmaktadır. Nefes aldığımız havada bile radyoaktif gazlar bulunur ve vücudumuz aslında radyoaktiftir (Horowitz, 1984). Bu doğal radyasyonlara ek olarak, insanoğlu son 50 yıldır birçok yeni radyasyon kaynağı üretmiştir ve bu alandaki çalışmalar artan bir hızla devam etmektedir. Örnek vermek gerekirse, medikal tıp alanında tanı ve tedavi amaçlı X-ışını ve diğer çeşit iyonlaştırıcı radyasyonlar (nötronlar, pionlar, ağır yüklü parçacıklar) kullanılır. Aslında, radyoizotoplar birçok medikal tanı işlemlerinde büyük rol oynarlar ve kalp, böbrek, akciğer, karaciğer, tiroit ve beyin gibi çeşitli vücut organlarının işlev ve değerlerini ölçmek için kullanılırlar. Bunların yanı sıra, nükleer bombalar ve nükleer reaktörlerden serbest bırakılan radyoaktif materyaller nedeniyle günümüzde radyasyon ortamında artış meydana gelmiştir.

Radyasyonun yararlı yönlerinin olmasına karşın, düşük dozlarda olsa bile iyonlaştırıcı radyasyonun kanser ve genetik kusurlara neden olabilme olasılığının olduğu çok iyi bilinen bir gerçektir. Bu nedenle radyasyon dozunun ölçümü, doğal ya da doğal olmayan nedenlerden dolayı iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalma sonucunda oluşabilecek risklerin ve yararlarının tespiti için gerçekleştirilen ve hızı giderek artan bilimsel çalışmalarda çok önemli bir yere sahiptir ve gerçekleştirilmesi zorunlu olan bir durum haline gelmiştir. Aslında radyasyon doz ölçümlerinde dört temel doz aralığı büyük önem taşımaktadır (Horowitz, 1984). Bunlar;

1. Radyoekoloji alanında 10^{-2} μ Gy gibi düşük doz ölçümlerinde.
2. Personel dozimetre alanındaki $\sim 10^{-5}$ Gy 'lik doz ölçümlerinde.
3. Radyoterapi ve radyobiyoloji alanlarındaki 10^{-3} Gy ile 10^2 Gy arasındaki doz ölçümlerinde.
4. Yiyecek strelizasyonu, malzeme testi ve diğer endüstriyel ve nükleer reaktör alanlarındaki 10^7 Gy gibi yüksek doz ölçümlerinde.

Yukarıda bahsedildiği üzere radyasyon doz ölçümü için doz aralıkları göz önüne alındığında, kullanım alanlarına göre termoluminesans dozimetreler genel olarak Personel, Çevresel, Klinik ve Yüksek doz dozimetresi olarak dört ana başlık altında katagorize edilir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 Termoluminesans dozimetrelerin (TLD) kullanım alanları.

2.9.1 Personel Dozimetre

Nükleer güç santralleri, nükleer tıp merkezleri, radyoterapi merkezleri, radyoloji merkezleri, gıda sızterilizasyonu gibi benzeri radyasyon alanlarında çalışan personellerin maruz kaldıkları radyasyon doz miktarının rutin periyotlarda izlenebilmesi amacıyla personel dozimetreler kullanılır. Kullanılan bu dozimetreler yardımıyla bu alanlarda çalışan personellerin maruz kaldığı radyasyon doz miktarının Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından belirlenen güvenli limitler içerisinde kalması sağlanmaya çalışılır. Personel dozimetrelerde kendi içerisinde 3 sınıfta katagorize edilier (McKeever vd., 1995). Bunlar;

1-) Kol-Bacak Dozimetresi: El, kol ve bacakların herhangi bir bölgesinde maruz kalınan maksimum eşdeğer dozun belirlenmesi amacıyla kullanılırlar.

2-) Tüm-Vücut Dozimetresi: Bir insan vücut yüzeyi altındaki 1 g.cm² 'lik derinlikteki dokunun maruz kaldığı eşdeğer doz miktarı ya da kritik organların maruz kaldığı eşdeğer dozun belirlenmesi amacıyla kullanılan dozimetrelerdir. Bu dozimetreler 15 keV 'dan büyük X-ışınları, nötron ışınları ve gama ışınları ile çalışılan radyasyon alanlarında kullanılırlar.

3-) Doku Dozimetresi: Bir insan vücudunun 5-10 mg.cm² 'lik derinlikteki dokunun 15 keV 'dan küçük X-ışınları ve beta ışınları ile çalışılan radyasyon alanlarında maruz kaldığı radyasyon dozunun tespiti için kullanılır.

TLD 'nin yukarıda bahsedilen alanlarda personel dozimetresi olarak kullanılabilirliği açısından doku eşdeğeri çok önemli bir parametredir. Bununla birlikte, hata oranı %10-%20 olacak şekilde ilgilenilen bu alandaki eşdeğer doz aralığı 10 mikroSv ile 0,1 Sv aralığındadır.

2.9.2 Çevresel Dozimetre

Bilim, sağlık, endüstriyel ve politik gruplar, son yarım yüzyıldır insan eliyle salınan radyasyonun çevresel bir etkisinin olduğu görüşüne sahiptirler. Özellikle günümüzde gerçekleştirilen çalışmalar esnasında nükleer güç santrallerinden salınan radyonüklit gazları, düşük seviyeli atıkların tasfiyesi, işlenmemiş nükleer yakıtlar, nükleer güç santrallerindeki kazalar ve nükleer güç endüstrisi ile bağlantılı aktivitelerin çevre üzerine zararlı etkileri vardır. Bu nedenle bu tür çalışmaların gerçekleştirildiği alanlarda, çevresel radyasyon doz seviyesinin sürekli gözlem altında tutulması gerekir ve bu gözlemin sürdürülebilirliği açısından termoluminesans dozimetre (TLD) kullanımı bu tür olaylarda önemli bir yere sahiptir. Örnek vermek gerekirse Amerikanın ve Avrupanın her tarafında TLD sistemleri, doğal artalan seviyesinin üzerindeki radyasyon seviyesinin gözlemlenebilmesi amacıyla nükleer tesislerin yakınına yerleştirilmiştir. Çevresel dozimetreler olarak kullanılan TLD 'ler için performans kriterleri personel dozimetrelerdekinden farklıdır. Çevresel dozimetrelerin doku eşdeğerliklerinin olup olmaması bir sorun teşkil etmez. Ancak, çevresel doz ölçümlerinde çevresel dozimetrelerin maruz kalacağı radyasyon doz miktarı küçük olduğundan dolayı (tipik olarak 10^{-2} Sv) hassasiyetlerinin çok iyi olması ve uzun bir süre aynı ortam içerisinde bekletilmeleri gerekir.

İnsanlı uzay seyahatleri ile birlikte, uzay dozimetresine karşı zamanla artan bir ilgi oluştu. Bu ilginin nedenlerinden birisi astronotların çok fazla miktarda maruz kalabilecekleri ölümcül radyasyon doz seviyesidir. Diğer bir neden ise uzay araçlarında kullanılan çok küçük boyutlara sahip elektronik devre elemanlarının radyasyona maruz kalması sonucunda yapılarının zarar görmesi endişesidir. Uzay çalışmalarında maruz kalınan radyasyon kaynakları temel bileşeni yüksek enerjili protonlar olan galaktik kozmik ışınlar ve Güneş rüzgârlarından kaynaklanan ağır yüklü parçacıklardır. Sonuç olarak, insanlı uzay seyahatlerinde iyonlaştırıcı radyasyon doz miktarının belirlenebilmesi amacıyla TLD 'ler kullanılmaktadır (McKeever vd., 1995). Bununla birlikte, çevresel dozimetreler son 50 yıldır termoluminesans yaş tayini için sıkça kullanılmaktadırlar (Sampson ve Fleming, 1972; Wintle vd., 1979; Aitken, 1985; Hütt vd., 2001; Göksu vd., 2001; Benea vd., 2007; Veronese vd., 2008). Örnek

vermek gerekirse, İzmirde bulunan Yeşilova Höyükünün lüminesans tarihlendirme çalışmaları için $Al_2O_3:C$ dozimetreleri kullanılmış ve bu dozimetrelerin yardımıyla Yeşilova Höyükünün yaşı 8500 yıl olarak belirlenmiştir (Ekdal vd., 2012).

2.9.3 Klinik Dozimetre

Radyasyon ile tanı ve tedavi sırasında küçük boyuta sahip dozimetrik malzemeler, uzun zamandır klinik çalışmalarda kullanılmaktadırlar. Bu şekilde iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalan hastaya, istenilen dozun verilip verilemediği ve kritik organlarının maruz kalacağı gerçek doz belirlenebilmektedir. Küçük boyutları nedeniyle TLD 'ler bu amaç için en yaygın kullanılan malzemelerdir. Bu yöntemle elde edilen sonuçları, başka radyasyon ölçüm teknikleri ile elde etmek pek mümkün değildir.

Hastalar üzerinde iyonlaştırıcı radyasyon kullanılarak gerçekleştirilen tanı ve tedavi amaçlı klinik çalışmalar, tanısal radyoloji ve radyoterapi olmak üzere iki farklı alanda katagorize edilir. Bu çalışmalarda kullanılan radyasyon türleri, 10 keV 'dan düşük X-ışınları, ^{137}Cs ve ^{60}Co gibi radyoaktif kaynaklardan elde edilen gamma ışınları, enerjileri 40 MeV 'e kadar olan elektronlar, ağır yüklü parçacıklar ve nötronlardır. Radyoloji alanındaki doz aralığı 10^{-5} ile 10^{-2} Gy olup, radyoterapi alanlarında ise doz aralığı 0-20 Gy aralığındadır. Bununla birlikte, hem radyoloji hem de radyoterapi alanlarında kullanılacak TLD materyallerin doku eşdeğeri ve yüksek hassasiyet gibi dozimetrik özelliklere sahip olmaları gerekir (McKeever vd., 1995).

Son yıllarda gerçekleştirilen tanı ve tedavi amaçlı bir çok çalışmada, TLD kullanımının arttığı görülmektedir (Engström vd., 2005; Karaçam vd., 2008; Alashrah vd., 2014). Baş ve boyun kanseri hastalarının IMRT tedavisinde, iç organların maruz kaldığı radyasyon dozunun belirlenebilmesi amacıyla 10 hasta üzerinde TLD kullanılarak 172 ölçüm gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, TLD'lerden elde edilen sonuçların tedavide kullanılan plan sistemiyle uyum

içerisinde olduğu tespit edilmiştir (Engström vd., 2005). Hodgkin hastalığı mantle ışınlaması esnasında hamile hastaların fetusuna verilen radyasyon dozunun kaç Gy olduğunun belirlenebilmesi amacıyla, fantom içerisine yerleştirilen TLD'lerden elde edilen ölçümler sonucunda tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, hamile bir hasta için bu tür bir tedavinin risk oluşturabileceği belirlenmiştir (Karaçam vd., 2008). Radyoterapi alanında gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise, deri dozunun ölçümü için TLD 'ler kullanılmış ve sonuçlar Monte Carlo simülasyonu ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucuna göre, TLD 'lerden elde edilen sonuçların Monte Carlo simülasyonu ile uyum içerisinde olduğu ifade edilmiştir (Alashrah vd., 20014).

2.9.4 Yüksek Doz Dozimetresi

Nükleer reaktörlerde, yiyecek sterilizasyonu ve materyal testi alanlarında 10^2 Gy ile 10^6 Gy aralığındaki yüksek radyasyon dozlarının gözlemlenebilmesi için TLD 'ler kullanılır. Bu alanlarda kullanılacak TLD malzemelerinin doz cevap eğrisi saturasyona gidebileceğinden dikkatli kullanılması çok önemlidir (McKeever vd., 1995).

Günümüzde nükleer güç santralleri ve sıklığı giderek artan sayıdaki radyolojik incelemeler, çok küçük miktarlardaki soğurulan dozları bile ölçebilme yeteneğine sahip güvenilir dozimetreler için çok fazla talep yarattı. Son yıllarda üzerinde durulan en önemli sorulardan birisi, soğurulan küçük dozlardaki iyonlaştırıcı radyasyonun kanser hücresi oluşum riskini artırma olasılığıdır. Aslında, $10 \mu\text{Gy}$ ve hatta daha küçük dozların ölçülebilmesinin ne kadar önemli bir olgu olduğunu bu soru yalnız başına anlatmaktadır. Bu nedenle doku eşdeğeri dozimetrelerin geliştirilmesi ve çok küçük dozları daha da iyi ölçebilen verimli dozimetrelerin üretilmesi son yıllardaki dozimetrik amaçlı TSL fosfor malzemelerin üretimi için gerçekleştirilen çalışmalarda çok büyük önem kazanmıştır (Horowitz, 1984).

2.10 Termolüminesans Dozimetrelerin Kullanım Avantajları

Radyasyon doz ölçümünde kullanılan birçok sisteme göre TLD'lerin birçok avantajı vardır. Bunlar,

1. Oldukça küçük boyuta ve miktara sahiptirler (~ 10 mg 'lık malzeme birçok amaç için kullanılmak üzere yeterli miktardadır).
2. Oldukça düşük dozları (~ 10 μ Gy) ve oldukça yüksek dozları ($\sim 10^4$ Gy) ölçülebilirler.
3. $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ dozimetresi gibi dozimetrik malzemeler, yaklaşık olarak doku eşdeğeri özelliğine sahiptirler.
4. İstenilen geometride üretilebilirler.
5. Toplam dozun uygun bir zamanda ölçülebilmesi için TSL sinyalinin uzun süre sürekli kalmasını sağlar.
6. TSL verimi yüksek dozlara kadar doz hızından bağımsızdır.
7. Termolüminesans dozimetreleri değerlendirmek oldukça basittir.
8. Gerekğinde TSL yöntemiyle anlık sonuçlar hızlı bir şekilde alınabilir.
9. Arka arkaya yüzlerce kez tavlabilirler ve kullanılabilirler.
10. Posta hizmeti için uygun olarak tasarlanmışlardır.
11. Uzun süreli doz ölçümlerinde malzemenin sönmeme özelliğine göre, bir yıla kadar doğru sonuçlar elde edilebilir.
12. Radyasyon türlerinin birçoğunun ölçümü için farklı (örneğin beta ve gama ya da gama ve nötron) radyasyon alanlarında çeşitli şekillerde kullanılabilirler.

2.11 Termoluminesans Dozimetrelerin Kullanımında Önemli Parametreler

2.11.1 Kalibrasyon

Dozimetrik amaçlı üretilmiş malzemeler kullanılarak, doğrudan radyasyon doz ölçümü gerçekleştirilemez. Dozimetrik amaçlı kullanılacak olan malzemelerin, öncelikle doz kalibrasyonlarının yapılması gerekir. Bununla birlikte, kalibrasyon işlemi için SSDL (sekonder standard dosimetry laboratuvarı-TAEK) ile kalibre edilmiş bir radyasyon kaynağı kullanılır. Bu kalibrasyon işlemi için dozimetrik malzeme öncelikle, kalibre edilmiş kaynak ile kullanılacak doz aralığına göre farklı dozlarda ışınlanırlar. Her bir ışınlama sonrasında, TLD okuyucu kullanılarak dozimetrenin TSL ışıma eğrisi kaydedilir.

Bu işlemlerden sonra, elde edilen bu TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alanlardan yararlanılarak dozimetrik malzeme için büyütme eğrisi çizilir. Daha sonra, malzeme belirli bir süre ölçüm yapılacak olan radyasyon alanı ya da kaynak ile ışınlanır ve elde edilen TSL ışıma eğrisinin altında kalan alan hesaplanır. Son olarak, elde edilen bu veri ve büyütme eğrisinden yararlanılarak radyasyon kaynağının dozimetreye verdiği eşdeğer doz Gy cinsinden belirlenmiş olur.

2.11.2 Doz Ölçümündeki Hatalar

Bir termoluminesans dozimetre malzemesi, radyasyon dozunu asla mükemmel bir doğrulukla ölçemez. Doz ölçümlerinde, malzemenin kristal yapısı içerisinde gerçekleşebilecek termal, optiksel sönmeme ve anormal başka nedenlerden dolayı hatalar oluşabilmektedir. Bu hataya neden olabilecek etkenler belirlenip bunların etkisinin de doz ölçümüne eklenmesi sonucunda daha doğru doz ölçümleri yapılabilir.

2.11.3 TLD Malzemelerin Karakteristik Özellikleri

TSL doz cevabı, malzemenin TSL verimliliğinin yanı sıra malzemenin yapısında bulunan kusurların (tuzakların) yoğunluğuna bağlıdır. Kusurlar milyonda bir seviyedeki safsızlıkların yanı sıra ısısal ve ışımaya bağlı olup bunların kendine özgü özelliklerini belirlemek oldukça zordur. Bu evrensel olmayan durum grup etkilerinin yanı sıra aynı partideki (o anda hazırlanmış malzemedede) aynı dozimetrelerin özelliklerinde bile belirgin farklılıkların oluşmasına neden olur. Bu nedenle hazırlanan dozimetrelerin daha sonra kendi aralarında kalibre edilmeleri yani aynı duyarlılık ve doz cevap gibi özelliklere sahip olup olmadıklarının çok iyi belirlenmesi dozimetrik çalışmalar için oldukça önem taşımaktadır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş olan yeni malzemelerin TSL yöntemi kullanılarak TSL ışıma eğrisi, doz cevap eğrisi, tuzak parametreleri, sönümle, kararlılık ve hassasiyet gibi lüminesans özelliklerinin incelenmesi, bu malzemelerin kinetik karakterizasyonlarının belirlenebilmesi ve gelecekte daha verimli dozimetrelerin üretilebilmesi açısından oldukça büyük önem taşımaktadır.

Bu doktora tez çalışmasında medikal dozimetre, çevresel dozimetre, yaş tayini ve personel dozimetre gibi çeşitli alanlarda kullanabilmek amacıyla sentezlenmiş olan $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4\text{:Cu}$, Tm ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemelerinin TSL yöntemi kullanılarak lüminesans özelliklerinin belirlenebilmesi amaçlanmaktadır. Bunların yanı sıra, malzemelerin kristal yapısı ve içlerinde olası farklı fazların belirlenebilmesi için XRD analizleri yapılmış ve ayrıca fotolüminesans (PL) ve radyolüminesans (RL) spektrumları kaydedilmiştir.

3.1 Çalışmada Kullanılan Malzemeler

3.1.1 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ Malzemesinin Hazırlanışı

Karbon, oksijen ve kalsiyum ana elementlerinden oluşan ve kimyasal formülü CaCO_3 olarak gösterilen bileşik, kalsiyum karbonat olarak isimlendirilir. Kalsiyum karbonat bileşiği, kalsiyum oksit (CaO) ve karbondioksitin (CO_2) birleşmesinden meydana gelir. Beyaz renkli bir bileşik olup doğada çok yaygın olarak bulunur. Kalsiyum karbonatın kalsit ve oragonit gibi farklı isimlendirilmeleri de vardır. Kalsiyum karbonat bileşiği trigonal yapıda olup $2,71 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir. Bunların yanı sıra, kalsiyum karbonat bileşiğinin erime noktası $1339 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir (Ropp, 2013; Rohleder, 2001).

Tulyum (Tm), atom numarası 69, atom ağırlığı 168,9 ve yoğunluğu 9,32 g/cm³ olan nadir toprak elementidir. Doğada çok az bulunur ve gümüş gri renklidir (Şekil 3.1). Tm elementi hegzagonal yapıya sahiptir ve erime noktası 1545 °C dir (Standard Atomic Weights, 2013; Emsley, 2001; Hammond, 2000).



Şekil 3. 1 Gümüş gri renkli Tulyum elementi.

Tulyum katkılı kalsiyum karbonat malzemesi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, Nükleer Teknoloji Anabilim Dalında Radyoanalitik Kimya Laboratuvarında Prof. Dr. Mahmoud A.A. Aslani tarafından sentezlenmiştir.

CaCO₃:Tm malzemesi, sol-jel yöntemi ile sentezlenmiştir. Sentez aşamasında cam suyu (yerli), kalsiyum klorür (CaCl₂) ve sodyum karbonat (Na₂CO₃) malzemeleri kullanılarak jel oluşturulmuştur. Jel oluşturulduktan sonra, jelin geliştirilmesi ve anyon ve katyon iyonlarının jelin içerisine difüz etmesi için yaklaşık olarak bir buçuk sene karanlık ortamda bekletilmişlerdir. Daha sonra, elde edilen ürün saf su ile defalarca yıkanarak sodyum klorürün (NaCl) giderilmesi sağlanmıştır. Elde edilen malzeme daha sonra 1000 barlık basınç altında peletler haline getirilmiştir. Bu işlemler sonucunda 0,50 mm kalınlıkta ve 6 mm çaplı katı formda pelet malzeme elde edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2 CaCO₃:Tm malzemesi.

3.1.2 CaB₄O₇:Mn Malzemelerinin Hazırlanışı

Kalsiyum, bor ve oksijen ana elementlerinden oluşan ve kimyasal formülü CaB₄O₇ olarak gösterilen bileşik, kalsiyum borat ya da kalsiyum tetraborat olarak isimlendirilir. Kalsiyum borat bileşiği, kalsiyum oksit (CaO) ve boron oksitin (B₂O₃) birleşmesinden meydana gelir. Beyaz renkli bir bileşiktir ve erime noktası 1100 °C dir. Kalsiyum borat bileşiği ortorombik yapıda olup 2,72 g/cm³ yoğunluğa sahiptir (Zachariasen vd., 1977).

Atom numarası 25 olan mangan elementi Mn sembolü ile gösterilir. Mn metali doğada serbest halde bulunmaz fakat demir gibi bazı maddelerle bileşik halde bulunurlar. Mn elementi, gümüş metalik renge sahip olup 1246 °C erime sıcaklığına sahiptir (Şekil 3.3). Bunların yanısıra Mn metalinin yoğunluğu 7.21 g/cm³ tür (Standard Atomic Weights, 2013; Roth vd., 2013; Holleman vd., 1985).



Şekil 3.3 Mangan elementi.

Bu tez çalışmasında dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş olan %1 ve %3 oranlarda mangan katkılı kalsiyum borat malzemesi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsünde Nükleer Teknoloji Anabilim Dalında Radyoanalitik Kimya Laboratuvarında Prof.Dr.Mahmoud A.A. ASLANİ tarafından sol-jel yöntemi kullanılarak sentezlenmişlerdir (Şekil 3.4, Şekil 3.5).

Sentezleme işleminde, öncelikle CaCl_2 , borik asit (H_3BO_3 , % 99,5), Na_2CO_3 , MnCl_2 ve EuCl_3 çözeltilerinin tuzlarının eritilmesiyle uygun konsantrasyonlarda çalışılacak çözelti hazırlanmıştır. Daha sonra bu kimyasal çözeltiyle, damlama yöntemi kullanılarak %1 ve %3 oranlarda Mn katkılı kalsiyum borat malzemeleri elde edilmiştir. Elde edilen bu çözelti daha sonra 3 saat boyunca $80\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta devamlı olarak karıştırılmış ve ardından kristalizasyon işlemi için $80\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki fırında 5 saat tutulmuştur. Bu işlem esnasında kristal yapı oluşmuştur. Toz haline getirilen malzeme, 1000 barlık basınç altında pelet haline getirilmiştir. Pelet malzeme, $1300\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki fırın içerisinde sinterleme işlemine maruz bırakılmıştır. Bu işlemler sonucunda, 0,40 mm kalınlıkta ve 6 mm çaplı katı formda pelet malzemeler elde edilmiştir. Hazırlanan malzemelerdeki Mn konsantrasyonu, sırasıyla %1 ve %3 mol 'dür.



Şekil 3.4 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesi.



Şekil 3.5 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesi.

3.1.3 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ Malzemesinin Hazırlanışı

Ana elementleri kalsiyum, kükürt ve oksijen olan ve kimyasal formülü CaSO_4 olarak gösterilen bileşiğe kalsiyum sülfat denir (Şekil 3.8). Kalsiyum sülfat, doğadaki kayalarda kristal formda bulunur. Laboratuvarlarda ve kimya endüstrisinde çok yaygın olarak çeşitli amaçlarla kullanılan bir malzemedir. Bu malzemenin yoğunluğu $2,96 \text{ g/cm}^3$ olup ortorombik yapıya sahiptir. Bunlara ek olarak, malzemenin ergime noktası $1460 \text{ }^\circ\text{C}$ dir (American Chemical Society, 2006; Linde, 2002)

Bakır (Cu) 1B geçiş grubu elementi olup atom numarası 29 dur. Çok yumuşak bir yapıya sahip olması nedeniyle, dövülerek kolayca şekillendirilebilmektedir. Bakır elementi doğada çok yaygın olarak bulunur ve yüksek termal ve elektrik iletkenliği nedeniyle kullanım alanı çok geniştir (Şekil 3.6). Bakır metalinin yoğunluğu, $8,96 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Bakır metali kübik yapıdadır ve ergime noktası $1084,62 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir (Lide, 2005).



Şekil 3.6 Bakır elementi.

Bu tez çalışmasında değişik alanlarda dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere üretilmiş olan kalsiyum sülfat malzemesi, Macaristanın Budapeşte şehrinde

bulunan Enerji Araştırma Merkezinde I. Kasa tarafından kristalleştirme yöntemi kullanılarak sentezlenmiştir (Kasa., 1984, 1990) (Şekil 3.7). Bu sentezleme işlemi sırasında toz halindeki örnekler 2 saat boyunca 700 °C sıcaklıkta tavlansın daha sonra az miktarlarda hidrojen peroksit içeren sülfirik asit yardımıyla kristal haline getirilmişlerdir. Hazırlanan malzemedeki Tm ve Cu konsantrasyonu sırasıyla, % 0,15 ve % 0,05 mol 'dür (Kasa vd., 2007).



Şekil 3.7 CaSO₄:Cu,Tm Malzemesi.

3.1.4 CaSiO₄:Cu Malzemesinin Hazırlanışı

Ana elementleri kalsiyum, silisyum ve oksijen olan ve kimyasal formülü CaSiO₄ şeklinde gösterilen bileşik, kalsiyum silikat olarak isimlendirilir. Kalsiyum oksit (CaO) ve silikatın (SiO₂) değişik oranlarda reaksiyonu sonucunda meydana gelir. Kalsiyum silikat bileşiğinin yoğunluğu 0,29 g/cm³ olup monoklinik yapıdadır. Bu bileşiğin ergime noktası 1540 °C 'dir (Johnson, 2008; Zumdahl vd., 2009).

Bu tez çalışmasında dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere üretilen CaSiO₄:Cu malzemesi, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Nükleer Teknoloji Anabilim Dalında Prof.Dr. Mahmut A.A. ASLANI tarafından solvo termal yöntemi kullanılarak sentezlenmiştir.

Sentezleme aşamasında, CaCl₂, Si(OC₂H₅)₄, CuCl₂ çözeltilerinin tuzlarının eritilmesiyle uygun konsantrasyonlarda çalışılacak çözelti hazırlanmıştır. Daha sonra, bu kimyasal çözeltiyle damlama yöntemi kullanılarak değişik oranlarda Cu

katkılı kalsiyum borat malzemesi elde edilmiştir. Elde edilen bu çözelti daha sonra 3 saat boyunca 85 °C sıcaklık altında devamlı olarak karıştırılmıştır. Daha sonra, kristalizasyon işlemi için 85 °C 'deki fırında 2 saat sinterlenmiştir. Bu işlem sırasında kristal yapı oluşmuştur. Daha sonra, toz halindeki malzeme 1000 barlık basınç altında pelet haline getirilmiştir. Bu işlemler sonucunda, 0,50 mm kalınlıkta ve 6 mm çaplı katı formda pelet malzeme elde edilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 CaSiO₄:Cu malzemesi.

3.2 Çalışmada Kullanılan Sistemler ve Yöntemler

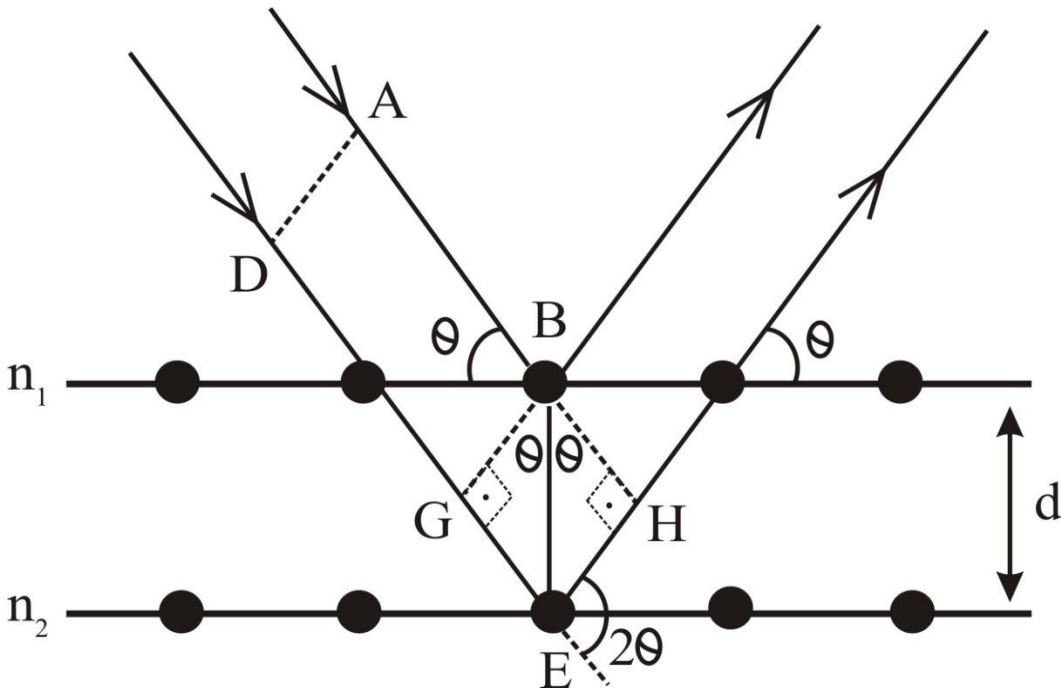
3.2.1 X-Işını Kırınımı (XRD) Sistemi

X-ışını kırınımı yöntemi, kristal yapıya sahip malzemelerin üzerine gönderilen X-ışınlarının malzemeye özgü değişik açılarda kırılması sonucunda malzemenin atomik ve moleküler yapısının belirlenmesi amacıyla kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde toz haline getirilmiş malzeme, değişik açılarda dönebilen bir sistemin üzerine konulur. Bu sistem küçük açılarda dönerken malzeme üzerine gönderilen X-ışınları kırınımına uğrayarak belirli desenler oluştururlar. Daha sonra

kristal haldeki bu malzemeden elde edilen 2 boyutlu görüntüler, çalışmada kullanılan malzemeye ait literatürde bilinen verilerin ve fourier dönüşüm yönteminin kullanılmasıyla malzemenin yapısındaki elektronların 3 boyutlu modellemesi yapılır. Bu yöntemde kullanılan XRD sistemi genel olarak, X-ışını dedektör sistemi, ölçüm yapılacak malzeme için malzeme tutucu sistemi ve X-ışını tüpünden oluşur. Bunların yanı sıra bu sistemde kullanılan hedef malzemeler genel olarak Fe, Mo, Cr ve Cu elementleridir ve bu sistem için K_α ve K_β gibi X-ışını spektrumu bileşenleri kullanılır (Settle, 1997; X-ray powder diffraction, 2013).

Bu metotta, malzeme belirli bir eksen etrafında dönerken üzerine gönderilen monokromatik X-ışınları değişik kristal örgü düzlemlerinde gelme açısına eşit bir (θ) açısı yapacak şekilde yansır (Şekil 3.9). Bu yansıma açısı (θ) kristalin örgü düzlemleri arasındaki uzaklıkla ilişkili olup “Bragg yasası” olarak bilinen matematiksel bir bağıntı ile ifade edilir (denklem 3.1).

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (3.1)$$



Şekil 3.9 Bragg yasasının kristal örgü düzlemlerinde gösterimi.

Bu bağıntıdan yararlanılarak, her bir kristal örgü için malzemeye özgü karakteristik d (katmanlar arası mesafe) değerleri elde edilir. 2θ açısı ile orantılı her bir d değeri bir pik verir ve birden fazla d değeri için bir kristal örgü, d değeri serisi ile karakterize edilir (Yalçın, 2005).

Bu yöntem ile, malzemeye ait atomlar arası mesafeler, konumları ve bağlanma enerjileri ile ilgili net sonuçlar elde edilebilir (Ersöz vd., 2010).

Bu tez çalışmasında kullanılan dozimetrik malzemelerin X-ışını kırınım (XRD) analizleri, İzmir Yüksek Teknolojisi Malzeme Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan Philips Marka X 'Pert Pro X-ışını kırınım ölçeri ile bakır K_{α} ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$) çizgisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 İzmir Yüksek Teknolojisi Malzeme Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan Philips Marka X'Pert Pro X-ışını kırınım ölçeri sistemi.

X-ışını kırınımı (XRD) ölçümleri, 3° den başlayarak 85° 'ye kadar olan 2θ aralığındaki açılarda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kristalografik fazların tanımlanabilmesi amacıyla, Bragg Brentano geometrisi kullanılmıştır. Daha sonra,

ölçüm yapılan dozimetrik malzemelerinin XRD verileri bakırın $K\alpha_1$ ($\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$) ve $K\alpha_2$ ($\lambda = 1.54443 \text{ \AA}$) çizgilerinin kullanıldığı Cubi-XRD sistemiyle toplanmıştır. XRD ölçümlerinde, her bir malzemeden 5 mg 'lık miktarlar kullanılmış ve kullanılan bu malzemeler agat havanda toz haline getirildikten sonra deneysel ölçümler gerçekleştirilmiştir.

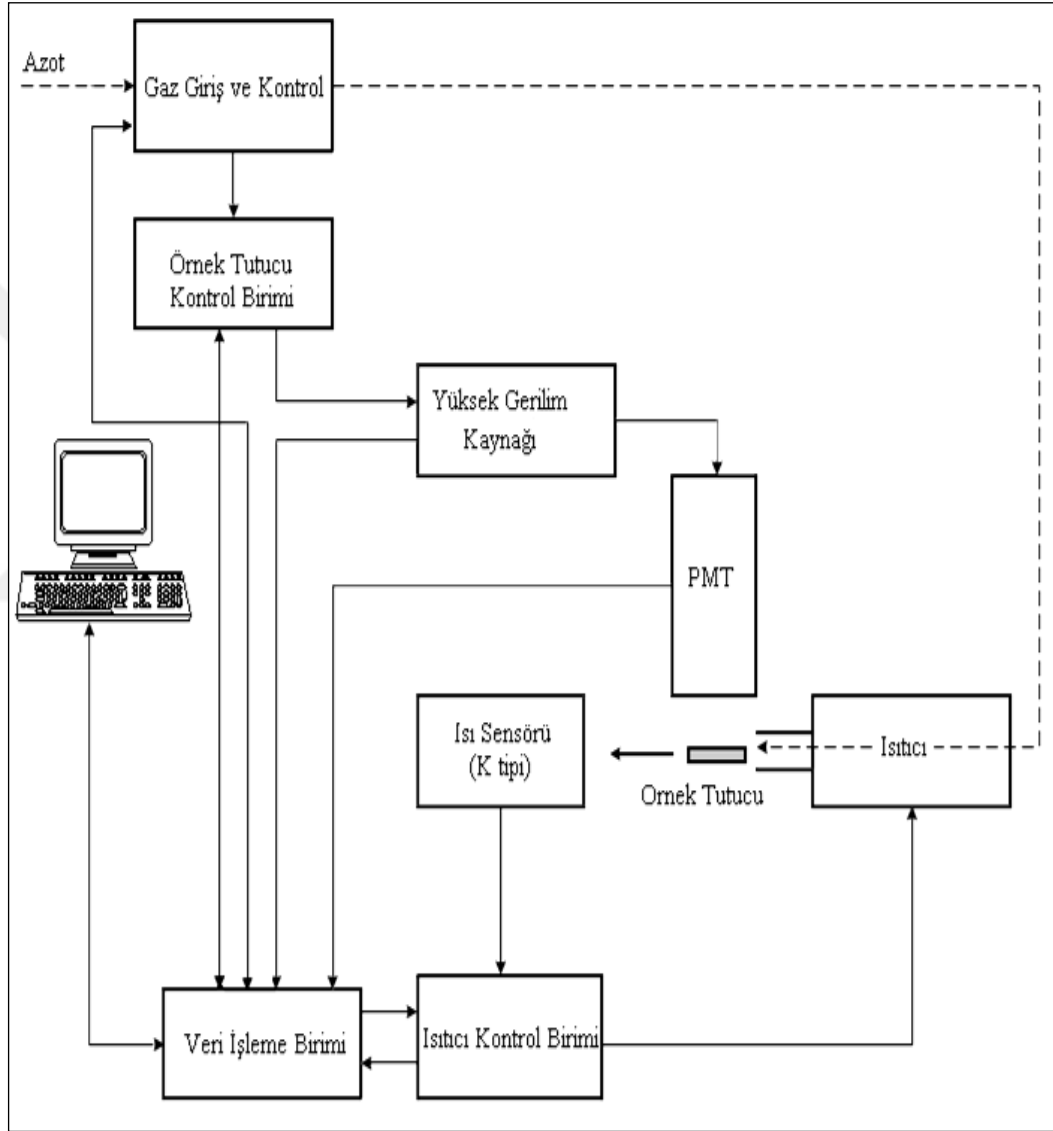
3.2.2 Termolüminesans Dozimetre (TLD) Okuyucu Sistemi

Bu tez çalışmasında Termal uyarımlı lüminesans (TSL) ölçümleri için Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü bünyesinde bulunan lüminesans laboratuvarındaki Harshaw 3500 marka TLD okuyucu sistemi kullanılmıştır. TLD okuyucu ünitesi el ile kontrol edilen ve bilgisayar bağlantılı bir okuyucu sistemidir (Şekil 3.11). Bu sistem, TLD okuyucu ünite ile seri iletişim port ile bağlantılı WinREMS (Windows Radiation Evaluation and Management System) programının çalıştırıldığı bir bilgisayardan oluşan iki ana bileşene sahiptir.



Şekil 3.11 TLD okuyucu sistemi (Harshaw marka Model 3500).

Harshaw 3500 marka TLD okuyucu cihazı, tek bir malzemenin ölçümü için tasarlanmış bir sistemdir. Bu sistem, malzemenin yerleştirildiği ve aynı zamanda ısıtma işleminin yapıldığı örnek tutucu, malzemenin ısıtılması esnasında oluşan malzemeye özgü ışımanın sayıldığı foto çoğaltıcı tüp (PMT-EMI 9235QA) , bu ışıma olayı sonucunda elde edilen verilerinin aktarıldığı ve bu verilerin işlenmesiyle elde edilen görüntülerin kaydedildiği kısımlardan oluşur (Şekil 3.12).



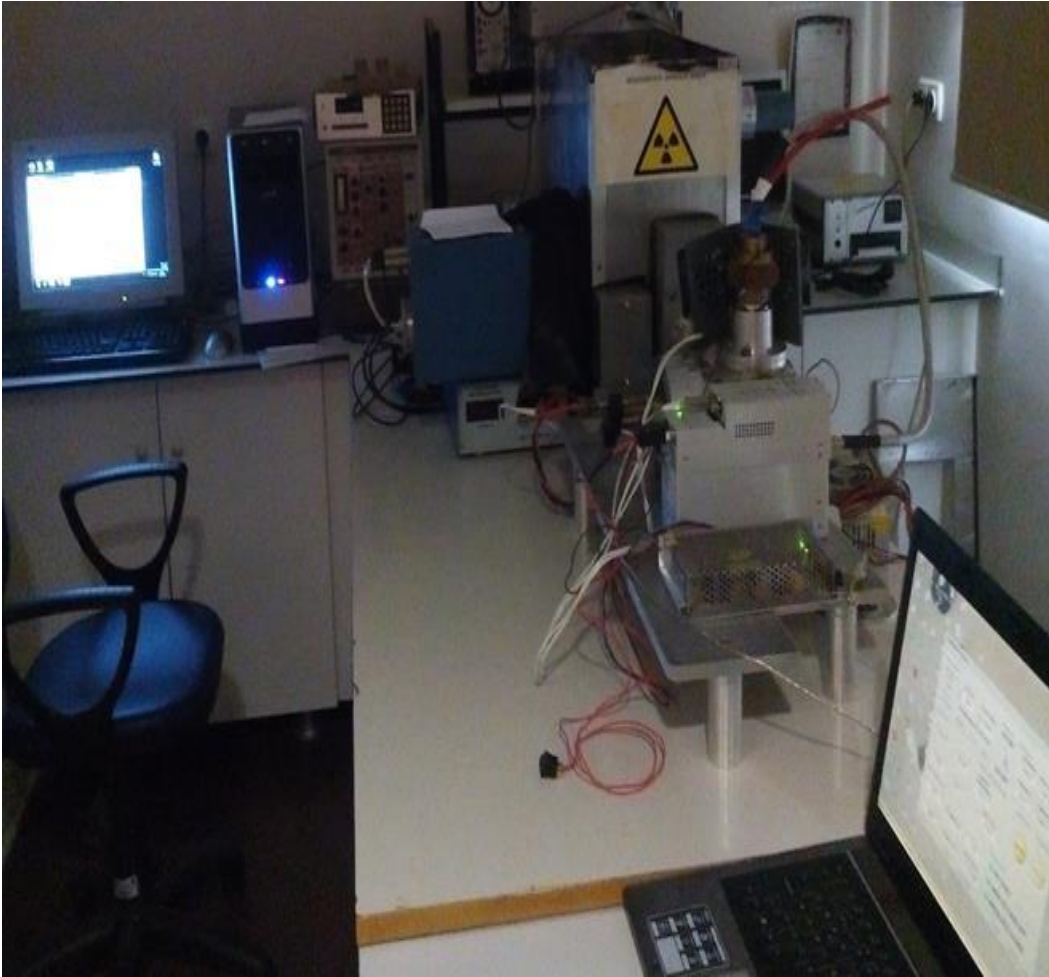
Şekil 3.12 TLD okuyucu sistemine ait diyagram.

TLD okuyucu sisteminde ısıtma işleminin kontrolü K tipi ısıl çift (thermocouple) yardımıyla sağlanır. Ayrıca K tipi ısıl çift yardımıyla kontrol edilen bu ısıtma, doğrusal (lineer) bir ısıtma hızı ile çalışır. Sistem üzerinde isteğe

göre bu lineer ısıtma hızında değişiklikler yapılabilir. Bu TLD okuyucu sistemi ile malzemeler 600 °C 'ye kadar ısıtılarak ölçümler gerçekleştirilebilir.

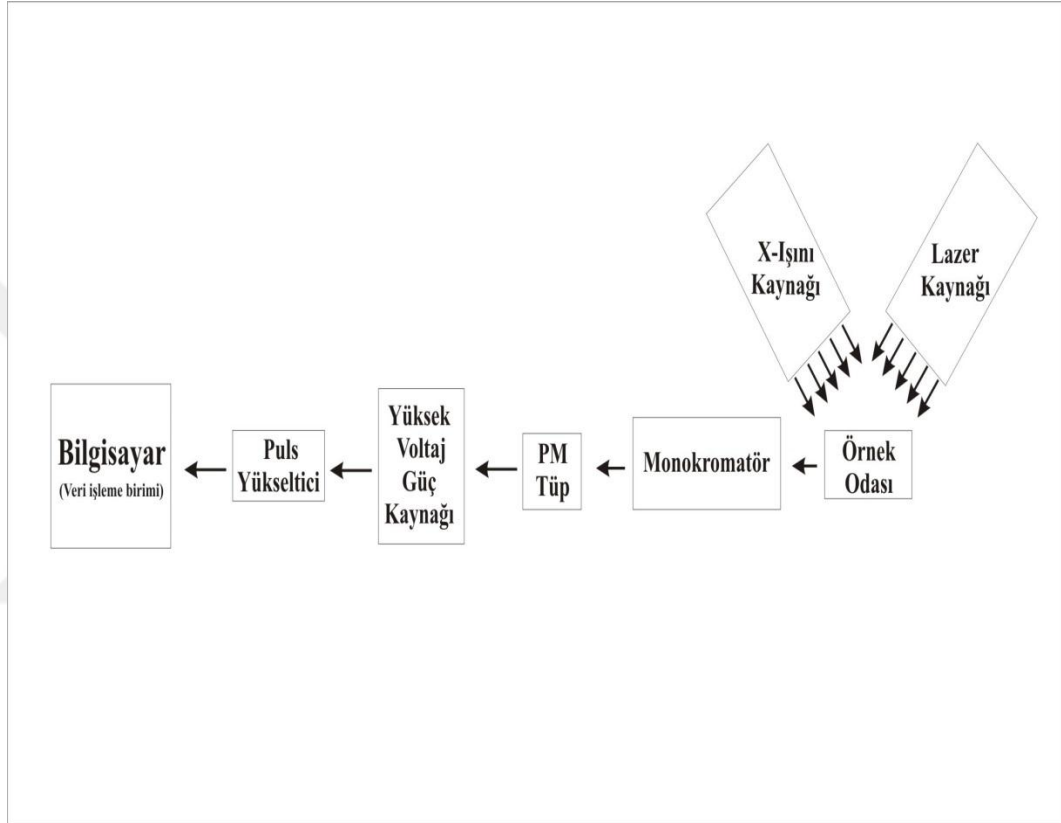
3.2.3 Radyolüminesans (RL) ve Fotolüminesans (PL) Spektrometre Sistemi

Bu tez çalışmasından dozimetrik malzemelerin fotolüminesans (PL) ve radyolüminesans (RL) ölçümleri için, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü bünyesinde bulunan lüminesans laboratuvarındaki PL ve RL spektrometre sistemi kullanılmıştır. Bu sistem el ile kontrol edilen ve bilgisayar bağlantılı bir ünedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Radyolüminesans (RL) ve fotolüminesans (PL) spektrometre sistemleri.

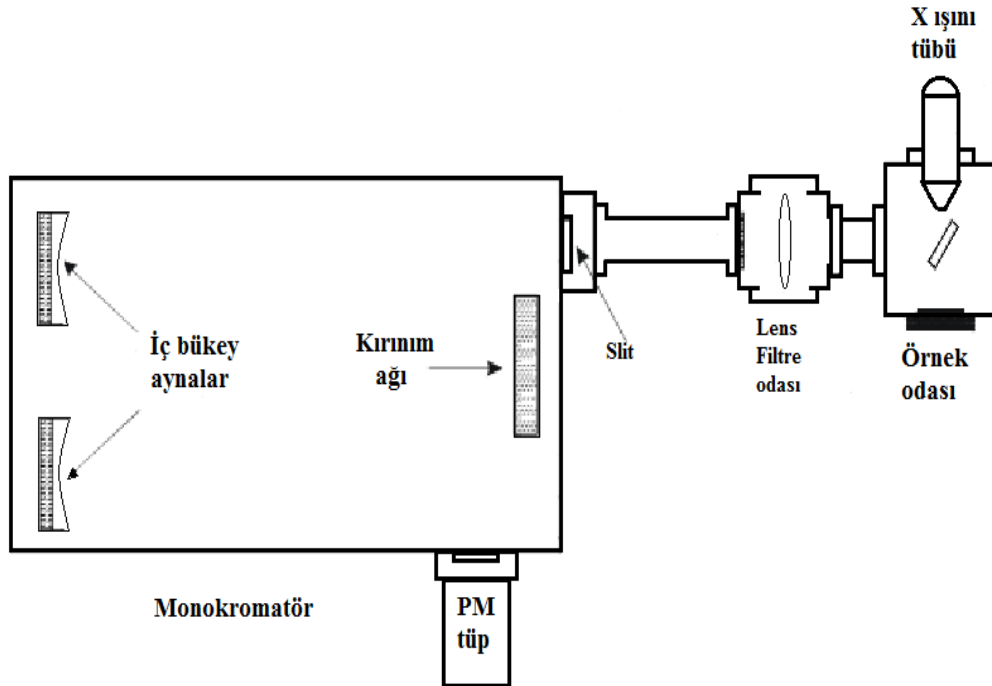
RL ve PL sistemi, dozimetrik malzemelerin ışınlanmasında kullanılan 337 nm dalga boyuna sahip darbeli azot (N_2) lazer kaynağı, X-ışını kaynağı, örnek odası, yüksek çözünürlüğe sahip taramalı monokromatör, yüksek gerilim güç kaynağı, puls yükseltici ve malzemeye özgü ışımının sayıldığı fotoçoğaltıcı tüp (EMI-9659Q) ve elde edilen verilerin işlenip kaydedildiği bilgisayar kısımlarından oluşur (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Radyolüminesans (RL) ve Fotolüminesans (PL) spektrometre sistemi için blok diyagram.

Radyolüminesans sisteminin X-ışını tüpünde anot materyali olarak, tungsten kullanılmıştır. Bununla birlikte, kullanılan Varian (VF-50) marka X-ışını tüpü için seçilen tungsten hedef malzeme ile 50 Watt gücünde X-ışınları üretilmektedir. X-ışını tüpü, seramik bir zarf içinde olup tüpten düşük enerjili ışınların çıkabilmesi amacıyla 75 mikronluk berilyum (Be) pencere kullanılmıştır. X-ışını tüpü Spellman marka MNX model yüksek voltaj güç kaynağı ile beslenmektedir. Tüpün filament akımı maksimum 3,3 A ve voltajı ise 2,5 V olacak şekilde ayarlanabilmektedir. X-ışını tüpünün maksimum anot voltajı 50

kV, maksimum t p akımı 3 mA olarak ayarlanabilmektedir. T p soğutması, hava ile yapılmaktadır. Fotolüminesans sisteminde (PL), 337 nm dalgaboyuna sahip darbeli azot (N₂) lazer kaynağı kullanılmıştır. RL ve PL spektrometre sisteminde, yüksek  z n rl kl  taramalı monokromatör kullanılmıştır. Böylece, ince yapılı emisyon çizgilerini karakterize edebilen yüksek  z n rl kl  RL ve PL  l  mleri gerçekleştirilebilmektedir. Sistemde kullanılan bu monokrometrenin ışık giriş ve çıkış silitlerinin aralığı bir mikrometreye bağı olup, silitlerin aralığı el ile değı tirilebilmektedir. Bu sistem için slit geni liğı, 5 mm olarak ayarlanmıştır. Sistem üzerinde kullanılan örnek odası 4x4 in  'lik k p şekline sahip olup, alüminyum malzemeden yapılmıştır. Portları oluşturmak için küpün tüm yüzeylerinde merkezde 2 in  çapında delikler oluşturulmuştur. Bununla birlikte, örnek odasının kalınlığı ise X-ışını tüpünden gelen radyasyonu kabul edilebilir dozlara indirmek için yeterli kalınlıktadır.  rnek odasının üst portu  ekil 3.15'te g r ld ğı üzere, X-ışını tüpü ve lazer kaynağına bağılanabilir bir özelliğı sahiptir.  rnek odasının sağı ve arka portları kapalı olup, sol tarafında ise monokromatör yoluyla fotoçoğaltıcı tüpe bağılanmış olan dedeksiyon sistemi bulunmaktadır.  rnek odasının  n portu malzeme giriş  ıkı ı için kullanılmak üzere tasarlanmıştır.



Şekil 3.15 Taramalı spektrometrenin şematik gösterimi.

3.2.4 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ Dozimetrik Malzemeleri İçin Tavlama İşlemi

Dozimetrik çalışmalarda kullanılmak üzere üretilmiş dozimetrik malzemelerin soğurdukları dozların doğru olarak belirlenebilmesi için dozimetrelerin ısıtılma işlemine maruz bırakılmaları, lüminesans alanında önemli bir araçtır. Bu ısıtılma işlemine “tavlama” adı verilir. Tavlama işlemi, yarı iletken ya da yalıtkan malzemenin tuzaklarında tuzaklanmış elektronlarının temizlenmesini ve malzemelerin örgü yapılarının daha kararlı hale getirilmesini yani malzemelerin hassasiyetlerinin artırılmasını sağlar (Vij, 1998).

Lüminesans çalışmalarında kullanılması düşünülen dozimetrik malzemelerin yapısında bir değişikliğe neden olmaması için tavlama işlemi için tavlama sıcaklığının ve tavlama süresinin çok iyi belirlenmesi gerekir (McKeever vd., 1995).

Çalışmada kullanılan dozimetrik malzemelerin tavlama işlemleri Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü bünyesinde bulunan Carbolite Furnaces CSF 1100 marka fırın kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Sol-jel yöntemi kullanılarak enstitümüz bünyesinde hazırlanmış Tm katkılı CaCO_3 malzemeleri için her bir deneysel çalışma öncesinde, malzemenin örgü yapısında bir değişikliğe neden olmayacak şekilde 400 °C 'de 30 dakika süre ile tavlama işlemi uygulanmış ve tavlama işlemi sonrasında oda sıcaklığında bir süre bekletilmişlerdir.

Mn ve Cu katkılı ve katkısız magnezyum borat malzemeleri ile ilgili gerçekleştirilmiş olan benzer bir çalışmada, dozimetrelere her bir çalışma öncesinde 400 °C 'de 10 dakika süre ile tavlama işleminin uygulanması ve bir süre oda sıcaklığında bekletilmesi gerektiği belirlenmiştir (J. Manam ve S.K. Sharma, 2003). Bu doktora çalışmasında, sol-gel yöntemiyle üretilmiş mangan katkılı CaB_4O_7 dozimetrelere her bir deneysel işlem öncesinde 400 °C 'de 10 dakika süre ile tavlama işlemi uygulanmış ve oda sıcaklığında bir süre bekletilmişlerdir.

Tulyum ve bakır katkılı CaSO_4 malzemelerin dozimetrik çalışmalarda kullanılmadan önce, $500\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 30 dakika süre ile tavlama işleminin uygulanması gerektiği belirlenmiştir (Ekdal vd., 2015). Bu çalışmada her bir deneysel işlem öncesinde, tulyum ve bakır katkılı CaSO_4 malzemeler $400\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 30 dakika süre ile tavlama işlemine maruz bırakılmışlardır.

Terbiyum katkılı Mg_2SiO_4 malzemesi için daha önce yapılmış literatürdeki çalışmalarda, malzemeler için $300\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 1 saat süre ile ya da $450\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 30 dakika tavlama işleminin uygulanması gerektiği belirlenmiştir (Kusama vd., 1994; Prokic ve Yukiara, 2008). Bu çalışmada, kimyasal yapı yönünden Mg_2SiO_4 malzemesi ile benzerlik gösteren bakır katkılı CaSiO_4 dozimetreler için $300\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 1 saat süre ile tavlama işlemi uygulanmış ve bu işlem sonrasında bir süre oda sıcaklığında bekletilmişlerdir.

3.2.5 Beta Kaynağının Kalibrasyonu

Çalışmada kullanılacak dozimetrik malzemelerin laboratuvarında bulunan Sr-90 beta kaynağından birim zamanda ne kadar doz aldıklarının belirlenmesi oldukça önemlidir.

Doktora çalışmasında kullanılan dozimetrik malzemelerin, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü bünyesinde bulunan 28 yıl yarı ömre ve 590 MBq aktiviteye sahip $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağından (Şekil 3.16) aldıkları doz miktarlarının belirlenebilmesi için SSDL (sekonder standard dosimetry laboratuvarı-TAEK) ile kalibre edilmiş ^{60}Co kaynağından yararlanılmıştır. Bu kalibrasyon işlemi için hazırlanmış olan dozimetrik malzemeler, Özel Onkomer Radyasyon Onkolojisi merkezi bünyesinde bulunan ^{60}Co kaynağı ile (5,27 yıl yarı ömre ve 441,3 TBq aktiviteye sahip) 0,5 Gy, 1 Gy ve 2 Gy 'lik farklı dozlarda ışınlanmışlardır.

Daha sonra, gerekli deneysel ölçüm ayarlamaları (ısıtma hızı: 5 °C/s; başlangıç sıcaklığı: 50 °C; bitiş sıcaklığı: 450 °C) yapılmış olan Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemi kullanılarak her bir dozimetrenin TSL ışıma eğrileri elde edilmiş ve veriler kaydedilmiştir.

Bu işlemlerden sonra, tüm malzemeler için elde edilen TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alanlardan (spektrum altında kalan alan) yararlanılarak dozimetrik malzemelerin her biri için büyütme eğrileri çizilmiştir. Daha sonra, her bir dozimetre tekrar tavlama işlemine tabii tutulup malzemelerin her biri 10 dakika süreyle beta kaynağı ile ışınlanmıştır. Bu ışınlama işlemlerinden hemen sonra, malzemelerin TSL ışıma eğrileri elde edilmiş ve elde edilen TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alanlar hesaplanmıştır. Son olarak, elde edilen veriler ve büyütme eğrilerinden yararlanılarak kullanılan beta kaynağının $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4:\text{Cu}$ dozimetrik malzemelerine verdiği dozlar sırasıyla $5,5 \text{ mGy.s}^{-1}$, $4,7 \text{ mGy.s}^{-1}$, $4,7 \text{ mGy.s}^{-1}$, $5,6 \text{ mGy.s}^{-1}$, $5,2 \text{ mGy.s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

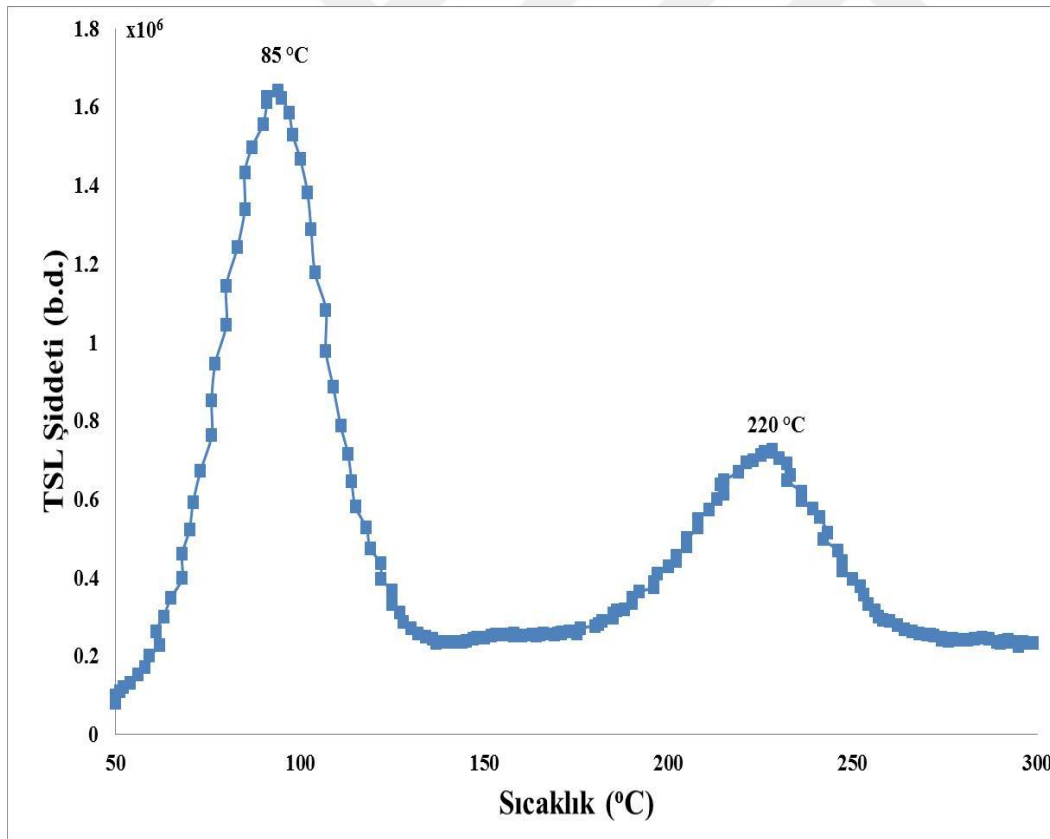


Şekil 3.16 28 yıl yarı ömre ve 590 MBq aktiviteye sahip $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağı.

3.2.6 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ Malzemelerinin TSL Işıma Eğrilerinin Belirlenmesi

Dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş olan bir malzemenin öncelikle termal uyartımlı lüminesans (TSL) ışıma eğrisinin belirlenmesi gereklidir. Herhangi bir dozimetrik malzemenin kaç pike sahip olduğu ve sıg ya da derin tuzaklarının olup olmadığı gibi malzemeye özgü lüminesans özellikleri, TSL ışıma eğrisinden yararlanarak belirlenebilir (McKeever, 1985)

TSL ışıma eğrilerinin belirlenebilmesi için, malzemeler önceden belirlenmiş tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra Sr-90 beta kaynağı ile belirli sürelerde ışınlanmalarının hemen ardından TLD okuyucu sisteminde TSL eğrileri kaydedilir. Bu işlemler sonucunda elde edilen grafik, bize malzemenin TSL eğrisini verir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) dozimetrik malzemesi için TLD okuyucu kullanılarak elde edilmiş sıcaklığa karşılık ışıma şiddeti grafiği.

3.2.7 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ Malzemelerinin Doz Cevap Eğrilerinin Belirlenmesi

Dozimetrik amaçlı üretilmiş olan bir malzemenin TSL ışıma eğrisinin belirlenmesinden sonra dozimetrenin doz cevap eğrisinin nasıl bir yapıya sahip olduğunun tespit edilmesi, dozimetrik malzemenin hangi doz aralıklarında kullanılabilir olduğunun belirlenebilmesi için oldukça önemlidir.

Dozimetrik malzemeye ait doz cevap eğrisinin belirlenebilmesi için TSL ışıma eğrisinin altında kalan alandan ya da TSL ışıma eğrisinin dozimetrik (ana) pikinin maksimum TSL şiddetinden yararlanılabilir. Her iki şekilde de malzemelerin soğurdukları dozlara karşılık TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alana ya da TSL ışıma eğrisinin ana pikinin maksimum TSL ışıma şiddetine karşılık çizilen grafiklerin eğimlerinden yararlanarak, malzemelerin doz cevap eğrilerinin nasıl bir yapıda olduğu (doğrusal, doğrusal altı ve doğrusal üstü) belirlenebilir (Vij, 1998; McKeever, 1985).

Doz cevap eğrisinin nasıl bir yapıya sahip olduğunun belirlenebilmesi için diğer bir yöntem ise, $F(D)_{\text{Oran}}$ değerinin belirlenmesidir. $F(D)_{\text{Oran}}$ değeri,

$$F(D)_{\text{Oran}} = \frac{\left(\frac{F(D)}{D}\right)_{\text{Dozimetre}}}{\left(\frac{F(D_1)}{D_1}\right)_{\text{TLD100}}} \quad (3.2)$$

bağıntısıyla hesaplanır (McKeever, 1995). Burada,

$F(D)_{\text{Oran}}$ = Doz cevap oranı.

D = Dozimetrenin soğurduğu doz miktarı.

$F(D)$ = Dozimetre nin so ğ urdu ğ u do za kar ş ılık TLD okuyucudan elde edilen TSL ı ş ı ma e ğ risinin maksimum ı ş ı ma ş iddeti.

D_1 = TLD100 dozimetresinin aynı sürede so ğ urdu ğ u doz miktarı.

$F(D_1)$ = TLD100 dozimetresinin so ğ urdu ğ u doz miktarına kar ş ılık TLD okuyucudan elde edilen ı ş ı ma e ğ risinin maksimum ı ş ı ma ş iddeti.

Bu denklem yardımıyla elde edilen $F(D)_{Oran}$ de ğ eri 1 ise doz cevap e ğ risinin do ğ rusal (linear), $F(D)_{Oran} < 1$ ise do ğ rusal altı ve $F(D)_{Oran} > 1$ ise do ğ rsual ü stü bir yapıya sahip oldu ğ u belirlenebilir (Vij, 1998; McKeever, 1985).

3.2.8 $CaCO_3:Tm$, $CaB_4O_7:Mn$ (%1), $CaB_4O_7:Mn$ (%3), $CaSO_4:Cu,Tm$ ve $CaSiO_4:Cu$ Malzemelerinin Hassasiyetlerinin Belirlenmesi

Bir dozimetrik malzemenin radyasyon dozuna maruz kalmasından sonra elde edilen TSL ı ş ı ma e ğ risindeki ana pikinin ş iddeti, bu malzemenin TSL olayı esnasındaki ı ş ık yayılım olayıyla do ğ ru orantılıdır ve bu olay dozimetrik bir malzeme için oldukça önemlidir. Bu nedenle radyasyon dozuna maruz kalmı ş bir dozimetrik malzemenin ı ş ık yayılım ş iddeti, malzemenin hassasiyetini yani radyasyon dozuna kar ş ı duyarlılı ğ ını ifade eder.

A ğ ı rlı ğ ı e ş it olan iki malzeme e ş it radyasyon dozuna maruz bırakıldıktan sonra, aynı ko ş ullar altında termal uyartımlı lü minesans ı ş ık yayılımı fazla ise o malzemenin di ğ er malzemeye göre daha hassas yani duyarlı oldu ğ u sö ylenebilir (McKeever, 1985).

Bu tez ç alı ş masında dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmi ş olan malzemelerin hassasiyetlerinin belirlenebilmesi için, hassasiyeti iyi bilinen TLD100 ($LiF:Mg,Ti$) dozimetrelerinden yararlanılmı ş tır. Hassasiyet ölçümleri için dozimetrik malzemelere ve TLD100 dozimetresine e ş it radyasyon dozları

verildikten sonra, TLD okuyucuda aynı ölçüm değerleri kullanılarak malzemelerden elde edilen TSL ışıma eğrilerinden yararlanarak ve gerekli kütle düzeltmeleri yapılarak denklem 3.3 yardımıyla malzemelerin hassasiyet ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

$$S(D)_{oran} = \frac{F(D)_{Malzeme}}{F(D)_{TLD100}} \quad (3.3)$$

Bu denklemdeki ifadeler;

$S(D)$ = Dozimetrik malzemenin TLD100 dozimetresine göre hassasiyet oranı.

$F(D)_{Malzeme}$ = Hassasiyeti belirlenmek istenen dozimetrik malzemenin belirli bir süre radyasyon kaynağı ile ışınlaması sonucunda elde edilen TSL şiddeti.

$F(D)_{TLD100}$ = TLD100 dozimetresinin aynı sürede radyasyon kaynağı ile ışınlamasından sonra aynı koşullar altında elde TSL şiddeti.

3.2.9 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ Dozimetrik Malzemelerinin Kararlılıklarının Belirlenmesi

Dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş olan malzemeler için diğer bir önemli olgu ise, malzemelerin kararlılıklarının yani her bir malzemenin

aynı koşullar altında tekrarlanan ölçümler sonrasında malzemeden elde edilen TSL şiddetinin aynı olup olmadığının belirlenmesi olayıdır.

Bu nedenle her bir dozimetrik malzemenin her seferinde aynı radyasyon dozuna maruz kalmasından ardından, aynı koşullar altında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması sonucunda malzemenin doz cevabının aynı olup olmadığı yani dozimetrik malzemenin örgü yapısındaki tuzaklarda tuzaklanmış olan elektronlarının sayısının aynı olup olmadığı belirlenebilir (McKeever, 1985; Vij, 1998).

Bu tez çalışmasında malzemelerin kararlılıklarının belirlenebilmesi amacıyla her bir dozimetrik malzeme en az 5 kez aynı koşullar altında aynı doza maruz bırakıldıktan sonra, malzemelerden elde edilen TSL eğrilerinin altında kalan alanlardan ve TSL ışıma eğrilerindeki dozimetrik (ana) piklerinin maksimum TSL ışıma şiddetlerinden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, malzemelerin kararlılıkları test edilmiştir.

3.2.10 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) ve $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ Malzemelerinin Sönümlene Miktarlarının Belirlenmesi

Termoluminesans dozimetreler için göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli husus ise, dozimetrenin radyasyon dozuna maruz kalmasından sonra tuzaklanmış olan elektronlarının zaman içerisinde sabit kalıp kalmaması olayıdır.

Dozimetrik malzemenin örgü yapısında bulunan tuzaklarında tuzaklanmış elektronların sayısında, zaman içerisinde ısı yoluyla (termal sönümlene), ışık yoluyla (optiksel sönümlene) ve diğer başka nedenlerden (anormal sönümlene) dolayı azalma meydana gelebilir. Eğer dozimetrik malzemelerin tuzak derinlikleri (E) yeterince büyük değilse bu olayın oluşması kaçınılmazdır. TLD 'lerin düşük sıcaklık bölgesinde bulunan tuzaklarının sönümlenme olasılığı, yüksek sıcaklık bölgesinde bulunan tuzaklarına göre daha yüksektir. Bu nedenle TLD 'lerin TSL ışıma eğrilerinin ana piklerinin 200 ile 250 derece aralığında olması istenir. Çünkü

bu bölgedeki pik üzerine, siyah cisim ışımasının etkisi yok denecek kadar azdır. Bu değerlerin üstündeki sıcaklıklarda gerek ısıtıcı şeritten gerekse örneğin kendisinden kaynaklanacak siyah cisim ışıması, TSL sinyalinin baskılayacaktır. (McKeever, 1985).

Dozimetrik çalışmalarda sönümlenme olayı I_{TSL_t}/I_{TSL_0} olarak ifade edilir. Bu ifadedeki I_{TSL_0} değeri malzemenin radyasyon kaynağı ile belirli miktarda ışınlanmasından hemen sonra elde edilen TSL ışıma eğrisinin dozimetrik (ana) pikine ait TSL ışıma şiddetini tanımlar. Bunun yanı sıra I_{TSL_t} değeri ise, aynı malzemenin aynı dozda radyasyon kaynağı ile ışınlanmasının ardından belirli bir süre ($1 \text{ saniye} < t < 1 \text{ ay}$) bekletildikten sonra aynı koşullar altında elde edilmiş olan TSL ışıma eğrisinin dozimetrik pikinin TSL ışıma şiddetini ifade eder.

Sönümlenme olayı, TLD 'ler için oldukça önemli bir olgudur. Özellikle çevresel radyasyon doz ölçümleri gibi kontrol edilmesi oldukça zor olan ortamlardaki radyasyon doz ölçümlerinde istenilmeyen bir durumdur. Bu nedenle, radyasyona maruz kalmış bir dozimetrik malzemenin ışık ve benzeri olumsuz durumlardan etkilenmemesi için TSL işlemlerinden önce karanlık bir ortamda muhafaza edilmeleri gerekmektedir (Vij, 1998).

Bu tez çalışmasında dozimetrik amaçlı yeni sentezlenmiş malzemelerin her biri için gerekli tavlama işlemleri uygulandıktan ve belirli miktarda radyasyon kaynağı ile ışınlanmalarından hemen sonra, gerekli deneysel ölçüm ayarlamaları yapılmış olan malzemelere ait TSL ışıma eğrileri elde edilmiş ve kaydedilmiştir. Daha sonra, malzemelerin her biri tekrar tavlama işlemine maruz bırakılmış ve ardından aynı miktarda radyasyon kaynağı ile ışınlanmışlardır. Işınlanmış malzemelerin karanlık bir ortamda belirli sürelerde bekletilmelerinin ardından, aynı koşullar altında malzemelere ait TSL ışıma eğrileri kaydedilmiştir. Elde edilen bu veriler ve yukarıdaki ifadelerden yararlanılarak malzemelerin tuzaklarında tuzaklanmış elektronlarındaki azalma miktarları yani sönümlenme miktarları belirlenmiştir.

3.2.11 Dozimetrelerin TSL Kinetik Parametrelerinin Belirlenebilmesi Amacıyla Kullanılan Metodlar

TSL olayı, yarı iletken ya da yalıtkan bir malzemenin örgü yapısındaki düzensizlikleri, safsızlık oranı ve bant yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Yarı iletken ya da yalıtkan bir malzemenin atomik boyutta sahip olduğu kusur, etkileştiği yük taşıyıcılarının işareti, bulunduğu uyarılmış haller ve etkileştiği yük taşıyıcılarının sayısı ile tanımlanabilir. Yani her bir kusur karakteristik bir enerji (E), frekans faktörü (s) ve kapsadığı olayın kalitesini ifade eden kinetik bir mertebeye (b) sahiptir. E parametresi, dozimetrik bir malzemenin örgü yapısındaki bir tuzak tarafından tuzaklanmış bir yük taşıyıcısının tuzaktan kurtulabilmesi (serbest kalması) için bu yük taşıyıcısına verilmesi gereken ve tuzak derinliği olarak da ifade edilen enerji olarak tanımlanır. Malzemenin örgü yapısındaki tuzak bir potansiyel kuyusu olarak düşünülürse, bu tuzakta tuzaklanmış bir yük taşıyıcısının (elektron) tuzak içerisinde birim zamandaki titreşim (çarpma sayısı) sayısına frekans faktörü denir. Bu s değerinin en büyük değeri örgü titreşim frekansına, yani 10^{12} - 10^{14} s⁻¹ karşılık gelir. Tuzak parametrelerinden bir diğeri olan b ise, tuzaklanmış bir elektronun tuzaktan kurtulduktan sonra tekrar tuzaklanıp tuzaklanamayacağını ifade eder. Dozimetrik bir malzemenin aktivasyon enerjisi (E), frekans faktörü (s) ve kinetik mertebesi (b) gibi tuzak parametrelerinin hesaplanabilmesi, malzemenin örgü yapısındaki tuzaklar hakkında daha ayrıntılı bilgi sahibi olmamızı sağlar. Dozimetrik amaçlı üretilmiş bir malzemenin tuzak parametrelerinin belirlenebilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanları, farklı ısıtma hızları (various heating rates) metodu, ışıma eğrisi şekli (peak shape) metodu ve izotermal lüminesans (isothermal decay) metodudur (McKeever, 1985; Pagonis vd., 2006).

Bu tez çalışması için sentezlenmiş dozimetrik malzemelerin tuzak parametrelerinin belirlenebilmesi için farklı ısıtma hızları metodu, ışıma eğrisi şekli metodu ve izotermal lüminesans bozunma metodu gibi yöntemler kullanılmıştır.

3.2.11.1 Farklı Isıtma Hızı Metodu

Farklı ısıtma hızı metodu, dozimetrik bir malzemenin tuzak parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, farklı ısıtma hızları kullanılarak TLD okuyucu yardımıyla malzemeden elde edilen TSL ısıtma eğrilerinin karşılaştırılması yapılır. Dozimetrik bir malzemenin TSL ısıtma eğrisinin maksimum ısıtma şiddetine karşılık gelen sıcaklık değeri (T_m), TLD okuyucuda ısıtma hızının artırılmasıyla yüksek sıcaklıklara doğru değişime uğrayabilir. Termal uyartımlı lüminesans (TSL) ölçümlerinin yapıldığı TLD okuyucuda farklı ısıtma hızları kullanılması sonucunda, T_m 'de meydana gelen değişimin ısıtma hızına (β) bağlılığını ifade eden bağıntı denklem 3.4 ile ifade edilir.

$$\ln\left(\frac{T_m^2}{\beta}\right) = \frac{E}{kT_m} + \ln\left(\frac{E}{sk}\right) \quad (3.4)$$

Bu ifadedeki E (eV) tuzak derinliğini ve s (s^{-1}) frekans faktörünü tanımlar. Bu yöntemde dozimetrik malzemeler, kendilerine özgü tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra belirli bir süre radyasyon kaynağı ile ışınlanırlar. TSL ölçüm sisteminde, ısıtma hızı ve gerekli diğer deneysel ölçüm ayarlamaları önceden yapılır ve ışınlama işleminin ardından malzemelerden elde edilen TSL ısıtma eğrileri kaydedilir. Gerçekleştirilen bu işlemler TLD okuyucuda farklı ısıtma hızlarında (β), ısıtma hızı hariç diğer tüm ölçüm değerleri aynı olacak şekilde, defalarca tekrarlanır ve elde edilen TSL ısıtma eğrilerinin kaydedilir. Farklı ısıtma hızlarında elde edilmiş olan bu TSL ısıtma eğrilerinden yararlanılarak, malzemelerin dozimetrik (ana) piklerinin maksimum TSL ısıtma şiddetlerine karşılık gelen maksimum sıcaklık değerleri (T_m) belirlenir. Son olarak farklı ısıtma hızlarında (β) elde edilmiş olan TSL ısıtma eğrilerinin maksimum sıcaklık (T_m) değerlerini kullanarak, $\ln(T_m^2/\beta)$ 'ya karşılık $1/T_m$ grafikleri çizilir. Dozimetrik malzemeler için elde edilmiş olan bu grafiklerdeki eğrilerin eğimlerinden (E/k) yararlanılarak, malzemelerin tuzak derinliklerini ifade eden

aktivasyon enerjisi (E) ve eğrilerin $\ln(E/sk)$ kesişimi ifadesinden de frekans faktörü (s) değerleri bulunabilir (Rivera vd., 2004; Rasheedy, 2005; Chen, 1970).

Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken önemli bir husus ise, sıcaklık gecikmesi olarak ifade edilen durumdur. TSL deneylerinde kullanılan TLD okuyucusunun ısıtıcı ünitesindeki sıcaklık değeri, ısıtıcı üniteye bağlı olan ısı çift yardımıyla ölçülür. Fakat ölçülen bu sıcaklık değeri, her zaman malzemenin sıcaklık değerini ifade etmeyebilir. Özellikle kalın olarak kullanılan malzeme tabletlerinde ölçülen ısıma, malzemenin yüzeyinden gelen ısımadır ve bu sıcaklık termoçift ile ölçülen sıcaklıktan her zaman farklıdır. Oluşan bu sıcaklık farkı, malzeme ile ısıtıcı ünite arasındaki ideal olmayan termal iletim, ısıtıcı ünitesine özgü sıcaklık değişimleri ve malzemenin kendi yapısında meydana gelen sıcaklık değişimlerinden kaynaklanabilir. Malzeme ile ısıtıcı ünite arasındaki sıcaklık farkı, sıcaklık gecikmesi olarak adlandırılır ve yüksek ısıtma hızlarında bu sıcaklık farkının oluşma olasılığı çok yüksektir. Bu nedenle, farklı ısıtma hızları kullanılarak TLD okuyucu yardımıyla gerçekleştirilen TSL ölçümlerinde doğru sonuçların elde edilebilmesi için bu etkinin göz önünde bulundurulması gerekir. Sonuç olarak farklı ısıtma hızı yöntemi kullanılarak elde edilen TSL ısıma eğrilerinden yararlanılarak malzemelerin tuzak parametrelerinin doğru olarak belirlenebilmesi için, TLD cihazının ısıtıcı ünitesinin sıcaklığı yerine dozimetrik malzemenin sıcaklığının tespit edilmesi gerekir (Oguz vd., 2016; Gökçe vd., 2009; Betts ve Townsend, 1993; PETERS ve Bos, 1994; Gotlib vd., 1984).

Kitis ve Tuyn tarafından dozimetrik malzemeler için farklı ısıtma hızı yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen TSL ölçümlerinde, sıcaklık gecikmesinin daha iyi belirlenebilmesi için denklem 3.5 ile ifade edilen bağıntıda çok düşük ısıtma hızlarıyla elde edilmiş değerlerin kullanılmasının daha doğru olacağı belirtilmiştir (Kitis ve Tuyn, 1998).

$$T_{Mj} = T_{Mi} - c \ln \left(\frac{\beta_i}{\beta_j} \right) \quad (3.5)$$

Burada, T_{Mj} ve T_{Mi} değerleri, TLD okuyucusunda β_j ve β_i ısıtma hızlarıyla dozimetrik malzemelerden elde edilmiş olan TSL ışıma eğrilerinin maksimum sıcaklıklarıdır ve c bir sabittir. Bu c sabitinin değeri, farklı ısıtma tekniğinde kullanılmış olan çok düşük iki ısıtma hızının birbirine oranlanmasıyla belirlenebilir. Bu değer, ayrıca denklem 3.6 'daki bağıntıyla ifade edilir ve bu ifadeden yararlanılarak dozimetrik malzemenin sıcaklık gecikmesi düzeltilmiş tuzak derinliği ifadesi elde edilebilir (Kitis vd., 1998).

$$c = T_{Mi} T_{Mj} \frac{k}{E} \quad (3.6)$$

Burada, k Boltzmann sabiti olup E , sıcaklık gecikmesi düzeltilmiş olan malzemeye ait tuzak derinliğini ifade eder.

3.2.11.2 Işıma Eğrisi Şekli Metodu

Dozimetrik malzemelerin tuzak parametrelerinin belirlenebilmesi için tercih edilen diğer bir metot ise ışıma eğrisi şekli metodudur. Adından da anlaşılacağı üzere bu yöntemde tuzak parametreleri için gerekli hesaplamalar, radyasyon dozuna maruz kalmış olan dozimetrik malzemedan elde edilen TSL ışıma eğrisinin dozimetrik (ana) pikinin şeklinden ya da geometrik özelliklerinden yararlanılarak gerçekleştirilebilir. Bu hesaplamalar, TLD okuyucuda sadece belirli bir ısıtma hızıyla elde edilmiş olan TSL ışıma eğrileri için değil, tüm ısıtma hızlarında gerçekleştirilebilir (Chen, 1969).

Radyasyon dozuna maruz kalmış dozimetrik bir malzeme için belirli bir ısıtma hızıyla TLD okuyucusundan elde edilen TSL verileri yardımıyla çizilen sıcaklığa karşılık TSL şiddeti grafiği, “TSL ışıma eğrisi” olarak isimlendirilir. TSL ışıma eğrisi bir ya da daha fazla TSL ışıma eğrisi pikinden meydana

gelebilir. TSL ışıma eğrisi grafiğindeki her bir pike ait maksimum ışıma şiddeti değerleri, enerji seviyesi bu maksimum ışıma şiddeti değerine karşılık gelen ve sıcaklığın bir fonksiyonu olan malzemeye ait tuzakların cinsi ile ilişkilidir. Bu metoda göre, TSL ışıma eğrilerinin dozimetrik pikleri simetrik olmayan bir şekle sahip ise birinci dereceden, simetrik bir şekle sahip ise ikinci dereceden kinetiklere uydukları söylenebilir (McKeever, 1995).

Dozimetrik bir malzemenin aktivasyon enerjisi (tuzak derinliği) değerinin belirlenebilmesi için, bu methoda denklem 3.7 ile ifade edilen bağıntı kullanılabilir.

$$E_{\alpha} = c_{\alpha} \left(\frac{kT_m^2}{\alpha} \right) - b_{\alpha} (2kT_m) \quad (3.7)$$

Bu denklemdeki α sembolü, τ , ω ya da δ simgelerini ifade etmektedir ve Şekil 3.18 'de bu ifadeler açıkça görülmektedir. Bu simgelerin ayrıntılı açıklamaları aşağıdaki gibidir;

$\tau = T_m - T_1$: TSL ışıma pikinin artmaya başladığı taraftaki yarı genişliği.

$\delta = T_2 - T_m$: TSL ışıma pikinin azalmaya başladığı taraftaki yarı genişliği.

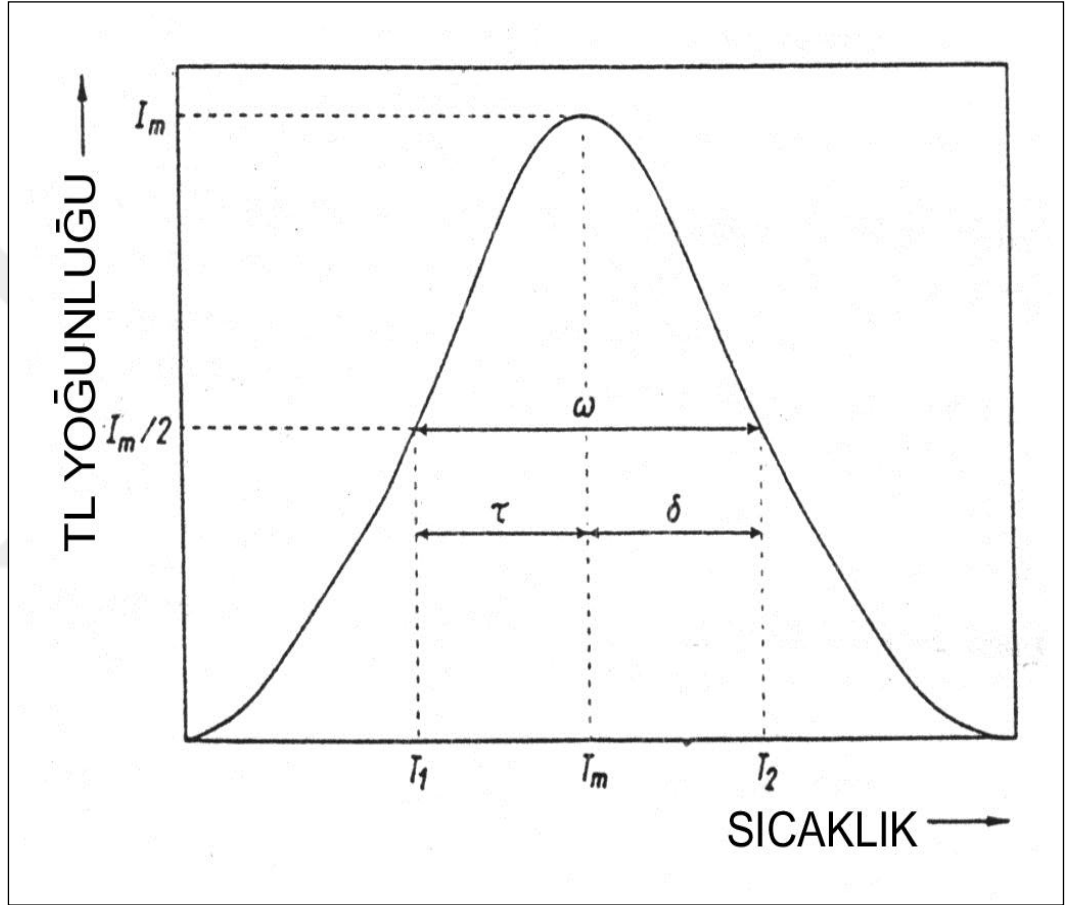
$\omega = T_2 - T_1$: TSL ışıma pikinin toplam yarı genişliği.

Bu ifadelerdeki T_1 ve T_2 değerleri, dozimetrik pikin maksimum sıcaklık değerini ifade eden T_m değerinin her iki yanında bulunan ve bu bölgelerdeki dozimetrik pike ait yarı genişlikteki ışıma şiddetlerine karşılık gelen sıcaklıklardır. Bunların yanı sıra denklem 3.7 'deki c_{α} ve b_{α} değerleri aşağıda gösterilen denklemlerle ifade edilmişlerdir;

$$c_{\tau} = 1.510 + 3.0(\mu - 0.42) \quad b_{\tau} = 1.58 + 4.2(\mu - 0.42) \quad (3.8)$$

$$c_{\delta} = 0.976 + 7.3(\mu - 0.42) \quad b_{\delta} = 0 \quad (3.9)$$

$$c_{\omega} = 2.52 + 10.2(\mu - 0.42) \quad b_{\omega} = 1 \quad (3.10)$$



Şekil 3.18 Bir TSL ışıma piki için yarı genişlik metodu kullanılarak tuzak derinliği (E) ve frekans faktörünün (s) değerlerinin belirlenmesi (Vij, 1998).

Bu denklemlerde kullanılan $\mu = \delta/\omega$ simgesi geometrik faktör olarak isimlendirilir ve dozimetrik malzemenin TSL ışıma pikinin hangi dereceden kinetiğe sahip olduğunu ifade eder. Dozimetrik malzeme için bu değer 0,42 ise birinci dereceyi, 0,52 ise ikinci dereceyi, diğer durumlarda ise genel dereceyi ifade eder (Chen, 1969). Bunun yanı sıra, $\gamma = \delta/\tau$ parametresinin bir fonksiyonu olarak kinetik dereceyi ifade eden bir başka ifade Balarin tarafından önerilmiştir.

Dozimetrik malzemeler için bu değer 0,7 ile 0,8 aralığında ise birinci dereceyi, 1,05 ile 1,20 aralığında ise ikinci dereceyi, diğer durumlarda ise genel dereceyi ifade eder (Balarin, 1979).

Son olarak, dozimetrik malzemenin kinetik derecesi ve aktivasyon enerjisi değeri yukarıda ifade edilen bağıntılar yardımıyla belirlendikten sonra denklem 3.11 kullanılarak dozimetrik malzemenin frekans faktörünün (s) değeri hesaplanabilir (Chen vd, 1981).

$$s = \left[\frac{kT_m^2 \exp(-E/kT_m)}{\beta E} \left(1 + \frac{(b-1)2kT_m}{E} \right) \right]^{-1} \quad (3.11)$$

Bu ifadedeki β ($^{\circ}\text{C.s}^{-1}$) ısıtma hızını, E (eV) tuzak derinliğini ve s (s^{-1}) ise tuzak içerisindeki yük taşıyıcısının saniyedeki titreşim sayısını yani frekans faktörünü ifade eder.

Bu çalışmada yukarıda ayrıntılarıyla açıklanan TSL ışıma eğrisi şekli metodu yardımıyla, dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş olan malzemelerin her bir ısıtma hızı için elde edilmiş olan TSL ışıma eğrilerinin verileriyle tuzak parametrelerinin değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, elde edilen değerler çizelgeler ve grafiklerle gösterilmiştir.

3.2.11.3 İzotermal Lüminesans Bozunma (ILD) Metodu

Bu tez çalışmasında dozimetrik malzemelerin tuzak parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla kullanılan diğer bir TSL yöntemi ise, izotermal lüminesans bozunma (ILD) metodudur. İzotermal lüminesans bozunma metodu deneyinde, TLD okuyucuda sabit bir sıcaklıkta tutulan dozimetrik malzeme içerisinde tuzaklanmış elektronların bozunma oranı zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilir. İzotermal lüminesans bozunma olayı genel olarak fosforesans olarak tanımlanır (Karsu vd., 2006).

Bu yöntemde, dozimetrik malzeme için gerekli tavlama işlemi uygulanıp bir süre oda sıcaklığında bekletildikten sonra, malzeme belirli bir süre radyasyon kaynağı ile ışınlanır. Daha sonra deneysel ölçüm ayarlamaları önceden yapılmış olan TLD okuyucu yardımıyla, malzemeler belirli bir sıcaklığa ulaşması için çok hızlı bir şekilde ısıtılarak belirli bir süre bu sıcaklık değerinde sabit tutulurlar. Bu esnada, lüminesans ışık yayılım olayı zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Böylece, malzemenin tuzaklarında tuzaklanmış elektronların bozunma oranını değerlendirmek mümkündür. Bu işlemde sonra aynı ölçüm farklı sıcaklıklarda sabit tutularak tekrarlanır ve elde edilen veriler kaydedilir. Bu sıcaklık değerleri, malzemenin dozimetrik pikinin maksimum TSL ışıma şiddetine karşılık gelen maksimum sıcaklığına yakın olan düşük sıcaklık bölgesindeki sıcaklık değerleridir.

İzotermal lüminesans bozunma deneylerinden elde edilen bu veriler kullanarak, dozimetrik malzemenin izotermal eğrilerini ifade eden ve farklı b değerlerinde ($1 < b \leq 2$) çizilen zamana karşı $(I_o/I)^{\frac{b-1}{b}} - 1$ grafikleri çizilerek uygun b değeri belirlenir. Bu eğrilerin eğimleri ve sıcaklık değerlerinden yararlanılarak dozimetrik malzemenin frekans faktörü (s) değeri hesaplanabilir. Zamana karşı $(I_o/I)^{\frac{b-1}{b}} - 1$ grafikten elde edilen veriler yardımıyla da $1/T$ 'ye karşı $\ln[m(T)]$ grafiği çizilir. Dozimetrik malzemenin tuzak derinliğini ifade eden E değeri, bu grafiğin eğiminden yararlanılarak hesaplanabilir (Manam ve Sharma, 2004).

Dozimetrik bir malzemenin birinci ve ikinci dereceden kinetiklere sahip olan izotermal bozunum eğrileri, zamanın fonksiyonu olacak şekilde üssel grafiklerdir ve denklem 3.12 ile gösterilen bağıntıyla ifade edilirler.

$$I(t) = n_o s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left[-st \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)\right] \quad (3.12)$$

Bu denklem kullanılarak çizilen zamana karşı $\ln[I(t)]$ grafiği birinci dereceden kinetikler için bir doğrusal grafik verir (Randall ve Wilkins, 1954).

İzotermal lüminesans bozunma olayında termal uyarımlı lüminesans (TSL) şiddeti genel dereceli durumlar için denklem 3.13 ile tanımlanır.

$$\left(\frac{I_o}{I}\right)^{\frac{b-1}{b}} - 1 = s \exp\left[-\frac{E}{kT}\right] (b-1)t \quad (3.13)$$

Bu denklemdeki I_o değeri, $t=0$ anında dozimetrik malzemenin TSL ışıma şiddetini ve I değeri ise herhangi bir zamanda T sıcaklığındaki TSL ışıma şiddetini ifade eder. Bu denklem kullanılarak uygun b değerleri için ($1 < b \leq 2$) çizilen zamana karşı $(I_o/I)^{\frac{b-1}{b}} - 1$ grafiğinin eğrisi, doğrusal bir yapıya sahiptir (McKeever, 1985).

İzotermal lüminesans bozunumu deneyinde, örneğin farklı sıcaklıklarda sabit tutulmasıyla elde edilmiş olan verileri kullanarak çizilen grafiğin eğimi denklem 3.14 'deki bağıntı ile ifade edilir ve dozimetrik malzemenin tuzak

derinliğini ifade eden aktivasyon enerjisi E değeri, $1/T$ ye karşı $\ln[m(T)]$ grafiğinin eğiminden elde edilebilir.

$$m = (b-1)s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (3.14)$$

İzotermal lüminesans bozunma deneyinde (ILD) dozimetrik malzemenin frekans faktörü değeri, denklem 3.15 'deki bağıntı kullanılarak belirlenebilir.

$$s = \frac{(m_2)^{\frac{T_2}{T_2-T_1}}}{(b-1)(m_1)^{\frac{T_1}{T_2-T_1}}} \quad (3.15)$$

Bu denklemdeki m_1 ve m_2 ile gösterilen semboller, sırasıyla T_1 ve T_2 sıcaklıklarına karşılık gelen eğimlerdir (Manam ve Sharma, 2003).

3.2.11.4 T_{MAKSİMUM}-T_{DURMA} Metodu

Termolüminesans yöntemi kullanılarak dozimetrik bir malzeme için elde edilen ışıma eğrisinin ana pikinin, tek bir pik yapısından mı yoksa birden fazla pik yapısından mı oluştuğu pik şekline bakılarak kesin bir ifadeyle belirlenemez. Dozimetrik bir malzemenin TSL ışıma eğrisinin ana piki içerisinde yaklaşık olarak bulunabilecek pik sayısı, T_{MAKSİMUM}-T_{DURMA} metodu yardımıyla tespit edilebilir. Bu yöntemde, dozimetrik malzeme öncelikle kendisi için uygun olan bir tavlama işlemine maruz bırakılır ve oda sıcaklığında bir süre bekletilir. Tavlama işleminden hemen sonra, dozimetrik malzeme belirli bir süre radyasyon kaynağı ile ışınlanır. Daha sonra malzeme, TSL ışıma eğrisinin ana pikinin oluşmaya başladığı sıcaklık değerine kadar belirli bir ısıtma hızıyla (2 °C/s) ısıtılarak termal temizleme işlemi uygulanır. Termal temizleme işleminden sonra, aynı ısıtma hızı ile malzeme için belirlenmiş olan maksimum sıcaklık değerine kadar ısıtma işlemi uygulanarak elde edilen TSL ışıma eğrisi kaydedilir. Bu metot için uygulanan ön ısıtma işlemi (termal temizleme), dozimetrik ana pikin bulunduğu sıcaklık bandı

aralığı boyunca üçer derecelik artışlarla tekrarlanır ve her bir işlem sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrisi kaydedilir. Son olarak, termal temizleme işlemi ile gerçekleştirilen tüm deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrilerinin maksimum ışıma şiddetlerine karşılık gelen sıcaklık değerleri belirlenir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, termal temizleme (ön ısıtma) sıcaklığına (T_{DURMA}) karşılık $T_{MAKSİMUM}$ grafiği çizilir. Bu grafikte meydana gelebilecek platolar yardımıyla, dozimetrik malzemenin TSL ışıma eğrisinin ana piki içerisinde bulunabilecek pik sayısı tespit edilmiş olur (Vij, 1981; McKeever, 1985)

3.2.12 Foton Transferli Termolüminesans (PTTL) Metodu

Gerçekleştirilen bazı lüminesans ölçümleri sonucunda, ışık kaynaklarının dozimetrik malzemelerin tuzaklarına etki ettikleri ve bunun sonucunda ışıma piklerinin oluştuğu yani lüminesans olayının gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, herhangi bir ışık kaynağına maruz bırakılan dozimetrik malzemenin bazı tuzaklarında depolanmış elektronlarının sayısında azalma meydana gelirken bazı tuzaklarında da tuzaklanmış elektronların sayısında artış olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni, yarı iletken ya da yalıtkan dozimetrik malzemenin derin tuzakları üzerine ışık kaynağından çıkan fotonların etki etmesi sonucunda sık tuzaklara yük transferi olayının gerçekleşmesi olarak ifade edilmiştir. Bu yük taşıma olayı, ilk kez Stoddard tarafından NaCl kristalinin X-ışınları ile bombardıman edilmesi sonucunda gözlemlenmiş ve kısaca foton transferli termolüminesans (PTTL) olarak adlandırılmıştır. (McKeever, 1985; Aitken, 1978).

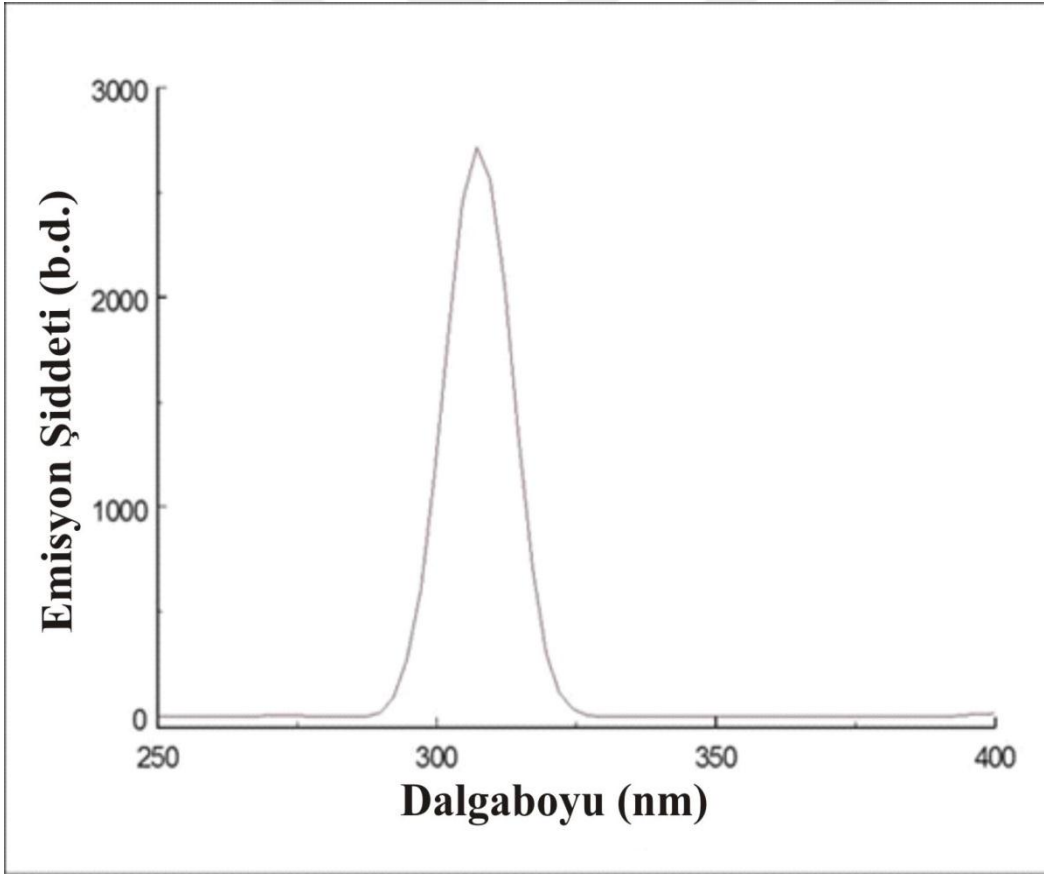
Dozimetrik bir malzemenin yapısında derin tuzaklar mevcut olabilir. Bu nedenle bu derin tuzaklarda tuzaklanmış elektronlar aracılığı ile gerçekleştirilecek radyasyon dozu ölçümlerinde, doğru doz ölçümlerinin yapılabilmesi için bu derin tuzaklardaki tuzaklanmış elektronlarında hesaba katılması gerekir. Fakat TLD okuyucu kullanılarak malzemeye ait derin tuzaklardaki tuzaklanmış elektronlarının sayısının tespit edilebilmesi yüksek sıcaklık etkisi, siyah cisim

ışması, termal sönümleme ve anormal sönümleme gibi birçok nedenden dolayı çok zordur (Bailiff, 1976; Bailiff, 1977; Bowman, 1979; Sasidharan, 1979). Bu nedenle, bu tuzaklar üzerine etki edebilecek ışık (foton) kaynakları kullanılarak malzemenin derin tuzaklarında tuzaklanmış olan elektronlarının, malzemenin sığ tuzaklarına transferi sağlanabilir (McKeever, 1985). Sığ tuzaklar tarafından yakalanmış olan bu elektronların tuzaklardan kurtulmaları için gereken aktivasyon enerjisinin, malzemenin ısıtılması yoluyla elektronlara aktarılması sağlanırsa bir TSL sinyali elde edilmiş olur ve elde edilen bu sinyale PTTL sinyali denir (Alexander ve McKeever, 1998).

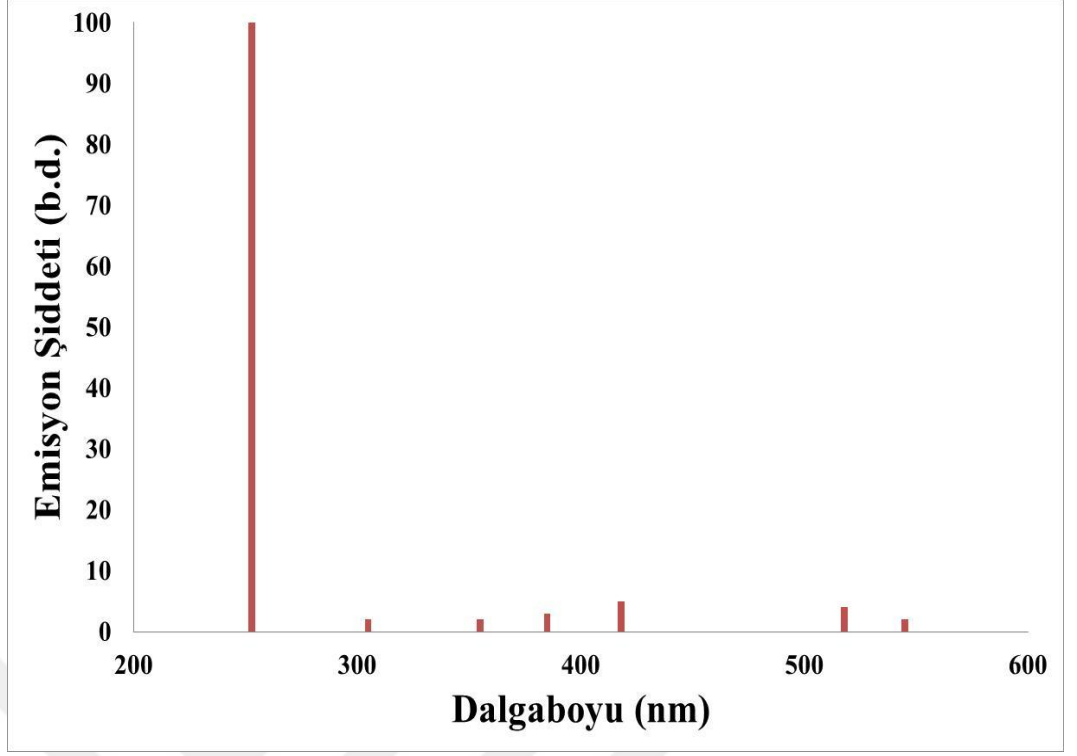
1960 'lardan günümüze yarı iletken ya da yalıtkan dozimetrik malzemelerle PTTL olayı ile ilgili birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Stoddard, 1960; Kharita vd., 1995; Alexander vd., 1997; Bulur., 2007; Moscovitch vd., 2011; Budzanowski vd., 2013). PTTL olayı üzerine gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, yarı iletken ya da yalıtkan dozimetrik malzemelerden elde edilen PTTL sinyali üzerine, malzemelerin ışık kaynağına maruz kalmadan önceki tuzaklarının doluluk oranı, çalışmalarda kullanılan ışığın dalga boyu ve malzemelerin ışık kaynağına maruz kaldıkları sürenin etki ettiği belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, bazı dozimetrik malzemelerden elde edilen PTTL sinyalinin şiddetinde, malzemenin uzun süre ışık kaynağına maruz bırakılması sonucunda önce bir artış sonra azalma meydana geldiği, bazı malzemelerin PTTL sinyalinin şiddetinde sıfıra yakın değerlerde azalma olduğu, bazılarında ise belirli bir değere kadar azalıp bu değerde sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Wintle ve Murray tarafından PTLL sinyalinin şiddetindeki bu azalma olayının, ışık kaynağına maruz kalan malzemenin sığ tuzaklarında tuzaklanmış elektronların sayısında meydana gelen azalmadan dolayı oluştuğu ifade edilmiştir (Wintle ve Murray., 1997). Bununla birlikte McKeever ise bu olayın, malzemenin ışık kaynağına maruz kalmasından sonra derin tuzaklarından sığ tuzaklara transfer olan yüklerden dolayı bu tuzaklarda tuzaklanmış elektronların sayısında meydana gelen azalmadan kaynaklandığını ifade etmiştir (McKeever, 1985).

Bu tez çalışmasında PTTL yöntemi kullanılarak malzemelerin derin tuzaklarının olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla, UVB (312 nm) ve UVC (254 nm) lambalarından yararlanılmıştır (Şekil 3.19 ve Şekil 3.20). Bunun için,

tavlama işlemine maruz bırakılan dozimetrik malzemeler bir süre oda sıcaklığında bekletildikten sonra, radyasyon kaynağı ile belirli bir süre ışınlanmışlardır. Daha sonra malzemeler, PTTL kaynağı olan derin tuzaklardaki elektronların etkilenmeyeceği bir sıcaklık değerine kadar TLD okuyucu sistemi kullanılarak temizlenmiştir. Bu işlemden sonra malzemeler ışık kaynağı ile belirli bir süre ışılandıktan sonra, TLD okuyucuda aynı ölçüm ayarları kullanılarak TSL sinyalleri kaydedilmiştir. Bu işlem sonucunda derin tuzaklara sahip olan malzemelerin bu tuzaklarındaki elektronlarının sıg tuzaklara transfer edilmesiyle TSL ışıma eğrileri (TSL sinyali) elde edilmiş yani malzemelerin ışığa duyarlı derin tuzaklara sahip olup olmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu TSL sinyali PTTL olarak ifade edilmiştir (Alexander ve McKeever, 1998).



Şekil 3.19 312 nm dalga boyuna sahip UVB lambanın spektrumu.



Şekil 3.20 254 nm dalga boyuna sahip UVC lambanın spektrumu.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş olan Cu katkılı CaSiO_4 , Tm katkılı CaCO_3 , %1 ve % 3 Mn katkılı CaB_4O_7 ve Cu ve Tm çift katkılı CaSO_4 malzemelerinin lüminesans özelliklerinin belirlenebilmesine yönelik yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen veriler ve bu verilerin daha önce yapılmış olan çalışmalar ile karşılaştırılması yer almaktadır.

İlk olarak XRD yöntemi kullanılarak her bir malzeme için X-ışını kırınım analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Sonra, malzemelerin her biri için doz cevap eğrileri elde edilmiş ve sonuçlar benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.. Daha sonra, malzemelerin hassasiyet ölçümleri TLD100 (LiF:Mg,Ti) dozimetresine göre yapılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Bu ölçümlerden sonra malzemelerin kararlılık ölçümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yorumlar yapılmıştır. Bu çalışmaların hemen ardından, malzemelerin sönümleme miktarlarının belirlenmesi amacıyla ölçümler yapılmış ve sonuçlar tartışılmıştır. Dozimetrik amaçlı kullanılması düşünülen malzemelerin sönümleme miktarının belirlenmesinden sonra, bu malzemelerin derin tuzaklarının olup olmadığının tespiti için foton transferli termolüminesans (PTTL) yöntemi kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Bunların yanı sıra, malzemelerin emisyon spektrumlarını ve piklerini belirleyebilmek amacıyla fotolüminesan (PL) ve radyolüminesans (RL) yöntemleri kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar daha önce yapılmış çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılması sonucunda yorumlar yapılmıştır.

Son olarak malzemelerin değişik kaynaklarla ışınlamaları sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrileri karşılaştırılmış ve bu malzemelerin farklı ışık kaynaklarıyla lüminesans olayı gerçekleştirip gerçekleştirmediğinin tespiti için gerekli ölçümler yapıp elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

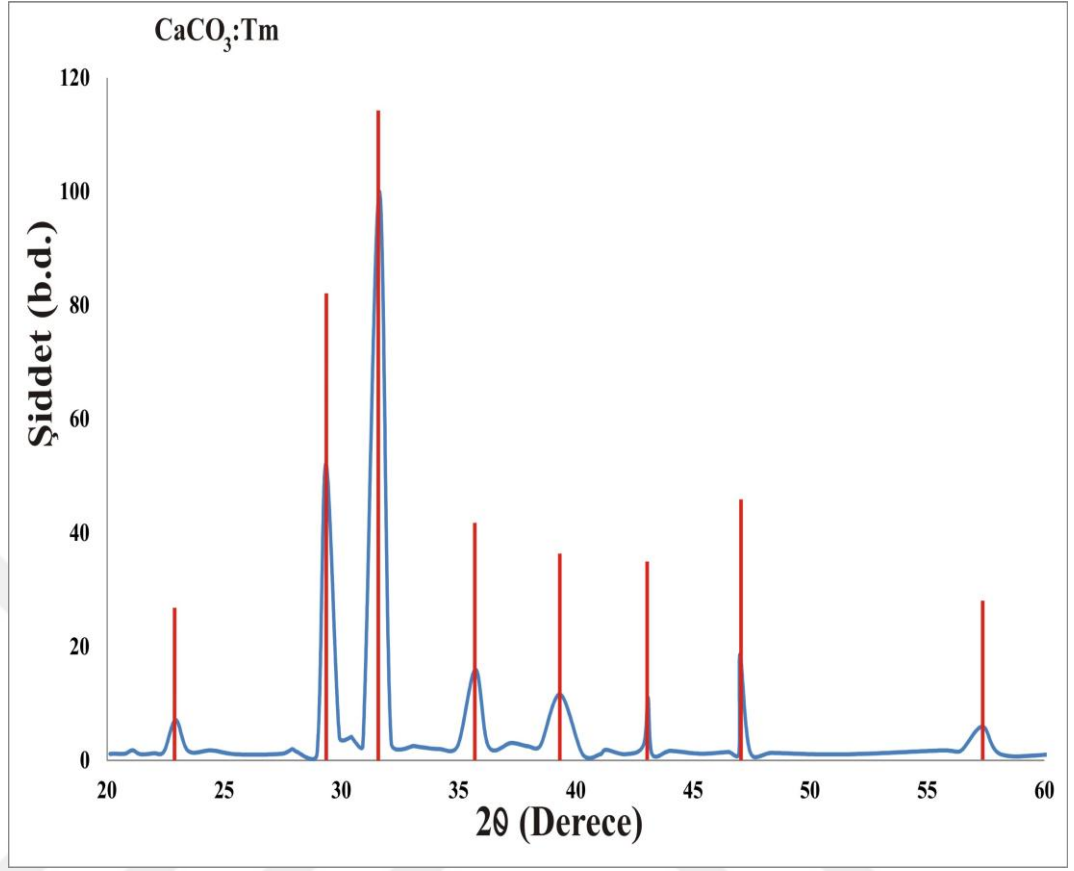
4.1 Malzemelerin X-ışını Kırınım Analizleri

Bu çalışmada dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş olan Tm katkılı kalsiyum karbonat, mangan katkılı kalsiyum borat, bakır ve tulyum katkılı kalsiyum sülfat ve bakır katkılı kalsiyum silikat malzemelerinin yapı analizlerinin (kristal özelliklerinin) yapılabilmesi amacıyla XRD yöntemi kullanılmıştır.

Malzemelerin X-ışını kırınım (XRD) analizleri, İzmir Yüksek Teknolojisi Malzeme Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan Philips Marka X 'Pert Pro X-ışını kırınım ölçeri ile gerçekleştirilmiş ve kristalografik fazların tanımlanmasında Bragg Brentano geometrisi kullanılmıştır. Ölçüm yapılacak tüm malzemeleri için XRD verileri bakırın $K_{\alpha 1}$ ($\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$) ve $K_{\alpha 2}$ ($\lambda = 1,54443 \text{ \AA}$) çizgilerinin kullanıldığı Cubi-XRD sistemiyle toplanmıştır. Her bir ölçüm için her bir malzemeden 5 mg 'lık miktarlar kullanılmış ve kullanılan bu malzemeler agat havanda toz haline getirildikten sonra XRD ölçümleri yapılmıştır.

4.1.1 Tm katkılı CaCO_3 malzemesinin XRD analizi

Tm katkılı kalsiyum karbonat malzemesinin X-ışını kırınım yöntemi ile elde edilen XRD grafiği Şekil 4.1 'de gösterilmektedir. Gerçekleştirilen XRD çalışmaları sonucunda, Tm katkılı kalsiyum karbonat malzemesinin rombohedral yapıda ve yoğunluğunun $2,81 \text{ g/cm}^3$ olduğu bulunmuştur. Tulyum katkılı kalsiyum karbonat malzeme için elde edilen miller indisleri ile literatürden elde edilen (JCPDS no: 01-072-1937) miller indislerinin değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, değerlerin bir biri ile uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir (Borodin vd., 1979). Malzemenin yapısında 8 tane temel yansıma düzlemi bulunduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bu temel yansıma düzlemleri sırasıyla (012), (018), (104), (110), (113), (122), (126) ve (202) dir. Bu sonuçlara ek olarak, bu malzeme için de X-ışını kırınım yöntemi ile elde edilen piklerin yarı maksimumdaki tam genişliklerinin çok fazla dar olmasından dolayı malzemenin kristal yapısının iyi olabileceği düşünülmüştür.

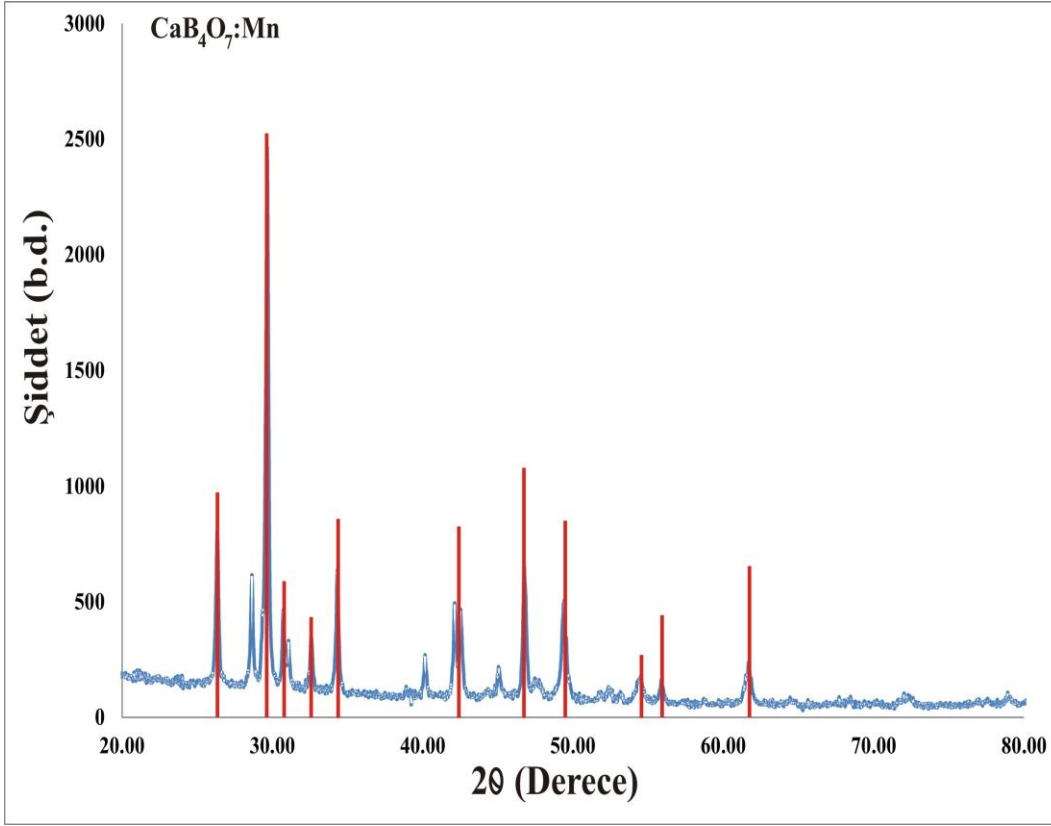


Şekil 4.1 Tm katkılı CaCO_3 malzemesi için XRD analiz grafiği (Mavi ve kırmızı spektrum çizgileri sırasıyla, CaCO_3 :Tm ve referans malzemesine ait XRD sonuçları.).

4.1.2 Mn Katkılı CaB_4O_7 Malzemesinin XRD Analizi

Gerçekleştirilen XRD çalışmaları sonucunda, Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin ortorombik yapıda ve yoğunluğunun $2,72 \text{ g/cm}^3$ olduğu bulunmuştur. Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesi için elde edilen XRD grafiği Şekil 4.2 'de gösterilmiştir. CaB_4O_7 :Mn katkılı malzeme için elde edilen miller indisleri ile literatürden elde edilen (JCPDS no: 96-101-0469) miller indislerinin değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, değerlerin bir biri ile uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir (Zachariasen vd., 1977). Malzemenin yapısında 9 tane temel yansıma düzlemi bulunduğu belirlenmiştir. Tespit edilen bu temel yansıma

düzlemleri sırasıyla (002), (020), (102), (111), (113), (202), (311), (402) ve (511) dir. Bu sonuçlara ek olarak, bu malzeme için X-ışını kırınım yöntemi ile elde edilen piklerin yarı maksimumdaki tam genişliklerinin çok fazla dar olmasından dolayı malzemenin kristal yapısının çok iyi olabileceği düşünülmüştür.

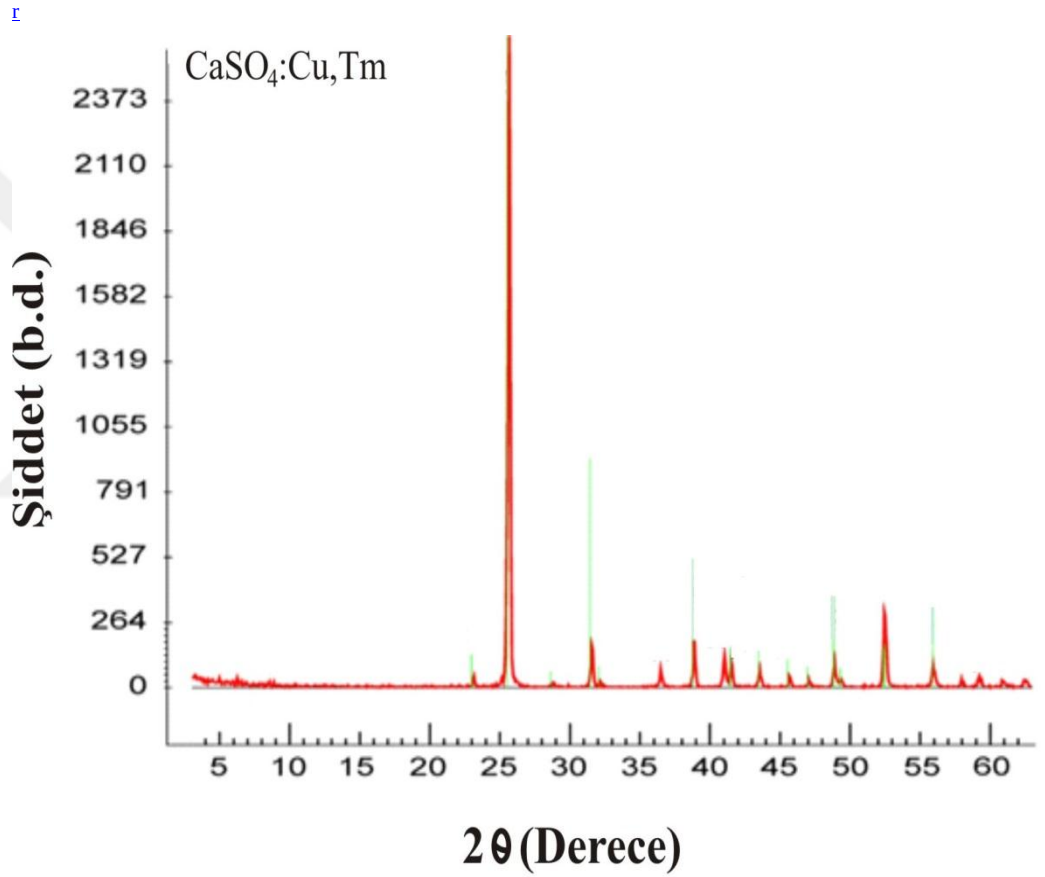


Şekil 4.2 Mn katkılı CaB_4O_7 için XRD analiz grafiği (Mavi ve kırmızı spektrum çizgileri sırasıyla, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ ve referans malzemesine ait XRD sonuçları.).

4.1.3 Cu ve Tm Katkılı CaSO_4 Malzemesinin XRD Analizi

Bakır ve tulyum katkılı malzeme için X-ışını kırınım yöntemi ile elde edilen XRD grafiği Şekil 4.3 'te gösterilmiştir. Gerçekleştirilen XRD çalışmaları sonucunda, Cu ve Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin ortorombik yapıda olduğu belirlenmiştir. Bakır ve tulyum katkılı kalsiyum sülfat malzeme için elde edilen miller indisleri ile literatürden elde edilen (JCPDS no: 74-241) miller indislerinin değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, değerlerin bir biri ile uyum

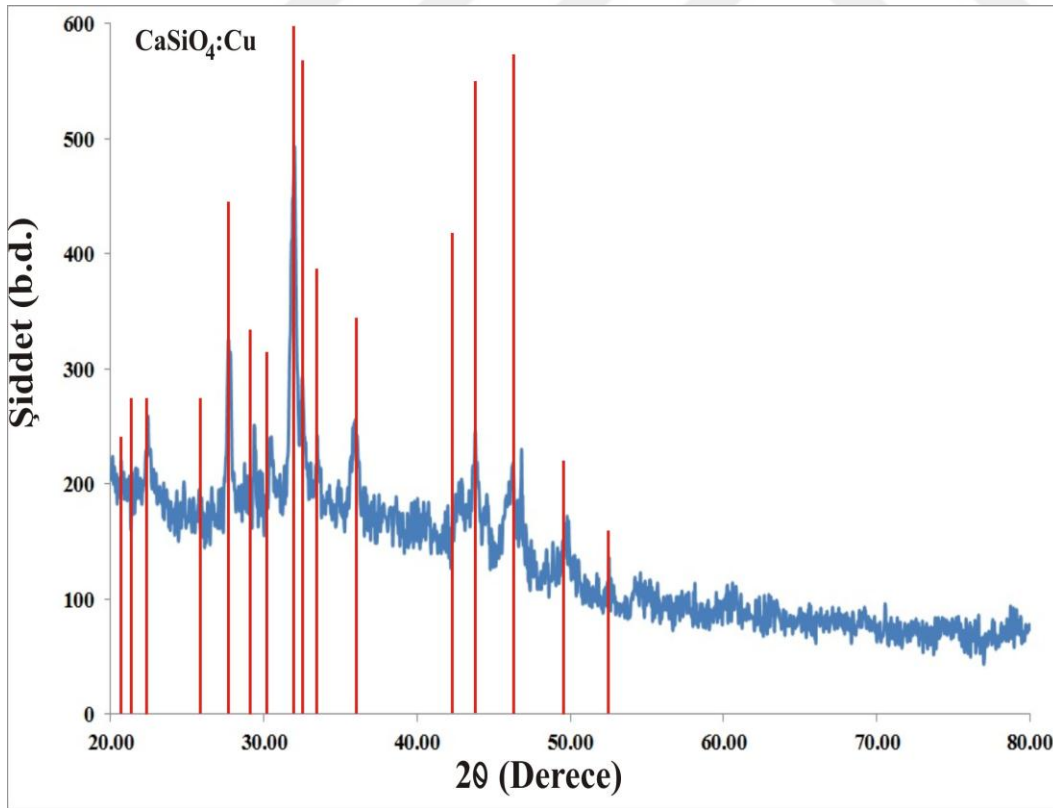
içerisinde olduğu tespit edilmiştir (Manam ve Das, 2009). Malzemenin yapısında 7 tane temel yansıma düzlemi bulunduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bu temel yansıma düzlemleri sırasıyla (020), (210), (220), (103), (123), (321) ve (141) dir. Bu sonuçlara ek olarak, bu malzeme için X-ışını kırınım yöntemi ile elde edilen piklerin yarı maksimumdaki tam genişliklerin çok fazla dar olmasından dolayı malzemenin kristal yapısının çok iyi olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 4.3 Cu ve Tm katkılı CaSO_4 malzemesi için XRD analiz grafiği (Kırmızı ve yeşil spektrum çizgileri sırasıyla, $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ ve referans malzemesine ait XRD sonuçları.).

4.1.4 Cu Katkılı CaSiO_4 Malzemesinin XRD Analizi

Cu katkılı kalsiyum silikat malzemesinin X-ışını kırınım yöntemi ile elde edilen XRD grafiği Şekil 4.4 'te gösterilmektedir. Gerçekleştirilen XRD çalışmaları sonucunda, Cu katkılı silikat malzemesinin monoklinik yapıda ve yoğunluğunun $2,90 \text{ g/cm}^3$ olduğu bulunmuştur. Bakır katkılı kalsiyum silikat malzeme için elde edilen miller indisleri ile literatürden elde edilen (JCPDS no: 96-900-2180) miller indislerinin değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, değerlerin bir biri ile uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir (Yang., 1999). Malzemenin yapısında 8 tane temel yansıma düzlemi bulunduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bu temel yansıma düzlemleri sırasıyla (008), (111), (113), (130), (132), (134), (200) ve (204) tür. Bu sonuçlara ek olarak, bu malzeme için X-ışını kırınım yöntemi ile elde edilen piklerin yarı maksimumdaki tam genişliklerin çok fazla dar olmasından dolayı malzemenin kristal yapısının çok iyi olabileceği düşünülmektedir.



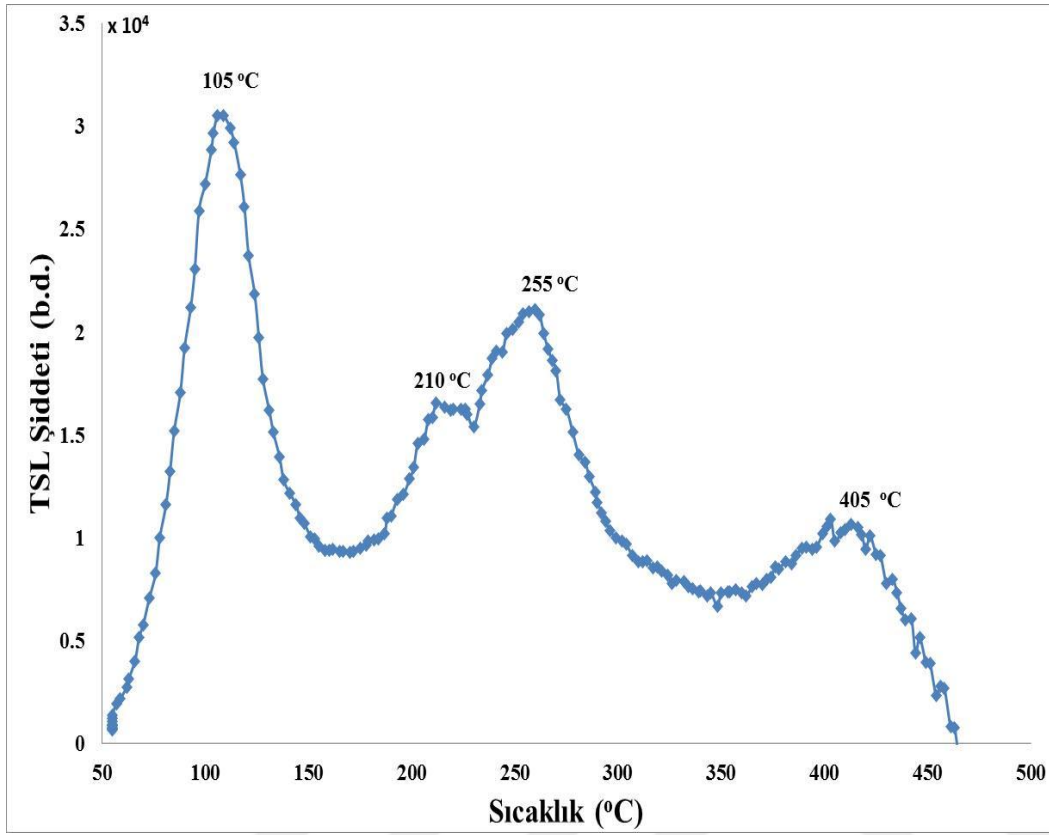
Şekil 4.4 $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesi için XRD analiz grafiği (Mavi ve kırmızı spektrum çizgileri sırasıyla, $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ ve referans malzemesine ait XRD sonuçları.).

4.2 Termal Uyarımlı Lüminesans (TSL) Işıma Eğrisi

Dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş bir malzemenin dozimetrik özelliklerini belirlemeden önce, malzemenin termal uyarımlı lüminesans (TSL) ışıma eğrisinin yapısının belirlenmesi gerektiğine önceki bölümlerde ayrıntılarıyla değinilmiştir. Bu nedenle, malzemelerin önceden belirlenmiş tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra Sr-90 beta kaynağı ile belirli sürelerde ışınlanmalarının ardından TSL ölçümleri yapılmıştır. Bu işlemler sonucunda elde edilen verilerle çizilen sıcaklığa karşılık ışıma şiddeti grafiği bize malzemenin TSL ışıma eğrisini ifade etmektedir.

4.2.1 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ Malzemesinin TSL Işıma Eğrisi

Bu tez çalışmasında, dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sol-gel yöntemi kullanılarak sentezlenmiş Tm katkılı CaCO_3 malzemesi 30 dakika süre ile 400 °C sıcaklıkta tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra bir süre oda sıcaklığında bekletilmiş ardından 10 dakika süre ile (3.12 Gy) Sr-90 beta kaynağına maruz bırakılmıştır. Daha sonra, TSL ölçümü için ısıtma hızı 5 °C/s, başlangıç sıcaklığı 50 °C ve bitiş sıcaklığı 500 °C olacak şekilde ölçüm ayarları yapılan Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemi kullanılarak Tm katkılı CaCO_3 malzemesinden elde edilen TSL ışıma eğrisi Şekil 4.5 'te gösterilmiştir. Elde edilen TSL ışıma eğrisi incelendiğinde malzemenin, 105 °C sıcaklığa karşılık gelen düşük sıcaklık bölgesinde ve yüksek sıcaklık bölgesinde 405 °C sıcaklığa karşılık gelen diğer bir pike sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra malzemenin TSL ışıma eğrisinin, 150 °C ile 300 °C sıcaklık bandı aralığında maksimum TSL şiddeti 210 °C ve 255 °C 'deki iki pik tepesi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, malzemenin 105 °C 'deki pikinin kısa bir zaman dilimi içerisinde sönmelenme olasılığı ve 405 °C piki üzerine siyah cisim ışımasının etkisinin olma olasılığından dolayı bu piklerin dozimetrik pik olarak kullanılamayacağı düşünülmüştür. Bununla birlikte, 150 °C ile 300 °C sıcaklık bandı aralığındaki piklerin dozimetrik pik olarak kullanılabileceği önerilebilir.

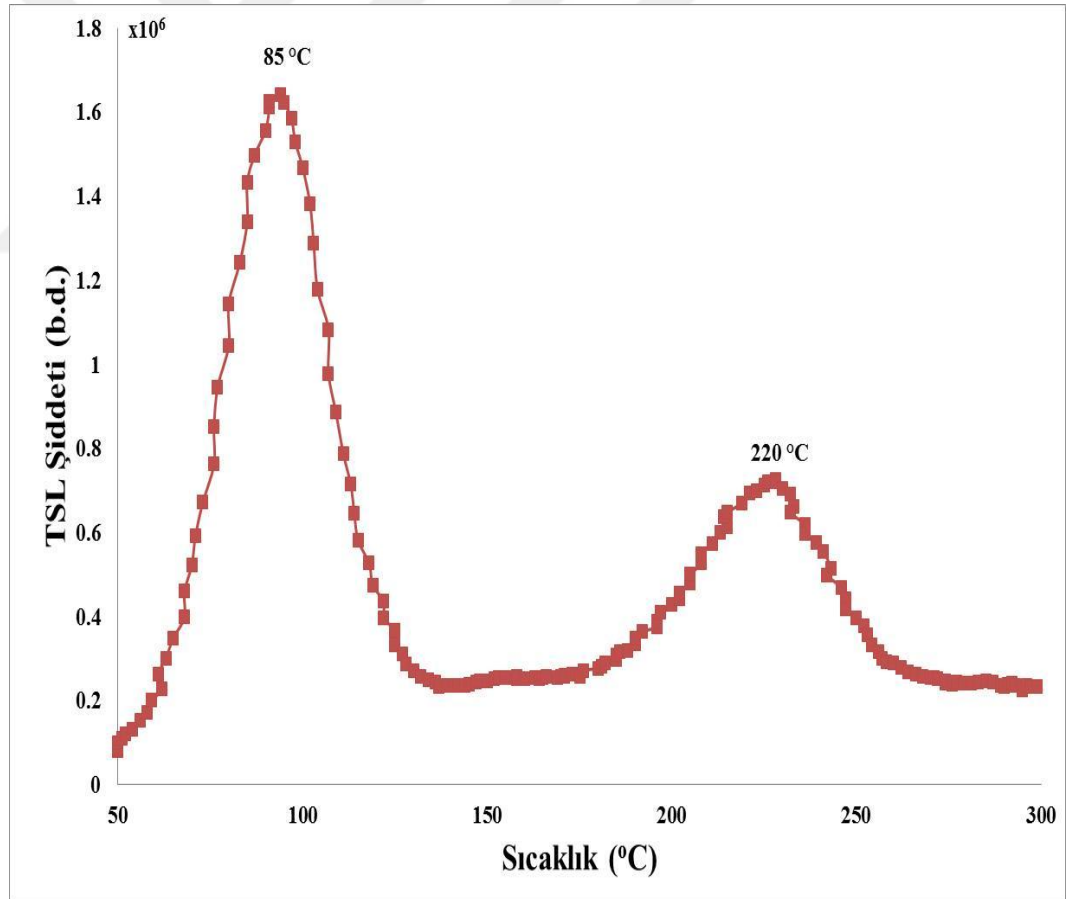


Şekil 4.5 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin 10 dakika (3.12 Gy) beta kaynağına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL eğrisi.

Kimyasal kararlılık ve yüksek lüminesans özelliklerinden dolayı nadir toprak elementi katkılı yeni malzemelerin sentezlenmesi ve bunların lüminesans özelliklerinin incelenmesi üzerine son zamanlarda birçok araştırma yapılmaktadır. Kalsiyum karbonat malzemesinin lüminesans özellikleri ile ilgili çok fazla çalışma olmamasına karşın, bu malzemenin farklı katkılılarının optiksel özellikleri üzerine bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. (Kang Ming, vd., 2009; Liu H.Q. vd., 2008; Zhang Z.Y vd., 2008; Wang Y. ve Gao H., 2006; Sytsma vd., 1992; Pan Y.X. vd., 2003; Behrens G. vd., 1995; Hu Z.S. ve Deng Y.L., 2004; Kłos A. vd., 2008).

4.2.2 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) Malzemesinin TSL Işıma Eğrisi

Sol-gel yöntemi kullanılarak sentezlenmiş (%1) Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesi 400 °C sıcaklıkta 10 dakika süre ile tavlama işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında bir süre bekletilmiş ardından 10 dakika (2,82 Gy) Sr-90 beta kaynağına maruz bırakılmıştır. Daha sonra TSL ölçümü için ısıtma hızı 5 °C/s, başlangıç sıcaklığı 50 °C ve bitiş sıcaklığı 300 °C olacak şekilde ölçüm ayarları yapılan Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemi kullanılarak (%1) Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesinden elde edilen TSL ışıma eğrisi Şekil 4.6 'da gösterilmiştir.



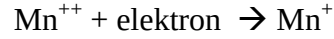
Şekil 4.6 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin 10 dakika (2,82 Gy) beta kaynağı ile ışınlanmasından sonra elde edilen TL ışıma eğrisi.

(%1) Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesi için elde edilen TSL ışıma eğrisi incelendiğinde, TSL ışıma eğrisinin düşük sıcaklık bölgesinde maksimum TSL ışıma şiddeti 85 °C ile 220 °C sıcaklığına karşılık gelen iki pikten oluştuğu belirlenmiştir (Oğuz vd., 2016).

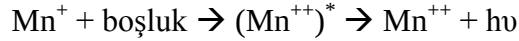
Bu malzemenin TSL ışıma eğrisinin iki pikinin olması, malzemenin iki farklı tuzak yapısının olduğunu ifade eder. Bunlardan düşük sıcaklık bölgesindeki pik malzemenin sık tuzağının olduğunu, yüksek sıcaklık bölgesindeki pik ise malzemenin derin tuzağının olduğunu ifade etmektedir (Manam vd., 2003).

Lüminesans maddeler sahip oldukları safsızlık yoğunluğuna oldukça duyarlıdır. Safsızlığın çok yoğun olduğu malzemelerde kendiliğinden lüminesans sönümlenme olayı meydana gelebilir (Fukuda ve Takeuchi., 1985). Haghiri vd. tarafından Mn katkılı kalsiyum tetraborat malzemesi için gerçekleştirilen ve katkı oranının malzeme üzerine etkisini incelemek için yapılan çalışmada, 1 Gy 'lik doza maruz bırakılan %0,1 den %1,4 'e kadar Mn katkılanmış beş adet malzemenin TSL şiddetindeki artışın doğru orantılı bir şekilde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, %2 Mn katkılı kalsiyum tetraborat malzemesinin TSL şiddetinin %1,4 Mn katkılı aynı malzemenin TSL şiddetine göre azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeninin ise, %2 Mn katkılı malzemenin normal olmayan yollardan sönümlenmesi sonucunda termolüminesans veriminin azalması olduğu ifade edilmiştir. Farklı dozlarda ışınlanmış %1,4 Mn katkılı kalsiyum tetraborat malzemesiyle yapılan benzer bir çalışmada ise 1 Gy 'lik doz ile ışınlanmış malzemenin TSL şiddetinin katkısız malzemeye göre 92 kat ve 500 Gy 'lik doz ile ışınlanmış malzemenin TSL şiddetinin katkısız malzemeye göre 81 kat daha fazla ışıma şiddetine sahip olduğu tespit edilmiştir (Haghiri vd.,2013).

Manam ve Sharma tarafından yapılan çalışmalar sonucunda Mn katkılı kalsiyum tetraborat malzemesinin ışıma eğrisinin gözlemlenmesinin nedeninin uyarılan Mn^{+2} iyonlarının serbest kalmasıyla ilgili olduğu önerilmiştir. Radyasyona maruz kalan Mn katkılı kalsiyum tetraborat malzemesinde Mn^{+2} iyonlarının bir ya da iki elektron yakalaması sonucunda Mn^{+1} ya da Mn^0 oluşur (Manam ve Sharma, 2003).



Daha sonra, malzemenin termal uyartım sonucunda Mn^{+} iyonları TSL emisyonunda artışa neden olurlar.

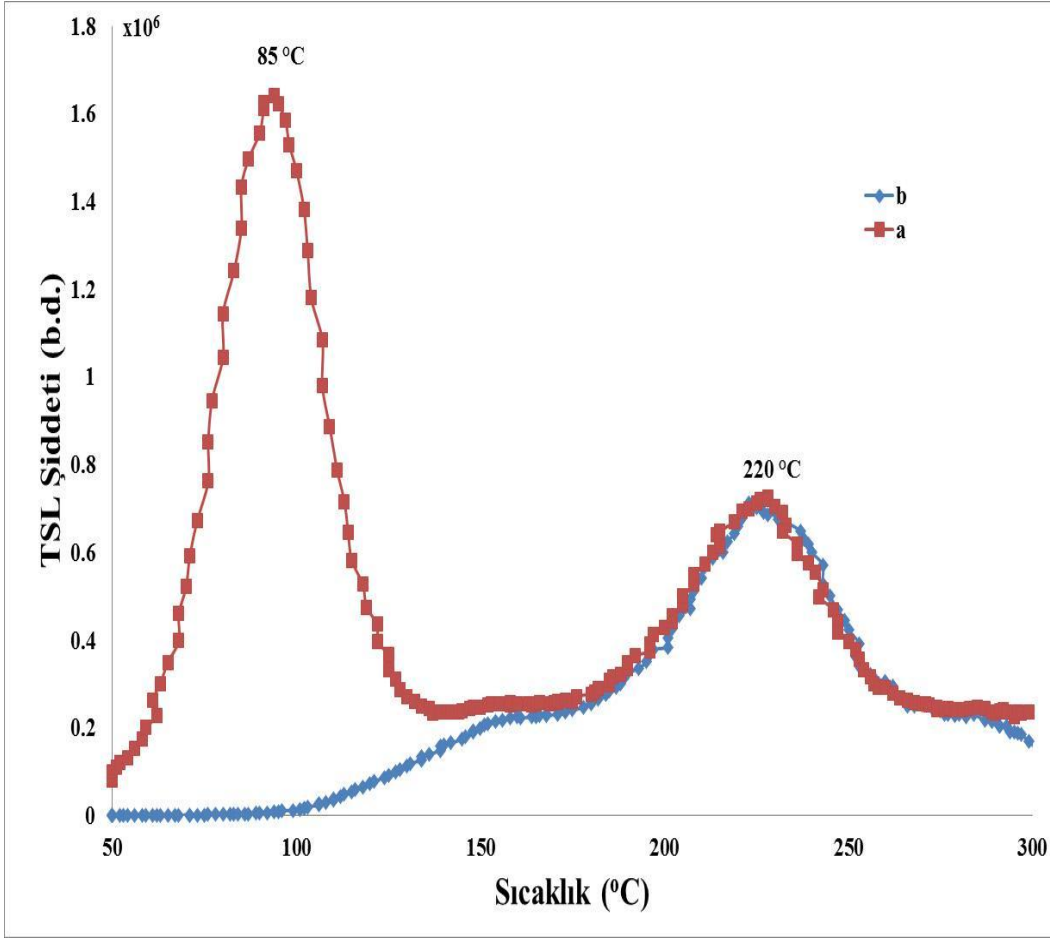


Bununla birlikte malzemenin termal uyartımı sonucunda, Mn^0 atomları TSL emisyonunun oluşmasına neden olurlar.



Herhangi bir dozimetrik malzemenin TSL ışıma eğrisinin düşük sıcaklık bölgesinde bulunan bir piki, bu malzemenin bir sığ tuzağa sahip olduğunu ifade eder (McKeever, 1995). Dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş bir malzemenin sığ tuzağının olmamasının istenilmesinin nedenleri daha önceki kısımlarda anlatılmıştı.

Düşük sıcaklık pikinin bir günlük süre sonunda sönümlendiğini yani sığ tuzaklarda tuzaklanmış elektronların valans bandına geri döndüğünü ve ana pikin yapısında herhangi bir değişiklik olmadığını göstermek amacıyla basit bir deney yapılmıştır. Bu deneyde malzemeye aynı tavlama, ısınlama ve TSL ölçüm işlemi uygulandıktan sonra anlık ve bir günlük süre sonunda elde edilen TSL ışıma eğrilerinin elde edilmiştir. Bu iki ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.7 'de gösterilmiştir. Şekildeki TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılmasından anlaşılabileceği üzere, malzemenin sığ tuzaklarında tuzaklanmış elektronlarını kaybettiği yani düşük sıcaklık pikinin sönümlendiği fakat 220 °C pikinin yapısında herhangi bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 4.7 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1)'in 2,82 Gy'lik bir doza maruz kalmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrisi ile (a), aynı doza maruz kalmış aynı malzemenin bir günlük süre bekletilmesinin ardından elde edilen TSL ışıma eğrisi şeklinde meydana gelen değişimin (b) karşılaştırılması.

Bu nedenle dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş %1 mangan katkılı kalsiyum borat malzemesinin lüminesans özelliklerinin belirlenebilmesine yönelik bundan sonraki deneysel ve teorik çalışmalarda, TSL ışıma eğrisinin 220 °C piki kullanılmıştır.

M. Erfani Haghiri vd. tarafından tekrar çöktürme ve ısıtma işlem yöntemi ile sentezlenmiş katkısız ve bakır katkılı kalsiyum borat nanokristallerinin termal uyartımlı lüminesans (TSL) özelliklerinin incelenmesi üzerine yapılan çalışmada, bakır katkılı malzemenin TSL ışıma eğrisinin yaklaşık olarak 120 °C ve 260 °C sıcaklıktaki iki pikten oluştuğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, yine gama kaynağına maruz bırakılan katkısız malzemenin TSL ışıma eğrisinin ise 150 °C sıcaklıkta bir

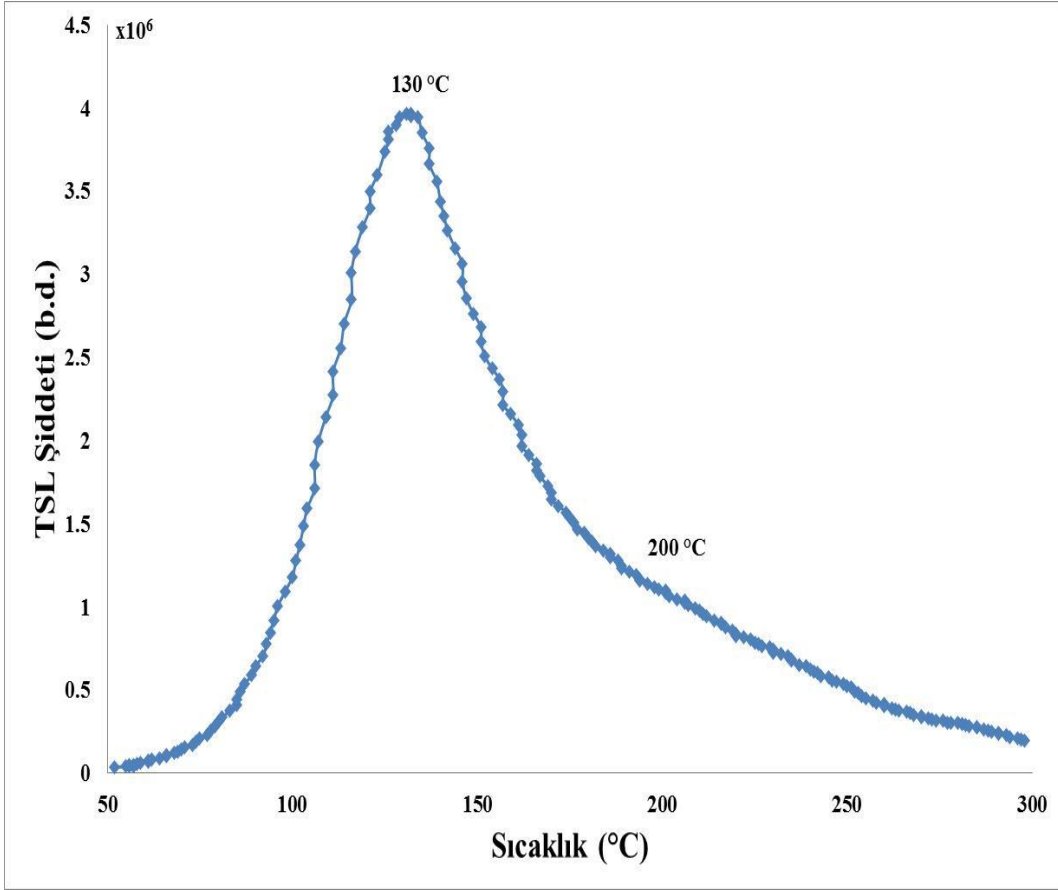
ana pik ile küçük bir omuzdan ve 175 °C ve 220 °C de iki hörgüçten oluştuğunu gözlemlemiştir (Haghiri vd., 2013).

Tekrar çöktürme yöntemi ile hazırlanmış olan Cu ve Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesi ile ilgili diğer benzer bir çalışmada ise, gama kaynağı ile ısıtılmış olan %1 ve %3 Cu katkılı malzemelerinin TSL ısıma eğrilerinin 114 °C ve 246 °C sıcaklıktaki iki pikten oluştuğu ve ikinci pikin oldukça güçlü olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, çeşitli oranlarda aynı yöntemler hazırlanmış ve gama kaynağı ile ısıtılmış olan Cu ve Mn katkılı nanokristal malzemelerinin TSL ısıma eğrilerinin 128 °C ve 256 °C sıcaklıktaki iki ayrı ve belirgin pikten oluştuğu ve bunlardan birinci pikin daha şiddetli (baskın) olduğu gözlemlenmiştir. (Haghiri vd., 2013).

4.2.3 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) Malzemesinin TSL Işıma Eğrisi

Sol-gel yöntemi kullanılarak sentezlenmiş %3 Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesi için 400 °C sıcaklıkta 10 dakika süre ile tavlama işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında bir süre bekletilmiş ardından 10 dakika (2,82 Gy) Sr-90 beta kaynağına maruz bırakılmıştır. Daha sonra, TSL ölçümü için ısıtma hızı 5 °C/s, başlangıç sıcaklığı 50 °C ve bitiş sıcaklığı 300 °C olacak şekilde ölçüm ayarları yapılan Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemi kullanılarak %3 Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesinden elde edilen TSL ısıma eğrisi Şekil 4.8 'de gösterilmiştir.

%3 Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesi için elde edilen TSL ısıma eğrisi incelendiğinde, TSL ısıma eğrisinin maksimum TSL ısıma şiddeti 130 °C sıcaklığa karşılık gelen bir pik ve 200 °C sıcaklığına karşılık gelen bir omuzdan oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 4.8 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin 10 dakika (2.82 Gy) beta kaynağı ile ışınlanmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrisi.

Manam ve Sharma 'nın ergime yöntemi kullanılarak sentezlenmiş Mn ve Cu katkılı ve katkısız CaB_4O_7 malzemeleri için yapmış oldukları termal uyartımlı lüminesans çalışmalarında, Mn katkılı malzemenin duyarlılığının katkısız malzemeye göre 40 kat daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. X-ışını ile ışınlanmış katkısız CaB_4O_7 malzemesinin TSL ışıma eğrisinin, 190 °C civarında bir omuza sahip 150 °C sıcaklıktaki güçlü bir ışıma piki ile 265 °C sıcaklıktaki ikinci bir pikten oluştuğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, X-ışını ile ışınlanmış Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesinin TSL ışıma eğrisinin 135 °C sıcaklıkta güçlü bir pikten oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Bu sonuç, tez çalışması için sentezlenmiş olan Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesinden elde edilen TSL ışıma eğrisi ile küçük bir kayma dışında benzer bir yapıya sahip olduğu göstermektedir. İki ışıma eğrisi arasındaki bu küçük farkın, ışınlamada kullanılan radyasyon kaynaklarının ve malzemelerin hazırlanış yöntemleri ile katkı oranlarının farklı olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca X-ışınına maruz bırakılmış Cu katkılı CaB_4O_7 malzemesinin

ise TSL ısıma eğrisinin 190 °C civarında bir omuz ile 150 °C ve 265 °C sıcaklığında iki pikten oluştuğunu ve bu piklerden 150 °C 'de olanının oldukça güçlü bir pik olduğunu belirlemişlerdir (Manam ve Sharma., 2003).

Haghiri vd. tarafından birlikte çöktürme ve ısıtma işlemi kullanılarak sentezlenmiş Mn katkılı ve katkısız kemik eşdeğeri kalsiyum borat nano kristalleri üzerine yapılan termal uyartımlı lüminesans (TSL) çalışmaları sonucunda, Mn katkılı malzemenin katkısız malzemeye göre 80 kat daha duyarlı olduğu belirlenmiştir. Manam ve Sharma 'nın yapmış oldukları mikro kristal formdaki malzeme ile ilgili benzer çalışmada bulunan sonuca göre bu malzemenin 2 kat daha duyarlı olduğu bulunmuştur. Malzemelerin TSL ısıma eğrisi incelendiğinde, katkısız malzemenin TSL ısıma eğrisinin 130 °C 'de bir ana pik ile 180 °C 'de küçük bir omuzdan ve 214 °C ve 270 °C civarında iki küçük pikten (hörgüç) oluştuğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra Mn katkılı malzemenin 150 °C 'de güçlü bir pikten oluştuğunu ve Manam ve Sharma 'nın 2003 yılında yapmış oldukları benzer çalışmayla karşılaştırdıklarında pik sıcaklığındaki değişiminin parçacık boyutunun etkisi ve örneğin hazırlanma yönteminin farklılığından kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir (Haghiri vd., 2013).

Ergime metodu kullanılarak sentezlenmiş olan Cu ve Mn katkılı ve katkısız $K_2B_4O_7$ malzemeler için yapılan başka bir benzer çalışma da ise, X-ışını ile ısıtılmış katkısız $K_2B_4O_7$ malzemesinin TSL ısıma eğrisinin 150 °C ve 200 °C 'de bulunan iki pikten oluştuğu ve bunlardan 200 °C pikine ait TSL şiddetinin daha şiddetli olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, oda sıcaklığında X-ışını ile ısıtılmış Cu katkılı $K_2B_4O_7$ malzemesinin TSL ısıma eğrisinin 120 °C sıcaklıkta güçlü bir pikten oluştuğu tespit edilmiştir. Son olarak X-ışını ile ısıtılmış Mn katkılı $K_2B_4O_7$ malzemesinin TSL ısıma eğrisinin 120 °C 'de bir pik ile 150 °C sıcaklıkta bulunan bir omuzdan oluştuğu belirlenmiştir. Bu üç malzemenin TSL ısıma eğrilerinin karşılaştırılması sonucunda Mn katkılı malzemenin TSL şiddetinin katkısız malzemeye göre çok fazla değişmediği fakat Cu katkılı malzemenin TSL şiddetinin katkısız malzemeye göre 37 kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Manam ve Sharma., 2004).

Manam ve Sharma tarafından Mn katkılı $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ malzemesi ile ilgili gerçekleştirilen başka bir çalışmada, ergime yöntemi kullanılarak sentezlenmiş olan malzemenin TSL ısıma eğrisinin 190°C 'deki küçük bir pik ile 310°C 'deki ana pikten oluştuğunu belirlenmiştir (Manam ve Sharma, 2008).

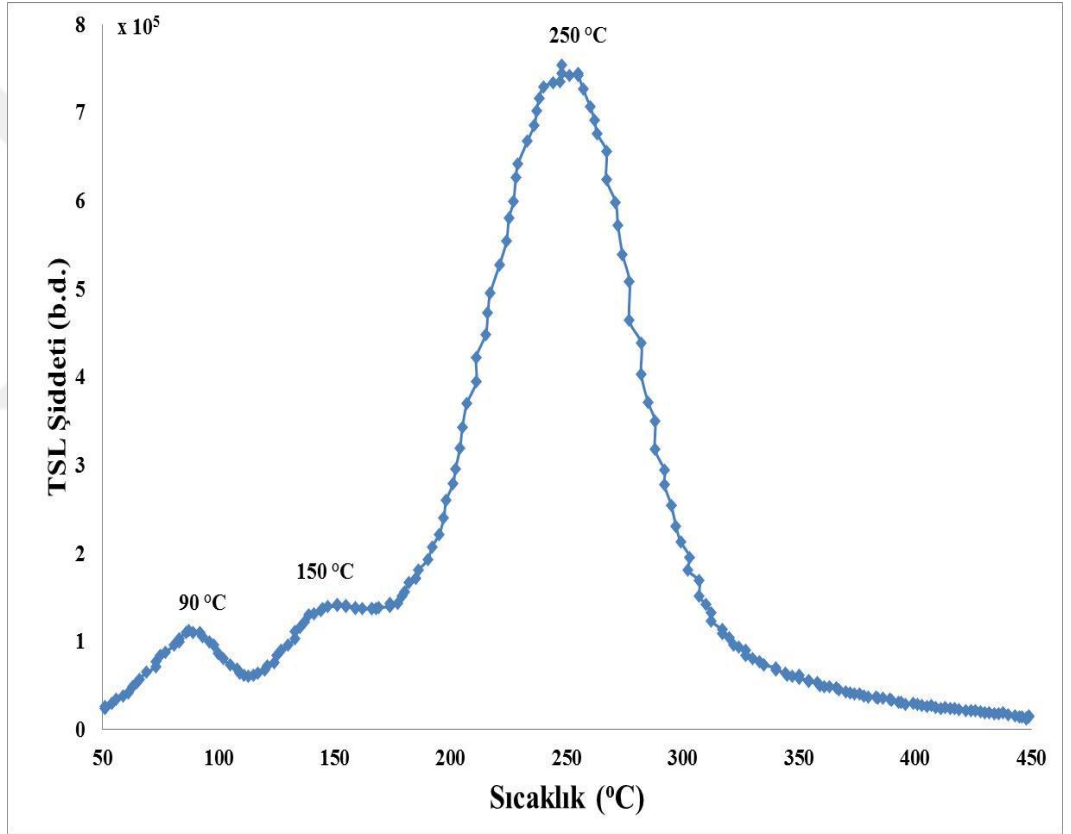
Ergime yöntemi kullanılarak sentezlenmiş olan kalsiyum borat malzemesi ile ilgili yapılan bir başka çalışmada ise, Cu katkılı CaB_4O_7 malzemesinin TSL şiddetinde katkısız malzemeye göre çok küçük miktarda artış olduğu belirlenmiştir (Manam ve Sharma., 2003).

Cu ve Mn katkılı kalsiyum borat malzemesi ile gerçekleştirilen benzer çalışmada, gama ışını ile ışınlanmış Cu ve Mn katkılı malzemenin TSL ısıma eğrisinin 128°C ve 256°C 'de iki pikten oluştuğu ve bunlardan 128°C 'deki pikin TSL şiddetinin daha baskın olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, farklı katkı oranına sahip Cu ve Mn katkılı aynı malzemeye yapılan çalışmaların karşılaştırılması sonucunda yüksek yoğunlukta bakır ve mangan katkılı malzemenin bu düşük sıcaklık bölgesindeki pikinin TSL şiddetinin sönümlendiği belirlenmiştir. Aynı şekilde sadece Cu katkılı kalsiyum borat malzemesiyle gerçekleştirilen benzer çalışma sonucunda, bakır katkılı malzemenin TSL şiddetinin 114°C ve 246°C sıcaklıkta iki farklı yapıdaki pikten oluştuğu ve bu piklerden 246°C pikinin diğer pike göre daha baskın (güçlü) olduğu tespit edilmiştir. CaB_4O_7 için de farklı katkı oranına sahip safsızlığın malzemenin TSL ısıma eğrisi üzerindeki etkisini araştırmak için yapılan çalışma sonucunda, malzemenin %2 katkı oranına sahip safsızlık içermesi durumunda TSL ısıma eğrisini oluşturan ikinci pikinin sönümlendiği belirlenmiştir (Haghiri., 2014).

Bu tez çalışmasında kullanılan farklı oranlarda Mn katkılı kalsiyum borat malzemelerinin TSL ısıma eğrilerinin farklı olmasının nedeni, safsızlık konsantrasyonunun malzeme içerisinde artması sonucunda malzemenin örgü yapısında değişikliğe yol açması olabilir. Bununla birlikte yüksek miktarda safsızlık içeren bir malzemenin TSL şiddetinin azalması olayı, safsızlık iyonları arasında herhangi bir uyarıcı etken olmadan enerji transferi olayı sonucunda meydana gelen konsantrasyon sönümlemesi de söz konusu olabilir (McKeever., 1995).

4.2.4 CaSO₄:Cu,Tm Malzemesinin TSL Işıma Eğrisi

Cu ve Tm katkılı CaSO₄ malzemesi için 500 °C sıcaklıkta 30 dakika süre ile tavlama işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında bir süre bekletilmiş hemen ardından 10 saniye (55 mGy) Sr-90 beta kaynağına maruz bırakılmıştır. Daha sonra TSL ölçümü için ısıtma hızı 5 °C/s, başlangıç sıcaklığı 50 °C ve bitiş sıcaklığı 450 °C olarak Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemi kullanılarak Cu ve Tm katkılı CaSO₄ malzemesinden elde edilen TSL ışıma eğrisi Şekil 4.9 'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 CaSO₄:Cu,Tm malzemesinin 10 saniye (55 mGy) beta kaynağı ile ışınlanmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrisi.

Cu ve Tm katkılı CaSO₄ malzemesi için elde edilen TSL ışıma eğrisi incelendiğinde, düşük sıcaklık bölgesinde maksimum TSL ışıma şiddeti 90 °C ve 150 °C sıcaklığa karşılık gelen iki pik ile maksimum TSL şiddeti 250 °C sıcaklığına karşılık gelen ana pikten oluştuğu belirlenmiştir. Bu ışıma eğrisi bize

düşük sıcaklık bölgesinde malzemenin yapısında iki adet sıg tuzak ile 250 derecede daha derin bir tuzak yapısının olduğunu ifade eder.

Kasa vd. tarafında gerçekleştirilen “Cu ve Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin hazırlanması ve termoluminesans özelliklerinin incelenmesi” adlı benzer çalışmada, malzemenin TSL ışıma eğrisinin belirlenmesi için yapılan ölçüm sonucunda malzemenin 240 °C ’de bir güçlü pik ile 140 °C civarında küçük bir pikten oluştuğu belirlenmiştir. Bu ölçüm için başlangıç sıcaklığı 50 °C ve bitiş sıcaklığı 360 °C olarak ayarlandıktan sonra 4 °C/s ’lik ısıtma hızı ile ölçüm yapılmıştır. Bu çalışmada CaSO₄:Dy,Cu ve CaSO₄:Tm,Cu katkılı malzemelerin luminesans özelliklerinin karşılaştırılması yapılmış ve CaSO₄:Dy,Cu malzemesinin doz cevap eğrisinin 25 Gy ’den sonra lineerliğini kaybedip lineeraltı (sublineer) bir yapıya dönüştüğü fakat CaSO₄:Tm,Cu malzemesinin doz cevap eğrisinin 2000 Gy ’e kadar lineer yapısını koruduğunu belirlemişlerdir. Fakat 2000 Gy ’in üzerindeki dozlarda malzemenin doz cevap eğrisinin saturasyona (doyuma) ulaştığını tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar ve gerçekleştirilen luminesans çalışmaları doğrultusunda CaSO₄:Tm,Cu malzemesinin mükemmel bir dozimetrik malzeme yapısında olduğu ayrıca doz cevap eğrisinin geniş bir doz aralığında lineer olmasından dolayı çevresel dozimetre, medikal fizik, yüksek doz ışınlamaları, gama ışınlaması uygulamaları, nükleer santraller ve radyoterapi alanları v.b. gibi benzer alanlarda kullanılabilir olduğu ifade edilmiştir (Kasa vd., 2007).

İlk kez Yamashita tarafından 1968 yılında üretilmiş olan ve daha sonraki yıllarda bu malzeme ile ilgili gerçekleştirilen TSL çalışmalarından biri olan ve Salah vd. tarafından Dy katkılı CaSO₄ malzemesi ile ilgili yapılan bir çalışmada, malzemenin TSL ışıma eğrisinin 137, 222, ve 311 °C ’deki üç pikten meydana geldiğini belirlemişlerdir (Salah vd., 2003).

Kasa tarafından kimyasal saflaştırma yöntemi ile sentezlenmiş olan Dy ve Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemeleri üzerine yapılan çalışmada, Dy katkılı

malzeme ile Tm katkılı malzemelerin TSL ışıma eğrilerinin hemen hemen benzer bir yapıda oldukları belirlenmiştir. Kobalt kaynağı kullanılarak gama ışınına maruz bırakılan bu malzemelerin her ikisinin de TSL ışıma eğrilerinin, düşük sıcaklık bölgesinde bir pik ile yaklaşık 240 °C civarındaki bir dozimetrik (ana) pikten oluştuğu tespit edilmiştir (Kasa vd., 1990).

Kasa vd., tarafından sentezlenmiş olan ve Dy konsantrasyonu sabit tutularak farklı miktarda Cu katkılı malzemenin TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması deneyinde, ⁶⁰Co kaynağına maruz bırakılmış olan bu malzemelerden sadece Dy katkılı olan malzemenin TSL ışıma eğrisinin yüksek sıcaklık pikinin küçük yoğunlukta da olsa bakır katkısıyla ortadan kaybolduğu tespit edilmiştir (Kasa vd., 1997).

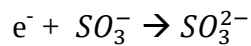
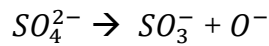
Dy katkılı CaSO₄ malzemesi ile Dy ve Cu katkılı CaSO₄ malzemeleri ile yapılan TSL çalışması sonucunda, Dy katkılı malzemenin dozimetrik piki ile yüksek sıcaklık bölgesinde bulunan ve birbirinden ayıramayan piklerden oluştuğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra Dy ve Cu katkılı malzemenin dozimetrik pikinin 240 °C civarında olduğu ve değişik dozlarda ısıtılan bu malzemenin TSL ışıma eğrisinin yapısında bir değişiklik meydana gelmediği fakat Dy katkılı malzemenin TSL ışıma eğrisinin yapısının değiştiği belirlenmiştir (Kasa vd., 1996).

Manam ve Das tarafından ergime metodu kullanılarak sentezlenmiş olan katkılı ve katkısız kalsiyum sülfat malzemeleri ile gerçekleştirilen TSL çalışmaları sonucunda, X-ışını ile ısıtılmış katkısız malzemenin TSL ışıma eğrisinin 141 °C 'de bir dozimetrik ana pik ile 105 °C ve 181 °C 'de bulunan iki omuzdan oluştuğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, bakır katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin oda sıcaklığında X-ışını ile ısıtılmasından sonra gerçekleştirilen TSL ölçümü ile elde edilen ışıma eğrisinin 137 °C 'deki güçlü bir pik ile 187 °C 'deki ikinci pikten oluştuğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada, Mn katkılı kalsiyum sülfat malzemesi ile gerçekleştirilen benzer çalışma sonucunda, X-ışını ile ısıtılmış malzemenin TSL ölçümü ile elde edilen TSL ışıma eğrisinin 175 °C 'deki bir pik ile 215 °C 'deki bir omuzdan oluştuğu belirlenmiştir. Son olarak bu üç malzemenin 5 dakika X-

ışınına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması sonucunda, bakır katkılı malzemenin ana pikinin maksimum sıcaklığa karşılık TSL şiddetinin diğer malzemelere göre daha fazla olduğu yani bu malzemenin diğer malzemelere göre daha duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır (Manam ve Das., 2008).

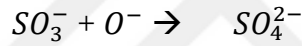
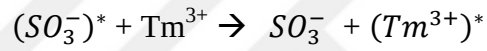
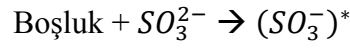
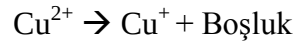
Cu katkılı ve katkısız sülfat malzemeler ile ilgili yapılan bir başka çalışmada, % 0,5 mol bakır katkılı ASO_4 (A=Ca, Ba, Sr, Mg) malzemelerinin 5 dakika X- ışını ile ışınlamalarından sonra TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda Cu katkılı $CaSO_4$ malzemesinin dozimetrik pikinin TSL şiddetinin en fazla olduğu yani en duyarlı malzemenin bu malzeme olduğu belirlenmiştir. Bunların yanı sıra, farklı yoğunlukta Cu katkısının malzemenin TSL ışıma eğrisinin yapısında herhangi bir değişikliğe neden olmadığı belirlenmiştir. (Manam vd, 2009).

Tulyum ve bakır katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin herhangi bir radyasyon kaynağı ile ışınlaması sırasında, malzeme yapısında mevcut bulunan SO_4^{2-} iyonu SO_3^- ve O^- radikallerine kırılır. Bu esnada, Cu^+ iyonunun bir boşluk tarafından Cu^{2+} iyonuna yükseltgenir ve bir elektron serbest hale geçer. SO_3^- ile oluşan bu elektronun birleşmesi sonucunda SO_3^{2-} meydana gelir. Böylece SO_3^{2-} , bir elektron tuzağı gibi davranır. Işınlama esnasında gerçekleşen bu olaylar esnasında, kısmi olarak SO_3^- 'ün başlangıç derişiminde azalma meydana gelir. Bu olayla ilgili reaksiyon denklemi ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir;



Malzemenin ısıtılması sırasında ise, Cu^{2+} iyonu malzemenin örgü yapısı içerisinde bir boşluk oluşmasına neden olur. Bu esnada, oluşan bu boşluk SO_3^{2-} ile

birleşerek uyarılmış durumda $(SO_3^-)^*$ oluşur. Daha sonra, SO_3^- 'ün uyarılma enerjisi Tm^{3+} 'ya aktarılır. Bu olay sonucunda ise, TL ışıma olayı gerçekleşmiş olur. En son olarak, O^- iyonu radikal olan SO_3^- ile birleşerek SO_4^{2-} iyonunu oluşturarak malzemenin örgüsü tekrar sağlanmış olur. Bu olayla ilgili reaksiyon denklemi ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

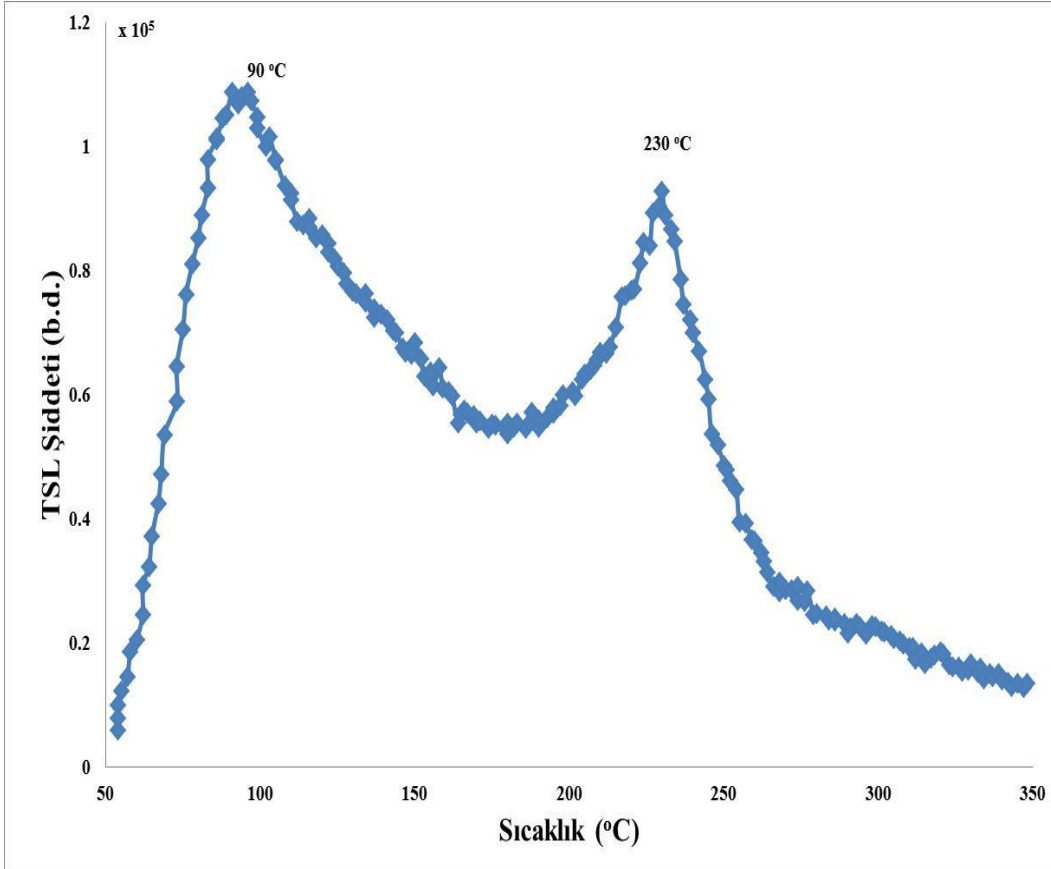


Cu ile aynı grup geçiş metali olan Ag ve Tm ile aynı lantinit grubunda bulunan Dy katkılı kalsiyum sülfat malzemesi ile ilgili gerçekleştirilen bir çalışmada, malzemenin termoluminesans ışıma olayını benzer bir şekilde ifade edilmiştir (Bhatt vd., 2006).

4.2.5 $CaSiO_4:Cu$ Malzemesinin TSL Işıma Eğrisi

Solvo-termal yöntemi kullanılarak sentezlenmiş Cu katkılı $CaSiO_4$ malzemesi için 300 °C sıcaklıkta 30 dakika süre ile tavlama işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında bir süre bekletilmiş hemen ardından 10 dakika (3,12 Gy) Sr-90 beta kaynağına maruz bırakılmıştır. Daha sonra TSL ölçümü için ısıtma hızı 5 °C/s, başlangıç sıcaklığı 50 °C ve bitiş sıcaklığı 350 °C olacak şekilde ölçüm

ayarları yapılmış Harshaw 3500 TLD okuyucu sistemi kullanılarak Cu katkılı CaSiO_4 malzemesinden elde edilen TSL ışıma eğrisi Şekil 4.10 'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 $\text{CaSiO}_4:\text{Cu}$ malzemesinin 3.12 Gy lik beta ışınyla ısınlamasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrisi.

Cu katkılı CaSiO_4 malzemesi için elde edilen TSL ışıma eğrisi incelendiğinde, 50 °C ile 175 °C sıcaklık band aralığındaki bir pik yapısı ile 175 °C ile 280 °C sıcaklık band aralığında ikinci bir pik yapısının olduğu gözlemlenmiştir.

Silikat tabanlı malzemelerin lüminesans özellikleri ile ilgili birçok çalışma gerçekleştirilmiş ve bu malzemelerin lüminesans verimlerinin çok yüksek olması ve doz cevap eğrilerinin, sönümlene özelliklerinin ve kararlılıklarının çok iyi

olması nedeniyle bu malzemeler lüminesans üzerine çalışan birçok araştırmacının ilgi odağı haline gelmiştir (Molina vd., 2010; Prokic vd., 2008; Bingfu vd., 2010).

Özellikle terbiyum katkılı magnezyum silikat üzerine yapılan birçok çalışma sonucunda, malzemenin TSL ışıma eğrisinin maksimum TSL şiddeti 200°C 'ye karşılık gelen güçlü pikten oluştuğu, bu malzemenin lüminesans veriminin yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, sinterleme metodu kullanılarak sentezlenmiş olan bu malzemenin sönümlene miktarının çok düşük olduğu (3 ay süre sonunda % 13 sönümlene) ve 0-10 Gy 'lik doz aralığında doz cevap eğrisinin lineer bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. (Oğuz, 2009; Gökçe vd., 2009; Prokic vd., 2008)

4.3 Beta Kaynağının Kalibrasyon Sonuçları

Çalışmalarda kullanılan Tm katkılı CaCO_3 , Mn katkılı CaB_4O_7 , Cu ve Tm katkılı CaSO_4 ve Cu katkılı CaSiO_4 malzemelerine beta kaynağının birim zamanda verdiği doz miktarının belirlenebilmesi için gerçekleştirilen kalibrasyon işlemi için, Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü lüminesans laboratuvarında bulunan $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağı ile Özel Onkomer Radyasyon Onkoloji Merkezinde bulunan ^{60}Co (Şekil 4.11) kaynakları kullanılmıştır.



Şekil 4.11 Özel Onkomer Radyasyon Onkolojisi bünyesinde bulunan 5,27 yıl yarı ömre ve 441,3 TBq aktiviteye sahip ^{60}Co kaynağı.

Öncelikle dozimetrelerin her birine uygun tavlama işlemi uygulandıktan sonra, malzemeler özel olarak hazırlanmış ve ışık almayan ortamlarda muhafaza edilmişlerdir. Daha sonra, malzemeler ^{60}Co kaynağı ile sırasıyla 0,5 Gy, 1 Gy ve 2 Gy 'lik dozlara maruz bırakılmış hemen ardından TLD okuyucu kullanılarak 5 °C/s ısıtma hızı ile TSL ışıma eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra, $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4:\text{Cu}$ malzemelerinin TSL ışıma eğrilerinin sırasıyla, 160 °C ile 340 °C, 170 °C ile 260

$^{\circ}\text{C}$, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık bandı aralığındaki eğrilerin altında kalan alanlar hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlardan yararlanılarak, malzemelerin her biri için maruz bırakılan doza karşılık elde edilen TSL ışıma eğrisinin belirtilen sıcaklık bandı aralığındaki eğrilerin altında kalan alana göre grafikler çizilmiştir.

Son olarak, malzemelerin her biri için tekrar uygun tavlama işlemi uygulanmış ardından malzemeler belirli sürelerde beta kaynağıyla ışınlanmışlardır. Daha sonra $5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ısıtma hızı ile TSL ışıma eğrileri elde edilmiş ve bu veriler yardımıyla her bir malzemenin ışıma eğrisinin altında kalan alanlar hesaplanmıştır. Malzemelerin ^{60}Co kaynağına maruz bırakılmasından sonra, her bir malzeme için çizilmiş olan grafiklerden yararlanılarak Çizelge 4.1 'de belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β kaynağının özel onkomer onkoloji merkezinde bulunan ^{60}Co kaynağına göre malzemelere vermiş olduğu doz hızı değerleri.

DOZİMETRE ADI	DOZ (mGy.s^{-1})
$\text{CaCO}_3:\text{Tm}$	5,5
$\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn} (\%1)$	4,7
$\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn} (\%3)$	4,7
$\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$	5,6
$\text{CaSiO}_4:\text{Cu}$	5,2

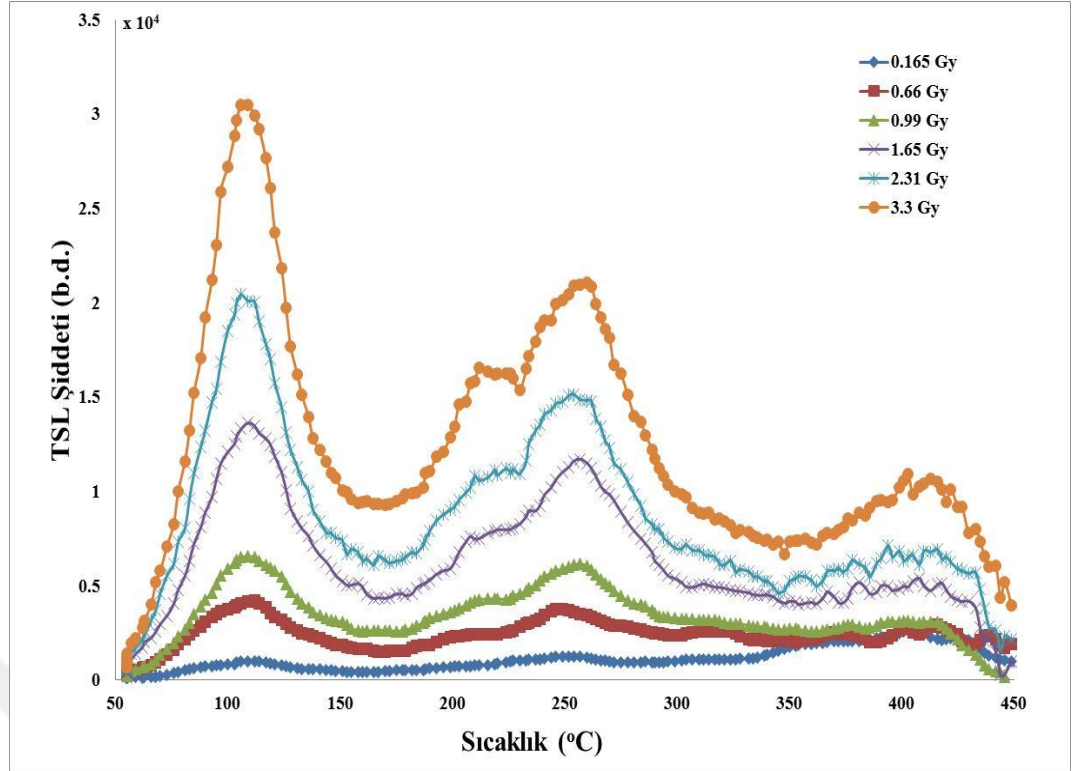
4.4 Doz Cevap Eğrisi

Dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş bir malzemenin personel, çevresel, yüksek doz ve klinik dozimetre gibi alanların hangisi ya da hangilerinde kullanılabileceğinin öngörülebilmesi için, malzemenin doz cevap eğrisinin belirlenmesi gerekir.

4.4.1 CaCO₃:Tm Malzemesinin Doz Cevap Eğrisi

Bu çalışmada sol-jel yöntemi kullanılarak sentezlenmiş olan Tm katkılı kalsiyum karbonat malzemesinin doz cevap eğrisinin belirlenebilmesi amacıyla, her bir ışınlama öncesinde malzeme için 30 dakika süre ile 400 °C’de tavlama işlemi uygulanmış ve malzeme oda sıcaklığında bir süre bekletilmiştir. Her bir tavlama işleminin ardından malzeme 30 saniyeden (0,165 Gy) 10 dakikaya (3,3 Gy) kadar ⁹⁰Sr beta kaynağına maruz bırakıldıktan sonra, oda sıcaklığında TSL ölçümü gerçekleştirilmiş ve malzemenin TSL ışıma eğrileri kaydedilmiştir. Elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması, Şekil 4.12 ’de gösterilmiştir.

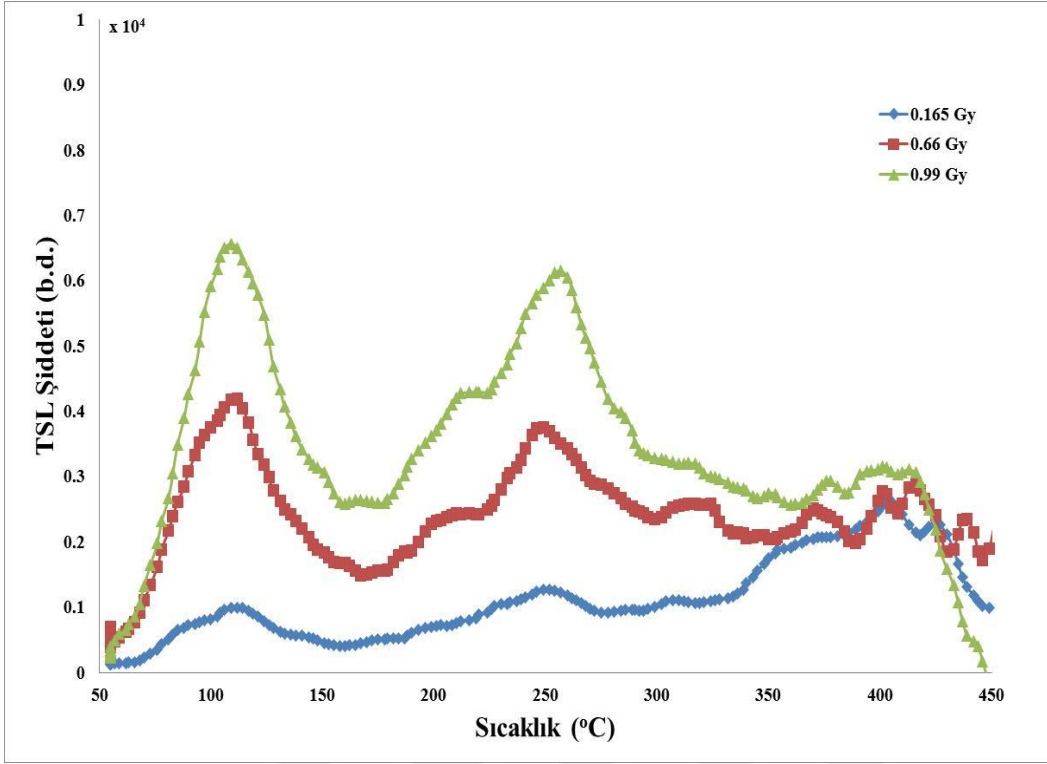
Nano boyutta üretilmiş Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinde meydana gelen TSL olayı, genel olarak bilinen noktasal tuzaklardan farklı olarak malzemenin yüzey durumuyla ilişkilendirilebilmektedir. Bir malzemenin TSL ışıma eğrisi, malzemenin üretimi esnasında malzemenin örgü yapısında oluşan safsızlıklardan kaynaklanır. Nano boyuttaki malzemede ise parçacıklar küçüldükçe, yüzeydeki iyonlar hızlı bir şekilde artar. Yüzeyde bulunan ve tamamen dolu olmayan birçok iyon, elektronlar ve boşluklar kolayca uyarılabilir ve bu iyonlardan kaçabilir ve daha sonra yasak bant aralığındaki yüzeyde bulunan tuzaklar tarafından tuzaklanabilirler. Malzeme ısıtıldığında ise, tuzaklanmış olan elektronlar serbest hale gelir ve boşluklar tarafından tekrar birleşme olayı oluşur. Bu tekrar birleşme olayı esnasında ise, bir ışık yayılımı gerçekleşir (Sharma vd., 2011).



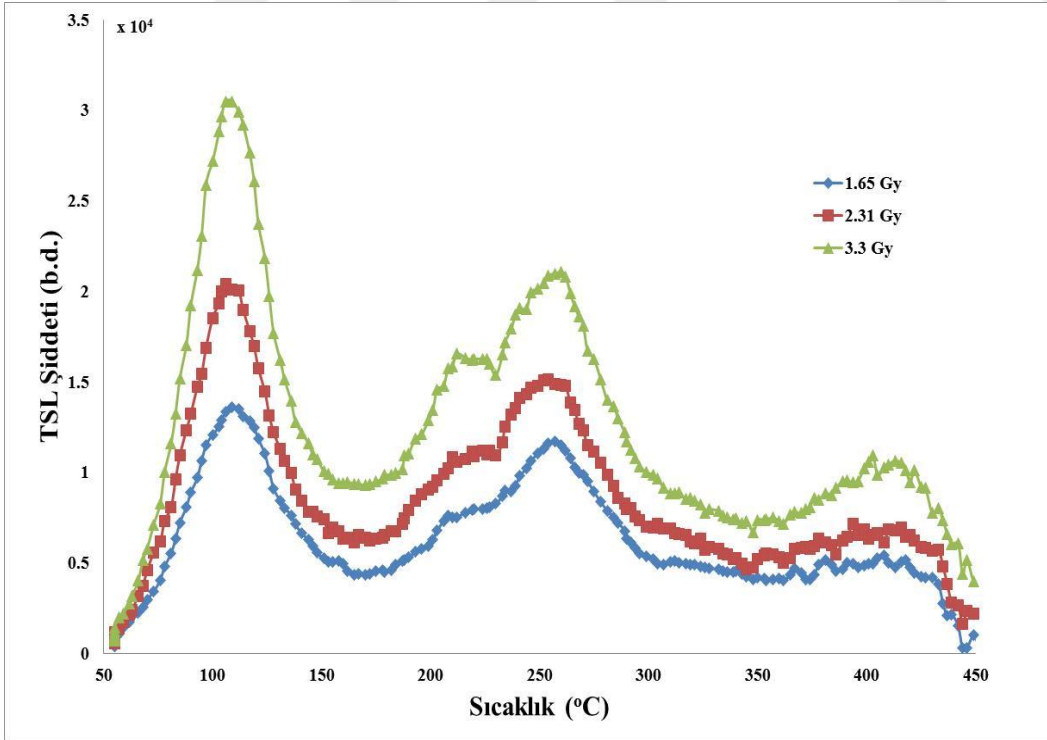
Şekil 4.12 $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesinin farklı dozlarda beta ışınıyla ışınlamasından sonra $5\text{ }^\circ\text{C/s}$ ısıtma hızı ile TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

Tulyum katkılı kalsiyum karbonat malzemesinin düşük dozlardaki TSL ışıma eğrilerinin yapılarındaki değişimin daha net görülebilmesi amacıyla, 165 mGy ile 0,99 Gy 'lik ışınlamalardan sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.13 'te gösterilmiştir. Bununla birlikte, 1,65 mGy ile 3,3 Gy 'lik ışınlamalardan sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.14 'te gösterilmiştir.

Radyasyon dozundaki artışla birlikte TSL ışıma eğrisinin şiddetindeki artışın anlamı, TSL ışıma eğrisini oluşturan birçok tuzağın soğurulan dozun artmasıyla hızlı bir şekilde dolması ve bu tuzakların termal olarak uyartılması sonucunda tuzaklardaki yük taşıyıcıların serbest kalarak tekrar birleşme olayının gerçekleşmesinden kaynaklanır. Buradan da anlaşılacağı üzere TSL ışıma eğrisinin yapısındaki değişikliğin nedeni, soğurulan dozla birlikte tuzakların daha fazla elektronla dolması ve termal uyartım esnasında daha fazla ışık yayılım olayının aynı anda gerçekleşmesi olabilir (Manam ve Sharma 2003; Haghiri vd., 2013).

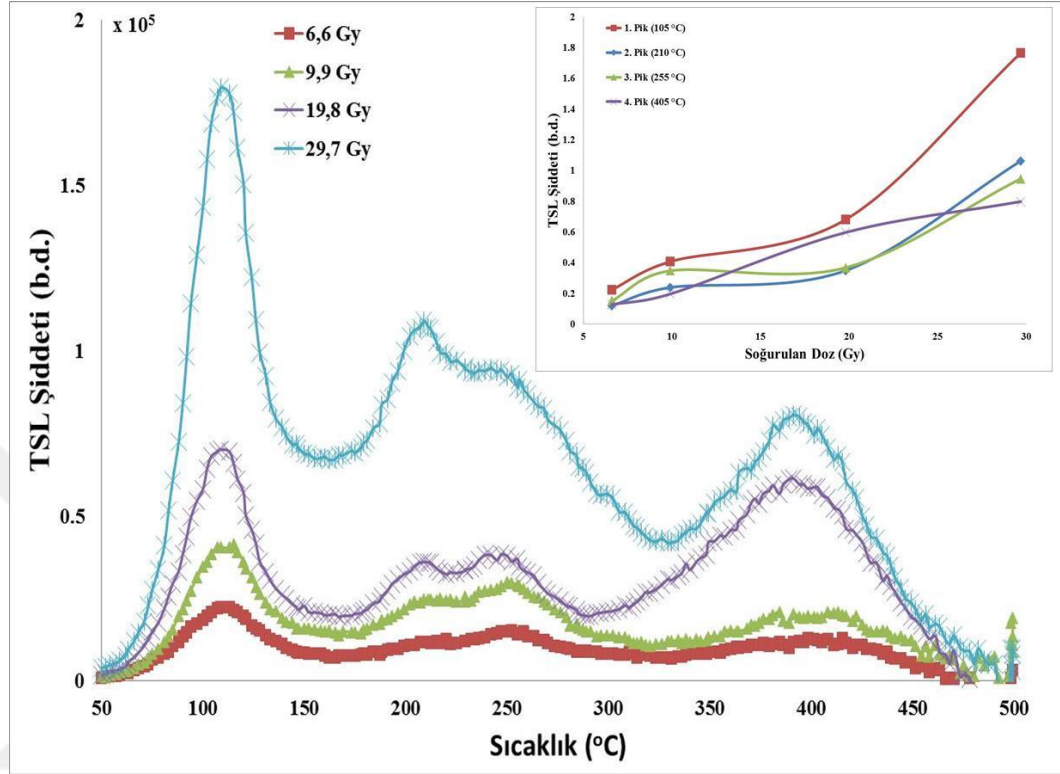


Şekil 4.13 $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesinin düşük dozlarda beta ışınıyla ışınlanmasından sonra 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.14 $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesinin yüksek dozlarda beta ışınıyla ışınlanmasından sonra 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

Bunlara ek olarak, $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesinin 6,6 Gy ile 29,7 Gy 'lik doz aralığındaki yüksek dozlarda beta ışınıyla ışınlanmasından sonra 5 C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.15 'te gösterilmiştir.

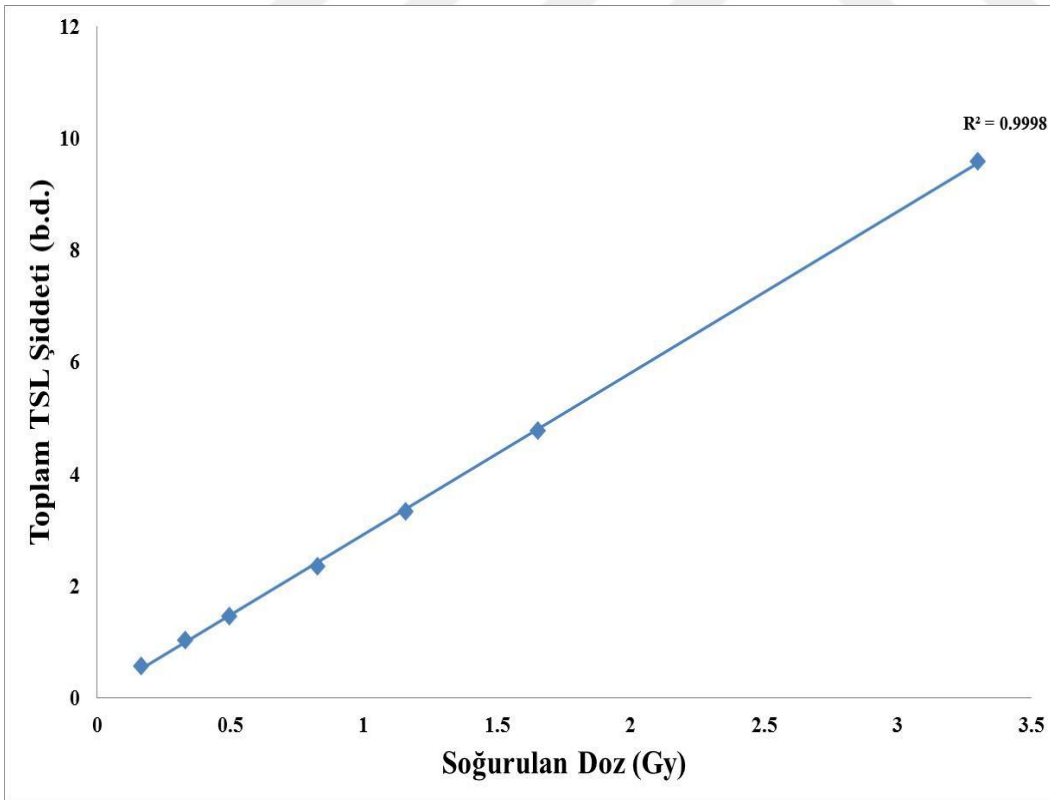


Şekil 4.15 $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesinin yüksek dozlarda beta ışınıyla ışınlanmasından sonra 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.15 'teki grafik incelendiğinde, 105 °C ve 210 °C, 255 °C ve 405 °C piklerinin TSL şiddetlerinin artan dozlarla birlikte lineer olmayan bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, yüksek dozlara doğru malzemenin TSL ışıma eğrisinin 255 °C ve 405 °C piklerinin düşük sıcaklıklara doğru kaydığı gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak, 405 °C pikinin TSL şiddetinin artış hızının diğer piklere göre başlangıçta oldukça fazla olduğu (19,8 Gy) daha sonra (29,7 Gy) azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, malzemenin maruz kaldığı dozun artmasıyla 405 °C pikini oluşturan tuzak yapılarının doyuma ulaşmasının bir göstergesi olabilir.

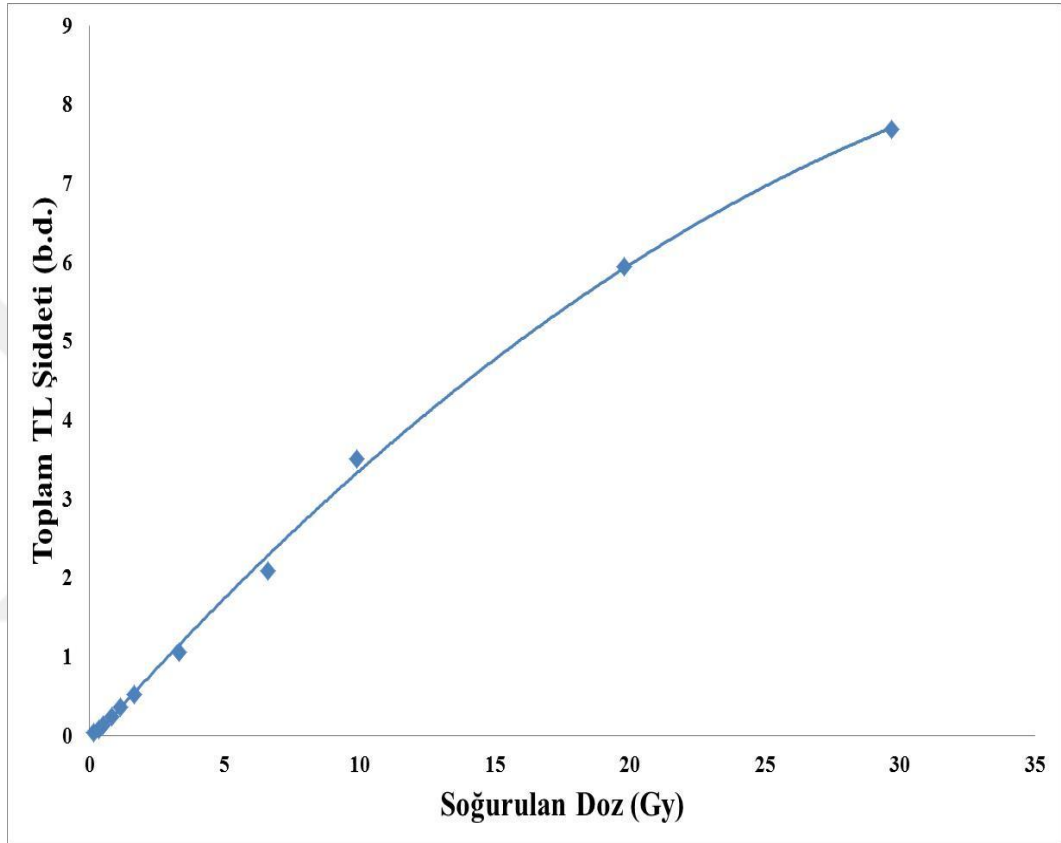
Gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alanlardan yararlanılarak, Tm katkılı malzemeye ait doz cevap eğrisi belirlenmiştir. Tulyum katkılı kalsiyum karbonat malzemenin TSL ışıma eğrisinin geniş bir sıcaklık aralığında birçok pikinin bulunmasından dolayı, malzemenin TSL doz cevap eğrisi için öncelikle tüm TSL ışıma eğrisi altında kalan alana göre daha sonra da her bir pikin altında kalan alana göre TSL doz cevap eğrisi çizilmiştir.

Tm katkılı kalsiyum karbonat malzemenin, 30 saniyeden (165 mGy) 10 dakikaya (3,3 Gy) kadar değişik sürelerde beta kaynağına maruz bırakılmasından sonra tüm TSL ışıma eğrisi altında kalan alana göre çizilen doz cevap eğrisi Şekil 4.16 'da gösterilmiştir. Elde edilen doz cevap eğrisine göre, malzemenin doz cevap eğrisinin 165 mGy ile 3,3 Gy 'lik doz aralığında lineer bir yapıda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.16 CaCO₃:Tm malzemesinin düşük sürelerde ışınlaması sonrasında maruz kaldığı doza karşılık tüm TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre elde edilen doz cevap eğrisi.

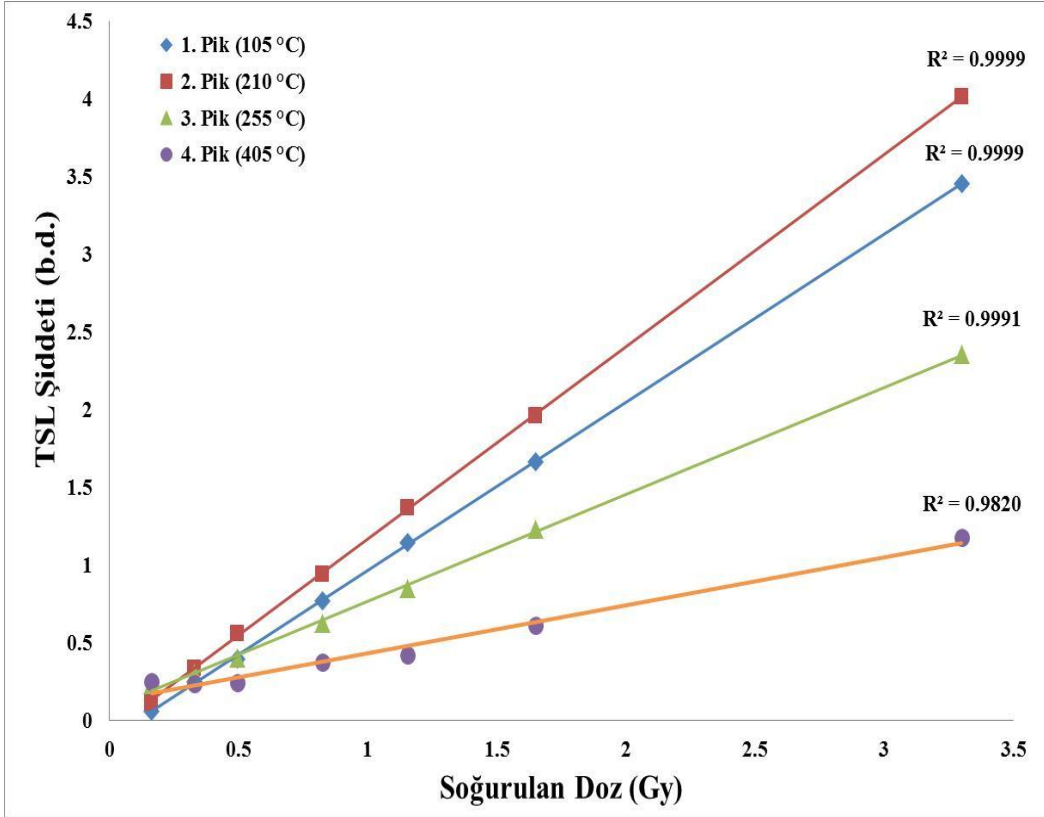
Malzemenin daha yüksek dozlardaki davranışını incelemek için 3,3 Gy ile 29,7 Gy 'lik doz aralığında doz yanıt eğrisi elde edilmiştir (Şekil 4.17). Bu grafik incelendiğinde, malzemenin doz cevap eğrisinin ~3,3 Gy 'lik dozdan sonra lineer altı bir yapıya doğru kaydığı belirlenmiştir.



Şekil 4.17 $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesinin yüksek doz aralığında ışınlaması sonrasında maruz kaldığı doza karşılık tüm TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre elde edilen doz cevap eğrisi.

Tm katkılı kalsiyum karbonat malzemesinin TSL ışıma eğrisini oluşturan her bir pik için elde edilen 165 mGy ile 3,3 Gy 'lik doz aralığındaki doz cevap eğrilerinin karşılaştırılması ise, Şekil 4.18 'de gösterilmektedir. Bu grafikten anlaşılabileceği üzere, malzemenin TSL ışıma eğrisinin 105 °C ve 210 °C piklerine ait TSL doz cevap eğrilerinin lineer bir yapıda olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, 160 °C ile 340 °C sıcaklık bandı aralığında bulunan 210 °C piki gibi 255

$^{\circ}\text{C}$ pikine ait TSL ışıma eğrisinin de lineer bir yapıda olmasına rağmen ilk iki pik ile eşit şekilde artış göstermediği ve artışın daha yavaş bir şekilde olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde 405°C 'deki pik şiddetindeki artışında artan doz hızı ile birlikte oldukça azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.18 $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesinin 165 mGy ile 3,3 Gy'lik doz aralığında soğurduğu dozlara karşı TSL ışıma eğrisinin 105°C , 210°C , 255°C ve 405°C piklerinin TSL şiddetlerine göre çizilen doz cevap eğrileri.

Tm katkılı kalsiyum karbonat malzemesinin doz cevap eğrisinin nasıl bir yapıda olduğunun belirlenebilmesi amacıyla kullanılan diğer bir yöntem ise, malzemenin doz cevap oranı ($F(D)_{\text{oran}}$) değerinin hesaplanmasıdır. Daha önce Bölüm 3.2.7 'de bu ifadeyle ilgili ayrıntılı olarak verilen bilgilere göre, malzemenin TSL doz cevap eğrisinin $F(D)_{\text{oran}}=1$ ise doğrusal, $F(D)_{\text{oran}}<1$ doğrusal altı, $F(D)_{\text{oran}}>1$ ise doğrusal üstü bir yapıda olduğu söylenebilir (McKeever, 1995).

Gerçekleştirilen teorik hesaplamalar sonucunda, Tm katkılı kalsiyum karbonat malzemesinin Şekil 4.16 ve Şekil 4.18 'de gösterilmiş olan doz cevap

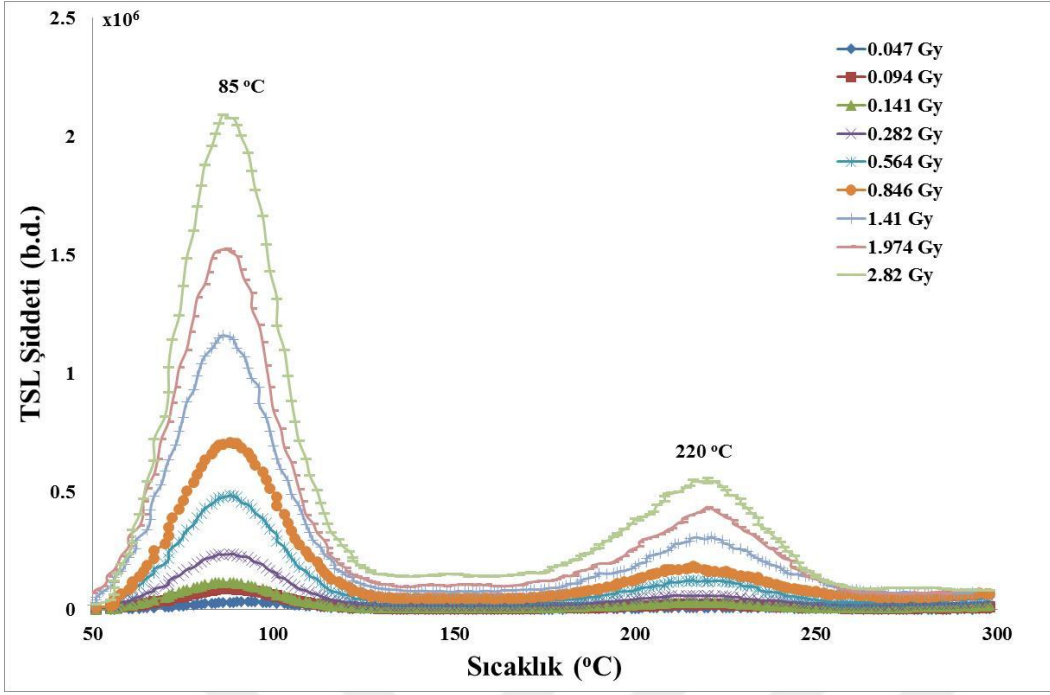
eğrilerinin $F(D)_{\text{oran}}$ değerleri 1 olarak belirlenmiş ve malzemenin doz cevap eğrilerinin doğrusal bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Fakat malzemenin yüksek dozlara maruz kalmasıyla elde edilen Şekil 4.17 'deki eğri incelendiğinde yüksek dozlara doğru malzemenin doz cevap eğrisinin lineer altı bir yapıya doğru kaydığı yani doğrusal altı olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bu eğrinin $F(D)_{\text{oran}}$ değeri 1 den küçük olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen bu sonuçlara göre, Tm katkılı kalsiyum karbonat malzemesinin personel, çevresel ve klinik dozimetre alanlarında 0-3 Gy 'lik doz aralığındaki radyasyon dozlarının ölçümü için kullanılabilir bir malzeme olabileceği, fakat gıda sterilizasyonu, malzeme testi ve nükleer reaktör çalışmaları gibi alanlarda yüksek doz dozimetresi olarak kullanımının uygun olmadığı belirlenmiştir.

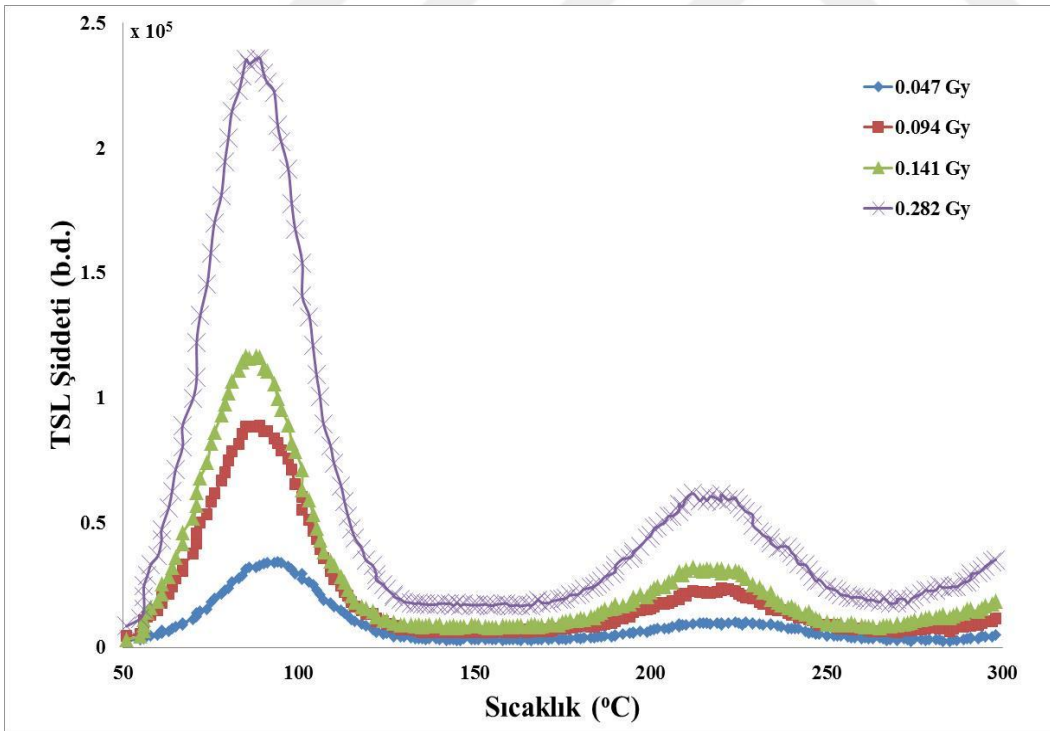
4.4.2 %1 Mn Katkılı CaB_4O_7 Malzemesinin Doz Cevap Eğrisi

%1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin doz cevap eğrisinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, malzeme öncelikle 10 dakika süre ile 400 °C 'de tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra oda sıcaklığında bir süre bekletilmiştir. Gerçekleştirilen bu tavlama presedürü, herbir ışınlama öncesinde tekrarlanmıştır. Daha sonra, malzemenin belirli sürelerde (10 s (47 mGy) ile 10 dakika (2,82 Gy) arasında) beta kaynağına maruz bırakılmasının ardından gerçekleştirilen TSL ölçümleri sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrileri kaydedilmiştir.

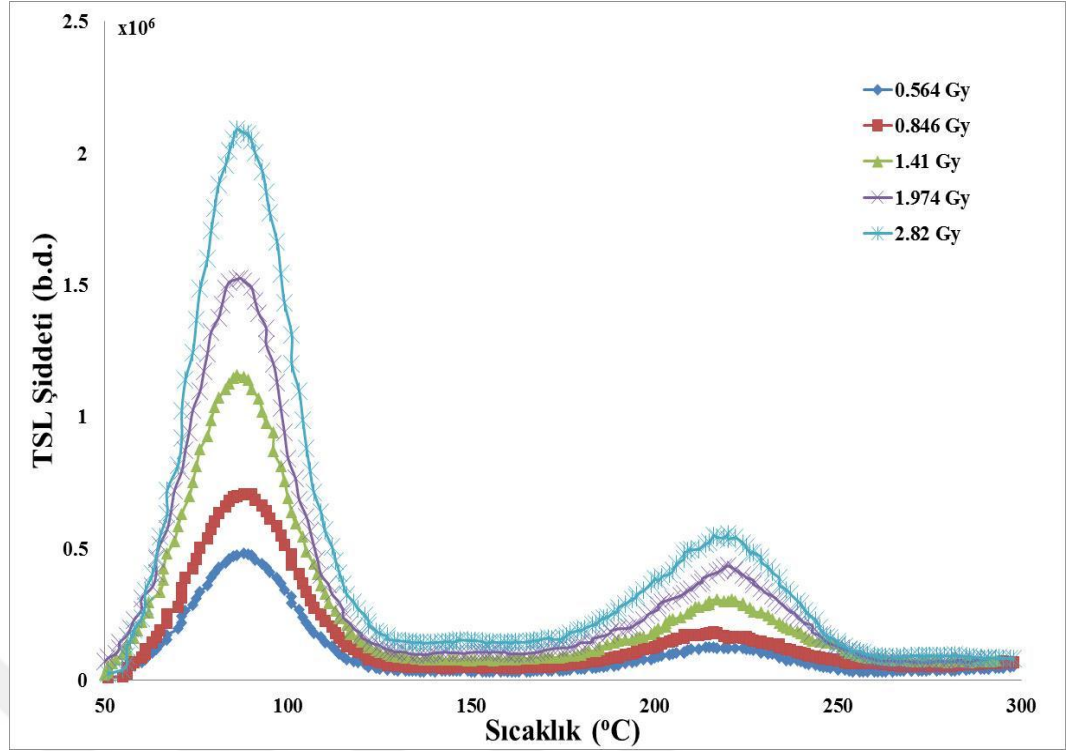
%1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin farklı dozlarda ^{90}Sr beta kaynağı ile ışınlanmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrileri Şekil 4.19 'da gösterilmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda, dozimetrik malzemenin maruz kaldığı dozun artmasıyla malzemenin TSL ışıma eğrisini oluşturan piklerin şiddetinde artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu olayın daha da iyi anlaşılabilmesi amacıyla düşük dozlarda ve yüksek dozlarda yapılan çalışmaların sonuçları Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 'de ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 4.19 %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin farkı dozlarda beta kaynağı ile ışınlanmasından hemen sonra 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ısıtma eğrileri.



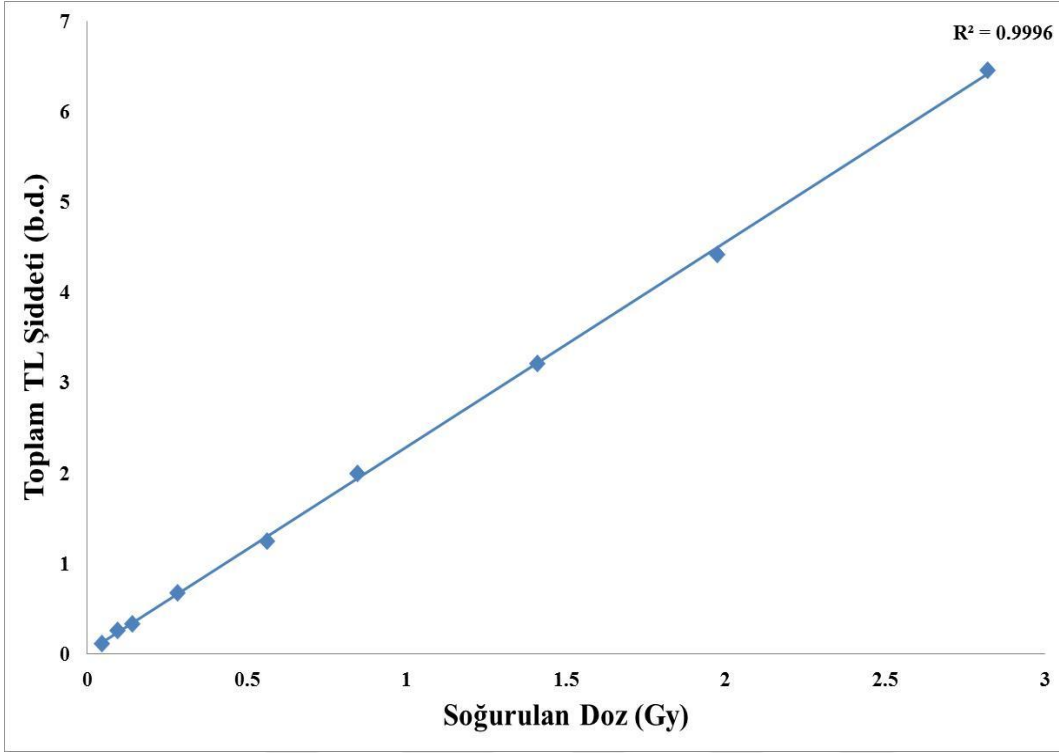
Şekil 4.20 %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin düşük dozlarda beta kaynağı ile ışınlanmasından hemen sonra 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ısıtma eğrileri.



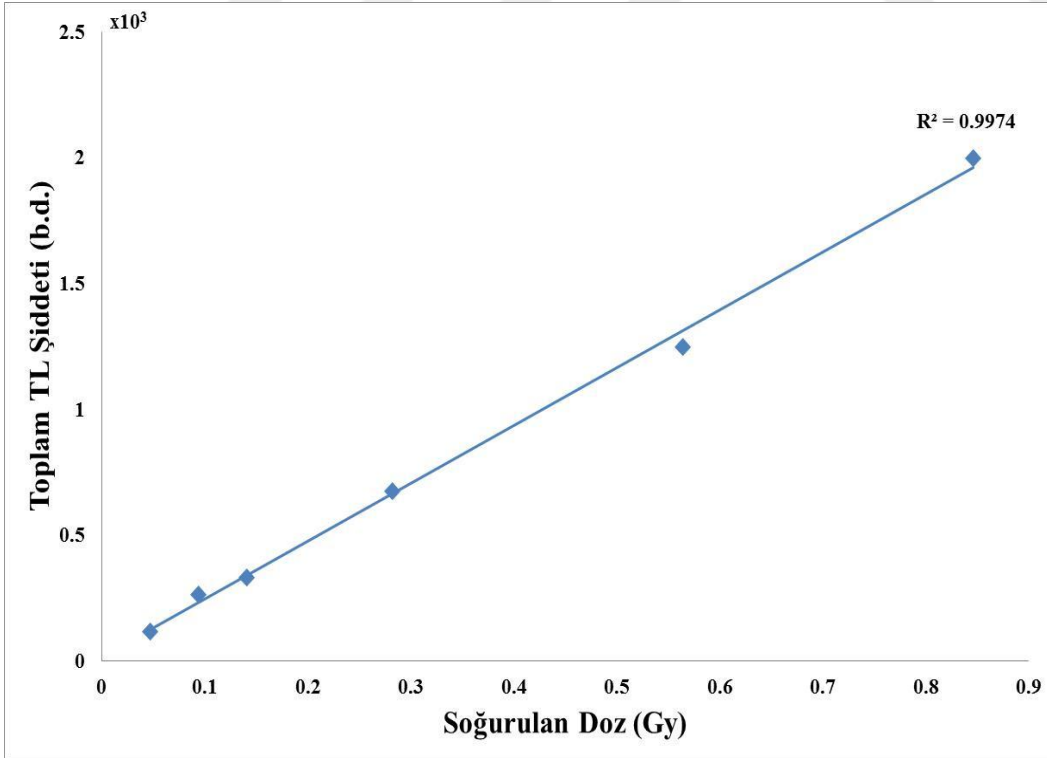
Şekil 4.21 %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin yüksek dozlarda beta kaynağı ile ışınlanmasından hemen sonra 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrileri.

%1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin doz cevap eğrisinin belirlenebilmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan sonra, teorik hesaplamalar sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alanlardan ve ışınlama dozlarından yararlanılarak malzemenin doz cevap eğrisi çizilmiştir.

Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin TSL ışıma eğrisinin yapısı iki farklı pikten meydana geldiği için, öncelikle malzemenin maruz kaldığı doza karşılık tüm ışıma eğrisi altında kalan alana göre TSL doz cevap eğrisi elde edilmiştir (Şekil 4.22). Elde edilen bu eğriye göre, malzemenin doz cevap eğrisinin belirlenen doz aralığında lineer bir yapıda olduğu belirlenmiştir.



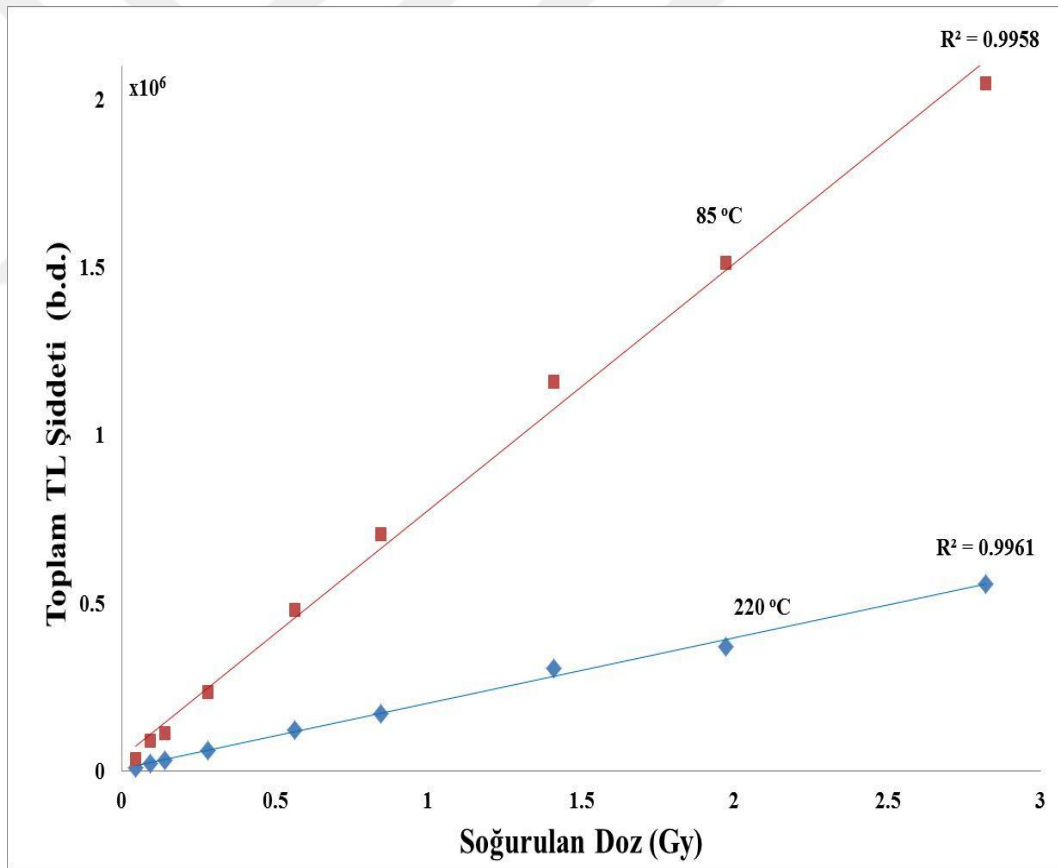
Şekil 4.22 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin soğurulan doza karşılık TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre elde edilen doz cevap eğrisi.



Şekil 4.23 Düşük dozlarda beta ışınıyla ışınlanan $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin 220 °C piki için soğurulan doza karşılık TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre elde edilen doz cevap eğrisi.

Soğurulan düşük doza karşılık bu malzemenin TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre çizilen TSL doz cevap eğrisi Şekil 4.23 'te gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılabacağı üzere, malzemenin düşük dozlardaki doz cevap eğrisininde doğrusal bir yapıda olduğu tespit edilmiştir.

$\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin TSL ışıma eğrisini oluşturan her bir pik için doz cevap eğrileri belirlenmiş ve bu iki eğrinin karşılaştırılması Şekil 4.24 'te gösterilmiştir. Bu sonuca göre, malzemenin her iki piki için elde edilen TSL doz cevap eğrisinin lineer bir yapıda olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, malzemenin düşük sıcaklık pikine ait doz cevap eğrisinin lineerliğindeki artış hızının dozimetrik pike ait olan doz cevap eğrisinin lineerliğindeki artışa göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.24 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesi için elde edilen 85 °C ve 220 °C piklerine ait doz cevap eğrilerinin karşılaştırılması.

Doz cevap eğrisinin yapısının belirlenebilmesi için gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda, %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin Şekil 4.22,

Şekil 4.23 ve Şekil 4.24 de gösterilmiş olan doz cevap eğrilerinin $F(D)_{oran}$ değerleri 1 olarak belirlenmiş ve malzemenin doz cevap eğrilerinin doğrusal bir yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Borat tabanlı malzemeler ile ilgili gerçekleştirilmiş benzer çalışmalar incelendiğinde, bu malzemelerin doz cevap eğrilerinin geniş bir doz aralığında lineer bir yapıda olduğu bunun yanı sıra soğurulan doza karşılık malzemenin TSL ışıma eğrilerini oluşturan piklerin (yarı yükseklikteki tam genişlik) daraldığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Z_{eff} değeri yumuşak dokuya yakın borat tabanlı malzemelerin dozimetrik amaçlı klinik uygulamalarında kullanımının yanı sıra çevresel doz ölçümleri gibi farklı birçok alanda kullanılabileceği belirtilmiştir (Prokic vd., 1993; Manam ve Sharma, 2004; Maryam Erfani Haghiri vd., 2013; Ekdal vd., 2014; Manam ve Sharma, 2003; Manam ve Sharma 2004; Haghiri vd., 2013; Haghiri vd., 2014; Ege vd., 2007; Can vd., 2006).

Isıl işlem tekniği yardımıyla birlikte çöktürme metodu kullanılarak sentezlenmiş olan %2 bakır katkılı kalsiyum borat malzemesinin TSL doz cevap eğrisinin yapısının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, malzemenin yüksek sıcaklık pikine ait TSL doz cevap eğrisinin 0.05 ile 3000 Gy arasında doğrusal bir yapıda olduğu belirlenmiştir. Buna karşın düşük sıcaklık pikinin TSL doz cevap eğrisinin 30 Gy 'e kadar benzer yapıda olduğu belirlenmiştir. Bu malzemenin dozimetrik pikinin TSL doz cevap eğrisinin 3 kGy den sonra doğrusal altı bir yapıda olduğu, 4 kGy 'den itibaren ise saturasyona (doyuma) uğradığı belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, dozun artmasıyla malzemenin TSL ışıma eğrisinin dozimetrik piklerinin maksimum TSL şiddetlerinin lineer bir şekilde arttığı tespit edilmiştir (Haghiri vd., 2013)

Maryam ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş oldukları bir başka çalışmada ise, bakır ve mangan katkılı kalsiyum borat malzemelerinin TSL doz cevap eğrisinin 3000 Gy 'e kadar lineer bir yapıda olduğu daha sonra artan gama dozu ile birlikte lineer altı yapıya doğru kaydığı 4000 Gy 'den sonra da saturasyona uğradığı belirlenmiştir. Aynı şekilde soğurulan dozun malzemenin TSL ışıma eğrisi üzerindeki etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmada ise, 3000 Gy 'e kadar

malzemenin TSL ışıma eğrisini oluşturan piklerin maksimum TSL şiddetlerinin doğrusal bir şekilde arttığı ve piklerin yarı genişlikteki yüksekliklerinin daralması sonucunda pikin sivrileştiği belirlenmiştir (Haghiri vd., 2014).

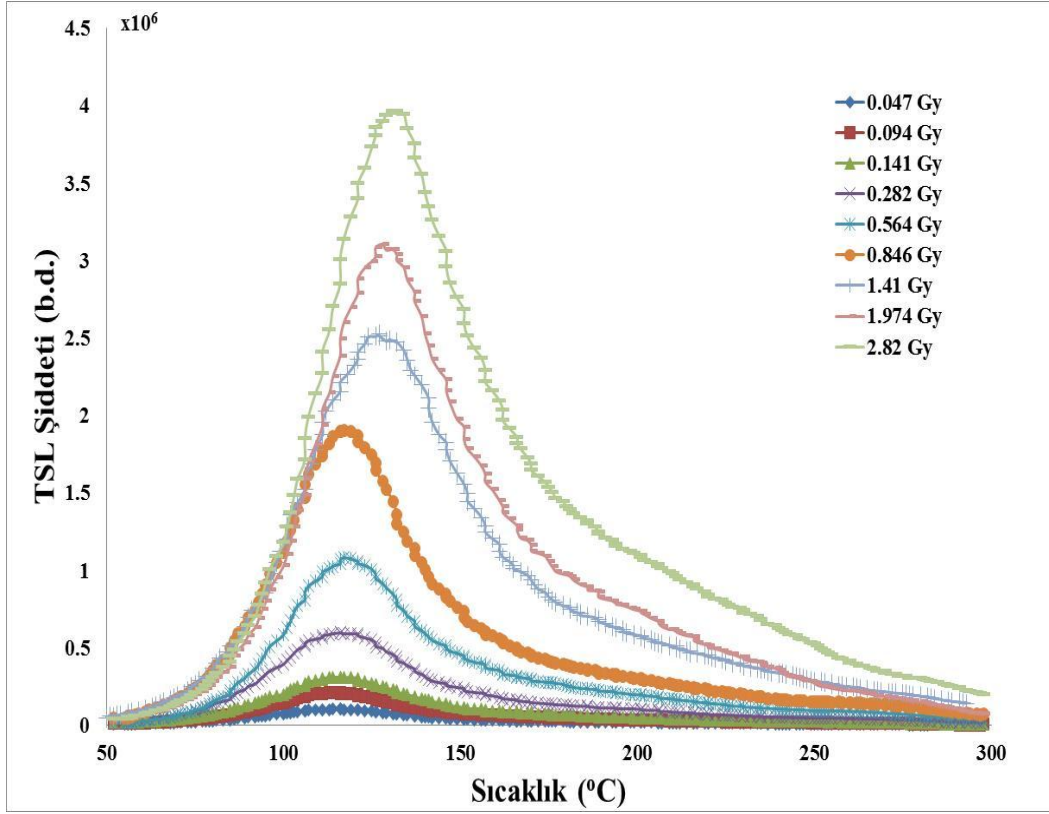
Borat tabanlı malzemeler, iyi bir doku eşdeğeri özelliğe sahiptirler ($Z_{eff} = 7.25$) (McKeever, 1995). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve daha önce yapılmış olan benzer çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin belirtilen doz aralığında klinik uygulamalar başta olmak üzere çevresel doz ölçümü gibi değişik birçok alanda dozimetrik amaçlı kullanılabilir olduğu belirlenmiştir (Karali vd., 2002; Prokic vd., 1996, 1996, 2000; Fukuda vd., 1987; Ege vd., 2007; Ekdal vd., 2014; Karsu vd., 2006; Manam vd., 2004).

Diğer bir önemli husus ise, son zamanlarda benzer malzeme ile soğurulan dozun malzeme üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarla bizim farklı teknik kullanarak sentezlediğimiz bu malzemenin karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan durumdur. Bu karşılaştırma sonucunda, bu çalışmada kullanılan malzemenin daha önce üretilmiş benzer malzemelere göre daha duyarlı olduğu belirlenmiştir (Manam vd., 2003; Haghiri vd., 2013; Haghiri vd., 2014; Haghiri vd., 2013).

4.4.3 %3 Mn Katkılı CaB_4O_7 Malzemesinin Doz Cevap Eğrisi

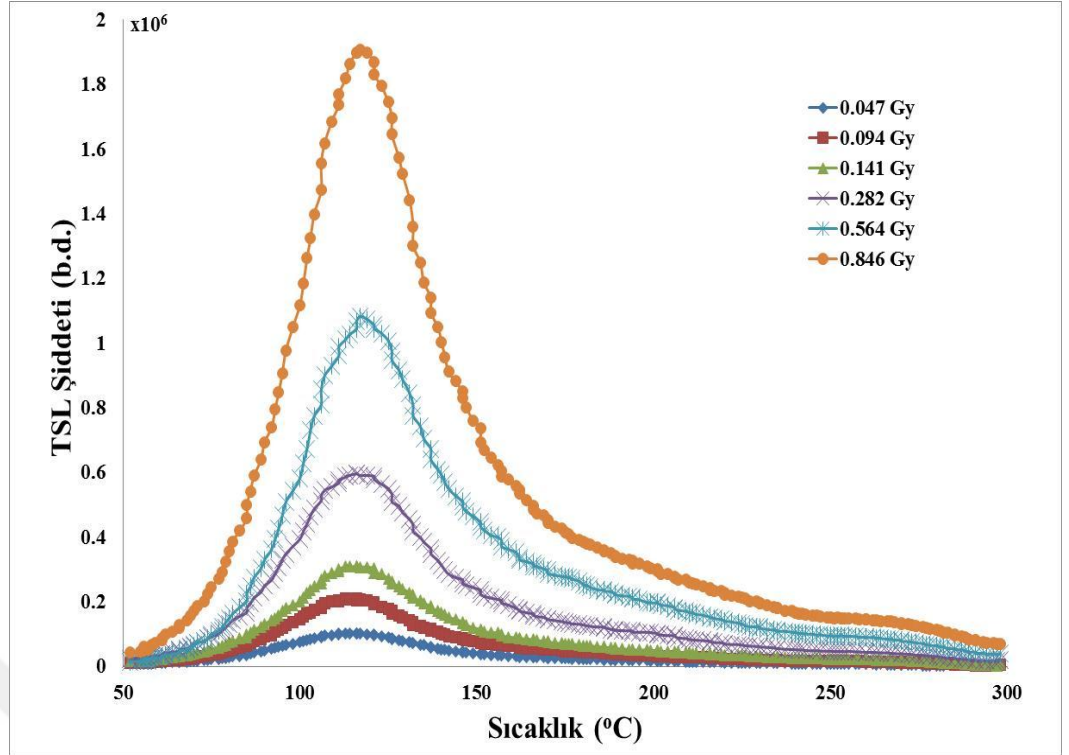
%3 Mn katkılı kalsiyum borat malzemenin doz cevap eğrisinin belirlenebilmesi için, %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin doz cevap eğrisinin belirlenebilmesi için gerçekleştirilen tavlama yönteminin aynısı (10 dakika süre ile 400 °C’ de) her bir ışınlama işlemi öncesinde bu malzeme için de uygulanmış ve malzeme oda sıcaklığında bir süre bekletilmiştir. Daha sonra, malzeme 10 saniye ile 10 dakika arasında (47 mGy ile 2,82 Gy) beta kaynağına maruz bırakılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, soğurulan dozun etkisiyle %3 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin ışıma eğrisindeki pik yapısının nasıl değiştiği incelenmiş ve farklı dozlarda beta kaynağına maruz bırakılan dozimetrik malzemeden elde edilen TSL ışıma eğrileri Şekil 4.25 'te gösterilmiştir.

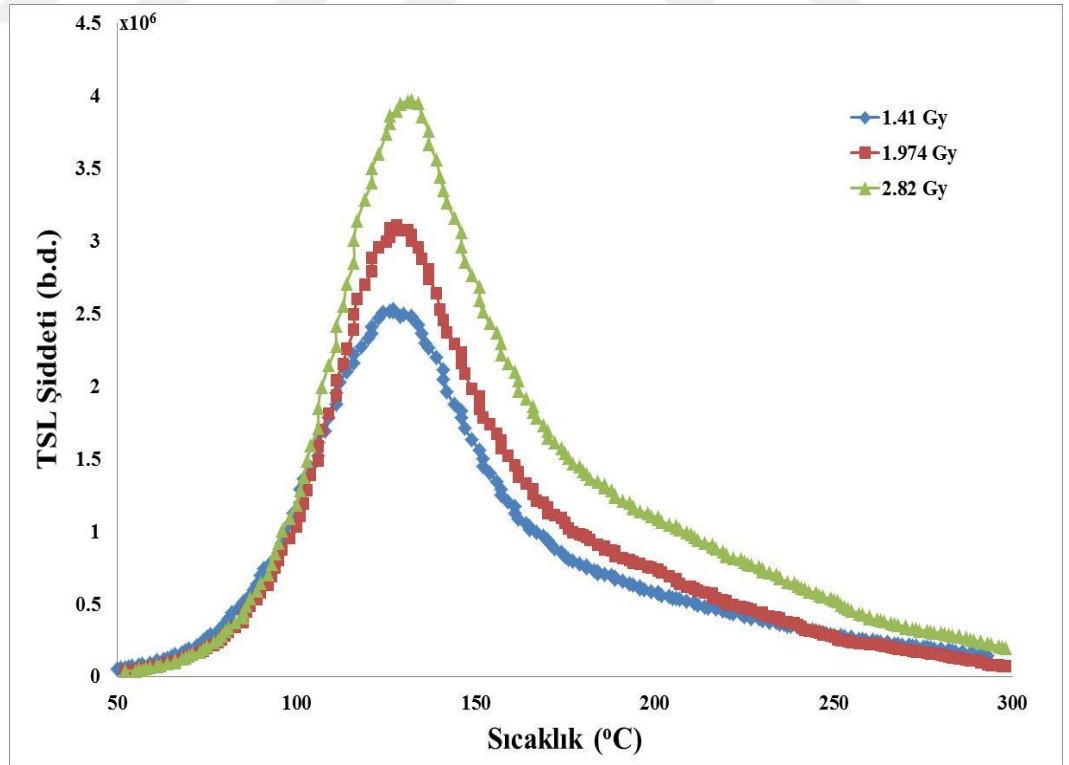


Şekil 4.25 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin farklı dozlarda beta ışıma maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda malzemenin maruz kaldığı beta dozunun artmasıyla, %3 Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesinin TSL ışıma eğrisini oluşturan pik şiddetinde de artış meydana geldiği belirlenmiştir. Şekil 4.25 incelendiğinde, malzemenin maruz kaldığı dozun artışıyla birlikte pikin yapısında daralma meydana gelmesi sonucunda sivrileştiği ve pikin maksimum TSL ışıma şiddetine karşılık gelen sıcaklıkta sağa doğru bir kayma olayının gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu olayın daha da iyi anlaşılabilmesi amacıyla, düşük dozlar ve yüksek dozlardaki çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 'de gösterilmiştir.



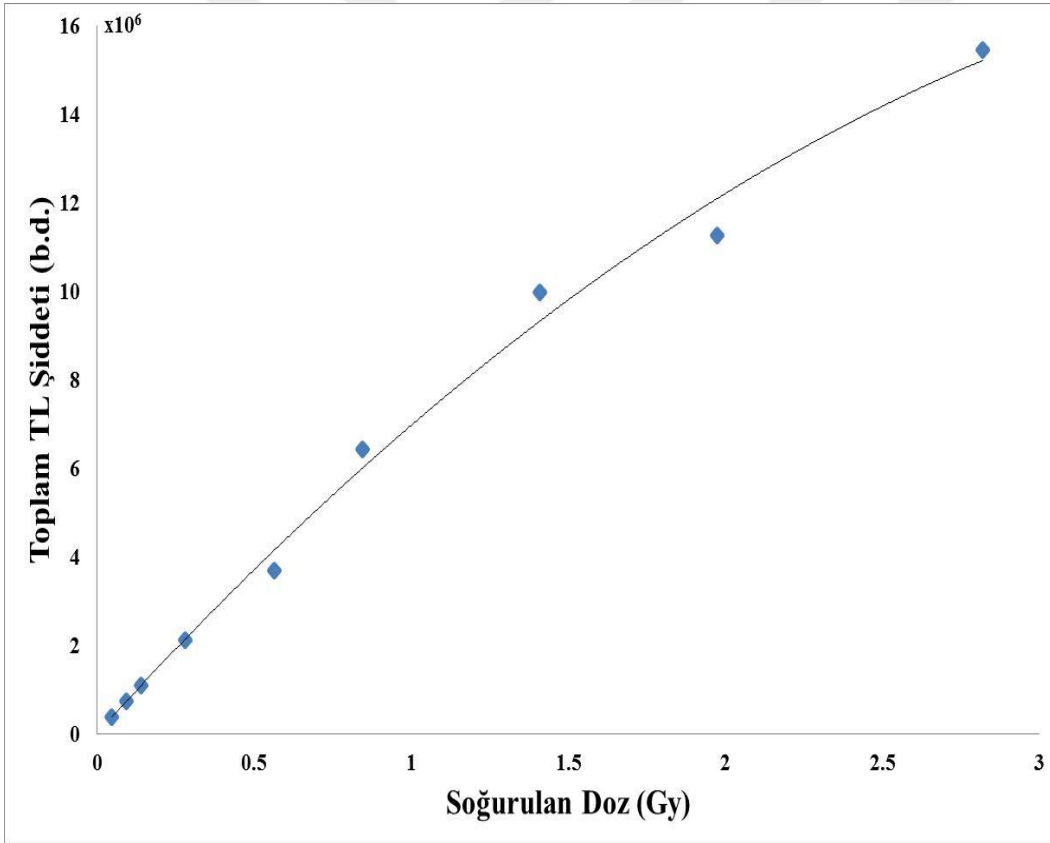
Şekil 4.26 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin düşük dozlarda beta ışınına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.



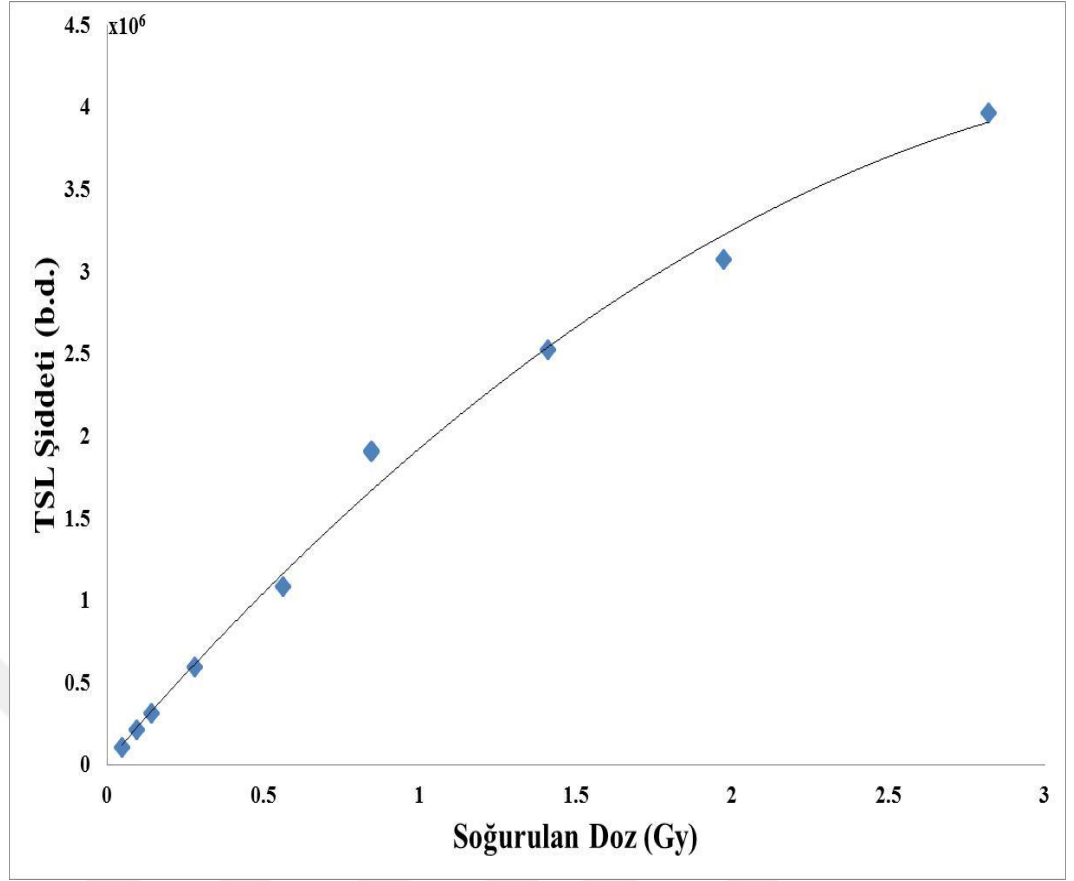
Şekil 4.27 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin yüksek dozlarda beta ışınına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

Her bir doz değeri için elde edilen TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alanların ve TSL ışıma eğrisini oluşturan pikin maksimum sıcaklık değerine karşılık gelen TSL şiddeti değerleri kullanılarak elde edilen doz cevap eğrileri, Şekil 4.28 ve Şekil 4. 29 'da gösterilmiştir. Bununla birlikte, Şekil 4.30 'da malzemenin maruz kaldığı düşük dozlar için elde edilen doz cevap eğrisi gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda malzemenin doz cevap eğrisinin yaklaşık 0,3 Gy 'e kadar lineer bir yapıda olduğu daha sonra eğrinin lineer altı (sublinear) bir yapıya doğru kaydığı belirlenmiştir.



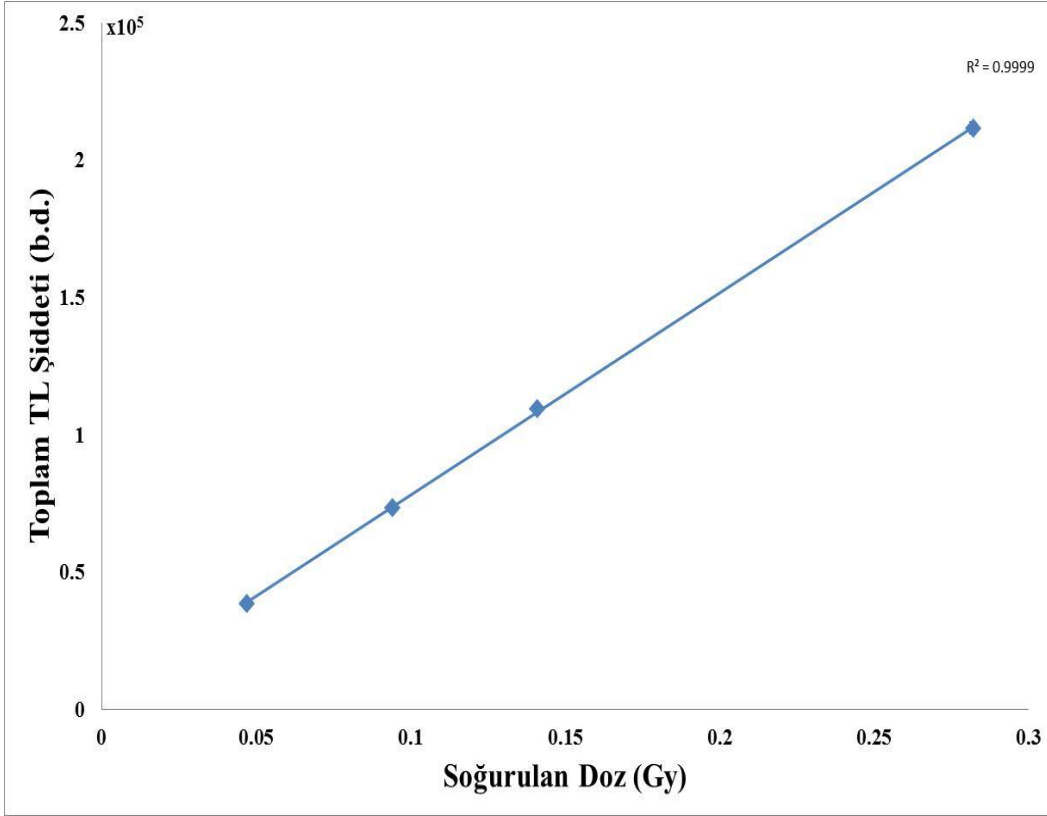
Şekil 4.28 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin farklı dozlarda beta ışınına maruz bırakılmasından hemen sonra 130 °C piki için elde edilen TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alanlara göre çizilen doz cevap eğrisi.



Şekil 4.29 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin değişik dozlarda beta ışınına maruz bırakılmasından hemen sonra, malzemenin 130°C piki için elde edilen TSL şiddetine göre çizilen doz cevap eğrisi.

Doz cevap eğrisinin nasıl bir yapıda olduğunun belirlenebilmesi için gerçekleştirilen teorik hesaplamalar sonucunda, %3 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin Şekil 4.28 ve şekil 4.29 de gösterilmiş olan doz cevap eğrilerinin $F(D)_{\text{oran}}$ değerleri düşük dozlarda 1 olarak bulunmuştur (Şekil 4.30). Fakat artan dozlarla birlikte doz cevap oranı değeri $F(D)_{\text{oran}} < 1$ olarak bulunmuştur.

Tüm fosfor malzemelerin duyarlılığı, doz aralığına ve iyonlaştırıcı radyasyonun tipine bağlıdır. Bunun yanı sıra, çok düşük dozlarda sinyal-gürültü oranı yüksek olacağından ya da yüksek dozlarda malzemenin TSL sinyalinin doyuma ulaşması söz konusu olacağından doz tahmini oldukça zordur (Salah vd., 2011).



Şekil 4.30 47 mGy ile 282 mGy 'lik doz aralığındaki düşük dozlarda beta ışınıyla ışınlanan $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) malzemesinin 130 °C piki için, soğurulan doza karşılık TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre elde edilen doz cevap eğrisi.

Elde edilen bu sonuçların doğrultusunda, sol-jel yöntemi kullanılarak sentezlenmiş olan %3 Mn katkılı malzemenin düşük dozlarla çalışılan alanlarda dozimetrik amaçlı kullanılabilir olduğu fakat yüksek dozlarla çalışılan alanlarda dozimetrik amaçlı kullanımının uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Isıl işlem yoluyla tekrar çöktürme yöntemi kullanılarak sentezlenmiş olan Mn katkılı kalsiyum borat malzemesiyle gerçekleştirilmiş benzer bir çalışmada, malzemenin doz cevabı ve soğurulan dozun malzeme üzerine etkisi incelenmiştir. Duyarlılığı en iyi olan %1,4 Mn katkılı malzemenin doz cevap eğrisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalardan elde ettikleri sonuçlara göre, malzemenin doz cevap eğrisinin yaklaşık olarak 1000 Gy 'e kadar lineer bir yapıda olduğu ve 1000 Gy 'in üzerindeki dozlarda lineer altı (doğrusal altı) bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, malzemenin soğurduğu dozun TSL şiddeti üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, dozimetrik pikin TSL

şiddetinde soğurulan doz ile birlikte lineer bir artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir (Haghiri vd., 2013).

Ergime yöntemi kullanılarak sentezlenmiş olan bakır ve mangan katkılı ve katkısız kalsiyum borat malzemelerinin lüminesans özelliklerinin incelenmesi adlı bir çalışmada, Mn katkılı kalsiyum borat malzemesi 10 s ile 60 s süre aralığında X-ışını ile ışınlanmış ve malzemenin TSL ışıma eğrisini oluşturan pikin yapısı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin TSL ışıma eğrisini oluşturan 135 °C pikinin TSL şiddetinin soğurulan X-ışını dozuyla birlikte arttığı gözlemlenmiştir. (Manam ve Sharma, 2003)

Bu tez çalışması için sol-jel yöntemi ile üretilmiş olan %3 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesi için soğurulan dozun malzemenin TSL şiddeti üzerine etkisinin araştırılması amacıyla yapılan çalışmaların diğer benzer çalışmalarla karşılaştırılması sonucunda, elde edilen sonuçların diğer çalışmalarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür (Haghiri vd., 2013, Haghiri vd., 2014, Manam ve Sharma, 2004,, Ekdal vd., 2014).

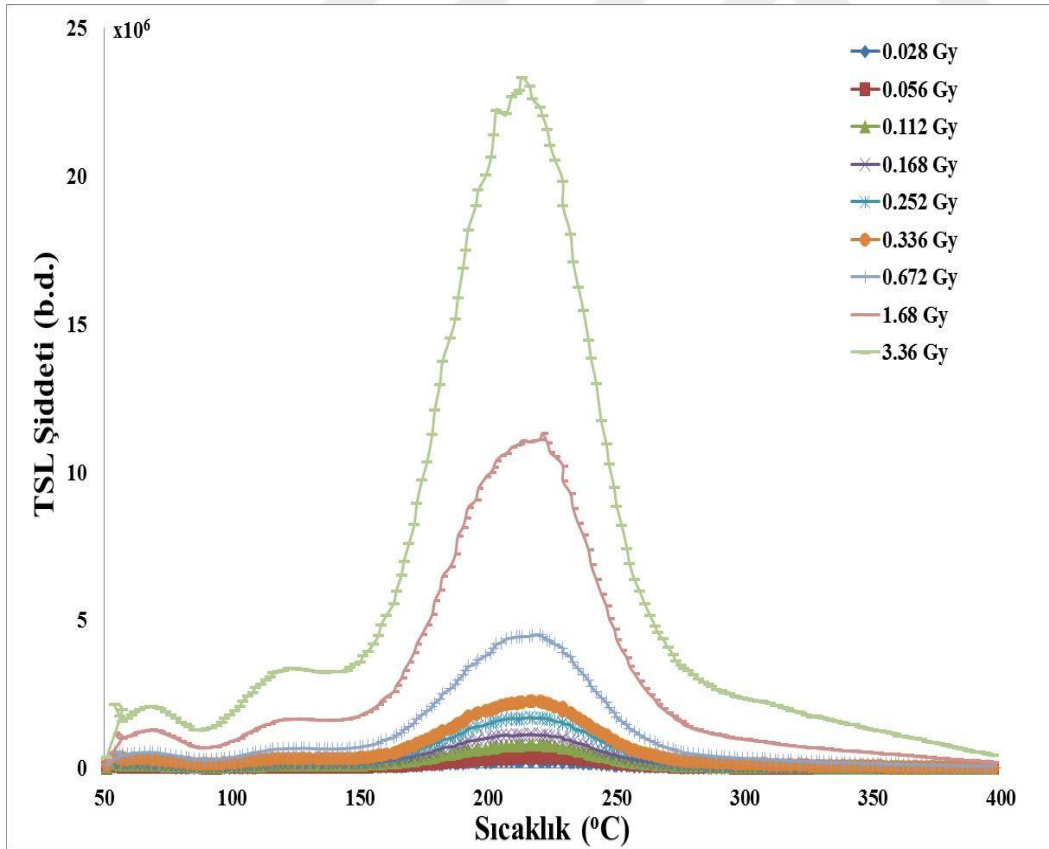
4.4.4 Cu ve Tm Katkılı CaSO_4 Malzemesinin Doz Cevap Eğrisi

Dy, Tm ve Cu gibi farklı katkılı kalsiyum sülfat malzemelerle gerçekleştirilmiş olan önceki bilimsel çalışmalar incelendiğinde, bu malzemelerin doz cevap eğrilerinin lineer bir yapıda olduğu ve hassasiyetlerinin çok iyi olmasından kaynaklı son zamanlarda diğer dozimetrik malzemelere göre çevresel doz ölçümleri için daha kullanışlı olduğu tespit edilmiştir (Kasa vd., 1996; Karali vd., 1999; Kelemen vd., 2013; Lakshmanan vd., 2008).

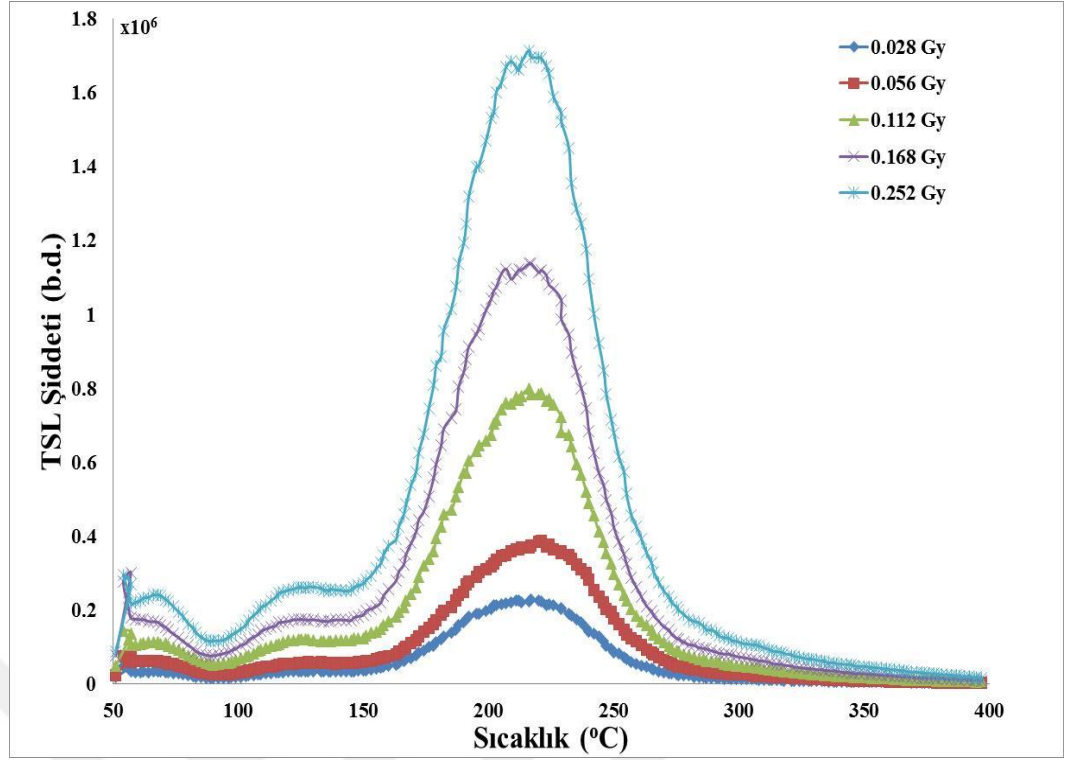
Cu ve Tm katkılı CaSO_4 malzemesinin TSL doz cevap eğrisinin belirlenmesi için gerçekleştirilen çalışmada, öncelikle malzeme 400 °C 'de 30 dakika süre ile tavlama işlemine tabii tutulduktan sonra oda sıcaklığında bir süre bekletilmiştir. Daha sonra, belirli bir süre (dozda) beta kaynağı ile ışınlanan

dozimetrik malzemenin TSL ışıma eğrisi elde edilmiştir. Malzeme her bir ölçüm öncesinde tekrar tavlama işlemine tabii tutulup oda sıcaklığında bir süre bekletildikten sonra, değişik sürelerde (dozlarda) beta ışınıyla ışınlanmış ve elde edilen TSL ışıma eğrileri kaydedilmiştir.

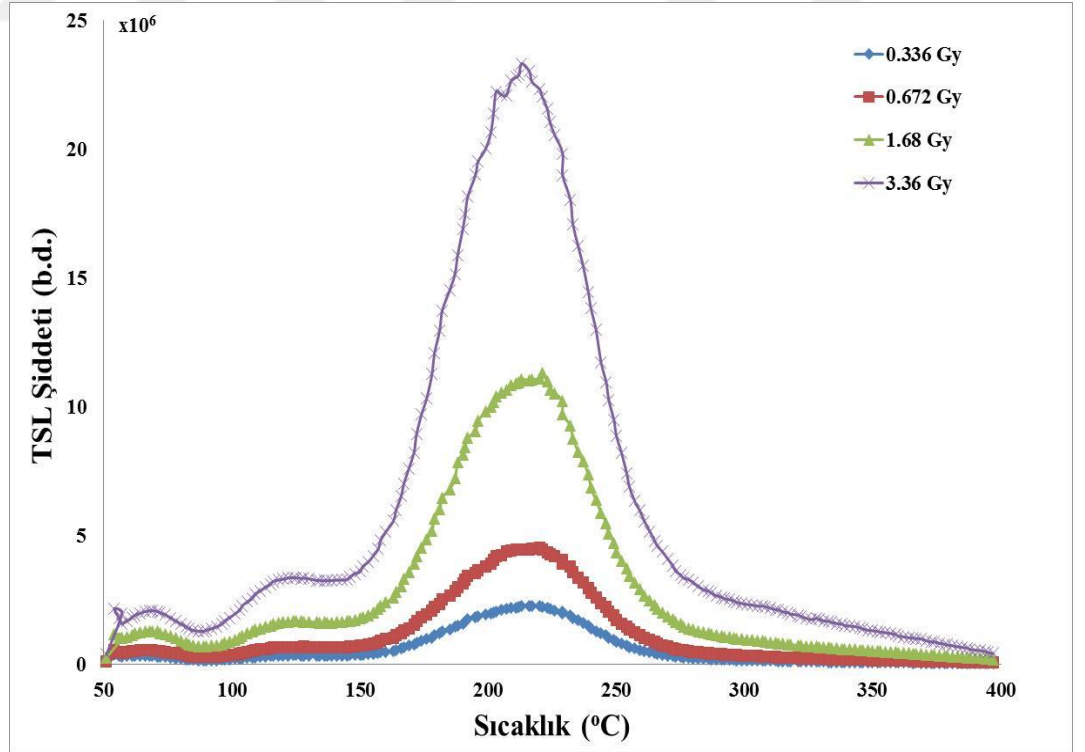
$\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin doz cevap eğrisinin belirlenebilmesi için gerçekleştirilen çalışmalara ek olarak, malzemenin soğurduğu dozun malzemenin TSL ışıma eğrisi üzerine nasıl bir etkisi olduğu araştırılmıştır. Bunun için malzeme uygun tavlama işlemine tabii tutulduktan sonra, değişik sürelerde beta ışınıyla ışınlanmış ve 2 °C/s ısıtma hızıyla kaydedilen TSL ışıma eğrileri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.31). Şekilden de görüldüğü üzere, malzemenin TSL ışıma eğrisinin dozimetrik pikinin maksimum TSL şiddetinde artan dozlarla birlikte arttığı gözlenmiştir. Sonuçların daha net görülebilmesi için, düşük dozlarda ve yüksek dozlarda yapılan çalışmaların sonuçları şekil 4.32 ve şekil 4.33 de ayrı ayrı gösterilmiştir.



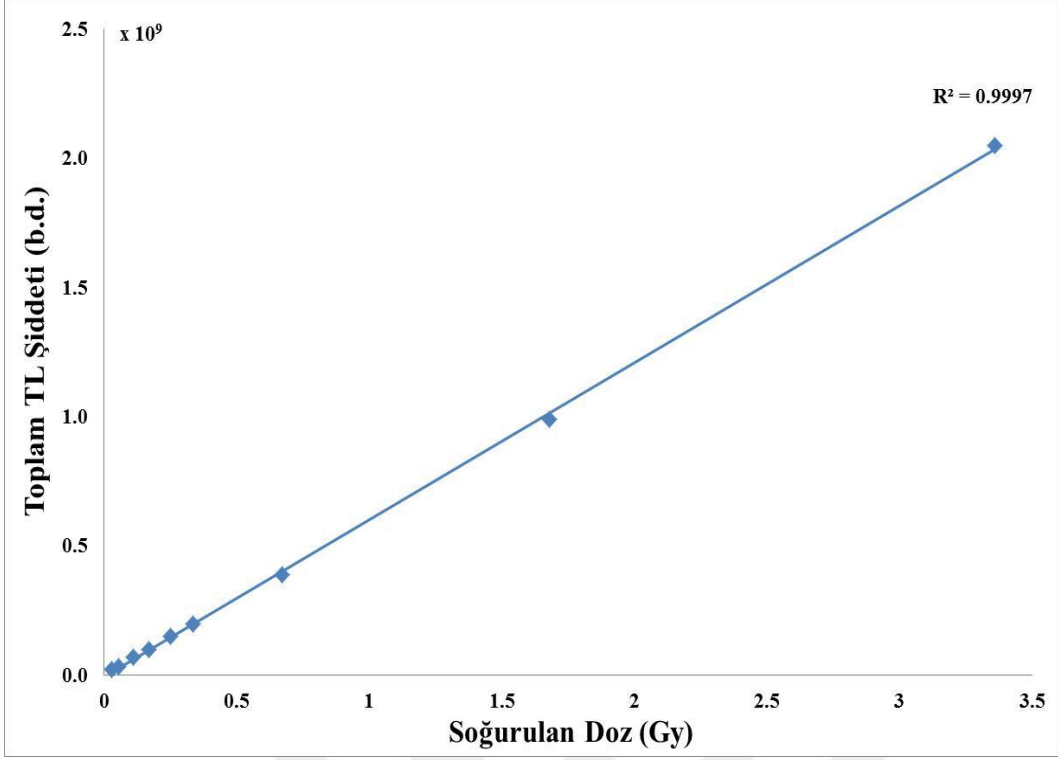
Şekil 4.31 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin farklı dozlarda beta kaynağına maruz bırakılmasından hemen sonra 2 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrileri.



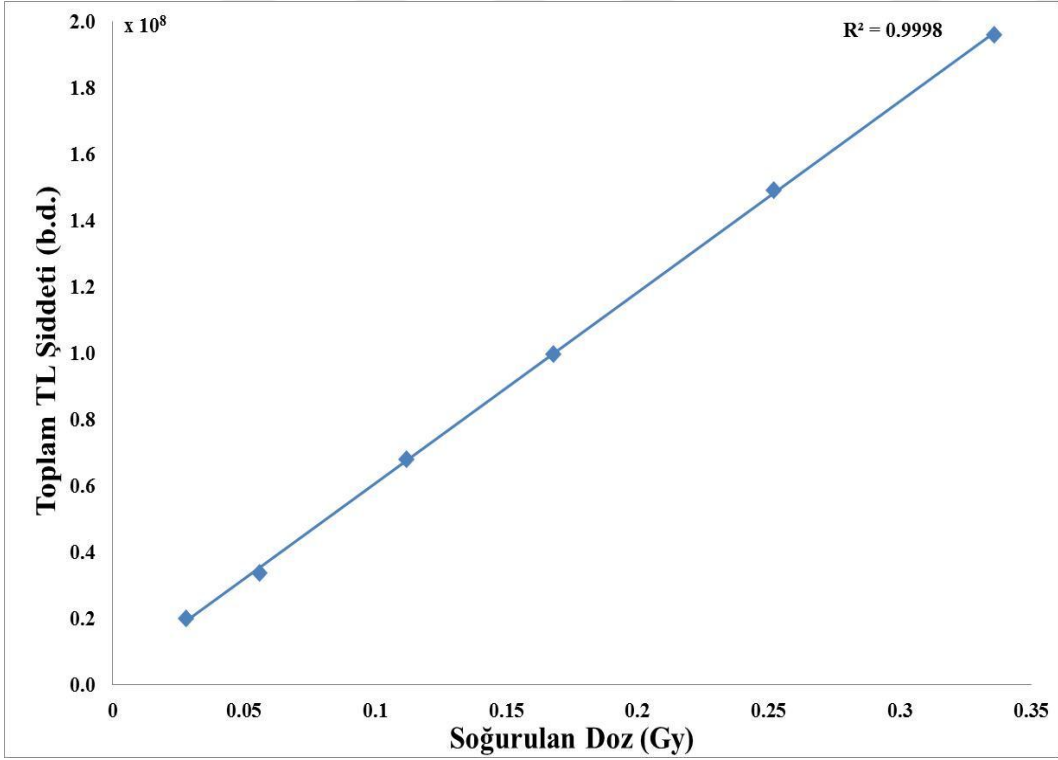
Şekil 4.32 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin düşük dozlarda beta kaynağına maruz bırakılmasından hemen sonra 2 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrileri.



Şekil 4.33 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin yüksek dozlarda beta kaynağına maruz bırakılmasından hemen sonra 2 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrileri.



Şekil 4.34 CaSO₄:Cu,Tm malzemesinin değişik dozlarda beta ışınıyla ışınlanmasından sonra 250 °C piki için elde edilen doz cevap eğrisi.



Şekil 4.35 CaSO₄:Cu,Tm malzemesinin düşük dozlarda beta ışınıyla ışınlanmasından hemen sonra 250 °C piki için elde edilen doz cevap eğrisi.

Elde edilen TSL ışıma eğrilerinden yararlanılarak, Cu ve Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin soğurduğu dozlara karşılık TSL ışıma eğrisinin altında kalan alanlara göre çizilen doz cevap eğrisi Şekil 4.34 'te gösterilmiştir. Ayrıca malzemenin düşük dozlar için elde edilen doz cevap eğrisi Şekil 4.35 'te gösterilmiştir.

Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda, bakır ve tulyum katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin Şekil 4.34 ve şekil 4.35 'te gösterilmiş olan doz cevap eğrilerinin $F(D)_{\text{oran}}$ değerleri 1 olarak belirlenmiş ve malzemenin doz cevap eğrisinin hem düşük dozlarda hem de yüksek dozlarda doğrusal bir yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Tm katkılı CaSO_4 ve Dy katkılı CaSO_4 malzemelerin özellikle düşük dozlarda doz duyarlıklarının iyi oluşu, kararlılıkları ve düşük maliyetlerinden dolayı dozimetrik alanda çok popüler malzemeler olmasına karşın, son zamanlarda bu malzemelere Cu, Ag gibi ikincil bir katkı yapılarak malzemelerin TSL özellikleri daha da iyi yapılmaya çalışılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmalar sonucunda, ikincil katkıların malzemelerin hassasiyet, TSL ışıma eğrisi ve doz cevap eğrileri gibi lüminesans özelliklerini daha iyi hale getirdiği belirlenmiştir. (Srivastava vd., 1992; Schmidt vd., 1974; Atone vd., 1995; Kasa vd., 1996; Kasa vd., 2006; Lakshmanan vd. 2008; Bhatt vd., 1996; Manam vd., 2008). Kasa ve arkadaşlarının 1996 yılında Dy ve Cu katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin hazırlanması ve termolüminesans özelliklerinin incelenmesi adlı çalışmalarında, deneysel araştırmalar için 2 farklı seride malzemeler hazırlanmıştır. Birinci serideki malzemeler aynı oranda Dy ve Cu katkısı olacak şekilde hazırlanmış fakat ikinci serideki malzemeler ise Dy katkısının derişimi %0,2 olacak şekilde sabit tutulup ikinci katkı olan Cu derişimi 0 ile %3 aralığında olacak şekilde hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, Cu katkısından dolayı malzemelerin hassasiyetlerinde azalma meydana geldiği ve bu azalmanın malzemenin hazırlanış yöntemiyle ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte, sadece Dy katkılı malzemesinin TSL ışıma eğrisinin artan dozlarla birlikte genişlediği ve dozimetrik pik ile yüksek sıcaklık pikininin tamamıyla birbirinden ayrıştırılamadığı gözlemlenmiştir. Dy ve Cu katkılı kalsiyum sülfat malzemesinde aynı olayın olup olmadığı incelendiğinde ise, artan dozlarla birlikte

malzemenin TSL ışıma eğrisinin dozimetrik pikinde çok küçük bir genişleme olduğu fakat 25 Gy ve 40 Gy 'lik ışınlamalarda ışıma eğrisinin yapısının değişmediği gözlemlenmiştir. Bu çalışmalara ek olarak, sadece %0,2 Dy katkılı malzemenin doz cevap eğrisinin 1 Gy 'e kadar lineer bir yapıda olduğu artan dozlarla birlikte ise eğrinin lineer üstü bir yapıya kaydığı belirlenmiştir. % 0,2 Dy ve %0,25 Cu katkılı malzemenin doz cevap eğrisinin ise, 25 Gy 'e kadar lineer bir yapıda olduğu ve kaza dozimetresi olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir (Kasa vd., 1996). Kasa ve arkadaşlarının 2007 yılında Tm ve Cu katkılı malzemenin hazırlanması ve termoluminesans özelliklerinin araştırılması adlı bir başka çalışmada ise, aynı şekilde malzemeler iki farklı seride hazırlanmıştır. %0,15 Tm ve %0,3 Cu katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin 500 mGy ile 125 kGy aralığında değişen dozlarda ışınlanmasıyla elde edilen sonuçlar doğrultusunda, malzemenin TSL ışıma eğrisinin yapısında herhangi bir değişimin olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, aynı malzemenin doz cevap eğrisinin 2 kGy 'e kadar lineer bir yapıda olduğu fakat artan dozlarla birlikte saturasyon olayının gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu malzemenin dozimetrik özellikleri Dy ve Cu katkılı malzemenin dozimetrik özellikleriyle karşılaştırılması sonucunda ise, Cu katkısının Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin dozimetrik özelliklerini çok daha da iyi hale getirdiği belirlenmiştir (Kasa vd., 2007).

Değişik oranlarda Dy ve Cu katkılı kalsiyum sülfat malzemeler farklı dozlarda ışılandıktan sonra, doz cevap eğrileri çizilmiştir. Bu malzemelerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda, en iyi cevabın %0,2 Dy ve %0,2 Cu katkılı malzemenin verdiği ve malzemenin doz cevap eğrisinin 35 Gy 'e kadar lineer bir yapıda olduğu daha yüksek dozlarda eğrinin lineer üstü bir yapıya kaydığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, %0,2 Dy ve %0,5 'e kadar değişik oranlarda Cu katkılı malzemelerin TSL doz cevap eğrilerinin doğrusal üstü bir yapıda olduğu belirlenmiştir (Kasa vd., 1998).

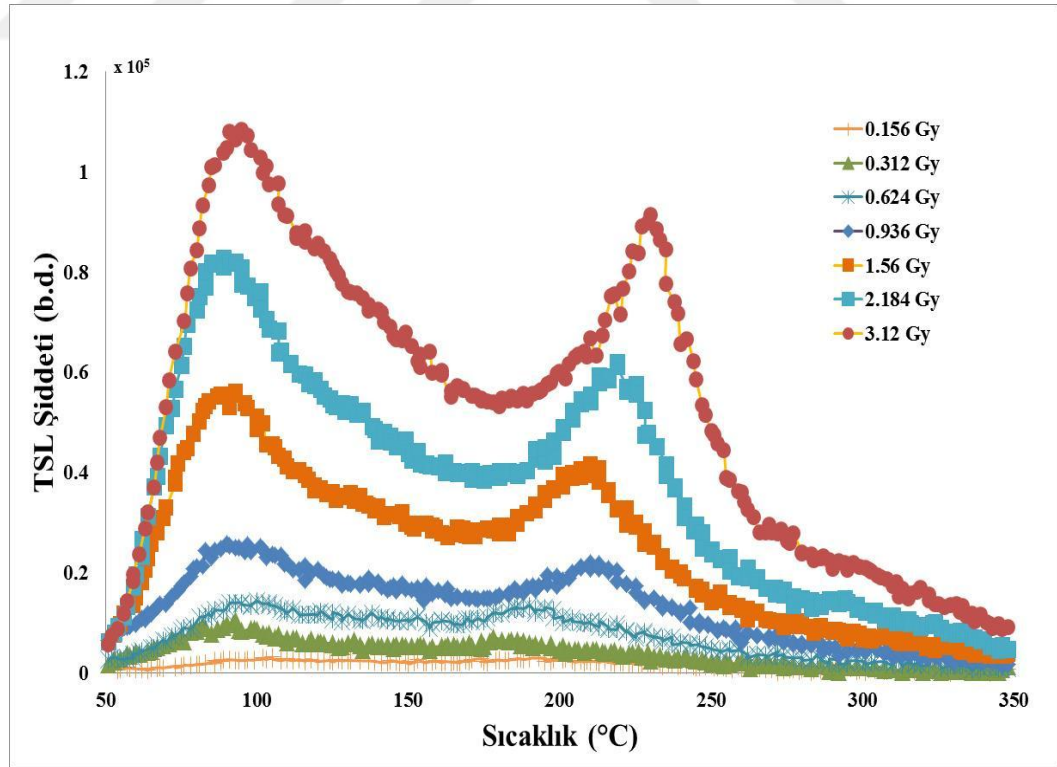
Tm katkılı ve Cu katkılı kalsiyum sülfat malzemeler, dozimetrik özellikleri yönünden uzun yıllar boyunca ayrıntılı bir şekilde incelenmişlerdir (Kasa, 1990, Yamashita vd., 1971, Becker vd., 1971, Calvert vd., 1972, Kasa vd., 1984, Prokic vd., 1978). Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, bu malzemelerin TSL doz cevap eğrilerinin lineer bir yapıda olduğu ve Mn, Ag ve benzeri katkılı CaSO_4

malzemelere göre TSL şiddetlerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir (Kasa vd., 2007; Manam ve Das, 2007; Kelemen vd., 2013).

4.4.5 Cu Katkılı CaSiO_4 Malzemesinin Doz Cevap Eğrisi

Silikat tabanlı malzemeler üzerine son yıllarda dozimetrik amaçlı birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle yüksek duyarlılıkları, doz cevap eğrilerinin geniş bir doz aralığında lineer bir yapıda olması ve doku eşdeğeri malzeme olmalarından dolayı, klinik dozimetre başta olmak üzere dozimetrik amaçlı birçok alanda TLD100 dozimetrelerine alternatif olarak kullanılabilmektedir (Gökce vd., 2009; Prokic vd., 2008, 2010).

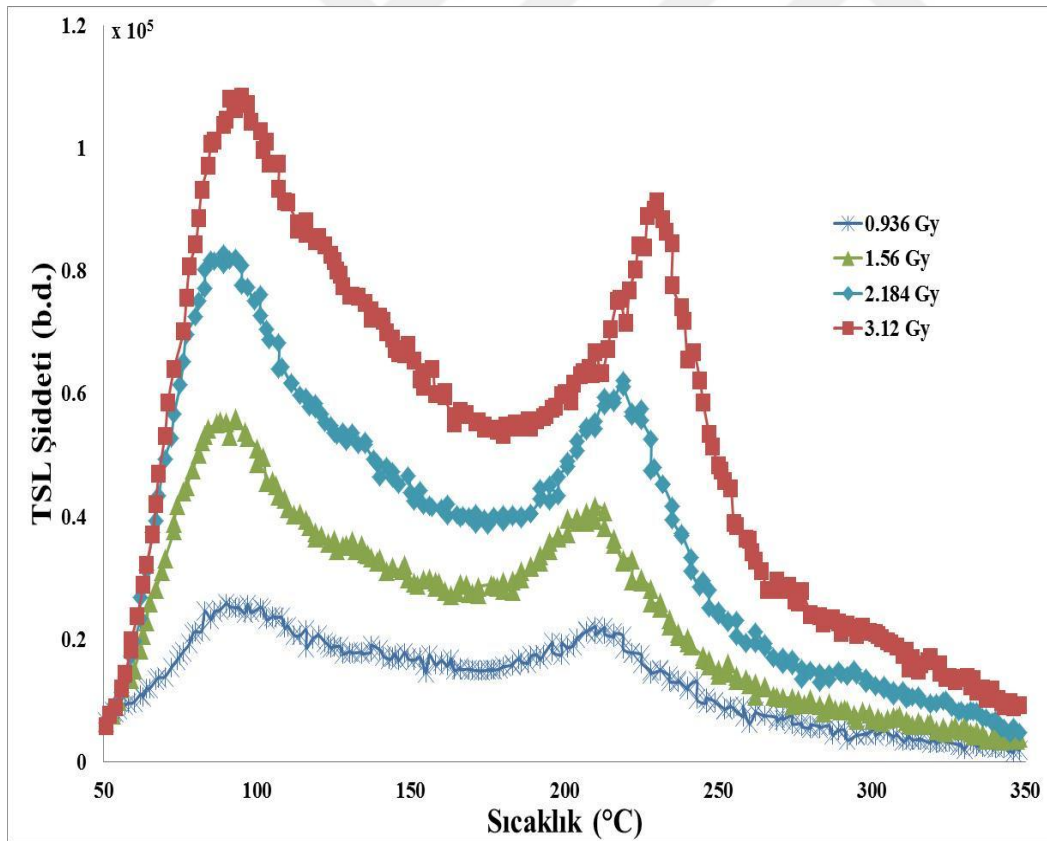
$\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin TSL doz cevap eğrisinin belirlenebilmesi amacıyla, her ışınlamadan önce uygun olan tavlama işlemine tabii tutulduktan sonra oda sıcaklığından bir süre bekletilmiştir. Daha sonra malzeme, beta kaynağı ile farklı dozlarda ışılandıktan hemen sonra TSL ışıma eğrileri elde edilmiştir.



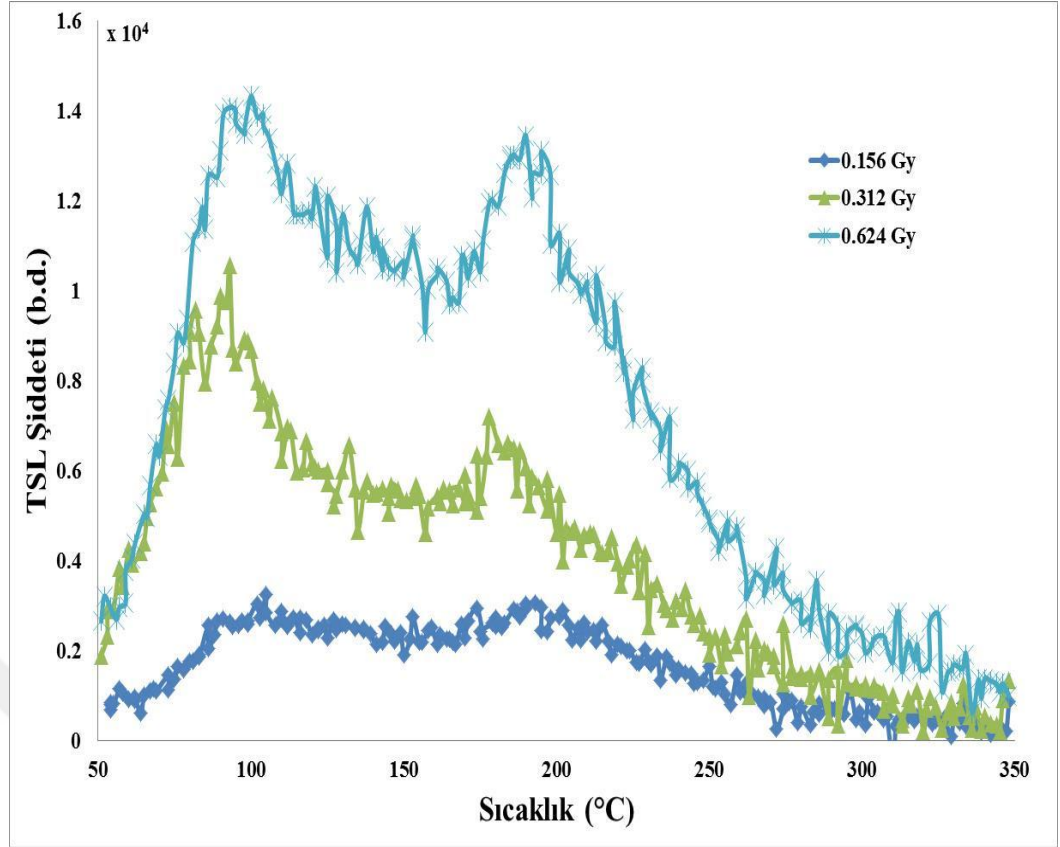
Şekil 4.36 Değişik dozlarda beta ışınına maruz bırakılan $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

Bakır katkılı malzemenin doz cevap eğrisinin belirlenmesi için gerçekleştirilen çalışmalara ek olarak, malzemenin soğurduğu değişik dozlarla göre malzemenin TSL ışıma eğrisinin yapısı üzerine etkisi araştırılmıştır. Bunun için, malzeme uygun tavlama işlemine tabii tutulduktan sonra değişik sürelerde beta ışınıyla ışınlanmasından hemen sonra elde edilen TSL ışıma eğrileri Şekil 4.36 'daki gibi karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.36 'daki bu karşılaştırmadan da anlaşılacağı üzere, malzemenin TSL ışıma eğrisini oluşturan piklerin maksimum TSL şiddetlerinin artan dozlarla birlikte lineer bir şekilde artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Buna ek olarak malzemenin her iki pikinin artan dozlarla birlikte daraldığı belirlenmiştir. Bu olay Şekil 4.37 ve Şekil 4.38 'deki grafiklerden daha da iyi anlaşılmaktadır.

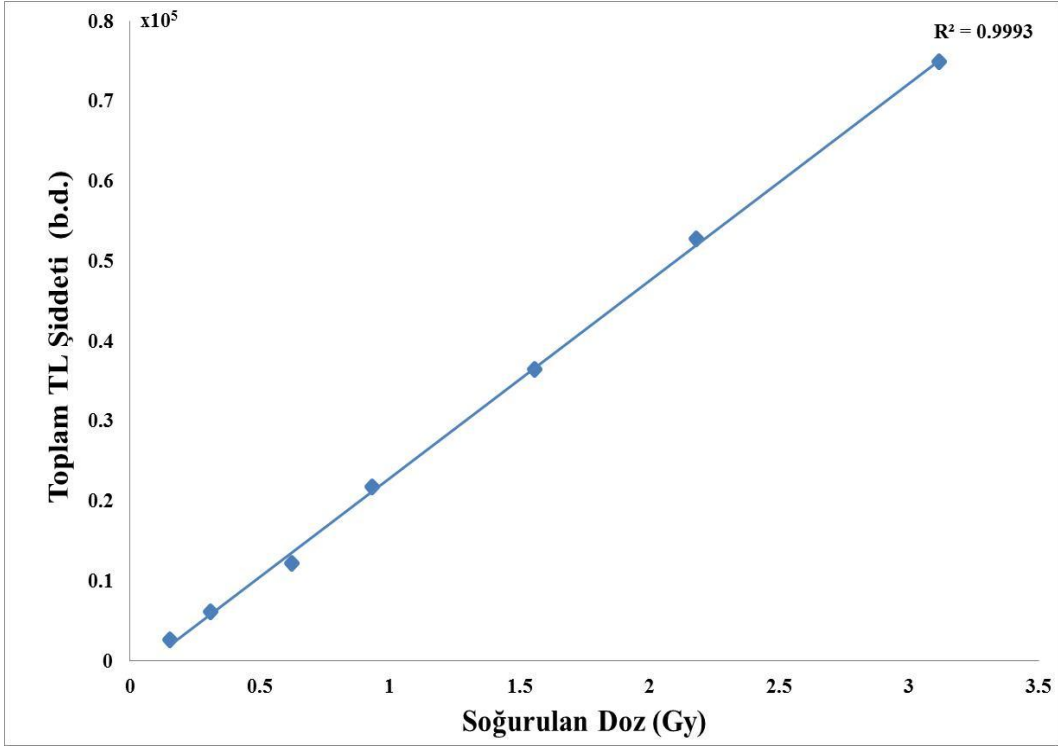


Şekil 4.37 Yüksek dozlarda beta ışınına maruz bırakılan $\text{CaSiO}_4:\text{Cu}$ malzemesinin $5\text{ }^\circ\text{C/s}$ ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

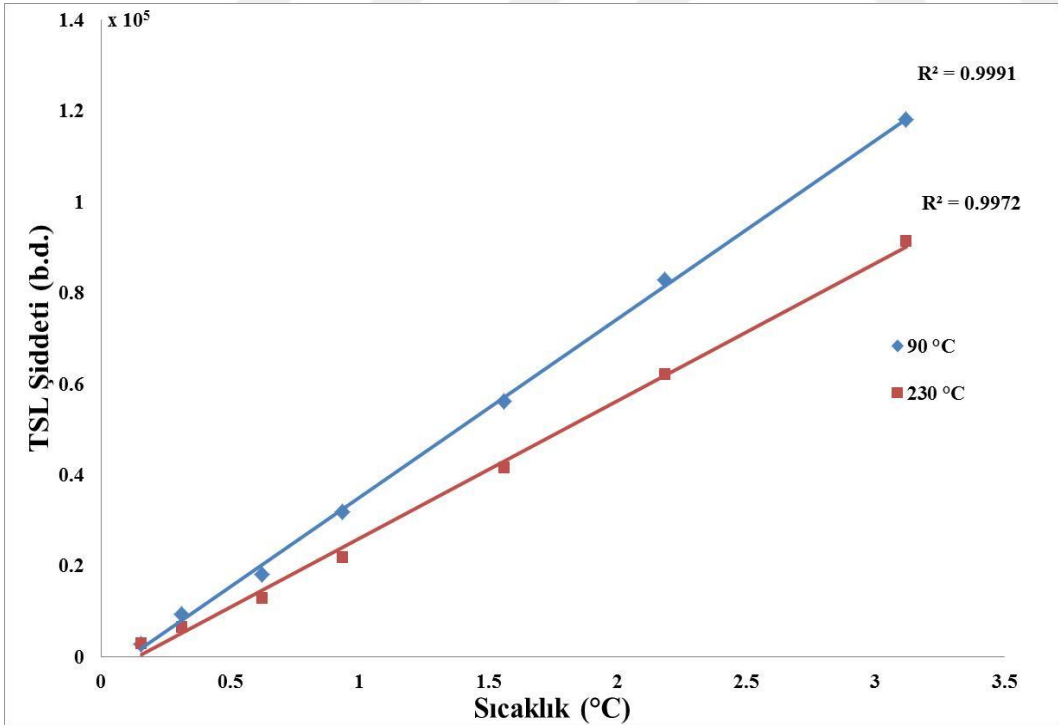


Şekil 4.38 Düşük dozlarda beta ışınına maruz bırakılan $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin 5 °C/s ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

Elde edilen TSL ışıma eğrilerinden yararlanılarak, malzemenin soğurduğu doza karşılık TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre çizilen doz cevap eğrisi şekil 4.39 'da gösterilmiştir. Malzemenin ışıma eğrisinin 50 °C ile 175 °C sıcaklık bandı aralığındaki maksimum TSL şiddeti 90 °C sıcaklığında olan ve 175 °C ile 280 °C sıcaklık bandı aralığında maksimum TSL şiddeti 230 °C sıcaklığında olan piklerinin TSL şiddetlerine göre elde edilen doz cevap eğrilerinin karşılaştırılması, Şekil 4.40 'da gösterilmiştir.



Şekil 4.39 $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin soğurulan farklı miktardaki dozlara karşılık TSL ışıma eğrisinin altında kalan tüm alana göre çizilen doz cevap eğrisi.



Şekil 4.40 $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin soğurulan farklı dozlara karşılık 50 °C ile 175 °C ve 175 °C ile 280 °C sıcaklık aralığındaki maksimum TSL şiddeti 90 °C ve 230 °C deki band yapılarının TSL şiddetlerine göre çizilen doz cevap eğrilerinin karşılaştırılması.

Bakır katkılı kalsiyum silikat malzemesinin TSL doz cevap eğrisinin belirlenebilmesi için gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlardan yararlanarak, malzeme için $F(D)$ değeri 1 olarak hesaplanmıştır. Hem bu sonuç hem de grafiklerdeki doz cevap eğrilerinin yapısının göz önünde bulundurulmasıyla, malzemenin doz cevap eğrisinin lineer (doğrusal) bir yapıda olduğu belirlenmiştir.

Katkı olarak Tb elementinin kullanıldığı magnezyum silikat ile yapılan çalışmalarda, bu malzemelerin yüksek duyarlılıkta oldukları ve doz cevap eğrilerinin 0-10 Gy 'lik doz aralığında lineer bir yapıda olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, 200 Gy 'lik dozdan itibaren doz cevap eğrisinin lineer üstü bir yapıda olduğu ve 500 Gy 'den sonra saturasyon olayının gözlemlendiği ifade edilmiştir. Ayrıca malzemenin TSL ışıma eğrisini oluşturan piklerin TSL ışıma şiddetlerinin artan doz miktarı ile doğru orantılı bir şekilde artış gösterdiği ve 200 °C 'deki dozimetrik pikin yarı yükseklikteki tam genişliğinin daraldığı tespit edilmiştir (Gokce vd., 2009; Prokic vd., 2008, 2010).

4.5 Kararlılık

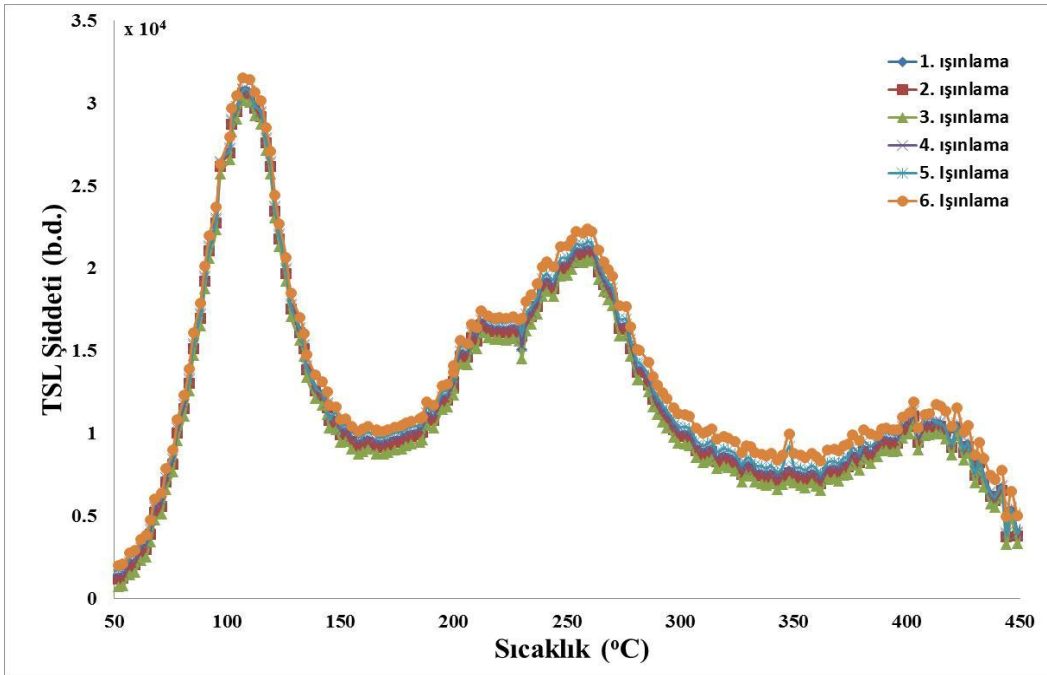
Malzemelerin dozimetrik amaçlı kullanılabilir olduğunun belirlenebilmesi için diğer önemli bir parametre ise malzemelerin kararlılıklarının belirlenmesidir. Malzemelerin her seferinde aynı doza maruz kalmasından sonra elde edilen TSL eğrilerinin karşılaştırılmasıyla, malzemenin doz cevabının aynı olup olmadığı, yani örgü yapısındaki tuzaklarda tuzaklanan elektronların sayısının aynı olup olmadığı belirlenerek malzemelerin kararlılıkları incelenebilir.

4.5.1 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ Malzemesinin Kararlılığı

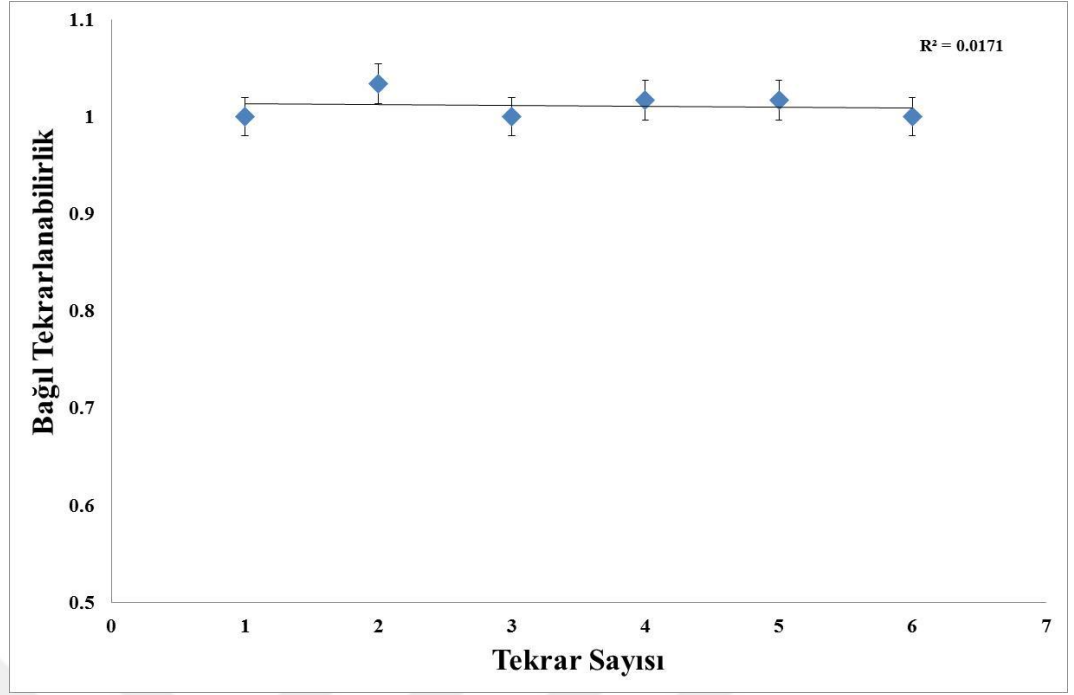
Bu çalışmada sol-jel yöntemi kullanılarak sentezlenmiş olan Tm katkılı CaCO_3 malzemesinin kararlılık testi için, öncelikle malzemeye 30 dakika süre ile 400 °C 'de tavlama işlemi uygulanmış ve tavlama işlemi sonrasında oda sıcaklığında bir süre bekletilmiştir. Daha sonra, radyasyon kaynağı ile (^{90}Sr beta

kaynağı) malzemeye 3,3 Gy 'lik bir doz verilmiştir. Işınlama işleminden hemen sonra, 5 °C/s ısıtma hızı ile malzemelerin TSL ışıma eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra, bu işlemler malzeme için altı kez tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 4.41). Malzemelerin kararlılıklarını göstermenin diğer bir yolu, her bir ışınlama sonrasında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alanların ilk ışınlamadan sonra elde edilen ışıma eğrisinin altında kalan alanla karşılaştırılması şeklindedir (Manam ve Sharma, 2004). Tm katkılı kalsiyum karbonat malzemesi için her bir ölçüm sonrasında elde edilen TSL ışıma eğrisinin altında kalan alana göre kararlılık testi sonucu, Şekil 4.42 'de gösterilmiştir.

Şekil 4.41 ve Şekil 4.42 'deki bu karşılaştırmadan da anlaşılabacağı üzere, malzemenin tekrarlanan ölçümler sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrilerinin altta kalan alanlarının hata sınırları içerisinde yaklaşık eşit olduğu yani bu malzemenin kararlı bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Malzemenin ışınlaması esnasında zamandaki çok küçük değişimler bile, malzemenin tuzaklarında tuzaklanmış elektronlarının sayısında değişime neden olacağından dolayı, malzemenin TSL ışıma eğrisinin şiddetini değiştirebilmektedir (McKeever, 1985).



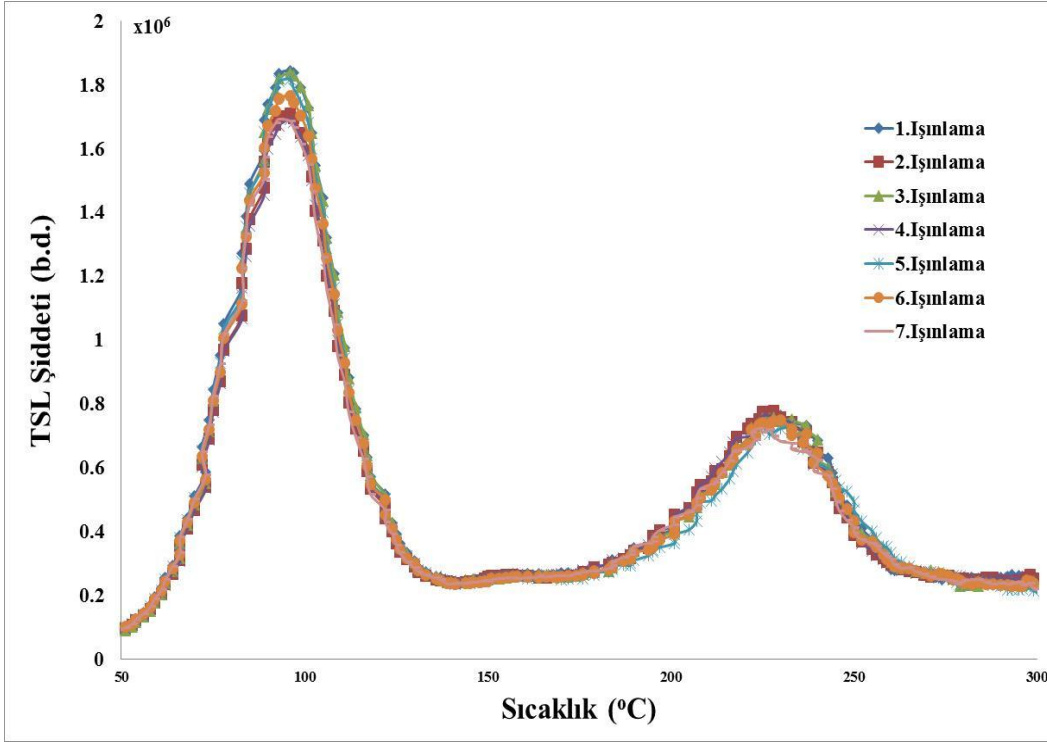
Şekil 4.41 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin ard arda aynı tavlama ve 3,3 Gy 'lik ışınlama işlemleri sonrasında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.



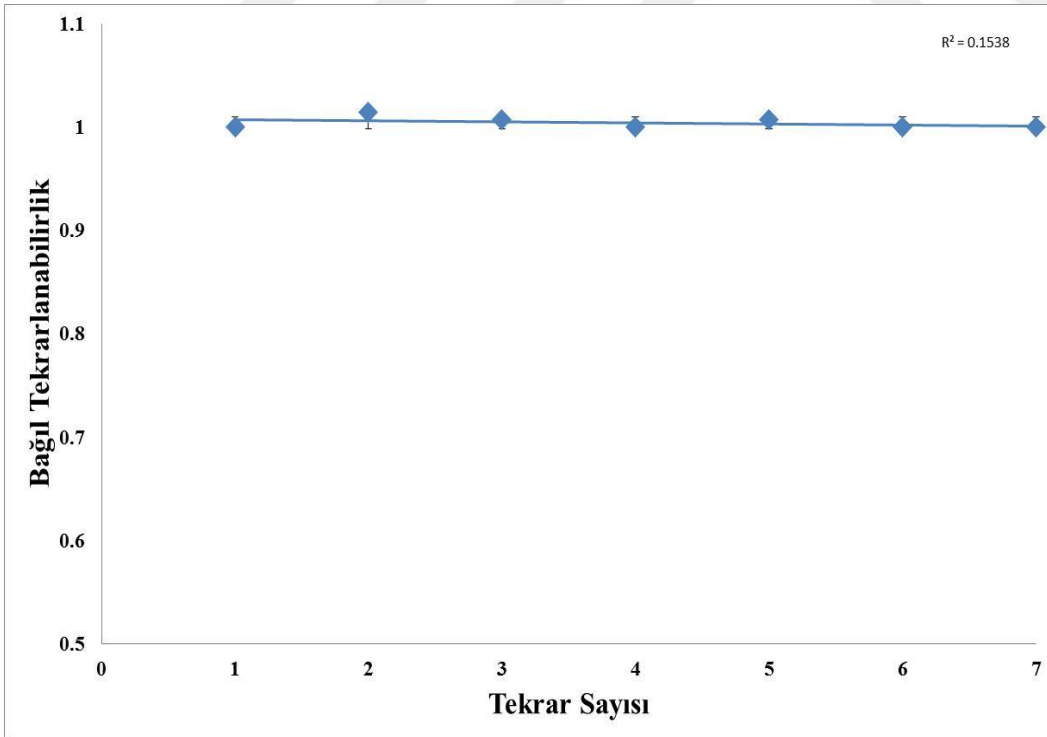
Şekil 4.42 CaCO₃:Tm malzemesinin ard arda aynı tavlama ve 3,3 Gy'lik ışınlama işlemine maruz bırakılmasından sonra elde edilen bağıl toplam TSL şiddetleri.

4.5.2 %1 Mn Katkılı CaB₄O₇ Malzemesinin Kararlılığı

%1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemenin kararlılığının araştırılması için, öncelikle malzeme 400 °C 'de 10 dakika süre ile tavlama işlemine maruz bırakılmış ve oda sıcaklığında bir süre bekletilmiştir. Daha sonra, malzemeye beta kaynağı ile 2,82 Gy 'lik doz verilmiş ve hemen ardından 5 °C/s ısıtma hızı ile TSL ışıma eğrisi kaydedilmiştir. Sırasıyla bu işlemler yedi kez tekrarlandıktan sonra, malzemedan elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.43 'te gösterilmiştir. Daha sonra her bir ışınlama sonrasında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alanlardan yararlanarak elde edilen kararlılık testi sonucu, Şekil 4.44 'te gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, tekrarlanan tavlama ve ışınlama döngüsü sırasında malzemenin kararlılığının küçük bir miktar değiştiği gözlemlenmiştir.



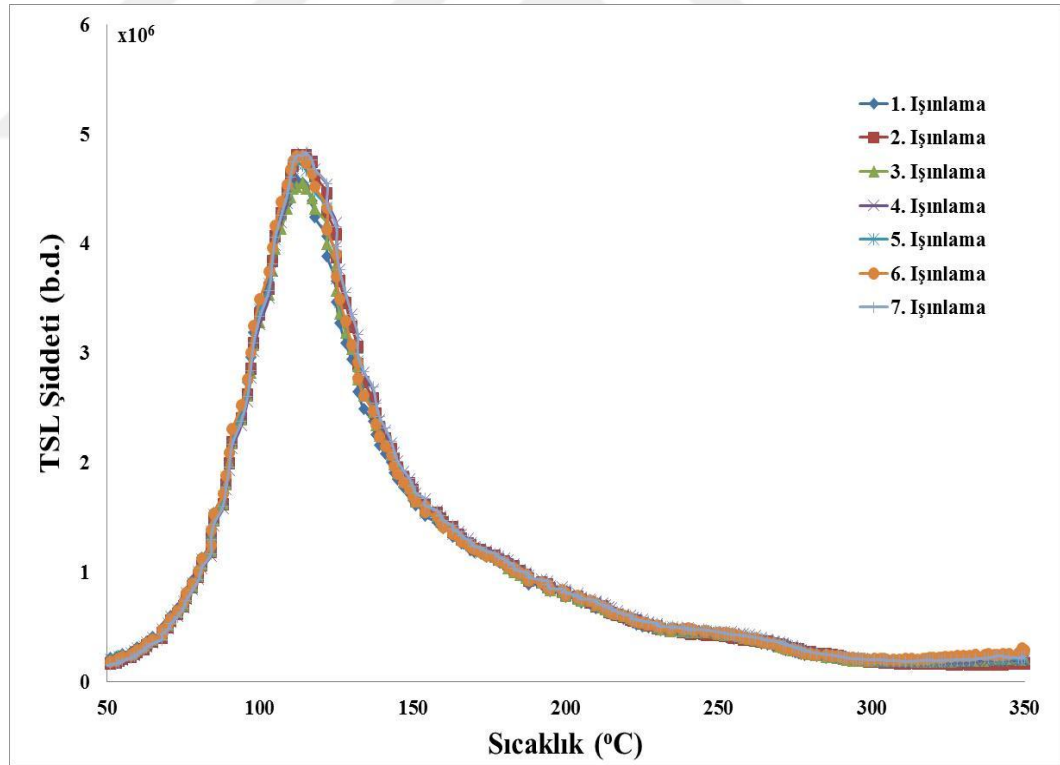
Şekil 4.43 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin aynı tavlama ve 2,82 Gy'lik ışınlama işlemleri sonrasında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.



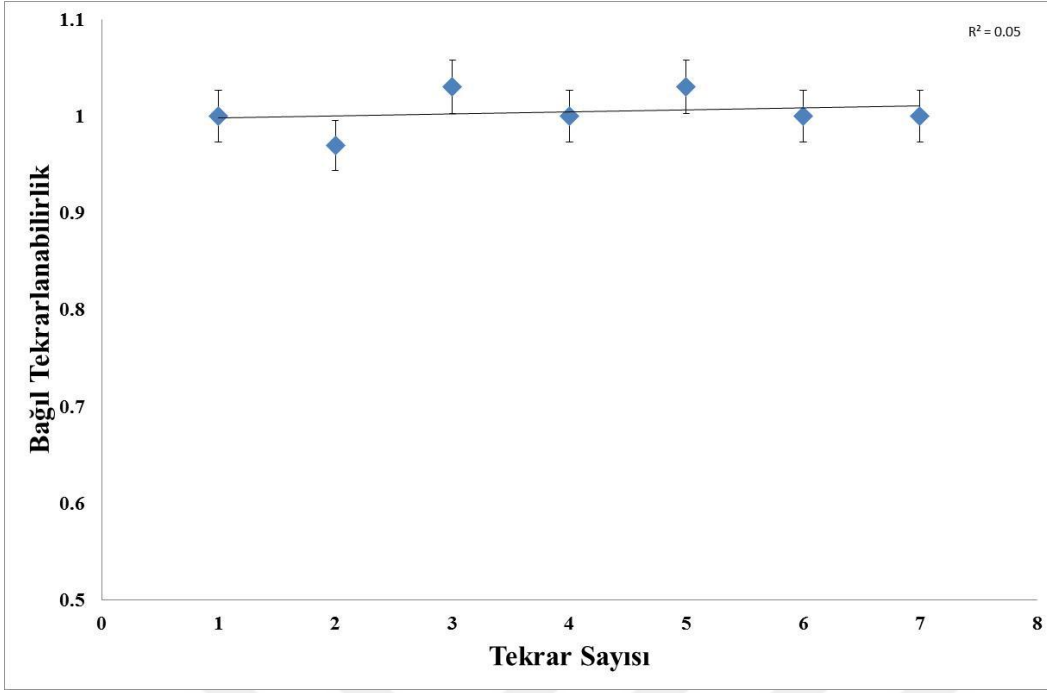
Şekil 4.44 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin ard arda aynı tavlama ve 2,82 Gy'lik ışınlama işlemine maruz bırakılmasından sonra elde edilen bağıl toplam TSL şiddetleri.

4.5.3 %3 Mn Katkılı CaB_4O_7 Malzemesinin Kararlılığı

% 3 Mn katkılı kalsiyum borat malzemenin kararlılık ölçümleri için, öncelikle 400 °C 'de 10 dakika süre ile tavlama işlemine maruz bırakılmıştır. Daha sonra, malzeme 2,82 Gy 'lik beta ışınına maruz bırakılmış ve hemen ardından 2 °C/s ısıtma hızı ile malzemenin TSL ısıma eğrileri elde edilmiştir. Sırasıyla bu işlemler 7 kez tekrarlandıktan sonra, elde edilen TSL ısıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.45 'te gösterilmiştir. Ayrıca her ısıtılma sonunda elde edilen ısıma eğrilerin her birinin altında kalan alanlardan yararlanılarak elde edilen kararlılık testi sonucu, Şekil 4.46 'da gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, tekrarlanan tavlama ve ısıtılma döngüsü sırasında malzemenin kararlılığının küçük bir miktar değiştiği gözlemlenmiştir.



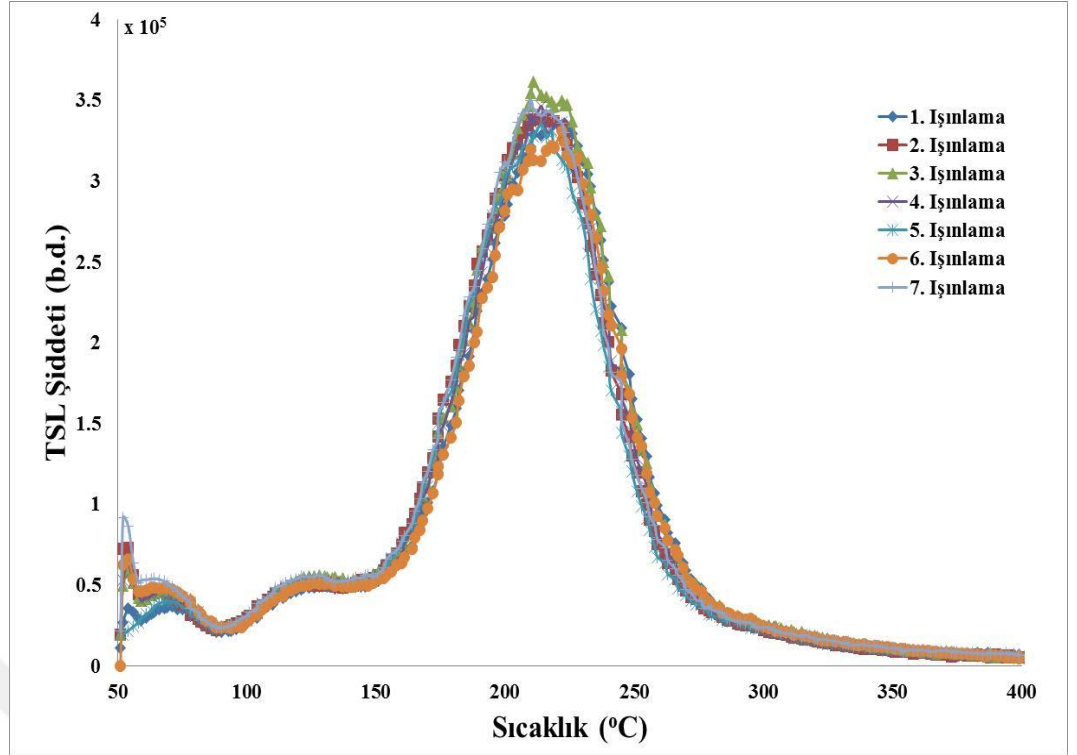
Şekil 4.45 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) malzemesinin tekrarlanan tavlama ve 2,82 Gy'lik ısıtılma işlemleri sonrasında elde edilen TSL ısıma eğrilerinin karşılaştırılması.



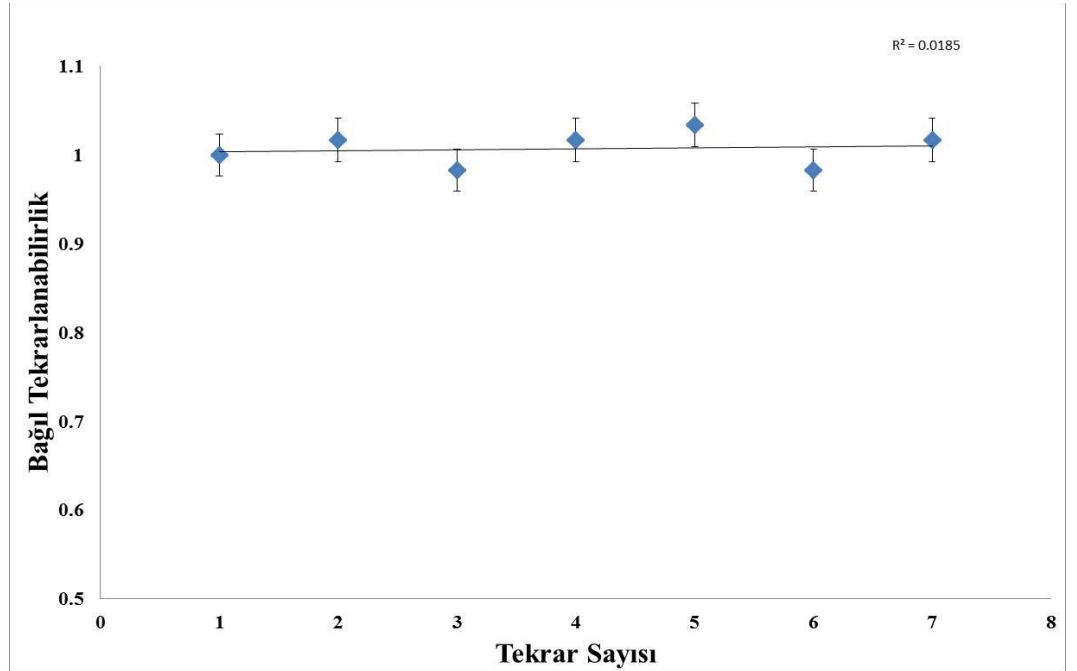
Şekil 4.46 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin ard arda aynı tavlama ve 2,82 Gy'lik ışınlama işlemine maruz bırakılmasından sonra elde edilen bağıl toplam TSL şiddetleri.

4.5.4 Cu ve Tm Katkılı CaSO_4 Malzemesinin Kararlılığı

Cu ve Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemenin kararlılığının belirlenmesi için, malzeme öncelikle 30 dakika süre ile 500 °C tavlama işlemine maruz bırakılmış ve oda sıcaklığında bir süre bekletilmiştir. Daha sonra, malzeme 168 mGy 'lik beta ışınına maruz bırakılmış ardından 2 °C/s ısıtma hızı ile malzemenin TSL ışıma eğrileri elde edilmiştir. Sırasıyla bu işlemler 7 kez tekrarlandıktan sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.47 'de gösterilmiştir. Ayrıca her ışınlama sonunda elde edilen bu eğrilerin her birinin altında kalan alanlardan yararlanılarak malzeme için elde edilen kararlılık testi sonucu, Şekil 4.48 'de gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, tekrarlanan tavlama ve ışınlama döngüsü sırasında malzemenin kararlılığının küçük bir miktar değiştiği gözlemlenmiştir.



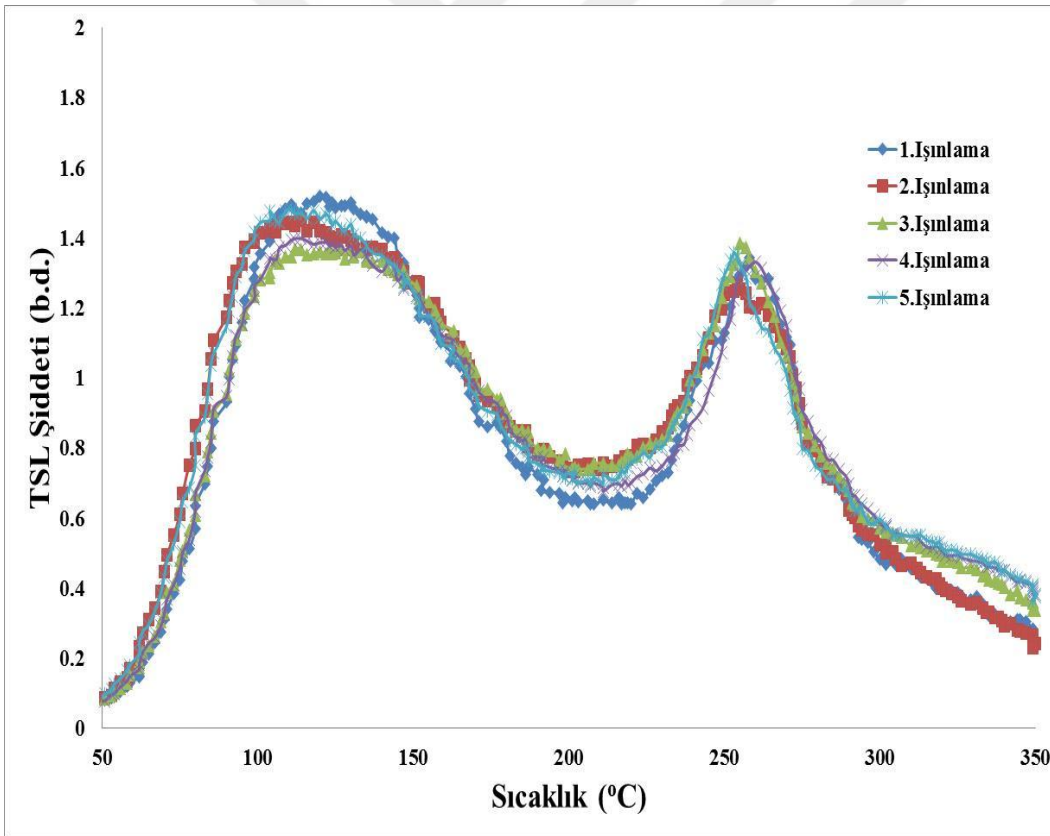
Şekil 4.47 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin tekrarlanan tavlama ve 168 mGy'lik ışınlama işlemleri sonrasında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.



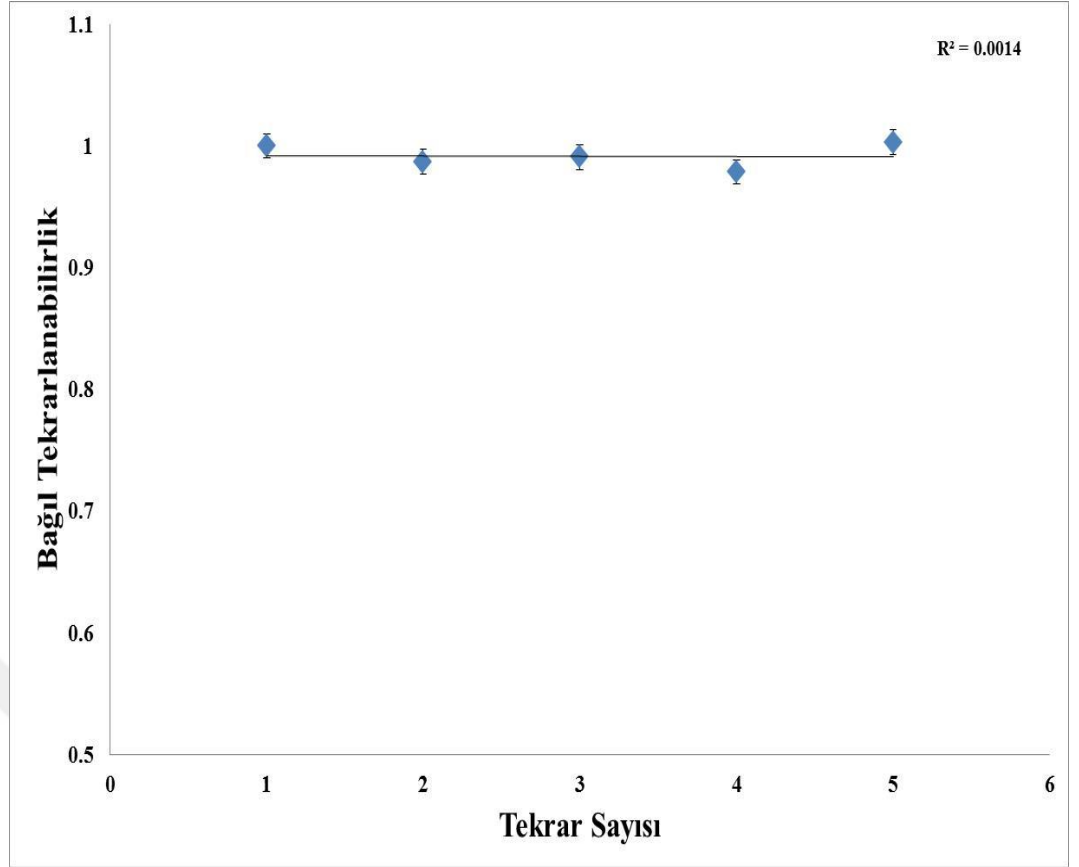
Şekil 4.48 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin ard arda aynı tavlama ve 168 mGy'lik ışınlama işlemine maruz bırakılmasından sonra elde edilen bağıl toplam TSL şiddetleri.

4.5.5 Cu Katkılı CaSiO₄ Malzemesinin Kararlılığı

Son olarak Cu katkılı kalsiyum silikat malzemenin kararlılık ölçümleri için, malzeme öncelikle 1 saat süre ile 300 °C tavlama işlemi uygulanmış ve oda sıcaklığında bir süre bekletilmiştir. Daha sonra, malzeme 3,12 Gy 'lik beta ışınına maruz bırakılmış ve hemen ardından 5 °C/s ısıtma hızı ile malzemenin TSL ısıtma eğrileri elde edilmiştir. Sırasıyla bu işlemler 5 kez tekrarlandıktan sonra elde edilen TSL ısıtma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.49 'da gösterilmiştir. Ayrıca her ısıtılma sonunda elde edilen bu eğrilerin her birinin altında kalan alanların karşılaştırılması Şekil 4.50 'de gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, tekrarlanan tavlama ve ısıtılma döngüsü sırasında malzemenin kararlılığının küçük bir miktar değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.49 CaSiO₄: Cu malzemesinin tekrarlanan tavlama ve 3,12 Gy'lik ısıtılma işlemleri sonrasında elde edilen TSL ısıtma eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.50 $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemesinin ard arda aynı tavlama ve 3,12 Gy'lik ışınlama işlemine maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin altında kalan alanların karşılaştırılması.

4.6 Hassasiyet

Dozimetrik amaçlı üretilmiş olan malzemelerin hassasiyetlerinin belirlenebilmesi için, hassasiyeti iyi bilinen TLD100 dozimetrelerinden yararlanılmıştır.

Öncelikle hassasiyeti belirlenmek istenen dozimetrik malzeme kendisi için uygun olan tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra, oda sıcaklığında bir süre bekletilmiştir. Daha sonra, malzeme (belirli bir dozda) beta kaynağı ile ışınlanmış ve hemen ardından 5 °C/s ısıtma hızı ile malzemenin TSL ışıma eğrisi elde

edilmiştir. Daha sonra, TLD100 dozimetresi 400 °C 'de 1 saat süre ile tavlama işlemine maruz bırakılmış ve bir süre oda sıcaklığında bekletilmiştir (McKeever, 1995). TLD100 dozimetresi, hassasiyeti belirlenmek istenen dozimetrik malzeme ile aynı dozda beta ışınına maruz bırakılmış ve 5 °C/s ısıtma hızı ile TSL ışıma eğrisi kaydedilmiştir. Bu işlemlerden sonra, TLD100 dozimetresine göre dozimetrik malzeme için kütle düzeltmesi yapılmıştır. Kütle düzeltmesi yapılmış olan dozimetrik malzemenin dozimetrik pikinin altta kalan alanının TLD100 dozimetresinin dozimetrik pikinin altta kalan alanına oranlanması sonucunda, dozimetrik malzemenin hassasiyeti belirlenmiştir.

Yukarıda anlatılan işlemlerin 30 dakika süre ile 400 °C 'de tavlama işlemine ve ardından 3,3 Gy 'lik beta dozuna maruz bırakılan $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesi için uygulanmasından sonra, malzemenin hassasiyet oranının aynı doza maruz kalmış TLD100 dozimetresine göre 0,03 olduğu belirlenmiştir. 400 °C 'de 10 dakika süre ile tavlama işlemine ve akabinde 2,82 Gy 'lik beta dozuna maruz bırakılan $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin hassasiyeti ise, aynı doza maruz kalmış TLD100 dozimetresine göre 0,2 olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, 400 °C 'de 10 dakika süre ile tavlama işlemine ve akabinde 2,82 Gy 'lik beta dozuna maruz bırakılan $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin hassasiyet oranının ise, aynı doza maruz bırakılan TLD 100 dozimetresine göre 1,65 olduğu tespit edilmiştir. 30 dakika süre ile 500 °C 'de tavlama işlemine ve 168 mGy 'lik beta dozuna maruz bırakılan $\text{CaSO}_4:\text{Cu},\text{Tm}$ malzemesinin hassasiyet oranının ise, TLD100 dozimetresine göre 32,5 olduğu belirlenmiştir. Bu malzeme için kütle düzeltmesi yapılmış olmasına rağmen, malzeme toz formundadır. Son olarak, 300 °C 'de 1 saat süre ile tavlama işlemine ve akabinde 3,12 Gy 'lik beta dozuna maruz bırakılan $\text{CaSiO}_4:\text{Cu}$ malzemesinin hassasiyet oranının aynı doza maruz kalmış olan TLD100 dozimetresine göre 0,17 olduğu tespit edilmiştir. Her bir dozimetrik malzemenin hassasiyetleri ile ilgili olarak gerçekleştirilen deneysel ve teorik çalışmaların sonuçları, Çizelge 4.2 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Malzemelerin TLD100 dozimetresine göre hassasiyet sonuçları.

DOZİMETRE ADI	HASSASİYET
CaCO₃:Tm	0,03
CaB₄O₇:Mn (%1)	0,2
CaB₄O₇:Mn (%3)	1,65
CaSO₄:Cu,Tm	32,5
CaSiO₄:Cu	0,17

%1,4 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin hassasiyetinin belirlenmesi için TLD 100 malzemesi ile karşılaştırılması sonucunda, 10 Gy 'lik gama dozuna maruz bırakılan iki malzemenin TSL ışıma eğrisinin altında kalan alanlarının karşılaştırılması sonucunda, Mn katkılı malzemenin TLD100 malzemesine göre hassasiyet oranının 2,75 olduğu belirlenmiştir (Haghiri vd., 2013).

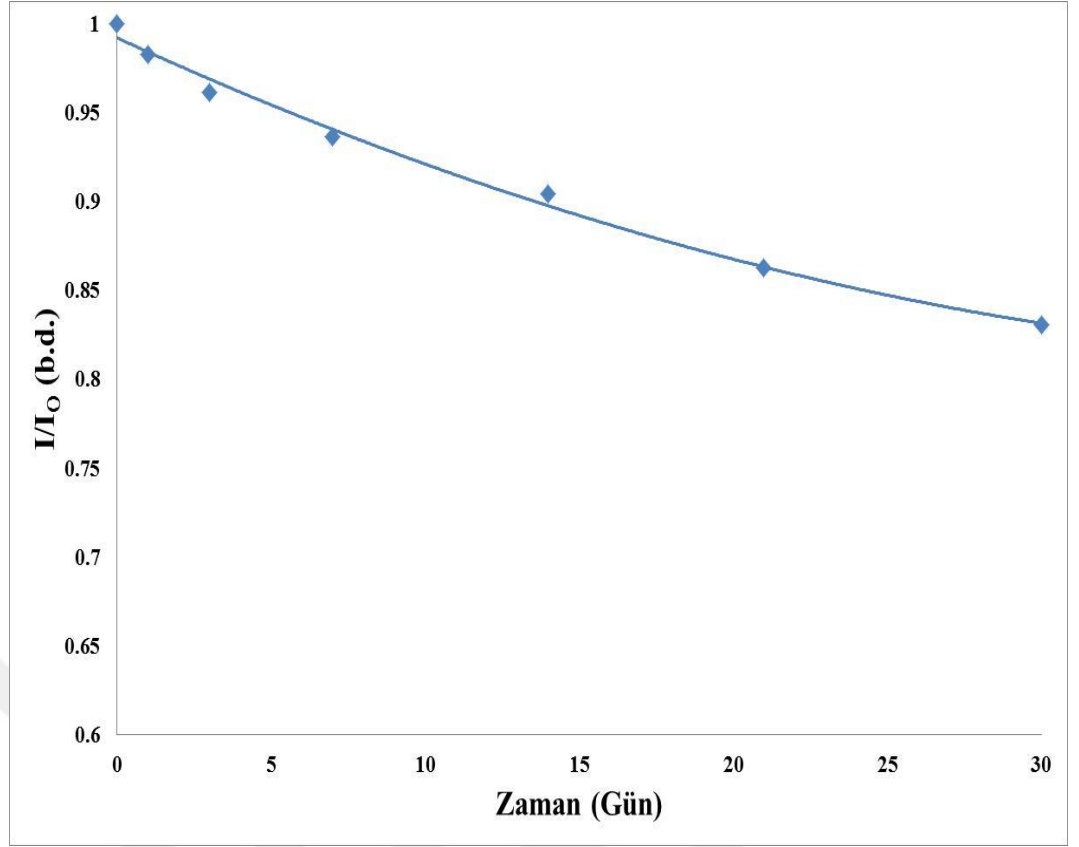
Kelemen vd. tarafından Tm ve Cu katkılı kalsiyum sülfat malzemeleri ile gerçekleştirilen bir çalışma sonucunda bu malzemenin TLD100 dozimetresine göre yaklaşık olarak 30 kat daha hassas olduğu tespit edilmiştir (Kelemen vd., 2013).

4.7 Sönümlleme

Bu tez çalışmasında bu bölüme kadar gerçekleştirilen deneysel araştırmalar ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda, sentezlenen malzemelerden borat tabanlı ve sülfat tabanlı malzemelerin dozimetre olarak kullanılabilme potansiyelinin olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer malzemelerin hem düşük lüminesans verimleri hem de TSL ışıma eğrilerinin yapısındaki olumsuzluklardan dolayı, silikat ve karbonat tabanlı malzemelerin dozimetrik amaçlı kullanımının çok iyi bir seçim olmayacağı düşünülmektedir.

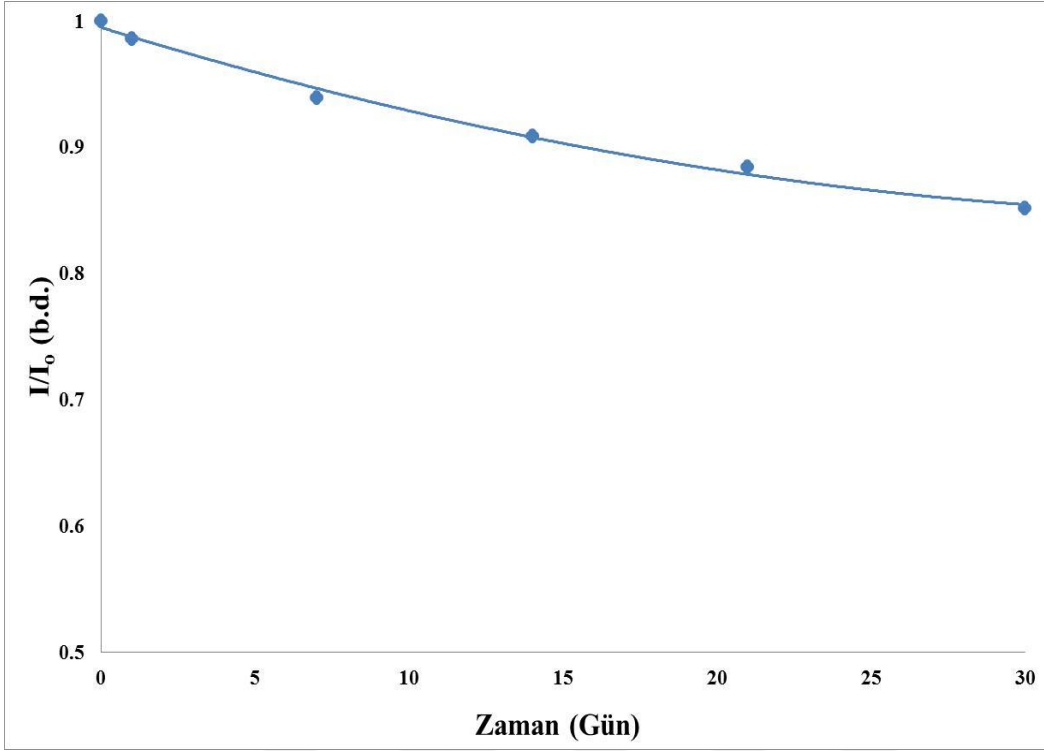
Dozimetrik malzemeler için bir diğer önemli olgu ise, malzemenin sönümlleme miktarının yani yapısındaki tuzaklarda tuzaklanmış elektronlarının belirli bir zaman dilimi içerisindeki azalma miktarının belirlenmesidir. Bu miktarın belirlenebilmesi amacıyla, malzemeler tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra oda sıcaklığında bir süre bekletilir. Daha sonra belirli bir süre radyasyon kaynağı ile ışılandıktan hemen sonra malzemenin TSL ışıma eğrisi kaydedilir. Daha sonra malzeme tekrar aynı tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra aynı süre ile tekrar radyasyon kaynağı ile aynı koşullar altında ışılanır ve malzeme karanlık bir ortamda muhafaza edilir. Bu esnada malzemenin nem ve sıcaklık gibi etkenlerden etkilenmemesi için hem muhafaza kabının hem de muhafaza edilecek ortamın çok iyi seçilmesi gerekir. Belli bir depolama süresinden sonra malzemenin TSL ışıma eğrisi kaydedilir. Bu iki deneysel çalışma sonucunda elde edilen verilerden yararlanılarak malzemelerin sönümlleme miktarları belirlenir.

Bu tez çalışmasında sol-jel yöntemi ile sentezlenmiş olan %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin 220 °C pikinin 1 aylık süre sonunda sönümlleme miktarının belirlenebilmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, bu malzemenin dozimetrik pikinin % 15 oranında azaldığı belirlenmiştir (Şekil 4.51). Bu sonuç aynı zamanda malzemenin tuzaklarında tuzaklanmış elektronlarının sayısında % 15 oranında bir azalma meydana geldiğini ifade eder.



Şekil 4.51 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin 220°C piki için TSL yöntemi kullanılarak elde edilmiş zamana karşılık sönümlene grafiği.

Benzer şekilde kristalizasyon yöntemi kullanılarak sentezlanmış olan Cu ve Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin dozimetrik pikinin 1 aylık süre sonundaki sönümlene miktarının belirlenebilmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, malzemenin dozimetrik pikinin % 15 oranında sönümlendiği yani tuzaklarda tuzaklanmış elektronlarının sayısında % 15 oranında bir azalma meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 4.52).



Şekil 4.52 CaSO₄:Cu,Tm malzemesinin 250 °C piki için TSL yöntemi kullanılarak elde edilmiş zamana karşılık sönümlene grafiği.

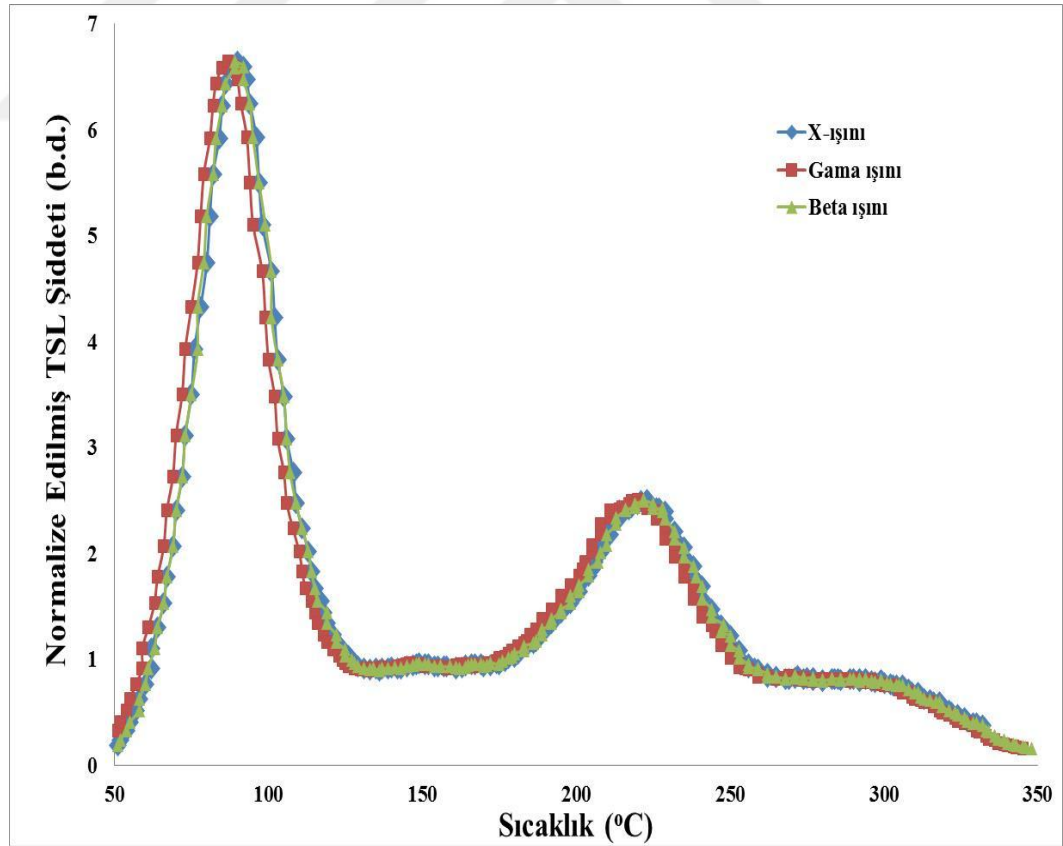
4.8 Farklı Radyasyon Kaynaklarının Malzemenin TSL Işıma Eğrisi Üzerine Etkisi

Bu tez çalışması için sentezlenmiş olan % 1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesi ile bakır ve tulum katkılı kalsiyum sülfat malzemelerinin farklı radyasyon türlerine tepkisinin araştırılması amacıyla, gama, beta ve X-ışınları ile ışınlanan malzemelerden elde edilen TSL ışıma eğrileri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada beta radyasyon kaynağı olarak Enstitümüz bünyesinde bulunan ⁹⁰Sr kaynağı, gama kaynağı olarak Özel Onkomer onkoloji tıp merkezi bünyesinde bulunan ⁶⁰Co gama kaynağı ve X-ışını kaynağı olarak enstitümüz bünyesinde bulunan ve RL işlemlerinde de kullanılan X-ışını kaynağı kullanılmıştır.

Bu karşılaştırılmanın yapılabilmesi amacıyla, malzemelerin her biri uygun tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra bir süre oda sıcaklığında bekletilmiş ardından beta radyasyon kaynağı ile belirli bir süre ışınlanmışlardır. Bu ışınlama

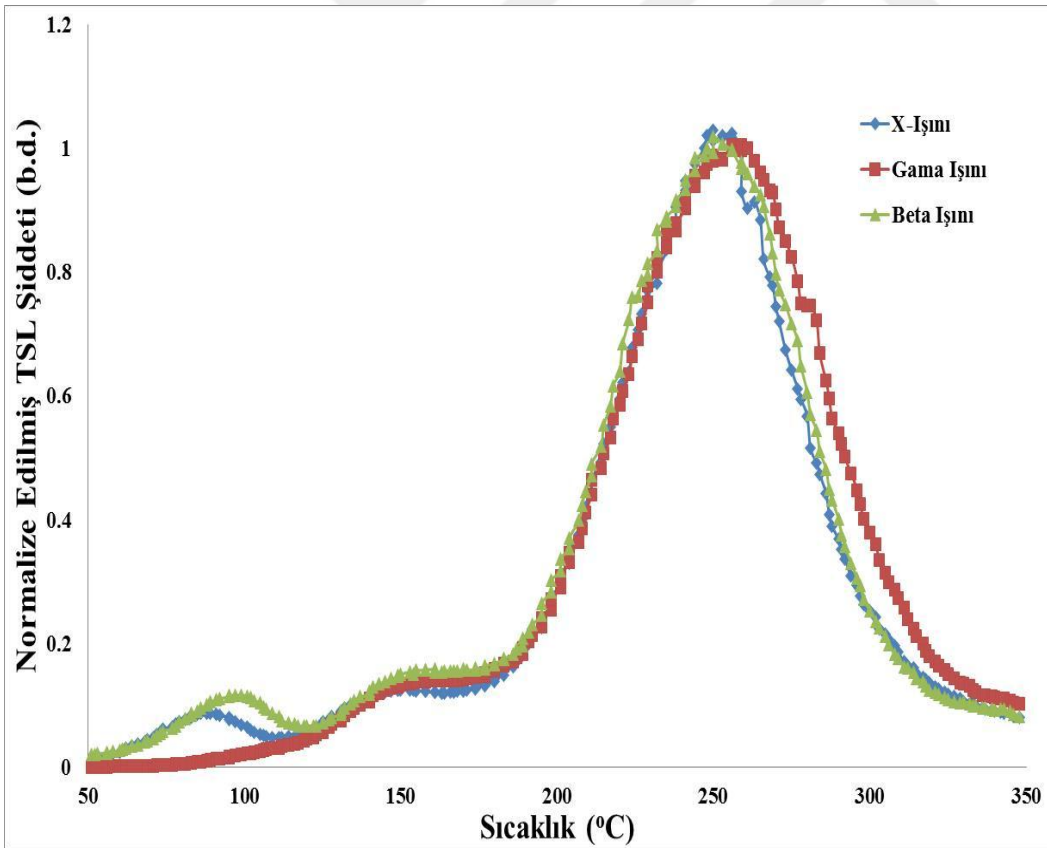
işlemden hemen sonra, malzemelerin 5 °C/s ısıtma hızı ile TSL ışıma eğrileri elde edilmiştir. Bu işlemler, malzemelerin ışınlanması için X-ışını ve gama ışını kaynakları kullanılarak sırasıyla her bir malzeme için tekrar edilmiş ve elde edilen TSL ışıma eğrileri kaydedilmiştir.

Farklı radyasyon kaynaklarının malzemenin TSL ışıma eğrisi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, Mn katkılı malzemenin bu üç kaynakla çalışılan ortamlarda dozimetrik malzeme olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Her üç kaynakla bu malzeme için gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen ve 220 °C sıcaklığında normalize edilmiş TSL ışıma eğrisi sonuçlarının karşılaştırılmasına göre, her bir kaynağın bu malzemenin örgü yapısındaki aynı tuzak merkezleri üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.53).



Şekil 4.53 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin farklı radyasyon kaynakları ile belirli bir süre ışılandıktan sonra elde edilen ve 220 °C de normalize edilmiş TSL ışıma eğrinin karşılaştırılması.

Aynı işlemler Cu ve Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemesi içinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda bu malzemenin de bu üç kaynak ile çalışılan ortamlarda radyasyon dozimetresi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. Herbir kaynak ile bu malzeme için gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen ve 250 °C sıcaklığında normalize edilmiş TSL ışıma eğrisi sonuçlarının karşılaştırılması, Şekil 4.54 'te gösterilmiştir. Buna göre, herbir kaynağın malzemenin 150 °C ve 250 °C deki tuzak merkezlerini doldurma oranının hemen hemen aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, X-ışını ve beta kaynağı ile ışınlanmış malzemenin ışıma eğrilerindeki 90 °C pik şekillerinin farklılık gösterdiği ve gama kaynağı ile ışınlanan malzemenin ışıma eğrisinde bu pikin oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak, gama kaynağı ve X-ışını kaynağına maruz bırakılan malzemenin TSL ölçümleri için bir süre beklenmiş olmasından dolayı bu sıcaklık bandı aralığındaki tuzak merkezlerinin sönmülemeye uğradığı düşünülmüştür.



Şekil 4.54 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin farklı radyasyon kaynakları ile belirli bir süre ışılandıktan sonra elde edilen ve 250 °C de normalize edilmiş TSL ışıma eğrinin karşılaştırılması.

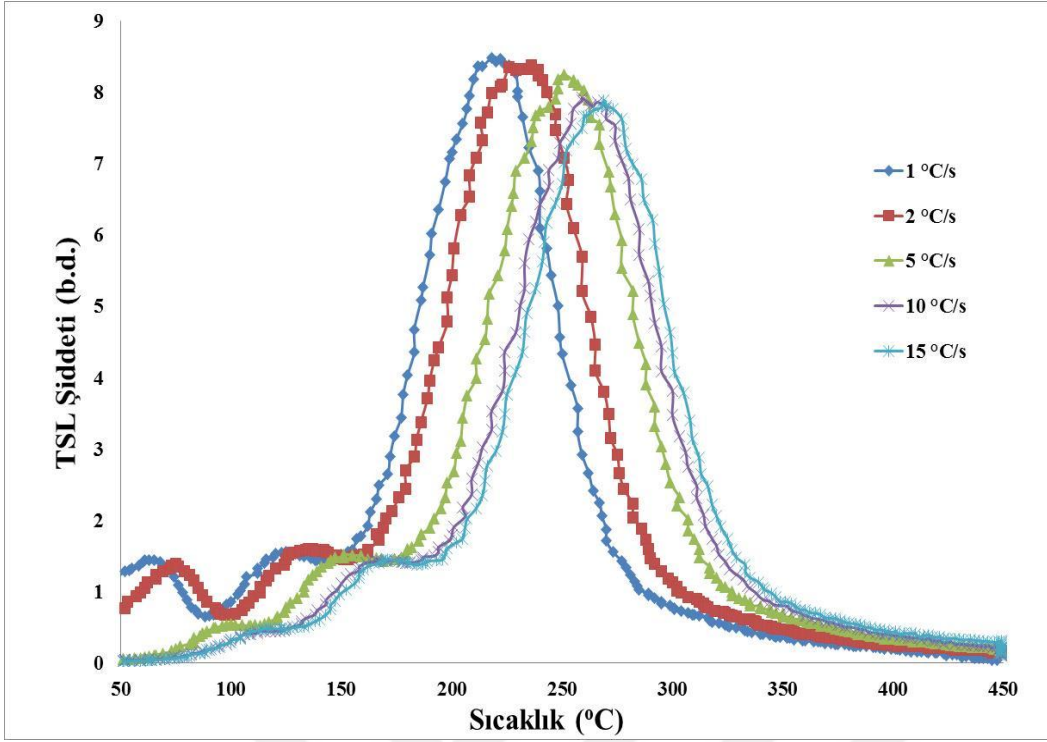
4.9 Tuzak Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu tez çalışmasında, dozimetrik malzeme olarak kullanılmak üzere sentezlenmiş olan malzemelerin bazı lüminesans özelliklerinin ayrıntılı olarak incelenmesi için yapılan çalışmalar ve gerekli karşılaştırmalar sonucunda, $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) ve $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemelerinin dozimetrik amaçlı kullanılabilme potansiyelinin olduğu daha önceki bölümlerde ifade edilmişti. Bu bölümde, $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) ve $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemelerinin aktivasyon enerjisi (E), frekans faktörü (s) ve kinetik mertebesi (b) gibi tuzak parametrelerinin değerlerinin hesaplanabilmesi için ısıtma eğrisi şekli, izotermal lüminesans bozunma ve farklı ısıtma hızı metotları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

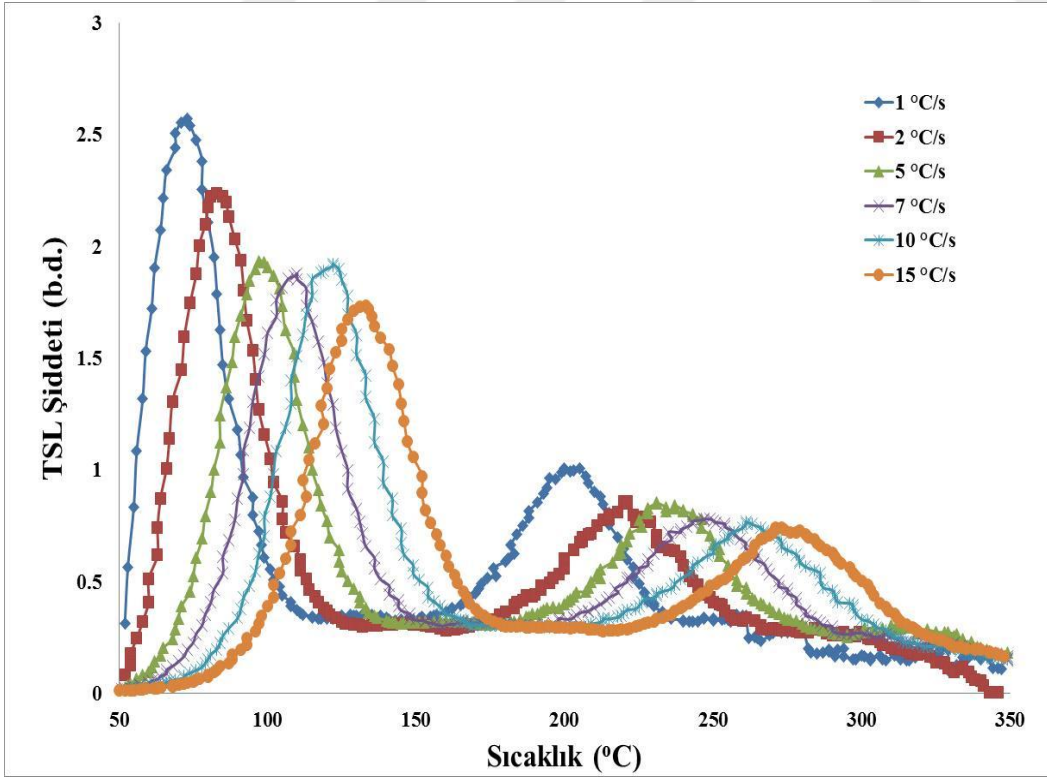
4.9.1 Farklı Isıtma Hızları (VHR) Metodu Sonuçları

Bu çalışmada $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ ve $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemelerinin farklı ısıtma hızı ile elde edilmiş TSL ısıtma eğrilerinin verilerinin değerlendirilmesi sonucunda, malzemelerin tuzak parametrelerinin değerleri hesaplanmıştır.

Bu amaçla, her bir ölçüm öncesinde $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ ve $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemelerinin her biri için daha önceki bölümlerde anlatılmış olan tavlama işlemleri uygulanarak malzemeler beta kaynağı kullanılarak sırasıyla ~165 mGy ve 2,82 Gy 'lik dozlara maruz bırakılmışlardır. Daha sonra, TLD okuyucu sisteminin ısıtma hızı 1 °C/s ile 15 °C/s 'ye kadar değişen değerlerde ayarlanmış ve elde edilen TSL ısıtma eğrileri her bir ısıtma hızına göre kaydedilmiştir. Her bir malzeme için elde edilen bu TSL ısıtma eğrilerinin sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.55 ve Şekil 4.56 'da gösterilmiştir.



Şekil 4.55 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesi için farklı ısıtma hızlarında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.



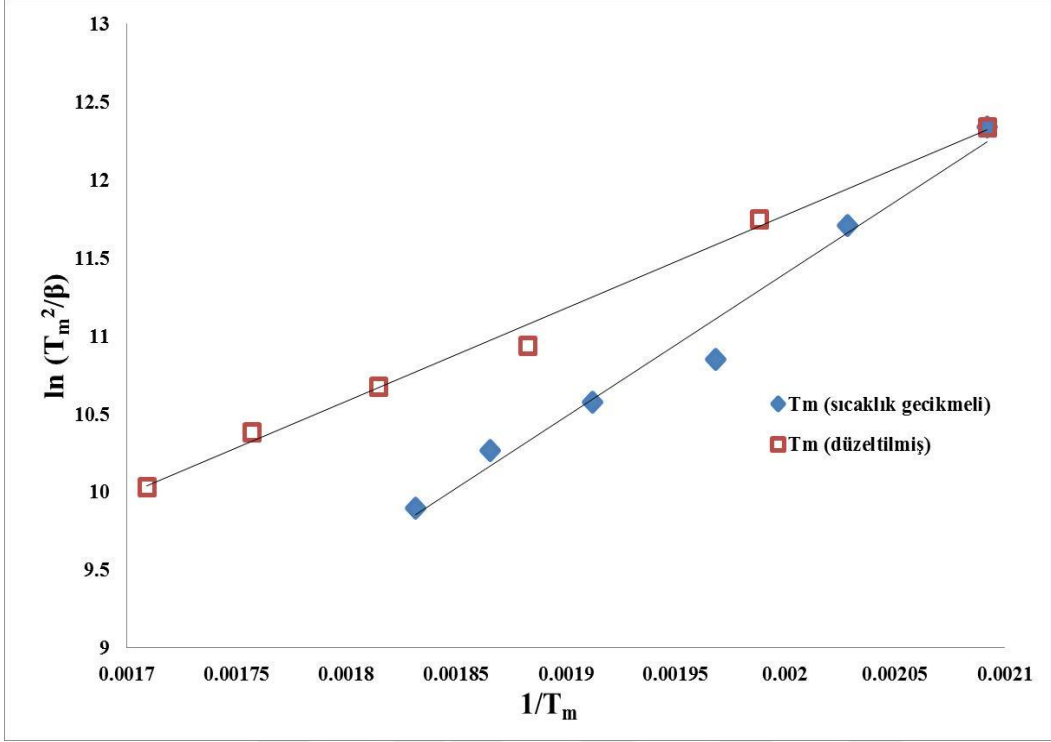
Şekil 4.56 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesi için farklı ısıtma hızlarında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

Daha önce Bölüm 3 de ayrıntılarıyla değinildiği üzere, TLD okuyucunun ısıtıcı şeridi ile üzerinde bulunan malzemenin sıcaklığı farklılık gösterebilmektedir. Özellikle kalın olarak kullanılan malzeme tabletlerinde ölçülen ısıma, malzemenin yüzeyinden gelen ısımadır ve bu sıcaklık termoçift ile ölçülen sıcaklıktan her zaman farklıdır. Bu farklılığın neden olduğu hataların ortadan kaldırılabilmesi için, malzemenin sıcaklığının iyi bilinmesi gerekmektedir.

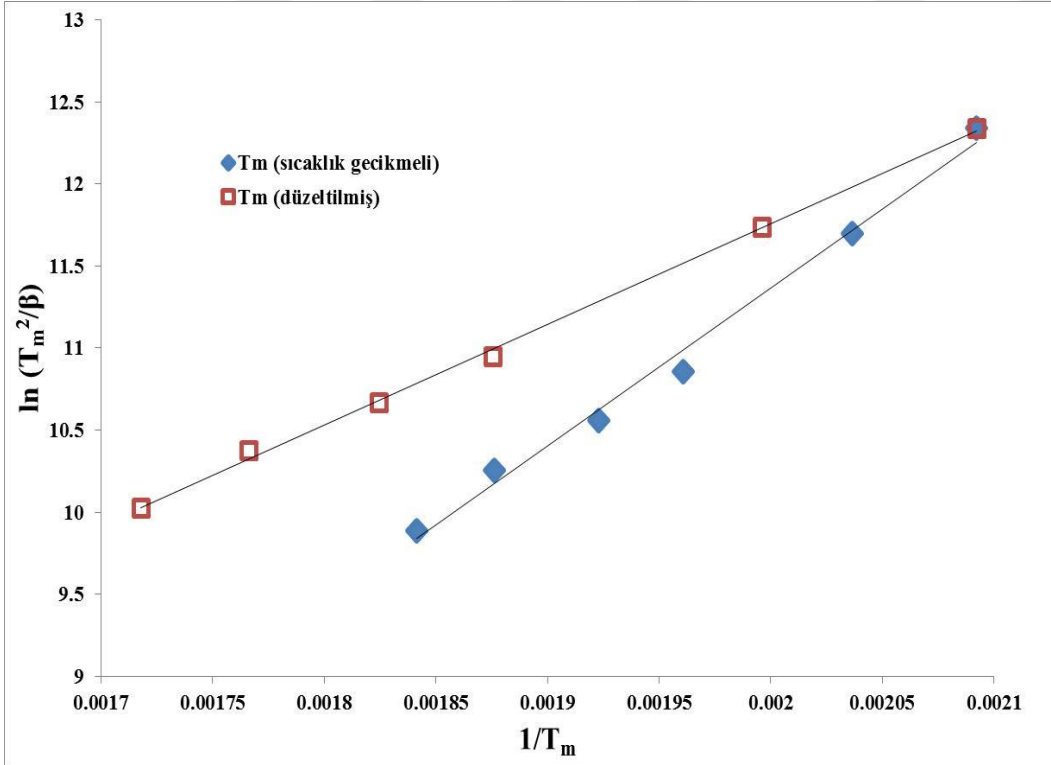
Bu sorunun neden olduğu sıcaklık gecikmesi etkisinin düzeltilebilmesi amacıyla, Kitis ve Tuyn tarafından önerilen denklem kullanılmıştır (Kitis ve Tuyn., 1998). $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemeleri için 1°C ve 2°C ısıtma hızlarıyla elde edilen TSL ısıma eğrilerinin dozimetrik piklerinin maksimum TSL şiddetlerine karşılık gelen maksimum sıcaklık değerlerinin denklem 3.6 'da kullanılmasıyla, bölüm 3.2.11.1 'de ayrıntılarıyla değinilen c 'nin değerleri sırasıyla, 21.64 ve 14.43 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlardan yararlanılarak, deneysel (sıcaklık gecikmeli) T_M değerleri için sıcaklık gecikmesi düzeltmeleri yapılmıştır.

Tulyum ve bakır katkılı kalsiyum sülfat ve %1 mangan katkılı kalsiyum borat malzemeleri için her bir ısıtma hızına göre elde edilen TSL ısıma eğrilerinin dozimetrik piklerinin maksimum TSL şiddetlerine karşılık gelen maksimum sıcaklık (deneysel T_M ve sıcaklık düzeltmesi yapılmış T_M) değerlerinden yararlanarak, $\ln(T_M^2/\beta)$ karşılık $1/T_M$ grafikleri denklem 3.4 'e göre çizilmiştir (Şekil 4.57, Şekil 4.58). Bu şekillerdende anlaşılabileceği üzere, 1°C/s lik ısıtma hızıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen deneysel T_M ve sıcaklık düzeltmesi yapılmış T_M değerlerinin aynı olduğu fakat ısıtma hızının artmasıyla bu değerler arasındaki farkında arttığı gözlemlenmiştir.

Sıcaklık düzeltmesi yapılmış T_M değerleri ile deneysel T_M değerleri kullanılarak çizilen $\ln(T_M^2/\beta)$ karşılık $1/T_M$ grafiklerinin E/k eğim ve $\ln(E/sk)$ kesişim değerlerinden yararlanılarak, $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemeleri için aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar sırasıyla, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 'te gösterilmiştir.



Şekil 4.57 $\text{CaSO}_4:\text{Cu},\text{Tm}$ malzemesi için farklı ısıtma hızlarında elde edilen sıcaklık gecikmeli ve düzeltilmiş T_m değerlerine göre $\ln(T_m^2/\beta)$ karşılık $1/T_m$ grafiği.



Şekil 4.58 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn} (\%1)$ malzemesi için farklı ısıtma hızlarında elde edilen sıcaklık gecikmeli ve düzeltilmiş T_m değerlerine göre $\ln(T_m^2/\beta)$ karşılık $1/T_m$ grafiği.

Çizelge 4.3 $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ malzemesinin $250\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki dozimetrik (ana) piki için farklı ısıtma hızları yöntemi kullanılarak elde edilen, deneysel ve sıcaklık gecikmesinden dolayı düzeltilmiş verileri kullanılarak hesaplanmış olan aktivasyon enerjileri ve frekans faktörleri değerleri.

	Aktivasyon Enerjisi	Frekans Faktörü
	(eV)	(s ⁻¹)
Deneysel	1	1.4×10^{10}
Düzeltilmiş	1.15	1.1×10^{11}

Çizelge 4.4 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin dozimetrik $220\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki (ana) piki için farklı ısıtma hızı yöntemi kullanılarak elde edilen, deneysel ve sıcaklık gecikmesinden dolayı düzeltilmiş, verileri kullanılarak hesaplanmış olan aktivasyon enerjileri ve frekans faktörleri değerleri.

	Aktivasyon Enerjisi	Frekans Faktörü
	(eV)	(s ⁻¹)
Deneysel	1.05	1.2×10^{11}
Düzeltilmiş	1.12	1.35×10^{12}

4.9.2 Işıma Eğrisi Şekli Metodu (Chen Pik Şekli Metodu) Sonuçları

Dozimetrik malzemelerin aktivasyon enerjisi ve frekans faktörü gibi termal uyartımlı lüminesans (TSL) tuzak parametrelerinin hesaplanabilmesi için kullanılan diğer bir yaygın yöntem ise ışıma eğrisi şekli metodudur. Bu yöntemde, dozimetrik malzemenin TSL ışıma eğrisinin şekli ve geometrik özellikleri dikkate alınarak tuzak parametreleri hesaplanabilir (Gokçe vd., 2009).

Bu çalışmada $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemeleri, her bir ölçüm öncesinde daha önceki bölümlerde anlatılan tavlama işlemleri uygulanmış ve sonrasında sırasıyla 165 mGy ve 2,82 Gy 'lik beta dozlarına maruz bırakılmışlardır. Bu işlemlerden sonra 1 °C/s ile 15 °C/s arasında değişen sıcaklıklardaki ısıtma hızları ile malzemelerin TSL ışıma eğrileri kaydedilmiştir. Malzemeler için elde edilen bu TSL ışıma eğrilerinin dozimetrik (ana) piklerinin şekillerinden yararlanılarak, τ , δ , ω gibi birçok kinetik parametrelerin değeri hesaplanmıştır. Bu kinetik parametreler sırasıyla, aktivasyon enerjisi (E), frekans faktörü (s), kinetik derece (b), maksimum pik sıcaklığı (T_m), ışıma pikinin azalmaya başladığı bölgedeki yarı genişliği (δ), ışıma pikinin toplam yarı genişliği (ω), ışıma pikinin artmaya başladığı bölgedeki yarı genişliği (τ), geometrik faktör (μ) ve kinetik derece (γ) 'dir (Pagonis vd., 2006).

Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 'da, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin farklı ısıtma hızları kullanılarak TSL ışıma eğrisinin 220 °C piki için elde edilen parametre değerleri gösterilmektedir. Bu çizelgeden de anlaşılabacağı üzere, %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin her bir ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrisinin dozimetrik pikinin simetri faktörü (μ) 0,52 olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra, Balarin tarafından önerilen diğer bir kinetik parametrenin (γ) her bir ısıtma hızı için hesaplanan ortalama değeri ise 1.08 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin dozimetrik pikinin ikinci mertebeden (b) bir pike sahip olduğunu ifade edebiliriz (Chen, 1969, Balarin, 1979).

Çizelge 4.5 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin TSL ısıtma eğrisinin 220 °C'deki dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen parametre değerleri.

Isıtma Hızı (°C.s ⁻¹)	δ	ω	τ	$\mu = \delta / \omega$	$\gamma = \delta / \tau$
1	30	58	28	0.52	1.07
2	31	60	29	0.52	1.07
5	33	64	31	0.52	1.07
7	33	64	31	0.52	1.07
10	37	71	34	0.52	1.09
15	37	71	34	0.52	1.09

Çizelge 4.6. $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin TSL ısıtma eğrisinin 220 °C'deki dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen parametre değerleri.

Isıtma Hızı (°C.s ⁻¹)	c_δ	c_ω	c_τ	b_δ	b_ω	b_τ
1	1.59	3.4	1.77	0	1	2
2	1.68	3.5	1.8	0	1	1.99
5	1.67	3.5	1.8	0	1	1.98
7	1.67	3.5	1.8	0	1	1.98
10	1.71	3.5	1.81	0	1	2
15	1.71	3.6	1.81	0	1	2

Daha sonra frekans faktörü ve aktivasyon enerjilerinin değerleri her bir ısıtma hızı ile elde edilmiş TSL ışıma eğrilerinin dozimetrik pikleri için Chen ve Kirsh tarafından önerilen denklemlerin (denklem 3.6 ve denklem 3.10) kullanılmasıyla hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.7 'de gösterilmiştir.

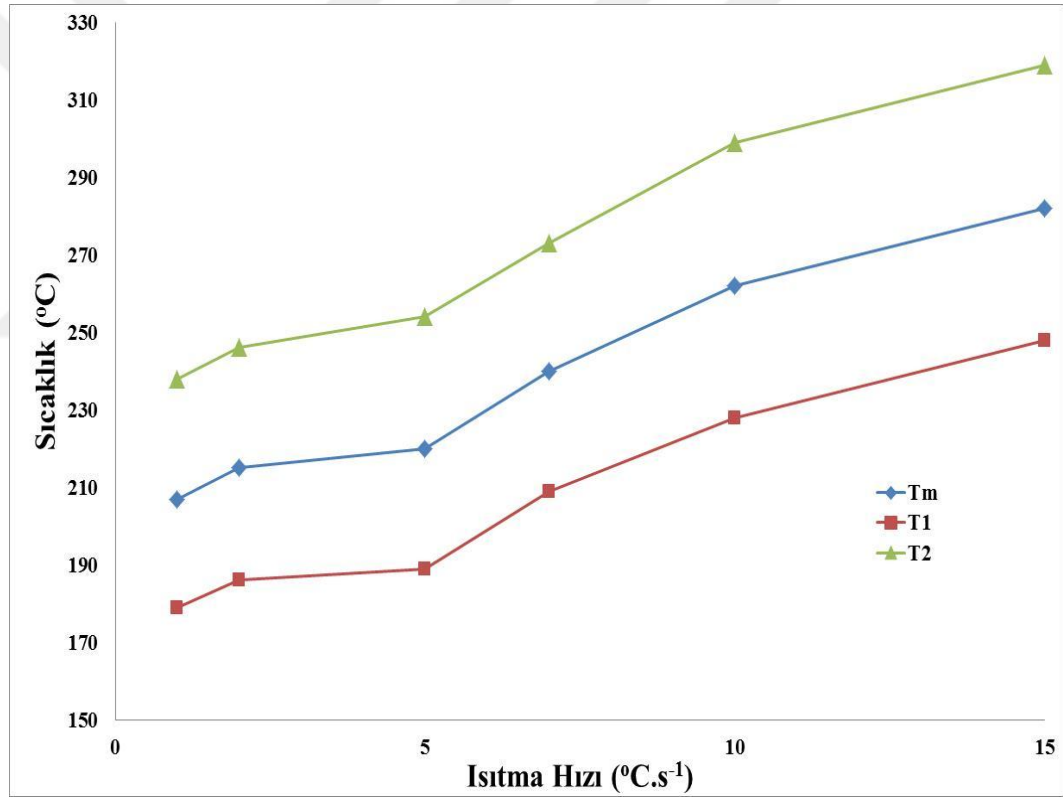
Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, %1 mangan katkılı kalsiyum borat malzemesinin TSL ışıma eğrisinin ana piki için ortalama frekans faktörü değerinin 10^{11} mertebesinde ve 5 °C/s ısıtma hızı için aktivasyon enerjisi değerinin ise 1.06 eV değerinde olduğu hesaplanmıştır.

Ayrıca Çizelge 4.7 'deki farklı ısıtma hızlarında elde edilmiş aktivasyon enerjisi değerlerinden de anlaşılabileceği ve farklı ısıtma hızlarında sıcaklık gecikmesi ile ilgili bir önceki bölümde de değinildiği üzere, örnek ve ısıtıcı ünite arasındaki sıcaklık farkı ısıtma hızının artmasıyla daha da fazla artmaktadır (Taylor vd., 1982, Ogundare vd., 2005, Kitis vd., 1998, Gokce vd., 2009).

Çizelge 4.7. $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin TSL ışıma eğrisinin dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen kinetik parametre değerleri.

Isıtma Hızı (°C.s ⁻¹)	E_δ (eV)	E_ω (eV)	E_τ (eV)	E_{ort} (eV)	s (s ⁻¹)
1	1.11	1.12	1.11	1.11	1×10^{11}
2	1.11	1.12	1.11	1.11	1.8×10^{11}
5	1.06	1.06	1.05	1.06	9.67×10^{11}
7	1.15	1.15	1.14	1.15	13.5×10^{11}
10	1.17	1.18	1.17	1.17	15.3×10^{11}
15	1.23	1.23	1.22	1.23	25.3×10^{11}

Farklı ısıtma hızlarıyla yapılan TSL çalışmalarında ısıtma hızı arttıkça, TSL ısıtma eğrilerinin dozimetrik piklerine ait T_m , T_1 ve T_2 değerleride artar (Montalvo vd., 2004). Bu ifadelerdeki T_1 ve T_2 değerleri, dozimetrik pikin maksimum sıcaklık değerini ifade eden T_m değerinin her iki yanında yarı genişlikteki ısıtma şiddetlerine karşılık gelen sıcaklıklardır. Bu malzeme ile farklı ısıtma hızlarıyla elde edilen TSL ısıtma eğrilerinin sıcaklık değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.59 'da gösterilmiştir. Bu grafikten de anlaşılacağı üzere, ısıtma hızının artmasıyla dozimetrik piklere ait T_m , T_1 ve T_2 değerlerinde artış meydana geldiği açıkça görülmektedir.



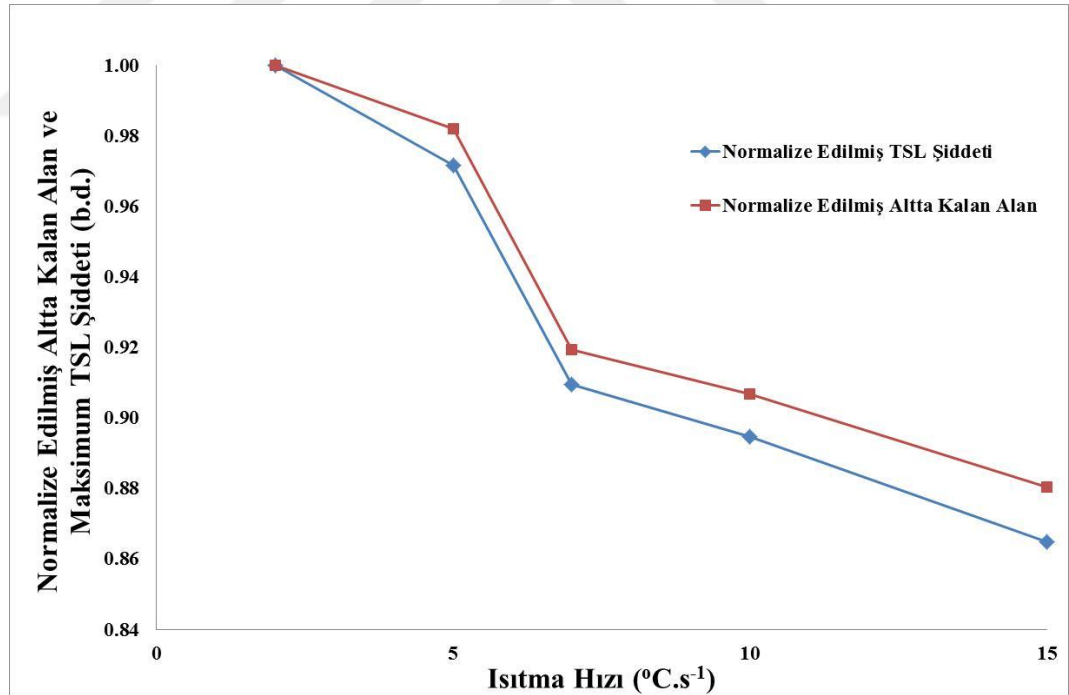
Şekil 4.59 Farklı ısıtma hızlarına göre $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin 220 °C pikine ait deneysel T_m , T_1 ve T_2 değerlerinin davranışı.

Isıtma hızına bağlı olarak elde edilmiş TSL ısıma eğrisinin dozimetrik pikine ait parametrelerin kullanılmasıyla elde edilen T_M^2/τ , T_M^2/ω ve T_M^2/δ değerleri Çizelge 4.8 'de gösterilmiştir. Normalde elde edilen bu oranların sonucunun sabit bir sayı olması beklenir (Montalvo v.d, 2004). Şekil 4.59 'dan da anlaşılacağı üzere, ısıtıcı ünite ile örnek arasındaki termal ısı iletimindeki sorun nedeniyle kararlı bir eğri yerine düzensiz bir biçimde sürekli artış gösteren bir eğri yapısı vardır. Bunun nedeni daha önceden de 3. Bölümde ayrıntılarıyla anlatıldığı üzere, ısıtıcı ünite ile malzeme arasında yaşanan ısı enerjisi transferidir.

Çizelge 4.8. $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin TSL ısıma eğrisinin 220 °C'deki dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen deneysel T_M^2/α parametre değerleri.

Isıtma Hızı (°C.s ⁻¹)	T_M^2/τ	T_M^2/ω	T_M^2/δ
1	1515	731	1414
2	1594	770	1491
5	1561	756	1467
7	1858	900	1745
10	2019	967	1855
15	2339	1120	2149

Çeşitli ısıtma hızlarıyla elde edilmiş TSL ışıma eğrisinin 220 °C pikinin altında kalan alan ve maksimum TSL şiddeti değerlerinin normalizasyon sonuçlarının karşılaştırılması, Şekil 4.60 'da gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere ısıtma hızı arttıkça, TSL ışıma eğrisinin 220 °C pikinin altında kalan alan ve maksimum TSL şiddeti değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Bu azalmanın nedeni termal sönümleme etkisinden dolayı olabilir (Montalvo vd., 2004). Bununla birlikte, pikinin altında kalan alan ve maksimum TSL şiddeti değerlerinin azalması birden fazla nedenden ötürü de olmuş olabilir. Bu tür olaylar daha önceki benzer çalışmalarda da gözlemlenmiş ve bu durumun oluşmasının nedeni olarak termal sönümleme etkisi ve küme formasyonu oluşumu olarak ifade edilmiştir (Gökçe vd., 2009). Küme oluşumu nadir toprak elementi katkılanmış olan ana malzemeler için ifade edilmiştir (Karali vd., 1998; Holsa vd., 2004).



Şekil 4.60 Farklı ısıtma hızlarıyla elde edilmiş $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin TSL ışıma eğrisinin 220 °C pikinin altında kalan alan ve maksimum TSL şiddeti değerlerinin normalizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.

Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10 'da, $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin farklı ısıtma hızları kullanılarak elde edilmiş TSL ışıma eğrisinin 250 °C piki için elde edilen parametre değerleri gösterilmektedir. Bu tablodan da anlaşılabacağı üzere, $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin her bir ısıtma hızı ile elde edilen TSL ışıma eğrisinin dozimetrik pikinin simetri faktörü 0.52 olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra, Balarin tarafından önerilen diğer bir kinetik parametrenin (γ) her bir ısıtma hızı için hesaplanan ortalama değeri ise 1.1 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda, bakır ve tulyum katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin dozimetrik pikinin ikinci mertebeden (b) bir pike sahip olduğunu ifade edilebilir (Chen vd., 1969, Gokce vd., 2009, Balarin vd., 1979, McKeever, 1985).

Çizelge 4.9 $\text{CaSO}_4:\text{Cu}$, Tm malzemesinin TSL ışıma eğrisinin 250 °C'deki dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen parametre değerleri.

Isıtma Hızı (°C.s ⁻¹)	δ	ω	τ	$\mu = \delta / \omega$	$\gamma = \delta / \tau$
1	36	69	33	0.52	1.09
2	39	74	35	0.52	1.11
5	41	78	37	0.52	1.11
10	41	78	37	0.52	1.11
15	39	74	35	0.52	1.1

Çizelge 4.10 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin TSL ışıma eğrisinin 250 °C'deki dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen parametre değerleri.

Isıtma Hızı (°C.s ⁻¹)	c_δ	c_ω	c_τ	b_δ	b_ω	b_τ
1	1.72	3.56	1.82	0	1	2
2	1.76	3.61	1.82	0	1	2.03
5	1.75	3.60	1.83	0	1	2.02
10	1.75	3.60	1.83	0	1	2.02
15	1.76	3.61	1.83	0	1	2.03

Bakır ve tulyum katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin frekans faktörü ve aktivasyon enerjilerinin değerleri, her bir ısıtma hızı ile elde edilmiş TSL ışıma eğrilerinin dozimetrik pikleri için Chen ve Kirsh tarafından önerilen denklemlerin (denklem 3.6 ve denklem 3.10) kullanılmasıyla hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.11 'de gösterilmiştir.

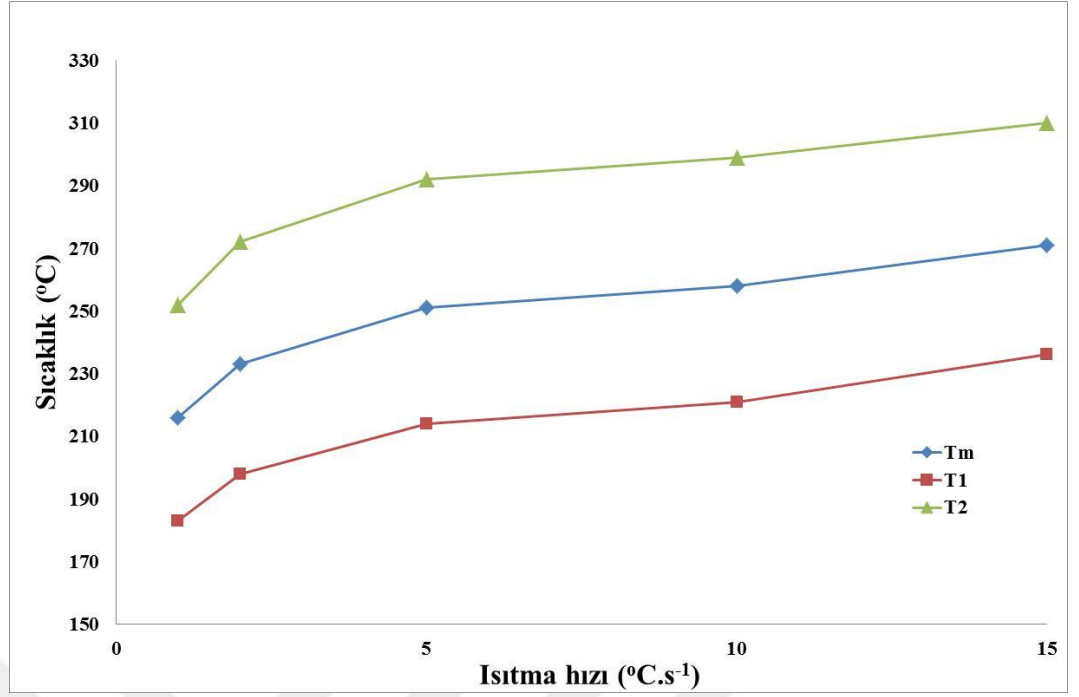
Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bakır ve tulyum katkılı kalsiyum borat malzemesinin TSL ışıma eğrisinin ana piki için ortalama frekans faktörü değerinin 10^{10} mertebesinde ve 5 °C/s ısıtma hızı için aktivasyon enerjisi değerinin ise 1 eV değerinde olduğu hesaplanmıştır.

Ayrıca Çizelge 4.11 'deki farklı ısıtma hızlarında elde edilmiş aktivasyon enerjisi değerlerinden de anlaşılabacağı üzere, ısıtma hızının artmasıyla birlikte aktivasyon enerjisi değerlerinde de bir artış meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.11. *CaSO₄:Cu,Tm malzemesinin TSL ışıma eğrisinin dozimetrik piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen parametre değerleri.*

Isıtma Hızı (°C.s ⁻¹)	E _δ (eV)	E _ω (eV)	E _τ (eV)	E _{ort} (eV)	s (s ⁻¹)
1	0.98	0.98	0.96	0.98	5.15 x 10 ¹⁰
2	0.99	0.99	0.98	0.99	8.9 x 10 ¹⁰
5	1.01	1	0.99	1	9.3 x 10 ¹⁰
10	1.04	1.03	1.01	1.03	11.2 x 10 ¹⁰
15	1.15	1.14	1.14	1.15	16.7 x 10 ¹⁰

Farklı ısıtma hızlarıyla yapılan TSL çalışmalarında ısıtma hızı arttıkça, TSL ışıma eğrilerinin dozimetrik piklerine ait T_m, T₁ ve T₂ değerlerinde artış meydana gelir (Gökçe vd., 2009). Bakır ve tulyum katkılı kalsiyum sülfat malzemesi için farklı ısıtma hızlarıyla elde edilen TSL ışıma eğrilerinin sıcaklık değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 4.61 'de gösterilmiştir. Bu grafikten de anlaşılabacağı üzere, ısıtma hızının artmasıyla dozimetrik piklere ait T_m, T₁ ve T₂ değerlerinde artış meydana geldiği açıkça görülmektedir.



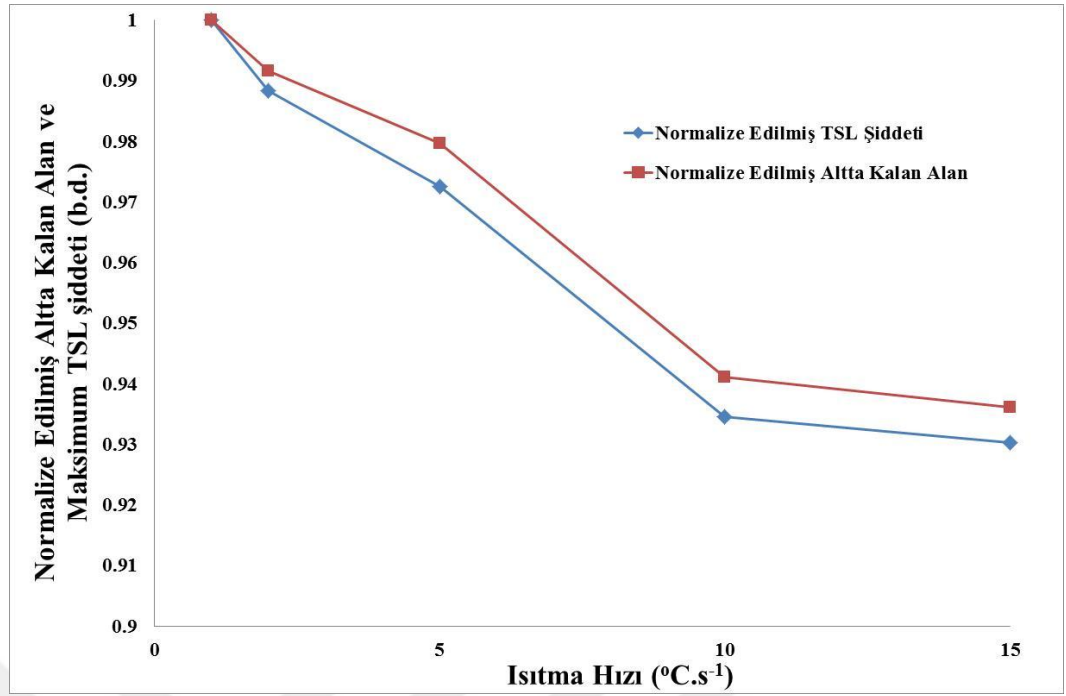
Şekil 4.61 Farklı ısıtma hızlarına göre $\text{CaSO}_4:\text{Cu},\text{Tm}$ malzemesinin 250 °C pikine ait deneysel T_m , T_1 ve T_2 değerlerinin davranışı.

Isıtma hızına bağlı olarak elde edilmiş TSL ışıma eğrisinin dozimetrik pikine ait parametrelerin kullanılmasıyla elde edilen T_M^2/τ , T_M^2/ω ve T_M^2/δ değerleri Çizelge 4.12 'de gösterilmiştir. Normalde elde edilen bu oranların sonucunun sabit bir sayı olması beklenir (Montalvo vd., 2004). Şekilden de anlaşılacağı üzere, ısıtıcı ünite ile örnek arasında ki termal ısı iletimindeki sorun nedeniyle kararlı bir eğri yerine sürekli düzensiz bir biçimde artış gösteren bir eğri yapısı vardır. Bunun nedeni daha önceden de belirttiğimiz üzere, ısıtıcı ünite ile malzeme arasında yaşanan ısı enerjisi transferidir.

Çizelge 4.12 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin TSL ışıma eğrisinin 250 °C piki için farklı ısıtma hızlarına göre elde edilen deneysel T_M^2/α parametre değerleri.

Isıtma Hızı (°C.s ⁻¹)	T_M^2/τ	T_M^2/ω	T_M^2/δ
1	1413	676	1296
2	1551	733	1392
5	1702	807	1536
10	1799	853	1623
15	2098	992	1883

Farklı ısıtma hızlarıyla elde edilmiş TSL ışıma eğrisinin 250 °C pikinin altında kalan alan ve maksimum TSL şiddeti değerlerinin normalizasyon sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 4.62 'de gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere ısıtma hızı arttıkça, TSL ışıma eğrisinin 250 °C pikinin altında kalan alan ve maksimum TSL şiddeti değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Bu azalmanın nedeni ise, daha önce de ifade edildiği üzere termal sönümleme etkisi ve küme oluşumudur.



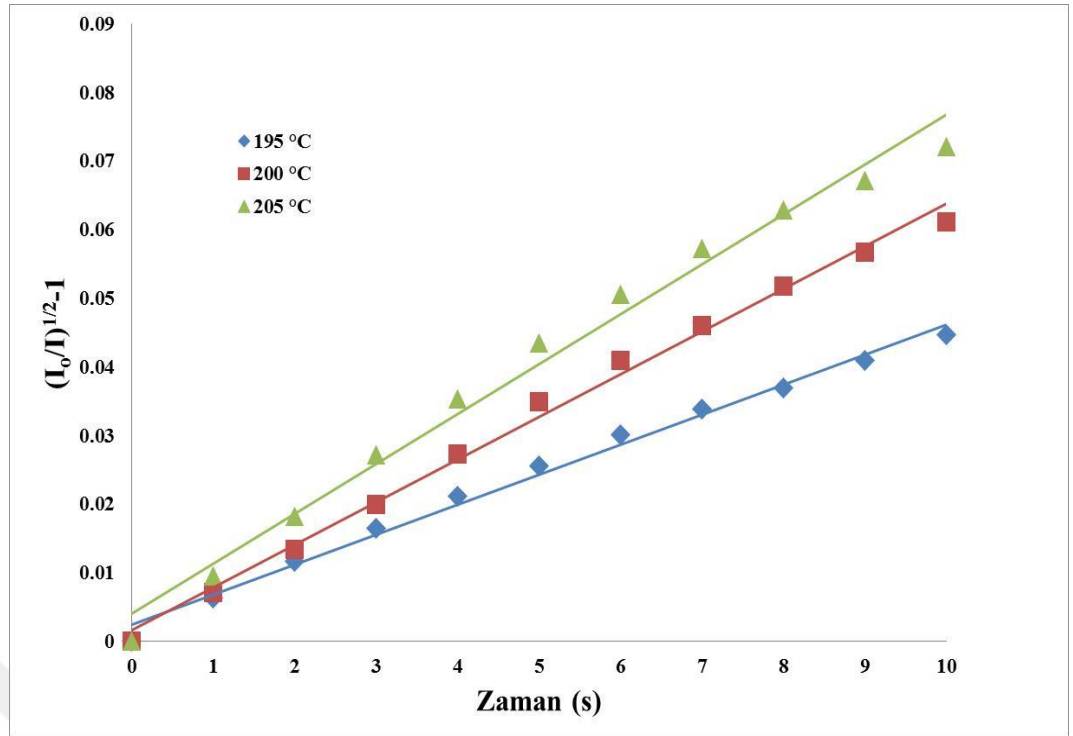
Şekil 4.62 Farklı ısıtma hızlarıyla $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesi için elde edilen TSL ısıtma eğrisinin 250 °C pikinin altında kalan alan ve maksimum TSL şiddeti değerlerinin normalizasyon sonuçlarının karşılaştırılması.

4.9.3 İzotermal Lüminesans Bozunma (ILD) Metodu Sonuçları

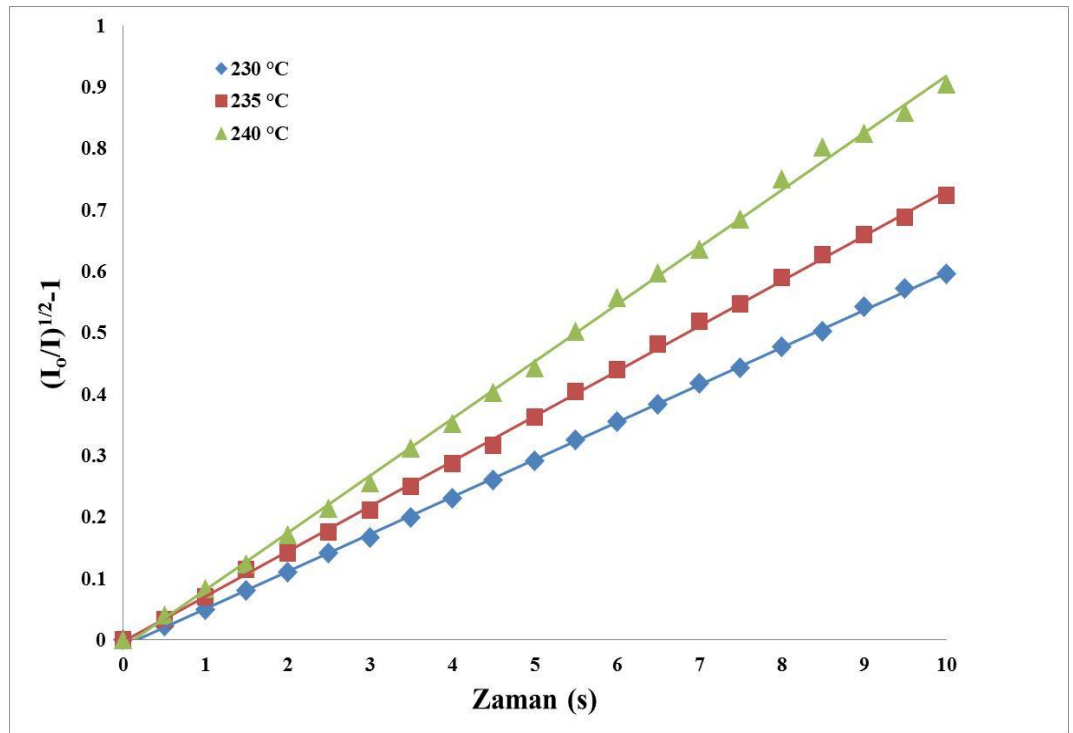
Bu tez çalışması kapsamında dozimetrik malzeme olarak sentezlemiş olan mangan katkılı kalsiyum borat ve bakır ve tulyum çift katkılı kalsiyum sülfat malzemelerinin TSL tuzak parametrelerinin belirlenmesi amacıyla, diğer bir yöntem olan “İzotermal Lüminesans Bozunma Metodu” kullanılmıştır.

Bu metotta kullanılan $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) dozimetrik malzemeler, öncelikle her biri için daha önceki bölümlerde ayrıntılarıyla bahsedilmiş olan tavlama işlemleri uygulandıktan sonra beta kaynağı kullanılarak sırasıyla 0.165 Gy ve 2.82 Gy 'lik beta dozlarıyla ışınlanmışlardır. Bu işlemlerden sonra $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesi TLD okuyucu kullanılarak 195, 200 ve 205 °C sıcaklık değerlerine hızlı bir ısıtma yoluyla çıkarılıp bu sıcaklık değerlerinde belirli bir süre (300 s) bekletilmiş ve elde edilen TSL ışıma eğrilerinin verileri kaydedilmiştir. $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ dozimetrik malzemesi için aynı işlemler TLD okuyucu kullanılarak 230, 235 ve 240 °C sıcaklık değerlerinde kullanılmıştır.

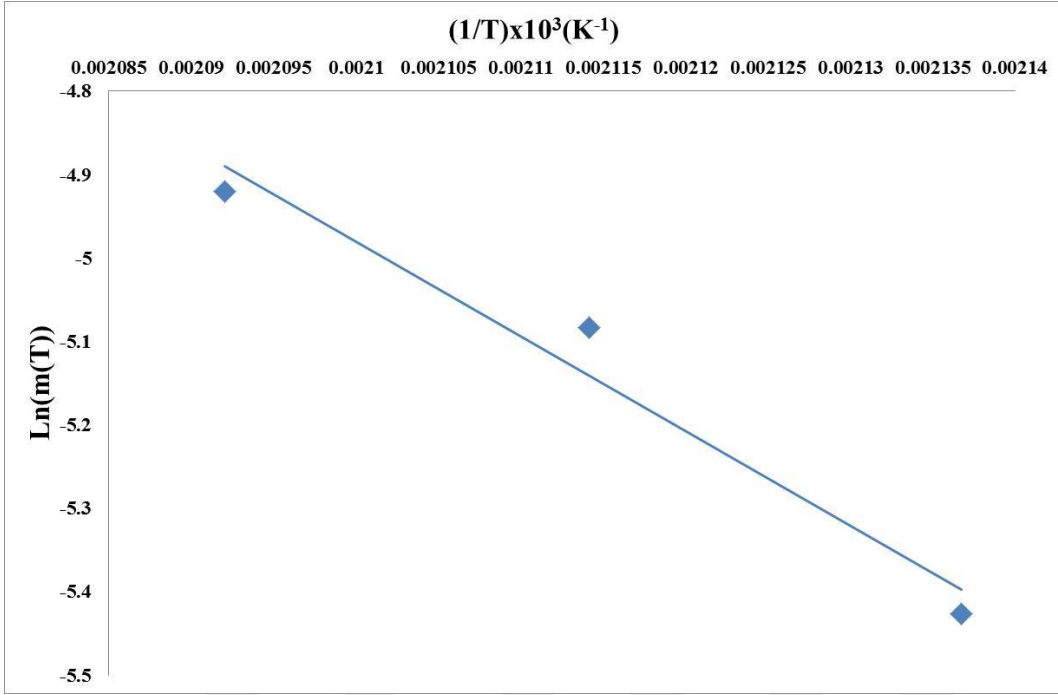
Bu yöntem kullanılarak elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda, malzemelerin aktivasyon enerjileri ve frekans faktörleri değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla bölüm 3.2.11.3 'te ayrıntılarıyla anlatılan ifadelerden yararlanılarak Şekil 4.63 ve Şekil 4.64 grafikleri çizilmiştir. TSL kinetik parametrelerinin değerlerinin hesaplanabilmesi için gerekli tüm veriler bu grafiklerden yararlanarak Şekil 4.65 ve Şekil 4.66 'da verilen grafikler çizilmiştir. Elde edilen bu grafiklerin eğimlerinin denklem 3.14 'te (3.Bölüm) kullanılmasıyla malzemelere ait aktivasyon enerjisi (E) değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, elde edilen eğim değerleri kullanılarak malzemelere ait frekans faktörü (s) değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14 'te gösterilmiştir.



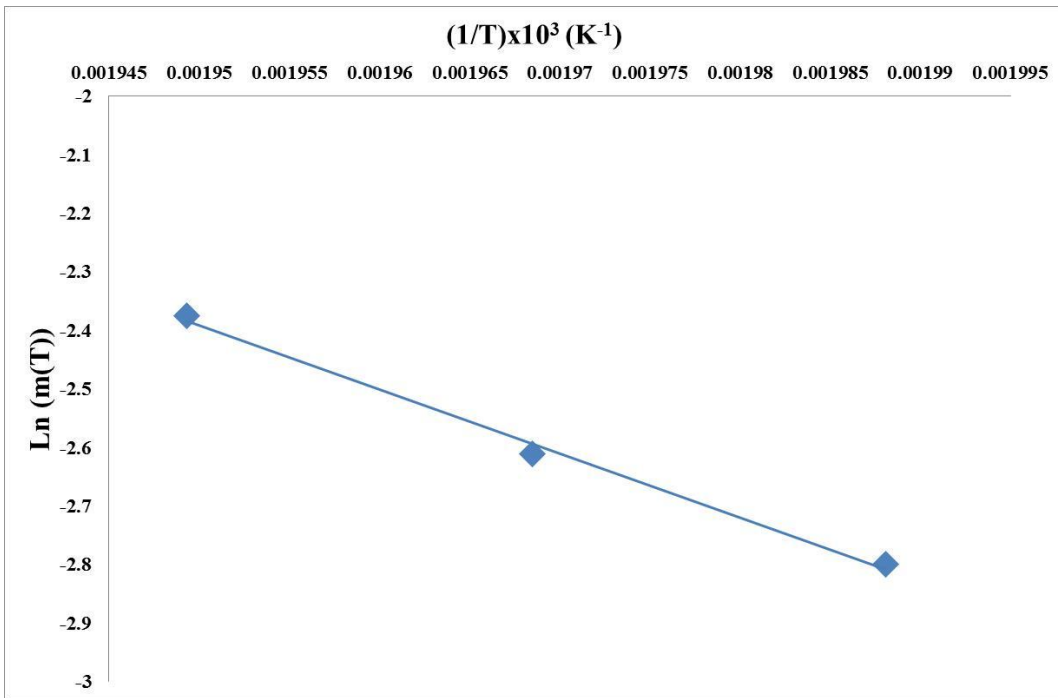
Şekil 4.63 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn} (\%1)$ malzemesinin 220 °C piki için elde edilen izotermal bozunma eğrileri.



Şekil 4.64 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin 250 °C piki için elde edilen izotermal bozunma eğrileri.



Şekil 4.65 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn} (\%1)$ malzemesinin 220°C piki için elde edilen $\ln(m(T))$ 'ye karşılık $1/T$ grafiği.



Şekil 4.66 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin 250°C piki için elde edilen $\ln(m(T))$ 'ye karşılık $1/T$ grafiği.

Çizelge 4.13 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin dozimetrik (ana) piki için izotermal bozunma yöntemiyle elde edilen deneysel verileri kullanılarak hesaplanmış olan aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri.

Malzemenin Adı	Aktivasyon Enerjisi (eV)	Frekans Faktörü (s^{-1})
$\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (% 1)	0,98	$5,4 \times 10^{11}$

Çizelge 4.14 $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin dozimetrik (ana) piki için izotermal bozunma yöntemiyle elde edilen deneysel verileri kullanılarak hesaplanmış olan aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri.

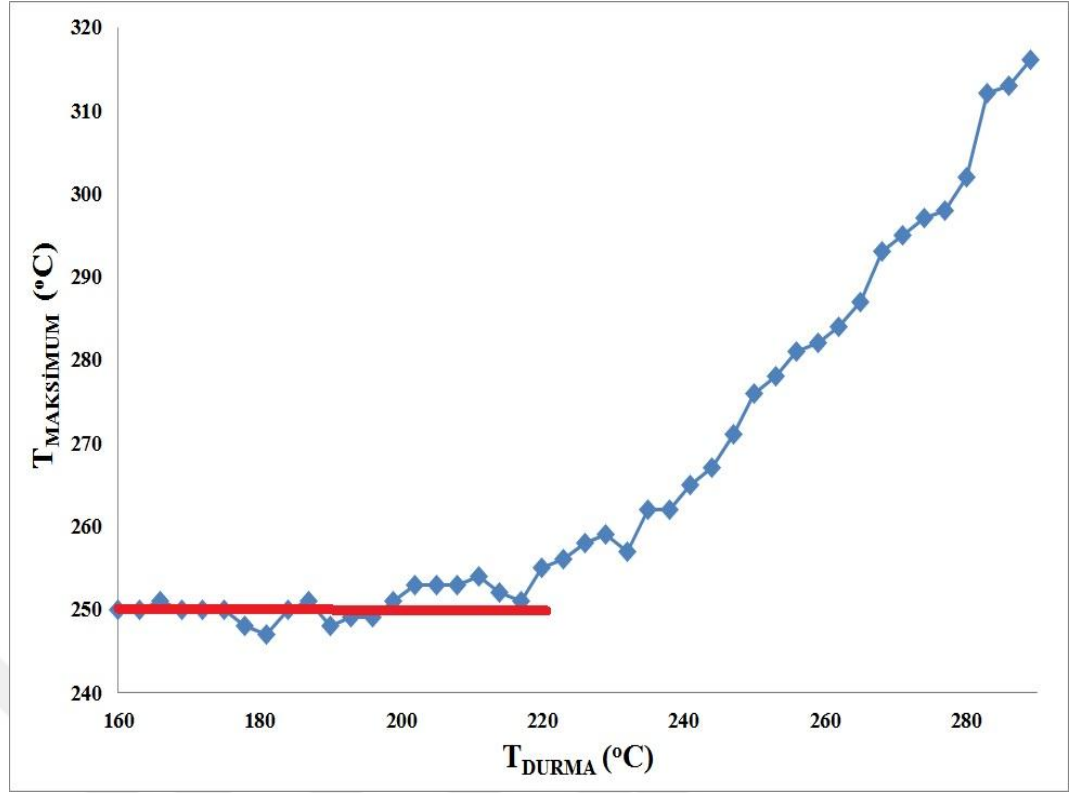
Malzemenin Adı	Aktivasyon Enerjisi (eV)	Frekans Faktörü (s^{-1})
$\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$	0,94	$2,25 \times 10^9$

4.9.4 $T_{\text{MAKSİMUM}}-T_{\text{DURMA}}$ Metodu Sonuçları

Tez çalışması için gerçekleştirilen deneysel çalışmalara ek olarak, $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin ışıma eğrisinin dozimetrik pikinin içerisinde kaç tane pik olduğunun belirlenebilmesi amacıyla $T_{\text{MAKSİMUM}}-T_{\text{DURMA}}$ metodu kullanılmıştır.

Bu yöntemde, her bir ışınlama işlemi öncesinde bakır ve tulyum katkılı kalsiyum sülfat dozimetrik malzemesi 30 dakika süre ile $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında tavlama işleminine maruz bırakılmış ve oda sıcaklığında bir süre bekletilmiştir. Daha sonra, dozimetrik malzeme her bir ölçüm için 165 mGy 'lik radyasyon dozuna maruz bırakılmıştır. Işınlama işleminden sonra, dozimetrik malzeme için $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $290\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik artışlarla T_{DURMA} olarak ifade edilen sıcaklık değerlerine kadar termal temizleme işlemi uygulanmıştır. Her bir T_{DURMA} sıcaklığındaki termal temizleme işleminden hemen sonra, $2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 'lik ısıtma hızı ile dozimetrik malzemenin ışıma eğrisi kaydedilmiştir. Daha sonra, bu metod için gerçekleştirilen tüm deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrilerinin T_{DURMA} sıcaklıklarına karşılık gelen $T_{\text{MAKSİMUM}}$ sıcaklık değerleri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bakır ve tulyum katkılı kalsiyum sülfat malzemesi için T_{DURMA} sıcaklıklarına karşılık gelen $T_{\text{MAKSİMUM}}$ sıcaklık grafiği Şekil 4.67 'de gösterilmiştir. $T_{\text{MAKSİMUM}}$ sıcaklık değeri T_{DURMA} sıcaklık değerinden küçük olduğu durumlarda ($T_{\text{DURMA}} < T_{\text{MAKSİMUM}}$), ikinci dereceden kinetiğe sahip olan malzemelerde Şekil 4.67 'de görüldüğü üzere $T_{\text{MAKSİMUM}}$ sıcaklık değeri sabit değerler alabilir ki bu E değerini temsil eder. Bununla birlikte, T_{DURMA} sıcaklık değerinin artmasıyla $T_{\text{MAKSİMUM}}$ sıcaklık değerinde de artış meydana gelebilir ($T_{\text{DURMA}} > T_{\text{MAKSİMUM}}$) hatta bu artış grafikte de görüldüğü üzere düzleşmiş merdiven yapısına da sahip olabilir (Mahesh vd., 1989). Bu ifadelerden ve Şekil 4.67 'den de anlaşılabacağı üzere, malzemenin ışıma eğrisinin $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki dozimetrik pikinin tek bir pikten meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 4.67 $CaSO_4 \cdot Cu, Tm$ malzemesi için T_{DURMA} sıcaklıklarına karşılık $T_{MAKSİMUM}$ sıcaklık grafiği.

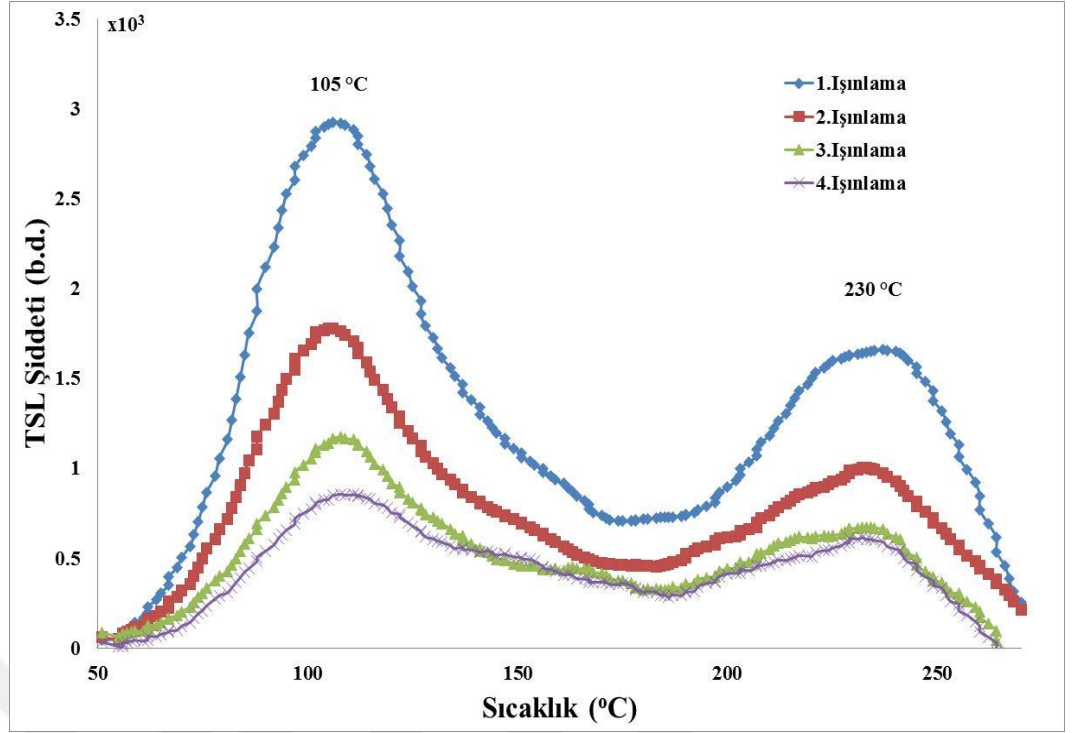
4.10 Foton Transferli Termolüminesans (PTTL) Sonuçları

Bir dozimetrik malzeme, doz ölçümleri için kullanılan uygun sıcaklık bandı aralığında bulunan (30-400 °C gibi) piklerden başka daha yüksek sıcaklıklarda boşaltılabilen derin tuzaklara sahip olabilir. Malzeme uygun dalgaboylu bir ışık ile uyarıldığında bu tuzaklarda depolanan yükler, dozimetrik pik olarak adlandırılan tuzaklara transfer edilebilir. Transfer edilen bu yüklerin miktarıda yine malzemenin maruz kaldığı radyasyon ile orantılıdır (McKeever, 1985).

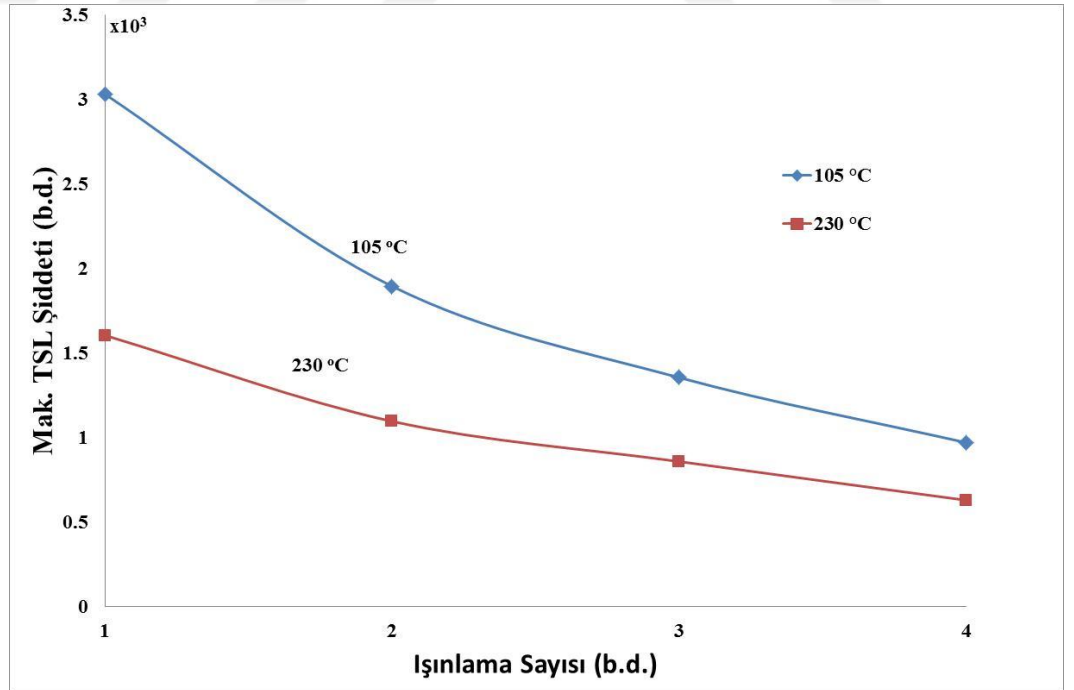
Bu tez çalışmasında dozimetrik amaçlı üretilmiş olan malzemelerin lüminesans özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiş olan lüminesans ölçümlerine ek olarak, dozimetrik potansiyele sahip olan malzemelerin foton transferli termolüminesans (PTTL) özellikleri de incelenmiştir.

4.10.1 UVB Işık Kaynağı Kullanılarak $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) Malzemesinden Elde Edilen PTTL Sonuçları

Bu çalışmada, %1 Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesi tavlandıktan sonra ^{90}Sr beta kaynağı ile yaklaşık olarak 2,82 Gy 'lik beta dozuna maruz bırakılmıştır. Daha sonra, TSL ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümden sonra, malzeme 20 dakika UVB lamba ile ışınlanmış ardından TLD okuyucu ile bir önceki ölçüm için kullanılan aynı ayarlarla TSL ölçümü alınmıştır. Malzeme herhangi bir ışınlama ya da tavlama yapılmadan üç kez daha 20 dakika UVB lambaya maruz bırakılmış ve bu ölçümlerden elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.68 'de gösterilmiştir. Şekilden de açıkça anlaşılabileceği üzere, malzemenin UVB lambaya maruz bırakılmasından sonra derin tuzaklardan sığ tuzaklara elektron transferi olduğu görülmektedir. Bu transfer sonucunda oluşan TSL ışıma eğrisinin, maksimum TSL şiddeti 105 °C ve 230 °C 'de olan iki farklı pik yapısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Aynı malzemenin beta ışınına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrisi ise, maksimum TSL şiddeti 85 °C ve 220 °C sıcaklık değerlerine karşılık gelen iki farklı pik yapısından oluştuğu gözlemlenmişti. Bunun nedeni, beta ışını ile UVB ışınının farklı tuzak yapıları üzerinde etkili olmasından dolayı olabilir. Bununla birlikte Şekil 4.68 'den de görüldüğü üzere, tekrarlanan her ölçüm sonrasında dozimetrik malzemenin derin tuzaklarından transfer olan elektron sayısında bir azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Söz konusu azalmanın daha net olarak görülebilmesi için her bir pikin TSL şiddetlerinin karşılaştırılması Şekil 4.69 'da gösterilmiştir. Bu şekildeki her bir pike ait eğrilerin eğimlerinden de anlaşılabileceği üzere, UVB ışığa maruz bırakılan malzemenin derin tuzaklarından transfer olan elektronlarının sayısında her bir ölçüm sonrasında azalma olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin birinci pikindeki (105 °C) bu azalma miktarının Dördüncü ölçüm sonucunda ~% 70 olduğu ikinci pikindeki (230 °C) azalma miktarının ise ~% 60 olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan kullanılan UVB kaynağında, dozimetrik malzemenin hem sığ hemde derin tuzaklarında bir yük birikimine de neden olabileceği göz ardı edilmemelidir çünkü ard arda UVB maruziyetinden sonra sinyal art ortam seviyesine inmemektedir.



Şekil 4.68 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn} (\%1)$ malzemesinin 2,82 Gy'lik beta ışınlanmasından sonra 4 kez arka araya 20 dakika uvb ışık kaynağına maruz bırakılması sonucunda malzemedan elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

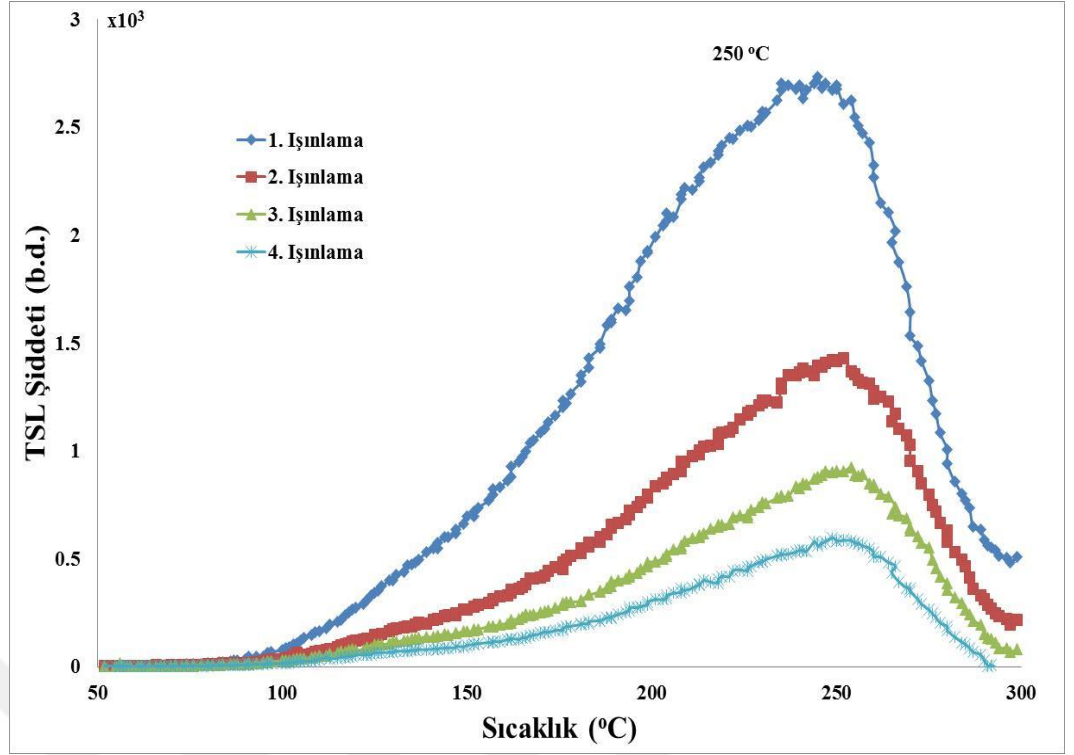


Şekil 4.69 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn} (\%1)$ malzemesinin 2,82 Gy'lik beta ışınlanmasından sonra UVB ışık kaynağı ile arka arkaya 4 kez 20 dakika süre ile ışınlanması sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrisindeki piklerin maksimum TSL şiddetlerinin ışınlama sayısına göre değişimi.

4.10.2 UVB Işık Kaynağı Kullanılarak $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) Malzemesinden Elde Edilen PTTL Sonuçları

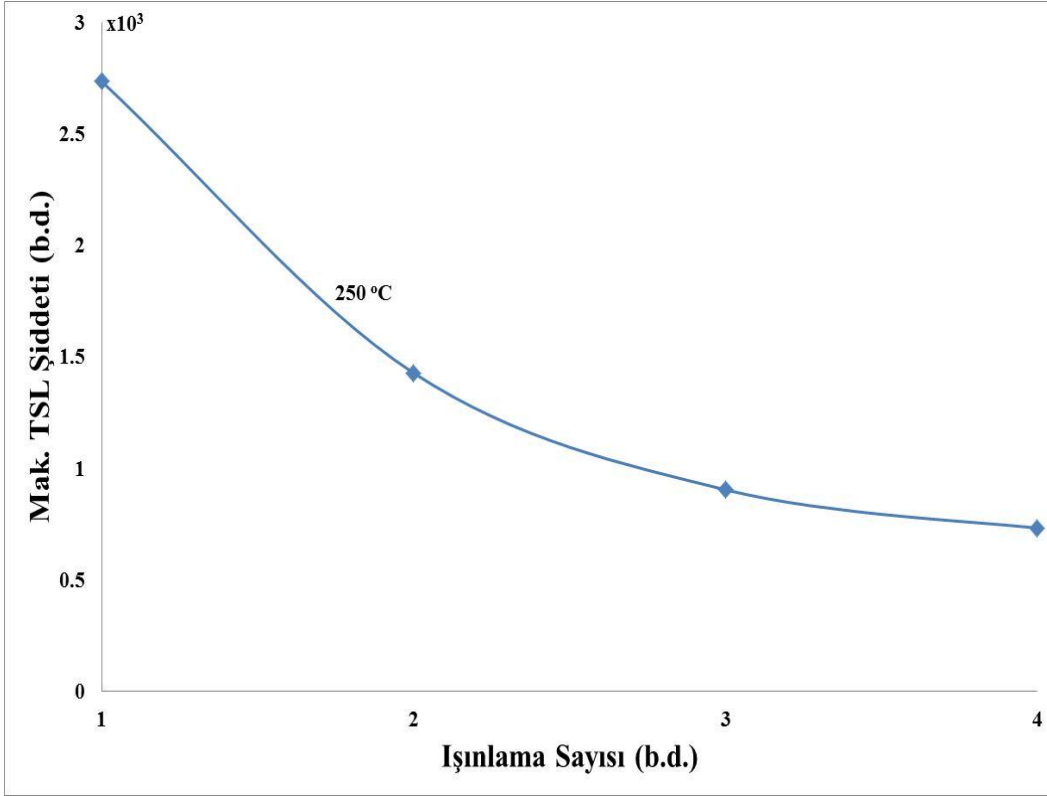
Uyartım kaynağı olarak UVB lambası ile %3 Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesi için de PTTL ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Malzeme uygun tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra ^{90}Sr beta kaynağı ile yaklaşık olarak 2,82 Gy 'lık beta dozuna maruz bırakılmış ve TSL ölçümü gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, malzeme 10 dakika süre UVB lamba ile ışınlanarak TLD okuyucu ile bir önceki ölçüm için kullanılan aynı ayarlarla TSL ölçümü alınmıştır.

Daha sonra, malzeme üç kez daha 10 dakika UVB lambaya maruz bırakılmış ve bu ölçümlerden elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.70 'de gösterilmiştir. Şekilden de açıkça anlaşılabileceği üzere, %3 Mn katkılı malzemenin de UVB lambaya maruz bırakılmasından sonra derin tuzaklarından sığ tuzaklara elektron transferi olduğu görülmektedir. Bu transfer sonucunda oluşan TSL ışıma eğrisinin, maksimum TSL şiddeti %1 Mn katkılı malzemeden farklı olarak 250 °C de olan bir pikten meydana geldiği tespit edilmiştir. Aynı malzemenin beta ışınına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma eğrisi ise, maksimum TSL şiddeti 130 °C sıcaklık değerlerine karşılık gelen ve 200 °C sıcaklığında bir omuza sahip bir pik yapısından oluştuğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, beta ışını ile UVB ışınının malzemenin farklı tuzak yapıları üzerinde etkili olmasından dolayı olabilir. Bununla birlikte Şekil 4.70 'den de görüldüğü üzere, tekrarlanan her ölçüm sonrasında derin tuzaklardan transfer olan elektron sayısında bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiş ve bunun daha da iyi anlaşılabilmesi için TSL ışıma pikinin maksimum sıcaklığına karşılık gelen TSL şiddetlerinin Şekil 4.71 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.70 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin 2,82 Gy'lik beta ışınlamasından sonra 4 kez arka arkaya 10 dakika UVB ışık kaynağına maruz bırakılması sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

Bu grafikteki dozimetrik pike ait eğrinin eğiminden de anlaşılacağı üzere, UVB ışığa maruz bırakılan %3 Mn katkılı malzemenin derin tuzaklarından transfer olan elektronlarının sayısında her bir ölçüm sonrasında azalma olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlarla ilgili olarak gerçekleştirilen teorik hesaplamalar sonucunda, %3 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin 250 °C pikiindeki azalma miktarının dördüncü ölçüm sonucunda ~% 75 olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan kullanılan UVB kaynağında, dozimetrik malzemenin hem sığ hemde derin tuzaklarında bir yük birikimine de neden olabileceği gözardı edilmemelidir, çünkü ard arda UVB maruziyetinden sonra sinyalin art ortam seviyesine inmediği gözlemlenmiştir.

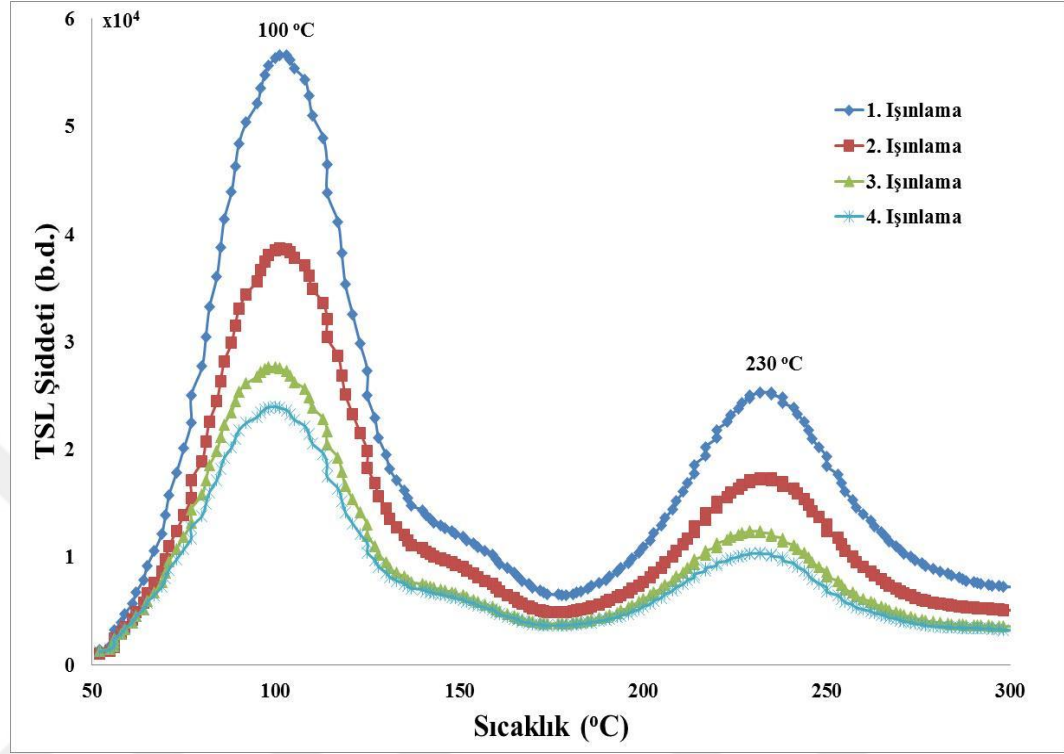


Şekil 4.71 CaB₄O₇:Mn (%3) malzemesinin malzemesinin 2,82 Gy'lik beta ışınlamasından sonra UVB ışık kaynağı ile 4 kez 10 dakika süre ile ışınlaması sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrisindeki pikin maksimum TSL şiddetlerinin ışınlama sayısına göre değişimi.

4.10.3 UVC Işık Kaynağı Kullanılarak CaB₄O₇:Mn (%1) Malzemesinden Elde Edilen PTTL Sonuçları

Malzemelerin derin tuzaklarının tespit edilmesi üzerine UVB lambası kullanılarak gerçekleştirilen PTTL çalışmalarına ek olarak uyartım kaynağı olarak UVC lambası kullanımı ile benzer bir çalışma %1 Mn katkılı CaB₄O₇ malzemesi içinde gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bu malzeme, uygun tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra ⁹⁰Sr beta kaynağı ile yaklaşık olarak 2,82 Gy 'lik beta dozuna maruz bırakılmış ve TSL ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerden hemen sonra, malzeme 10 dakika süre UVC lamba ile ışınlanmış akabinde TLD okuyucu ile bir önceki ölçüm için kullanılan aynı ayarlarla TSL ölçümü alınmıştır.

Daha sonra, malzeme üç kez daha 10 dakika UVC lambaya maruz bırakılmış ve bu ölçümlerden elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.72 'de gösterilmiştir.



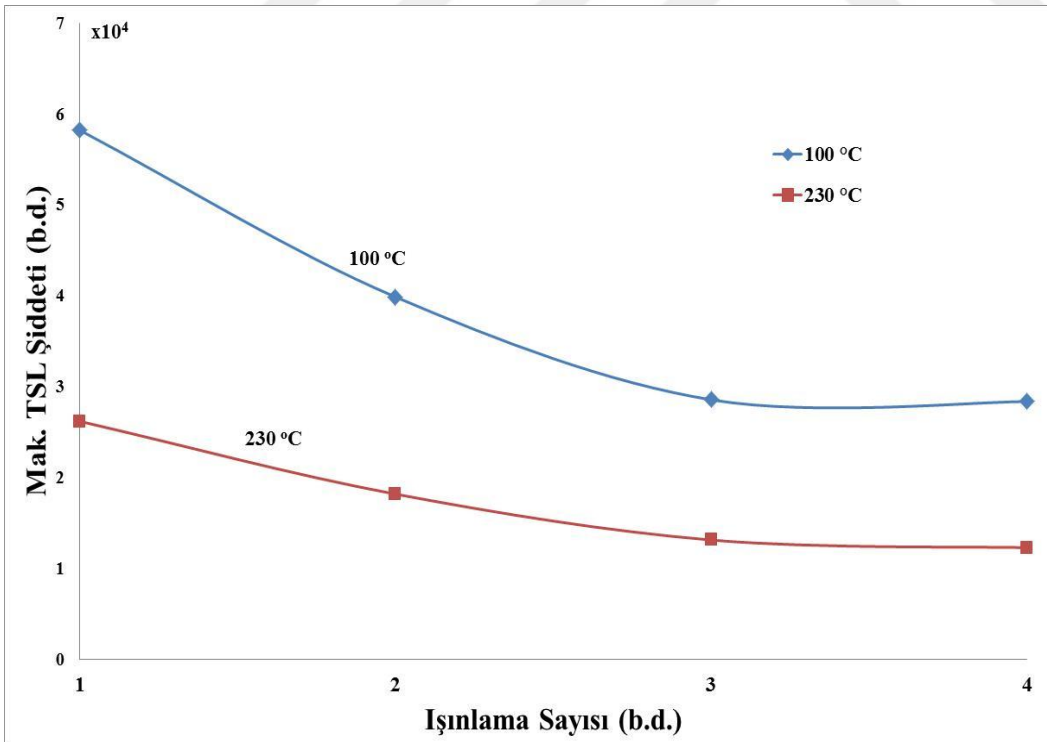
Şekil 4.72 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin malzemesinin 2,82 Gy'lik beta ışınlanmasından sonra 4 kez arka arkaya 10 dakika UVC ışık kaynağına maruz bırakılması sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

Şekilden de açıkça anlaşılacağı üzere, %1 Mn katkılı malzemenin de UVC lambaya maruz bırakılmasından sonra derin tuzaklarından sığ tuzaklara elektron transferi olduğu görülmektedir. Bu transfer sonucunda oluşan TSL ışıma eğrisinin, maksimum TSL şiddeti 100 °C ve 230 °C 'de olan iki farklı pik yapısından meydana geldiği belirlenmiştir. Bu transfer sonucunda oluşan TSL ışıma eğrisinin piklerinin, aynı malzeme için UVB ışık kaynağı kullanılarak elde edilen TSL ışıma eğrisiyle hemen hemen aynı yapıda olduğu olduğu yani iki ışık kaynağının da malzemenin aynı derin tuzak merkezleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Bununla birlikte, tekrarlanan her ölçüm sonrasında derin tuzaklardan transfer olan elektron sayısında aynı malzeme için UVB lamba kullanılarak elde

edilen sonuçlara benzer şekilde bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu olayın daha da iyi anlaşılabilmesi amacıyla TSL ışıma eğrisinin dozimetrik piklerinin maksimum sıcaklık değerlerine karşılık gelen TSL şiddetlerinin ışınlama sayısına göre değişimi, Şekil 4.73 'de gösterilmiştir. Bu grafikteki dozimetrik piklere ait eğrilerin eğiminden de anlaşılacağı üzere, UVC ışığa maruz bırakılan %1 Mn katkılı malzemenin derin tuzaklarından transfer olan elektronlarının sayısında her bir ölçüm sonrasında azalma olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen teorik hesaplamalar sonucunda, %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin ilk pikindeki (100 °C) bu azalma miktarının dördüncü ölçüm sonucunda ~% 50 olduğu ikinci pikindeki (230 °C) azalma miktarının ise aynı şekilde ~% 50 olduğu belirlenmiştir.

Diğer yandan kullanılan UVC kaynağında, malzemenin hem sığ hem dozimetrik hemde derin tuzaklarında bir yük birikimine de neden olabileceği göz ardı edilmemelidir çünkü ard arda UVC maruziyetinden sonra sinyalin art ortam seviyesine inmediği gözlemlenmiştir.

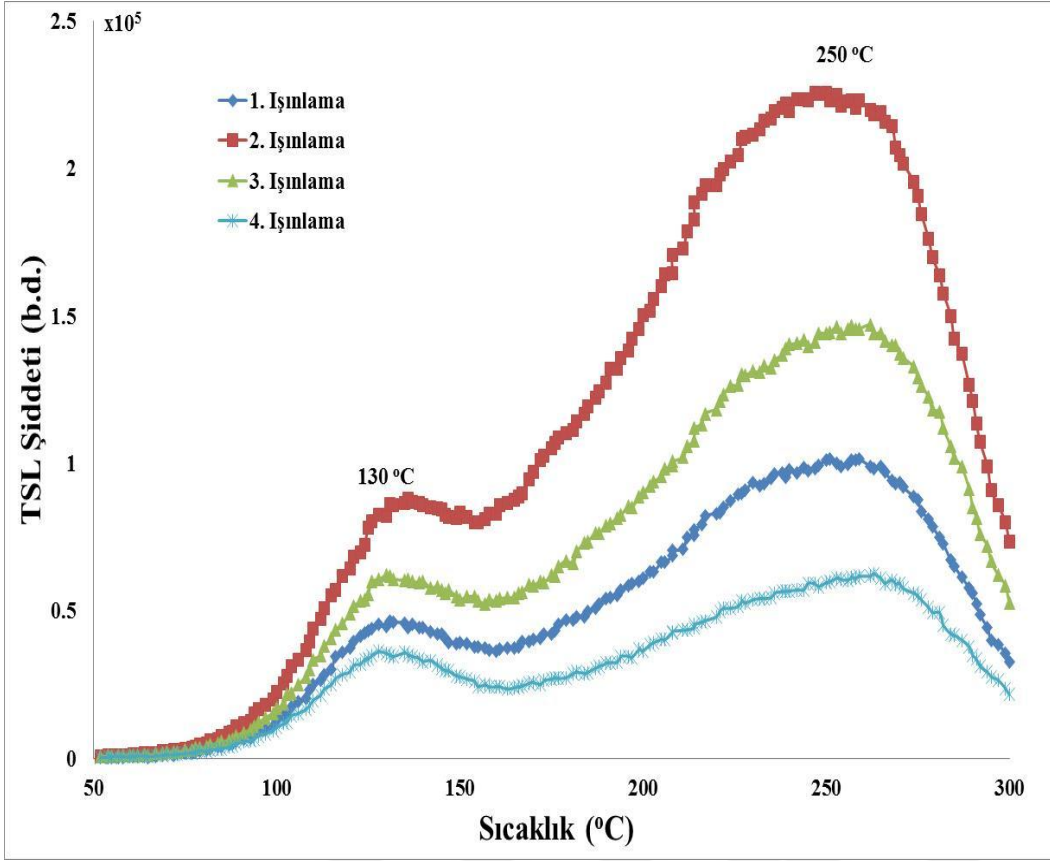


Şekil 4.73 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1) malzemesinin malzemesinin 2,82 Gy'lik beta ışınlamasından sonra UVC ışık kaynağı ile 4 kez arka arkaya 10 dakika süre ile ışınlaması sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrisindeki piklerin maksimum TSL şiddetlerinin ışınlama sayısına göre değişimi.

4.10.4 UVC Işık Kaynağı Kullanılarak $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3) Malzemesinden Elde Edilen PTTL Sonuçları

%3 Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesinin PTTL özelliklerinin incelenmesi için benzer bir çalışma UVC ışık kaynağı ile gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bu malzeme, uygun tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra ^{90}Sr beta kaynağı ile yaklaşık olarak 2,82 Gy 'lık beta dozuna maruz bırakılmış ve TSL ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerden hemen sonra, malzeme 10 dakika süre UVC lamba ile ışınlanmış akabinde TLD okuyucu ile bir önceki ölçüm için kullanılan aynı ayarlarla TSL ölçümü alınmıştır.

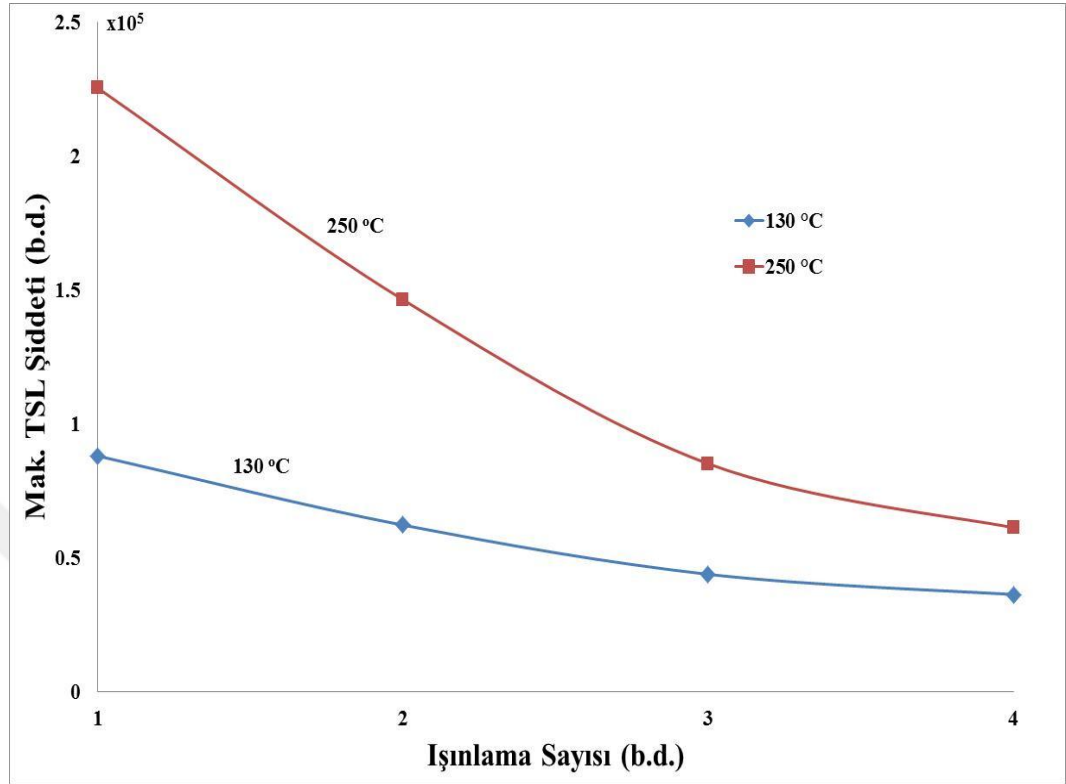
Daha sonra, malzeme üç kez daha 10 dakika UVC lambaya maruz bırakılmış ve bu ölçümlerden elde edilen TSL ısıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.74 'de gösterilmiştir. Şekilden de açıkça anlaşılabileceği üzere, %3 Mn katkılı malzemenin de UVC lambaya maruz bırakılmasından sonra derin tuzaklarından sıkı tuzaklara elektron transferi olduğu görülmektedir. Bu transfer sonucunda oluşan TSL ısıma eğrisinin, maksimum TSL şiddeti 130 °C ve 250 °C 'de olan iki pik yapısına sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.74). Malzemenin UVC lambaya maruz bırakılmasından sonra PTTL olayı sonucunda meydana gelen TSL ısıma eğrisinin 250 °C pikinin, aynı malzeme için UVB ışık kaynağı kullanılarak elde edilen TSL ısıma eğrisiyle hemen hemen aynı olduğu yani iki ışık kaynağının da malzemenin aynı derin tuzak merkezleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, UVC lamba etkisiyle PTTL olayı sonucunda oluşan 130 °C pikinin UVB lamba etkisiyle oluşmadığı yani UVB ışık kaynağının 130 °C pikinin bulunduğu sıcaklık bandı aralığındaki tuzak merkezleri üzerine bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 4.74 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin 2,82 Gy'lık beta ışınlamasından sonra 4 kez arka arkaya 10 dakika UVC ışık kaynağına maruz bırakılması sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

Bununla birlikte, tekrarlanan her ölçüm sonrasında derin tuzaklardan transfer olan elektron sayısında aynı malzeme için UVB lamba kullanılarak elde edilen sonuçlara benzer şekilde bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bunun daha da iyi anlaşılabilmesi için TSL ışıma eğrisinin dozimetrik pikinin maksimum sıcaklığına karşılık gelen TSL şiddetlerinin Şekil 4.75 'te gösterilmiştir. Bu grafikteki dozimetrik piklere ait eğrilerin eğiminden de anlaşılacağı üzere, UVC ışığa maruz bırakılan %3 Mn katkılı malzemenin derin tuzaklarından transfer olan elektronlarının sayısında her bir ölçüm sonrasında azalma olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen teorik hesaplamalar sonucunda, %3 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin birincipikindeki (130 °C) bu azalma miktarının dördüncü ölçüm sonucunda ~% 60 olduğu ikinci pikindeki (250 °C) azalma miktarının ise ~% 70 olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan kullanılan UVC kaynağında, malzemenin hem sığ hem dozimetrik hemde derin tuzaklarında bir

yük birikimine de neden olabileceği göz ardı edilmemelidir çünkü ard arda UVC maruziyetinden sonra sinyalin art ortam seviyesine inmediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.75 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin 2,82 Gy'lik beta ışınlamasından sonra UVC ışık kaynağı ile 4 kez arka arkaya 10 dakika süre ile ışınlaması sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrisindeki piklerin maksimum TSL şiddetlerinin ışınlama sayısına göre değişimi.

Farklı ışık kaynakları kullanılarak bu malzemeler ile gerçekleştirilen foton transferli termoluminesans (PTTL) deneysel çalışmaları sonucunda, %1 ve %3 mangan katkılı kalsiyum borat malzemesinin derin tuzaklara sahip olduğu belirlenmiştir.

Tez çalışması için sentezlenmiş olan $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$, $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4:\text{Cu}$ malzemelerin PTTL özelliklerinin olup olmadığının araştırılması amacıyla, UVB ve UVC ışık kaynakları kullanılarak benzer deneysel çalışmalar bu malzemeler içinde gerçekleştirilmiş fakat bu malzemelerin PTTL özelliklerinin olmadığı yani derin tuzaklara sahip olmadıkları belirlenmiştir.

4.11 Radyolüminesans (RL) Sonuçları

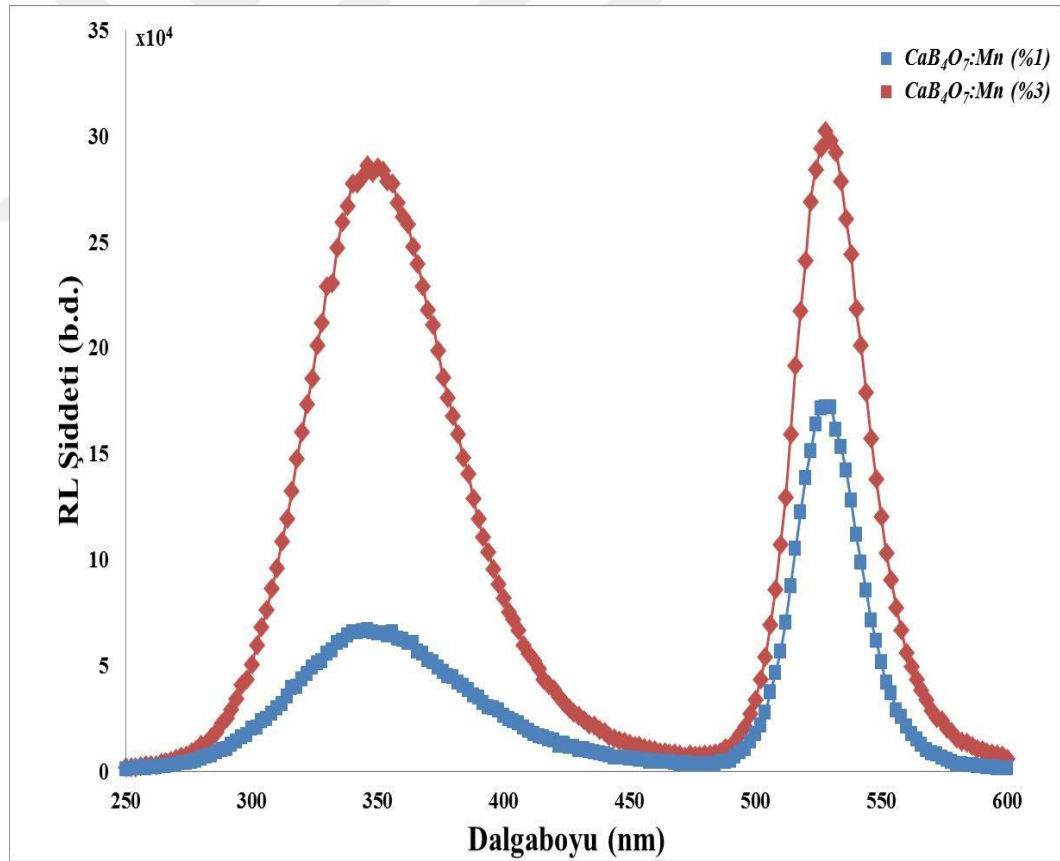
Katı bir malzemeyi incelemek için lüminesans yöntemini kullanmanın en önemli üstünlüğünden birisi, malzemenin örgü yapısı içinde bulunabilecek ppm ya da daha düşük konsantrasyondaki safsızlıklarının varlığını gösterebilmesidir. Bununla birlikte, lüminesan olayı sonucunda elde edilen spektral dağılımı sadece farklı kusur merkezleri arasında ayırım yapamayabilir fakat malzemenin örgü yapısı içerisindeki küçük değişimleri ortaya çıkarabilir (Oğuz vd., 2016).

Bu tez çalışmasında, dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş olan malzemelerin yayınladıkları emisyon piklerinden yararlanılarak sahip oldukları safsızlıkların varlığını görmek amacıyla radyolüminesans tekniği kullanılmıştır. Bu çalışma, Enstitümüz bünyesinde bulunan lüminesans laboratuvarındaki RL cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen RL çalışmasında, malzemeler 1,1 mA ve 30 kV altında çalışan bir X-ışını ünitesi ile oda sıcaklığında malzemelerin verdiği emisyonlar kaydedilmiştir.

4.11.1 $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) ve $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) Malzemelerinin RL Sonuçları

Mn^{2+} gibi geçiş metali iyonları, lüminesans materyaller arasında çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Mn^{2+} iyonu, 490 ile 750 nm dalgaboyu aralığında geniş bir emisyon spektrumu verir (Oğuz vd., 2016). Yarı iletken ya da yalıtkan bir malzemenin örgü yapısına katkılanmış olan Mn^{2+} iyonunun verdiği emisyon, malzemenin örgü yapısına göre farklılık gösterebilir. Bunun nedeni, geçiş metali olan Mn^{2+} iyonunun en dış yörüngesinde bulunan elektronlarının düzeyleri arasındaki geçişlerden dolayı meydana gelen emisyonlardır. Sonuç olarak Mn^{2+} iyonlarının, katkılanmış oldukları yarı iletken ya da yalıtkan bir malzemenin kristal yapısının oluşturduğu potansiyelden şiddetli bir şekilde etkilendiği söylenebilir.

Mn^{2+} iyonu katkılı malzemelerle gerçekleştirilmiş olan çalışmalardan, Mn^{2+} iyonunun $3d^5$ çoklu enerjilerinin kuvvetli bir şekilde malzemenin kristal alanı ya da örgü yapısı ile kovalens etkileşime sahip olduğu bilinmektedir. Geçiş elementlerinin iyonları için 3d orbitalleri, 4s orbitallerine göre daha düşük enerjiye sahiptirler. Bu yüzden, en dış temel enerji düzeyine sahip olanlar 3d orbitalleridir. Tetrahedral koordinasyonda Mn^{2+} iyonları yeşil emisyon verirken, oktohedral koordinasyonda Mn^{2+} iyonları turuncudan kırmızıya bir emisyon gösterirler. Şekil 4.76 'da, yeni üretilmiş %1 ve %3 Mn katkılı kalsiyum borat malzemeleri için 250-600 nm dalgaboyu aralığında tarama yapılarak oda sıcaklığında gerçekleştirilen RL ölçümünlerinden elde edilen RL spektrumları ve bunların karşılaştırılmaları gösterilmektedir. Bu spektrumdan anlaşılabacağı üzere, malzemenin 330 nm de geniş bir band ve 530 nm de dar bir band olmak üzere iki ayrı band yapısının olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.76 $CaB_4O_7:Mn$ (%1) ve $CaB_4O_7:Mn$ (%3) malzemelerinin RL spektrumlarının karşılaştırılması.

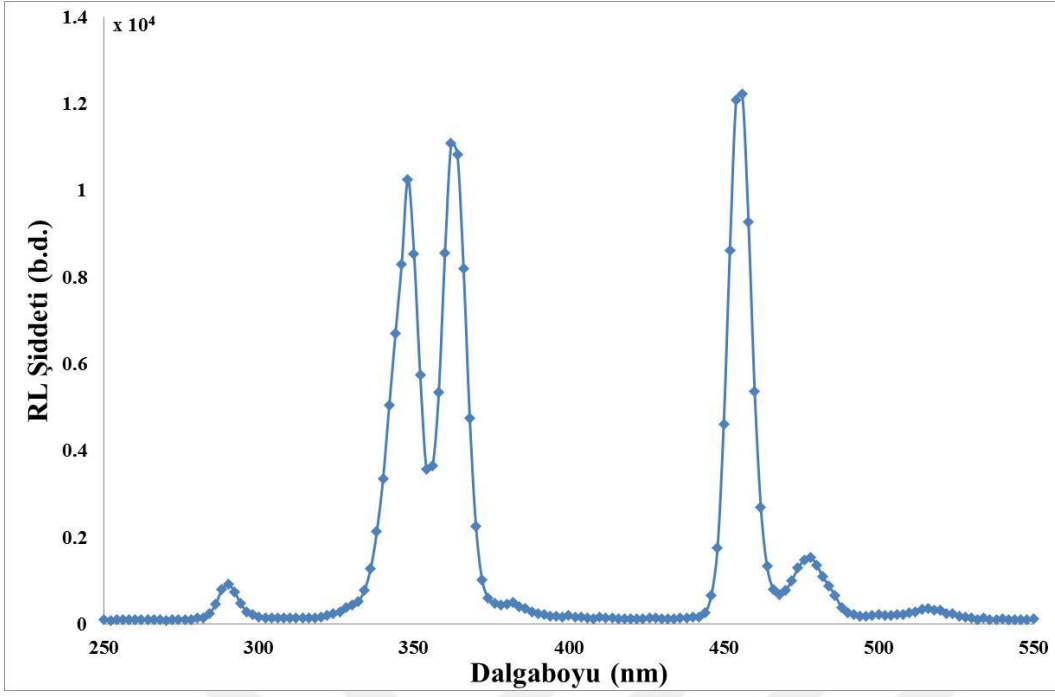
Elde edilen RL spektrumunda gözlemlenen 530 nm dalga boyuna sahip olan band yapısının, Mn^{2+} iyonunun mevcut örgü yapısı içerisindeki $^4T_1(^4G) \rightarrow ^6A_1(^6S)$ geçişinden dolayı gözlemlenen bir emisyon olduğu belirlenmiştir. Bu durum, görünür spektrumun mavi ve yeşil bölgesinde bir emisyon gösterir. Bunlara ek olarak %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinde gerçekleşen RL olayı, Mn^{2+} iyonunun varlığını baskın bir şekilde göstermiştir. Bilindiği üzere RL olayı, valans bandı ve iletkenlik bandındaki elektronların tekrar birleşme olayı sonucunda oluşur. Örnek vermek gerekirse bu olay, Mn^{2+} iyonunda ya da yakınında kendiliğinden tuzaklanmış bir eksiton (STE) oluşumundan ve tekrar birleşme ve Mn^{2+} iyonuna enerji transferi sonucunda Mn^{2+} emisyonu olarak ortaya çıkabilir. Diğer bir ifade ile X-ışını ile malzemenin ışınlanması esnasında Mn^{2+} iyonlarının lüminesans olayında iki olası durum mevcuttur. Elektron boşluk çifti oluşturulduğunda, Mn^{2+} iyonları başlangıçta Mn^{3+} iyonları oluşturacak şekilde bir boşluk çeker daha sonra iletkenlik bandından bir elektronun yakalanması sonucunda tekrar birleşme ve Mn^{2+} iyonlarının taban duruma geçiş olayı oluşur. Birinci olası durumun aksine ikinci olası durumda ise, Mn^{2+} iyonları tarafından iletkenlik bandından bir elektronun tuzaklanma olasılığı mevcuttur. Bu olay sonucunda, Mn^{2+} iyonları valans bandında bulunan bir boşlukla ışınlı geçiş yaparak birleşir ve taban duruma geçer (Oguz vd., 2016).

Yeni üretilmiş %1 ve %3 Mn katkılı malzemeye ait RL spektrumunun 350 nm de gözlemlenen geniş emisyon bandı ile ilgili olarak, bu emisyon bandının oksijen eksikliği merkezleri (ODC) ve köprü olmayan oksijen boşluk merkezlerinden (NBOHC) dolayı oluşmuş olabilir. Bu özellik, açık hava ortamında yüksek sıcaklıkta sentezlenmiş olan kalsiyum tabanlı fazlarının UV-mavi lüminesans emisyonuna benzer. Kömürler ve grafitlerle gerçekleştirilen CL ölçümleri sonucunda, bu malzemelerin C-OH bağları ile ilişkili olan köprü olmayan oksijen boşlukları ile ilişkili ~325 nm dalgaboyunda sahip yaygın bir katodoluminesans (CL) emisyonu gözlemlenmiştir (Kostova vd., 2012). Katkısız kalsiyum karbonat malzemesinin CL ölçümü sonucunda elde edilen spektrumunun, ~360 nm dalgaboyuna sahip (Ca-OH) büyük bir pik ile ~330 nm - ve 400 nm dalga boylarında sırasıyla (C-OH) ve (Ca-OH) omuzlarından oluştuğu gözlemlenmiştir (Oguz vd., 2016).

Farklı oranlarda Mn katkılı kalsiyum borat malzemesi için gerçekleştirilen RL spektrumlarının karşılaştırılması sonucuna göre, malzemenin örgü yapısındaki katkı oranı arttıkça malzemenin RL spektrumuna ait iki farklı band yapısında her hangi bir değişiklik olmadığı fakat spektrumdaki piklerinin RL şiddetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, malzemeye katkılanmış olan Mn iyonlarının sayısının artması sonucunda %3 Mn katkılı malzemenin RL spektrumunda gözlemlenen 350 nm dalga boyuna sahip bandının şiddetindeki artışın 530 nm dalgaboyuna sahip bandına göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuca göre, malzemeye katkılanmış olan Mn^{2+} iyonlarının miktarının artmasıyla köprü olmayan oksijen boşluk merkezlerinden (NBOHC) dolayı oluşan UV-mavi lüminesans emisyonunun Mn^{2+} iyonlarının oluşturduğu emisyonlara göre daha baskın olduğu gözlemlenmiştir (Oğuz vd., 2016).

4.11.2 $CaSO_4:Cu,Tm$ Malzemesinin RL Sonuçları

Yeni üretilmiş Cu ve Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemesi için 250-550 nm dalgaboyu aralığında gerçekleştirilen tarama sonucunda elde edilen RL spektrumu, Şekil 4.77 'de gösterilmiştir. Bu RL spektrumu incelendiğinde, spektrumun 290 nm, 340 nm, 360 nm, 455 nm, 480 nm ve 515 nm de altı emisyonundan oluştuğu gözlemlenmektedir. Daha önce değinildiği üzere, farklı ev sahibi örgülerde katkılanmış olan Cu^+ iyonlarının verdiği emisyonlar 370 nm civarındadır (Patra G.D vd., 2012). Bununla birlikte, Kelemen vd. (2013) tarafından 350 nm dalgaboyuna sahip emisyon pikinin malzemenin örgü yapısının kusurlarından dolayı meydana geldiği belirtilmiştir. Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemesiyle gerçekleştirilen başka bir çalışmada da benzer emisyon spektrumun elde edildiği ifade edilmiştir (Lewandowski vd., 1996). Bu çalışmada Cu ve Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemesi ile elde edilen RL spektrumu incelendiğinde ise, spektrumu oluşturan emisyon piklerinin Tm iyonundan dolayı oluştuğu bununla birlikte 340 ve 360 nm deki Tm piklerine belki bir miktar Cu iyonundan bir miktar katkı gelmiş olabilir.

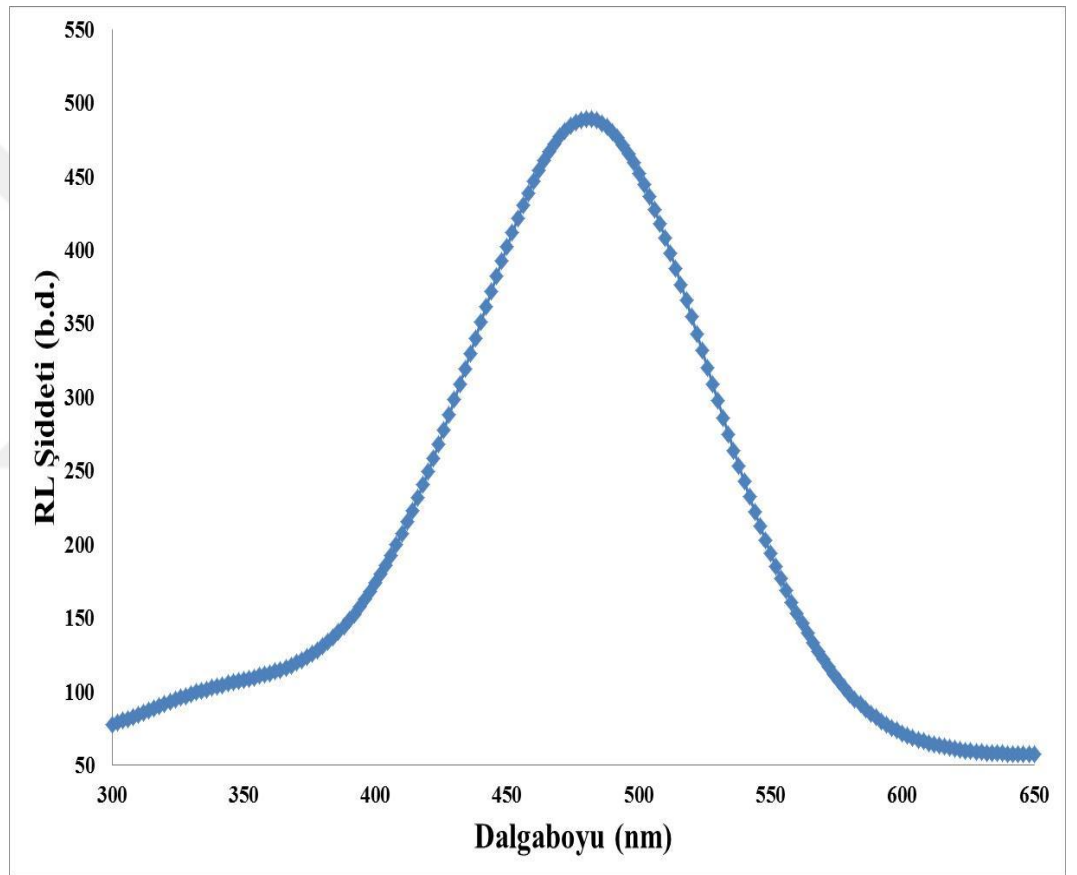


Şekil 4.77 Cu ve Tm katkılı CaSO₄ malzemesi için elde edilen RL spektrumu.

Şekil 4.77 'deki RL spektrumunda gözlemlenen 290 nm, 340 nm, 360 nm, 455 nm, 480 nm ve 515 nm dalga boylarındaki emisyonların, Tm⁺³ katkı iyonlarının sırasıyla, $^3P_0 \rightarrow ^3H_6$, $^3P_0 \rightarrow ^3H_4$, $^1D_2 \rightarrow ^3H_6$, $^1D_2 \rightarrow ^3H_4$, $^1G_4 \rightarrow ^3H_6$ ve $^1D_2 \rightarrow ^3H_5$ geçişlerinden kaynaklanmış olup bu sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalar ile uyum içerisindedir (Karalı vd., 1998)

4.11.3 CaSiO₄:Cu Malzemesinin RL Sonucu

Bu çalışmalara ek olarak, Şekil 4.78 'de bakır katkılı kalsiyum silikat malzemesi için 300-650 nm aralığında gerçekleştirilen tarama sonucunda elde edilen RL spektrumu gösterilmektedir. Şekilden anlaşılacağı üzere, malzemenin RL spektrumunda 480 nm dalya boyunda geniş bir band yapısının olduğu gözlemlenmiştir. Bu emisyonun, kalsiyum silikat malzemesine katkılanan bakır iyonlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

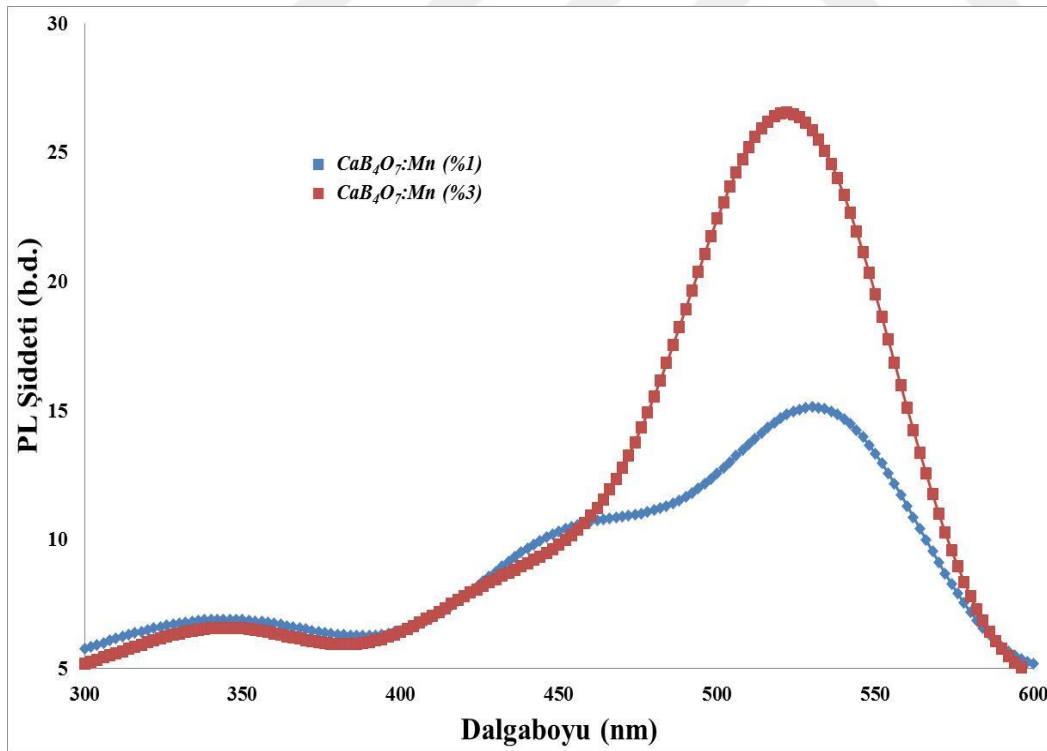


Şekil 4.78 CaSiO₄:Cu malzemesinin oda sıcaklığında kaydedilen RL spektrumu.

4.12. Fotolüminesans (PL) sonuçları

Dozimetrik amaçlı üretilmiş olan malzemelerin katkılarının emisyon spektrumlarının belirlenebilmesi amacıyla gerçekleştirilen lüminesans çalışmalarından bir diğerinin ise fotolüminesans (PL) olduğu hakkında daha önce değinilmişti. Bu çalışma için Enstitümüz bünyesinde bulunan lüminesans laboratuvarındaki PL cihazı kullanılmış ve malzemeler 337 nm dalgaboyuna sahip darbeli azot (N_2) lazer kaynağı ile ışınlanmışlardır.

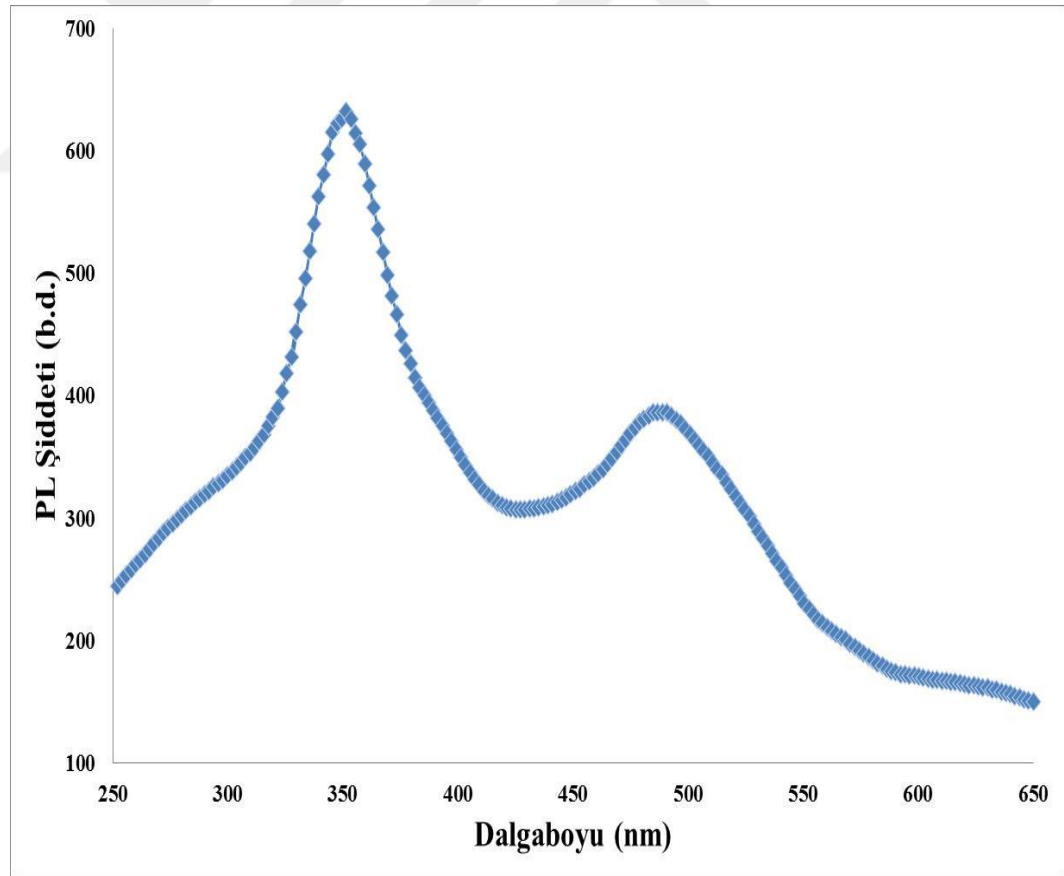
Yeni üretilmiş %1 ve %3 mangan katkılı kalsiyum borat malzemeleri için 300-600 nm dalgaboyu aralığında gerçekleştirilen tarama sonucunda elde edilen PL spektrumlarının karşılaştırılması Şekil 4.79 'da gösterilmiştir. Taramalı PL yöntemi ile %1 ve %3 mangan katkılı kalsiyum borat malzemeleri için elde edilen PL spektrumları incelendiğinde, bu spektrumların 530 nm de bir band yapısından oluştuğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.79 $CaB_4O_7:Mn$ (%1) ve $CaB_4O_7:Mn$ (%3) malzemelerinin PL spektrumlarının karşılaştırılması.

Bu malzemeler için taramalı PL yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen PL spektrumlarının da aynı dalga boyunda bir band yapısına sahip olmasından dolayı, bu pikin malzemelerin örgü yapısı içerisine katılanmış olan Mn iyonlarından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada ayrıca bakır ve tulyum katkı kalsiyum sülfat malzemesinin PL spektrumunun belirlenebilmesi amacıyla, 250-650 nm aralığında gerçekleştirilen taramalı radyolüminesans yöntemi sonucunda elde edilen PL spektrumu Şekil 4.80 'de gösterilmiştir. Elde edilen bu PL sepektrumu incelendiğinde, bu spektrumun 350 nm de dar bir band yapısı ile 480 nm civarında geniş bir band yapısına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Elde edilen sonuçlar bu malzeme için elde edilen RL spektrumu ile hemen hemen benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir.

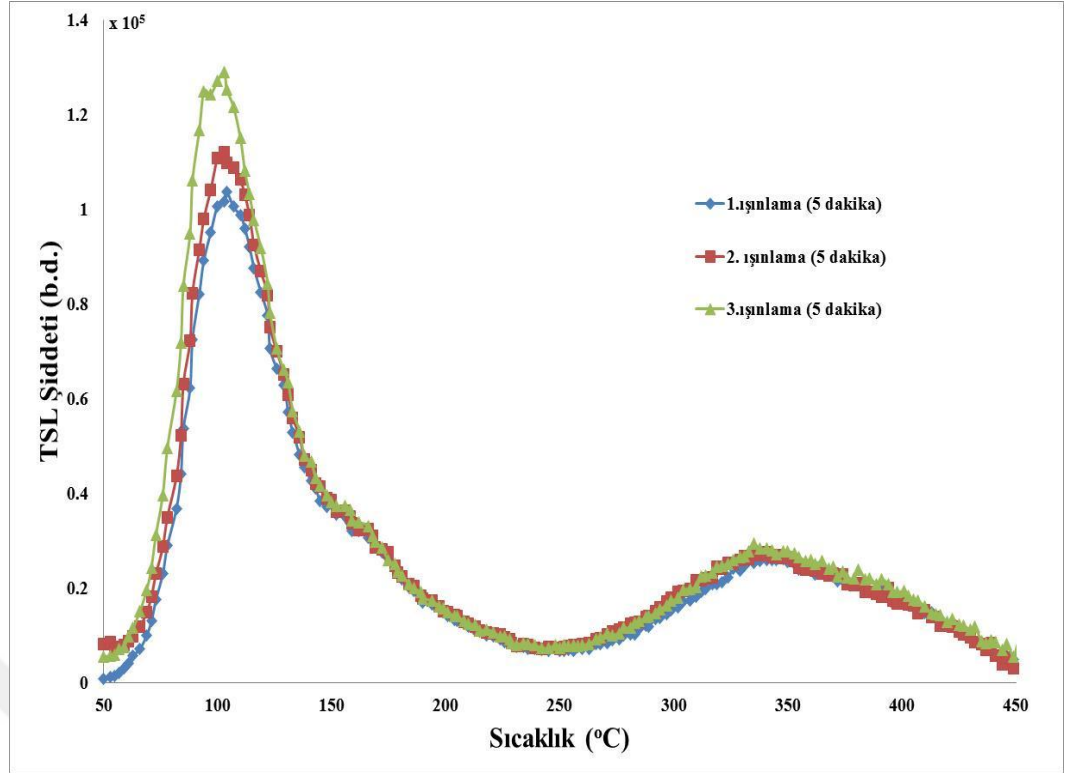


Şekil 4.80 CaSO₄:Cu,Tm malzemesine ait PL spektrumu.

4.13 Farklı Işık Kaynağı Kullanılarak Gerçekleştirilen Çalışmalar

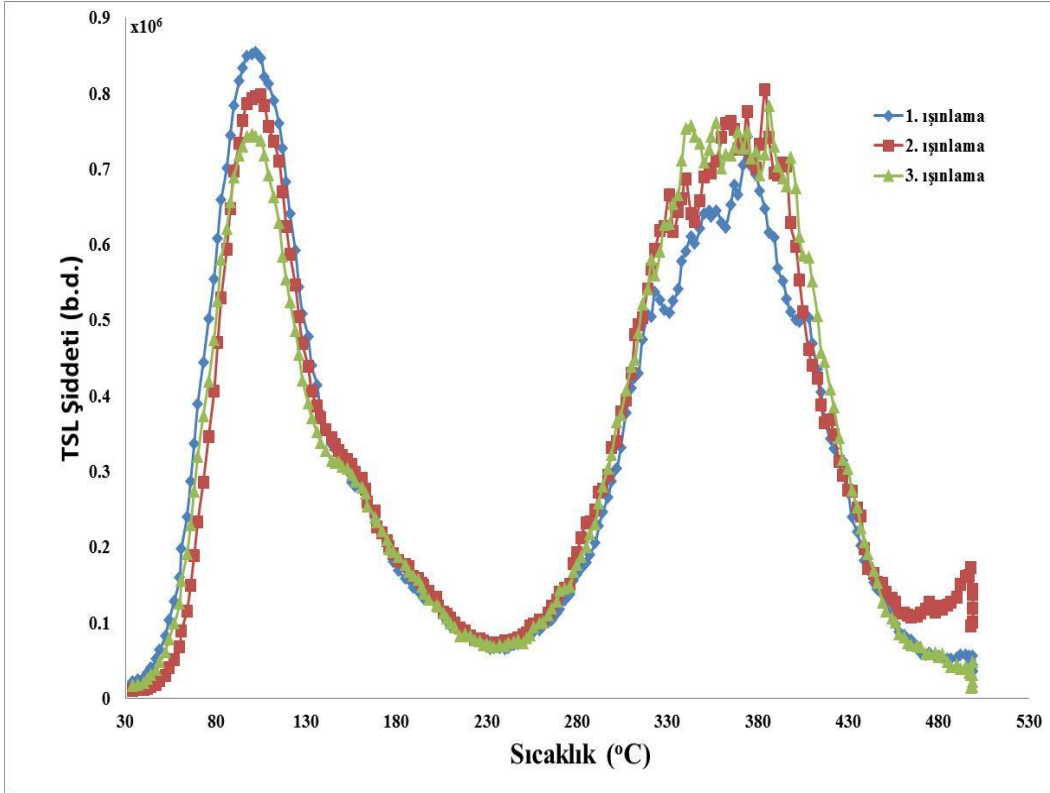
Bu tez çalışmasında dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere sentezlenmiş $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%1), $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ (%3), $\text{CaSO}_4\text{:Cu,Tm}$ ve $\text{CaSiO}_4\text{:Cu}$ malzemelerinin birçok lüminesans özelliği incelendikten sonra, bunlar arasında UVB ve UVC ışık kaynaklarına lüminesans cevap veren malzemelerin olup olmadığı ile ilgili deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin hem UVB hem de UVC ışık kaynaklarına lüminesans cevap verdiği fakat diğer malzemelerin herhangi bir lüminesans cevap vermediği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra bu ışık kaynaklarıyla çalışılan alanlardaki doz çalışmaları için bu malzemenin dozimetrik amaçlı kullanılabilir olup olmadığı ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesi için gerekli tavlama işlemleri uygulandıktan sonra bir süre oda sıcaklığında malzeme bekletilmiş akabinde 5 dakika UVB ışık kaynağına maruz bıraktıktan sonra 5 °C/s ısıtma hızı kullanılarak malzemeye ait TSL ışıma eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen verilere göre, malzemenin TSL ışıma eğrisinin 100 °C ve 340 °C 'de iki pik ile 170 °C 'de bir omuzdan oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 4.81). Daha sonra bu malzemenin UVB lamba ile gerçekleştirilebilecek çalışmalarda kararlı bir yapıya sahip olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla, malzeme tavlama işlemine maruz bırakıldıktan sonra 5 dakika UVB lambaya maruz bırakılmış ve akabinde TLD okuyucu kullanılarak 5 °C/s ısıtma hızıyla malzemenin TSL ışıma eğrisi elde edilmiştir. Daha sonra, bu işlemler iki kez daha aynı şekilde tekrar edildikten sonra elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.81 'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre malzemenin kararlı bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.



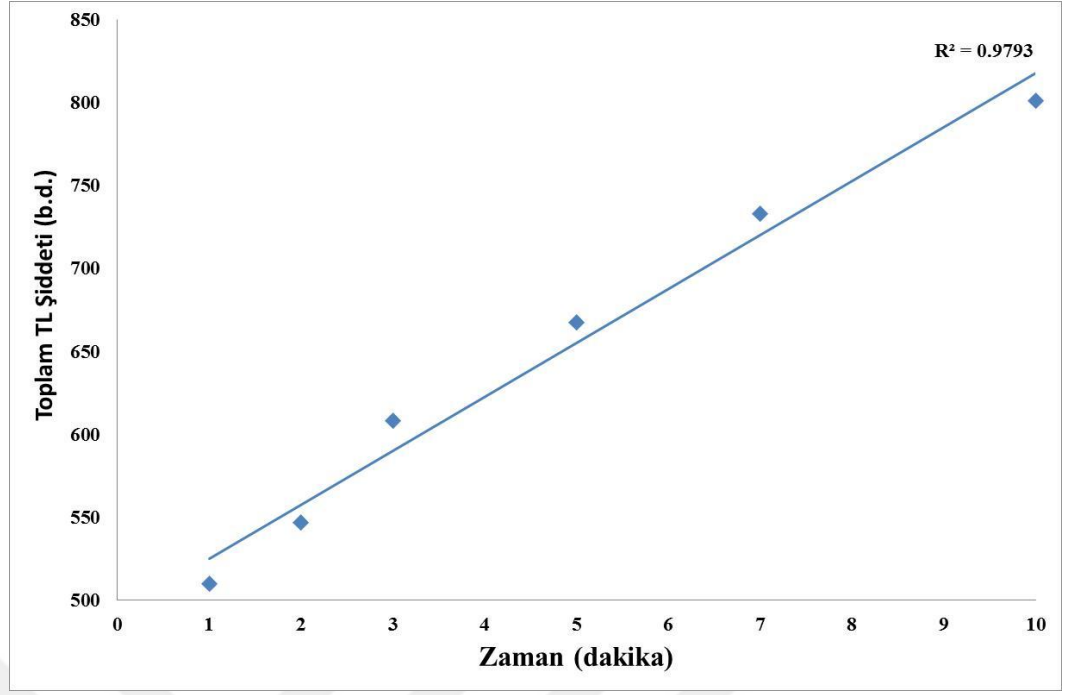
Şekil 4.81 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin üç kez 5 dakika UVB ışık kaynağına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TL ışıma şiddeti eğrilerinin karşılaştırılması

Daha sonra aynı malzeme UVC ışık kaynağına tavlama işlemi gerçekleştirildikten sonra maruz bırakılmış ve 5 °C/s ısıtma hızı kullanılarak TSL ışıma eğrisi elde edilmiş. Elde edilen TSL ışıma eğrisi verilerine göre, malzemenin 85 °C ce 360 °C de iki pik ve 150 °C de bir omuzdan oluştuğu belirlenmiştir. Bu çalışmadan sonra malzemenin UVC ışık kaynağı ile çalışılan ortamlarda kararlı olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla, malzeme tavlama işlemine maruz bırakılmış ve sonrasında 5 dakika UVC ışık kaynağı ile ışınlanmıştır. Bu işlemlerden hemen sonra malzeme için TLD okuyucuda gerekli ayarlamalar yapılmış ve 5 °C/s ısıtma hızı ile malzemeye ait TSL ışıma eğrisi elde edilmiştir. Daha sonra bu işlem iki kez daha aynı koşullar altında tekrarlanmış ve elde edilen veriler kaydedildikten sonra malzemeye ait TSL ışıma eğrileri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.82). Elde edilen sonuçlar doğrultusunda malzemenin UVC ışık kaynağına karşı kararlı bir yapıda olduğu belirlenmiştir.

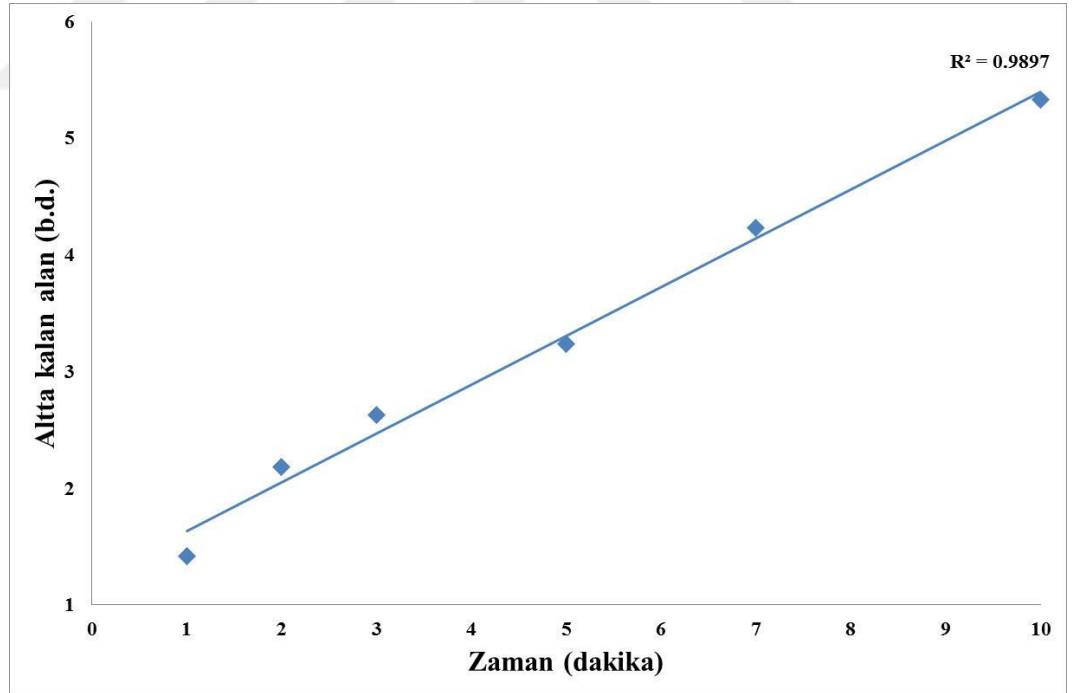


Şekil 4.82 $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesinin üç kez 5 dakika UVC ışık kaynağına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TL ışıma şiddeti eğrilerinin karşılaştırılması.

Bu çalışmalardan sonra malzemenin UVB ve UVC ışık kaynakları için doz cevap eğrilerinin belirlenebilmesi amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.83 ve Şekil 4.84 'de gösterilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda Tm katkılı kalsiyum karbonat malzemesinin hem UVB hem de UVC lambaları ile çalışılan alanlarda belirlenen doz aralığında kullanılabilir olduğu ve doz cevap eğrilerinin lineer bir yapıda olduğu tespit edilmiştir.

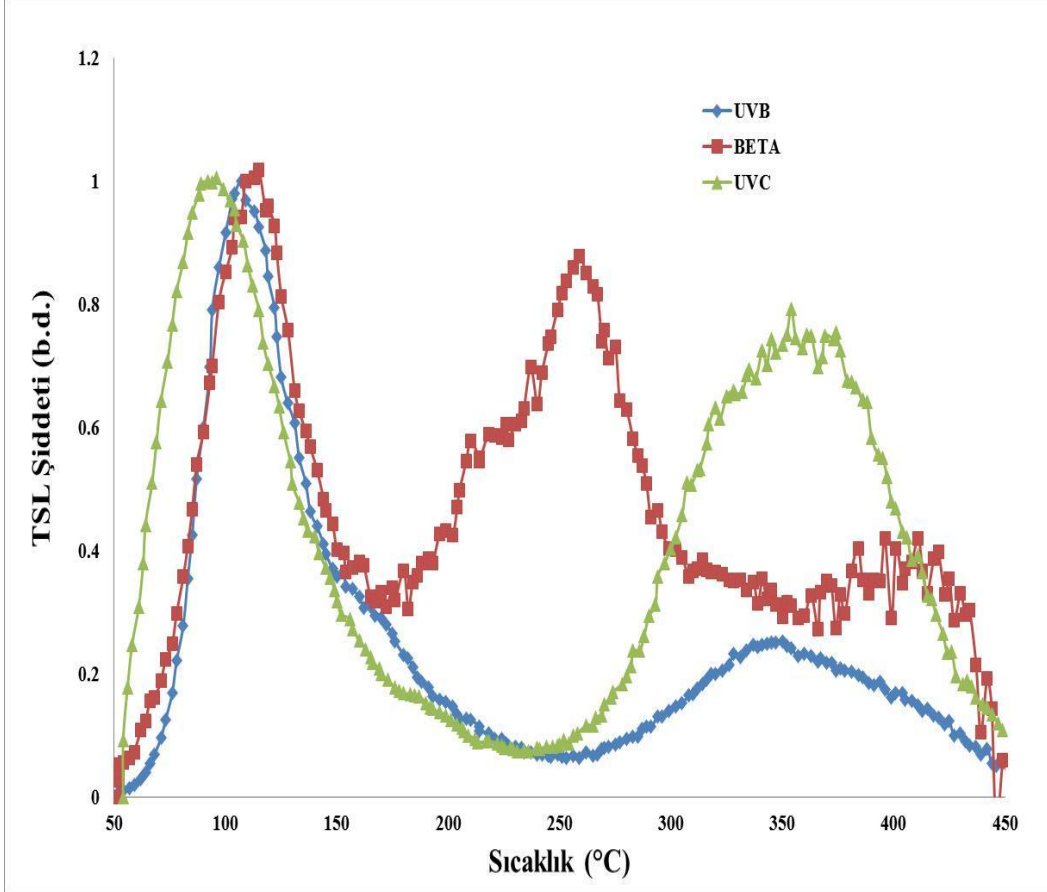


Şekil 4.83 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin UVB ışık kaynağına maruz bırakılmasından sonra elde edilen TSL ışıma şiddeti eğrilerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.84 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesi için elde edilen UVC doz cevap eğrisi.

Son olarak Tm katkılı kalsiyum karbonat malzemesi için farklı ışık kaynakları ile ilgili olarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 4.85 'te gösterilmiştir.



Şekil 4.85 $\text{CaCO}_3\text{:Tm}$ malzemesinin 5 dakika beta, UVC ve UVB ışık kaynaklarına ayrı ayrı maruz bırakılmasından sonra elde edilen normalize edilmiş TSL ışıma eğrilerinin karşılaştırılması.

5. SONUÇ

Bu doktora tez çalışmasında dozimetrik amaçlı kullanılmak üzere yeni üretilmiş Tm katkılı CaCO_3 , %1 ve %3 Mn katkılı CaB_4O_7 , Cu ve Tm çift katkılı CaSO_4 ve Cu katkılı CaSiO_4 malzemelerinin TSL, RL ve PL teknikleri kullanılarak lüminesans özellikleri incelenmiştir.

Çalışmalara başlamadan önce malzemelerinin kristal özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla, XRD yöntemi kullanılarak her bir malzeme için yapı analizleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra her bir malzeme için, malzemelerin yapılarına uygun olan tavlama prosedürleri belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, deneysel çalışmalarda kullanılacak olan $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ β kaynağının ^{60}Co kaynağına göre kalibrasyonu yapılarak malzemelere vermiş olduğu doz değerleri belirlenmiştir.

Dozimetrik malzemelerin TSL ışıma eğrilerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, Tm katkılı CaCO_3 malzemesinin TSL ışıma eğrisinin maksimum TSL şiddeti 105°C sıcaklığa karşılık gelen düşük sıcaklık bölgesindeki pik ile yüksek sıcaklık bölgesinde maksimum TSL ışıma şiddeti 405°C sıcaklığa karşılık gelen diğer bir pike sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra malzemenin TSL ışıma eğrisinin, 210°C sıcaklığında bir sırta sahip olan ve maksimum TSL ışıma şiddeti 255°C sıcaklığına karşılık gelen bir ana pikten oluştuğu belirlenmiştir.

%1 Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesi için elde edilen TSL ışıma eğrisi incelendiğinde ise, TSL ışıma eğrisinin düşük sıcaklık bölgesinde maksimum TSL ışıma şiddeti 85°C sıcaklığa karşılık gelen bir pik ile maksimum TSL ışıma şiddeti 220°C sıcaklığına karşılık gelen ana pikten oluştuğu belirlenmiştir.

Daha sonra %3 Mn katkılı CaB_4O_7 malzemesi için elde edilen TSL ışıma eğrisi incelendiğinde, TSL ışıma eğrisinin maksimum TSL ışıma şiddeti 130°C sıcaklığa karşılık gelen bir pik ile bu pike ait ve 200°C sıcaklığına karşılık gelen bir omuzdan oluştuğu belirlenmiştir.

Cu ve Tm katkılı CaSO_4 malzemesi için elde edilen TSL ışıma eğrisi incelendiğinde, TSL ışıma eğrisinin düşük sıcaklık bölgesinde maksimum TSL ışıma şiddeti 90°C ve 150°C sıcaklığa karşılık gelen iki pik ile maksimum TSL ışıma şiddeti 250°C sıcaklığına karşılık gelen ana pikten oluştuğu belirlenmiştir.

Son olarak Cu katkılı CaSiO_4 malzemesi için elde edilen TSL ışıma eğrisi incelendiğinde ise, TSL ışıma eğrisinin düşük sıcaklık bölgesinde maksimum TSL ışıma şiddeti 90°C sıcaklığa karşılık gelen bir pik ile maksimum TSL ışıma şiddeti 230°C sıcaklığına karşılık gelen ana pikten oluştuğu belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan malzemelerin doz cevap eğrilerinin belirlenebilmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, Tm katkılı CaCO_3 malzemesinin 0-3,3 Gy doz aralığındaki doz cevap eğrisinin $F(D)_{\text{oran}}$ değeri 1 olarak belirlenmiş ve malzemenin doz cevap eğrisinin doğrusal bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Fakat malzemenin 6,6-29,7 Gy doz aralığındaki yüksek dozlara maruz kalmasıyla elde edilen doz cevap eğrisi incelendiğinde ise, yüksek dozlara doğru malzemenin lineer altı bir yapıya doğru kaydığı yani doğrusal altı olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu eğrinin $F(D)_{\text{oran}}$ değeri 1 den küçük olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda Tm katkılı kalsiyum karbonat malzemesinin 0-3 Gy 'lik doz aralığındaki radyasyon dozlarının ölçümü için kullanılabilir bir malzeme olabileceği fakat gıda sterilizasyonu, malzeme testi ve nükleer reaktör gibi alanlarda yüksek doz dozimetresi olarak kullanımının uygun olmadığı belirlenmiştir.

Daha sonra, %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin 0-2,82 Gy doz aralığındaki doz cevap eğrisinin $F(D)_{\text{oran}}$ değeri 1 olarak belirlenmiş ve malzemenin doz cevap eğrisinin doğrusal bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin belirtilen doz aralığında, uzay, medikal, personel dozimetre ve tarihlendirme gibi çeşitli birçok alanda dozimetrik amaçlı kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Bunun yanı sıra, %3 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin doz cevap eğrisinin $F(D)_{\text{oran}}$ değeri 0-0,3 Gy doz aralığında 1 olarak bulunmuştur. Fakat artan dozlarla birlikte doz cevap oranı değeri $F(D)_{\text{oran}} < 1$ olarak hesaplanmıştır.

Doz cevap oranının belirlenmesiyle elde edilen bu sonuçlara göre, malzemenin doz cevap eğrisinin 0,3 Gy 'e kadar doğrusal ve 0,3 Gy 'den daha yüksek dozlarda ise doğrusal altı bir yapıda olduğu yani malzemenin doz cevap eğrisinin saturasyona doğru kaydığı tespit edilmiştir.

Daha sonra, bakır ve tulyum katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin 0-3,36 Gy doz aralığında doz cevap eğrisinin $F(D)_{\text{oran}}$ değeri 1 olarak belirlenmiştir. Malzemenin doz cevap eğrisinin hem düşük dozlarda hem de yüksek dozlarda doğrusal bir yapıda olması nedeniyle malzemenin bu doz aralığında, , uzay, medikal, personel dozimetre ve tarihlendirme gibi çeşitli birçok alanda dozimetrik amaçlı kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Son olarak, bakır katkılı kalsiyum silikat malzemesinin TSL doz cevap eğrisinin belirlenebilmesi için gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçlardan yararlanarak, 0-3,12 Gy doz aralığında malzemenin doz cevap eğrisinin $F(D)$ değeri 1 olarak hesaplanmıştır. Hem bu sonuç hem de grafiklerdeki doz cevap eğrilerinin yapısının göz önünde bulundurulmasıyla, malzemenin doz cevap eğrisinin lineer (doğrusal) bir yapıda olduğu belirlenmiştir.

Dozimetrik bir malzeme için diğer önemli bir olgu olan kararlılık (tekrarlanabilirlik) özelliğinin belirlenebilmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda ise, çalışmada kullanılan tüm malzemelerin kararlı bir yapıda oldukları tespit edilmiştir.

Bu çalışmalardan sonra, dozimetrik amaçlı kullanılabilir oldukları tespit edilen malzemelerin hassasiyetleri belirlenmiştir. Elde edilen deneysel veriler doğrultusunda, $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesinin TLD100 dozimetresine göre hassasiyet oranının 0,03 olduğu belirlenmiştir. $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin TLD100 dozimetresine göre hassasiyet oranının ise 0,2 olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%3) malzemesinin TLD 100 dozimetresine göre hassasiyet oranının 1,65 olduğu tespit edilmiştir. $\text{CaSO}_4:\text{Cu,Tm}$ malzemesinin TLD100 dozimetresine göre hassasiyet oranının ise 32,5 olduğu belirlenmiştir. Son olarak, $\text{CaSiO}_4:\text{Cu}$ malzemesinin TLD100 dozimetresine göre hassasiyet oranı 0,17 olarak belirlenmiştir.

Dozimetrik malzemelerin sönümlene miktarlarının belirlenebilmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda ise, %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesinin 220 °C pikinin dozimetrik pikinin 1 aylık süre sonunda % 15 oranında azaldığı belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, Cu ve Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin dozimetrik pikinin 1 aylık süre sonunda % 15 oranında sönümlendiği yani tuzaklarda tuzaklanmış elektronlarının sayısında % 15 oranında bir azalma meydana geldiği belirlenmiştir.

Dozimetrik amaçlı kullanılmasının uygun olduğu düşünülen malzemelerin tuzak parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla gerçekleştirilen değişik ısıtma hızı yöntemi sonuçlarına göre, CaSO₄:Cu,Tm malzemesinin dozimetrik (ana) piki için deneysel ve sıcaklık gecikmesinden dolayı düzeltilmiş verileri kullanılarak hesaplanmış olan aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri sırasıyla 1 eV ile 1,15 eV ve $1.4 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ ile $1.1 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, CaB₄O₇:Mn (%1) malzemesinin dozimetrik (ana) piki için elde edilen deneysel ve sıcaklık gecikmesinden dolayı düzeltilmiş verileri kullanılarak hesaplanmış olan aktivasyon enerjisi (E) ve frekans faktörü (s) değerleri sırasıyla 1,05 eV ile 1,12 eV ve $1.2 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$ ile $1.35 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Işıma eğrisi şekli metoduna göre çalışmada kullanılan CaB₄O₇:Mn (%1) ve CaSO₄:Cu,Tm malzemelerinin farklı ısıtma hızlarında elde edilen TSL ışıma eğrilerinin dozimetrik pikleri için aktivasyon enerjilerinin ortalama değerleri sırasıyla 1,05 ile 1 eV ve frekans faktörü değerlerinin ortalama değerleri ise sırasıyla 10^{11} s^{-1} ile 10^{10} s^{-1} mertebesinde olduğu bulunmuştur.

İzotermal lüminesans bozunma metoduna göre CaB₄O₇:Mn (%1) ve CaSO₄:Cu,Tm malzemelerinin TSL ışıma eğrilerinin dozimetrik pikleri için aktivasyon enerjilerinin değerleri sırasıyla 0,98 ile 0,94 eV ve frekans faktörü değerlerinin ortalama değerleri ise sırasıyla 10^{11} s^{-1} ile 10^9 s^{-1} mertebesinde olduğu bulunmuştur.

CaB₄O₇:Mn (%1) ve CaSO₄:Cu,Tm dozimetrik malzemeleri için farklı metodlar kullanılarak elde edilen tuzak parametre değerleri çizelge 5.1 'de gösterilmektedir.

Malzemenin adı	Metod	Aktivasyon Enerjisi (eV)	Frekans Faktörü (s ⁻¹)	Kinetik Mertebe
CaB ₄ O ₇ :Mn (%1)	Farklı Isıtma Hızı (VHR)	1,05	1,2x10 ¹¹	2
		1,12 *	1,35x10 ^{12*}	
	Isıma Eğrisi Şekli	1,06	9,67x10 ¹¹	
	Lüminesans Bozunma (ILD)	0,98	5,4 x 10 ¹¹	
CaSO ₄ :Cu,Tm	Farklı Isıtma Hızı (VHR)	1	1,4x10 ¹⁰	2
		1,15 *	1,1x10 ^{11*}	
	Isıma Eğrisi Şekli	1	9,3x10 ¹⁰	
	Lüminesans Bozunma (ILD)	0,94	2,25x 10 ⁹	

ve CaSO₄:Cu,Tm dozimetrik malzemelerinin çeşitli metodlar kullanılarak elde edilen kinetik parametre değerleri

(* : Sıcaklık düzeltilmesi yapıldıktan sonra elde edilen kinetik parametre değerleri).

Dozimetrik amaçlı kullanılabilir olduğu tespit edilmiş olan malzemelerin fototransfer termoluminesans (PTTL) özelliklerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ (%1) malzemesinin derin tuzaklara sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bu doktora tez çalışmasında yeni sentezlenmiş olan malzemelerin örgü yapılarındaki katkılarının yaydıkları emisyon piklerini belirlemek amacıyla radyoluminesans tekniği kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda ise, $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ malzemesinin 330 nm de geniş bir band ve 530 nm de dar bir band olmak üzere iki ayrı band yapısının olduğu belirlenmiştir. Daha sonra, bakır katkılı kalsiyum silikat malzemesinin RL spektrumunun 480 nm dalya boyunda bir geniş band yapısına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak, Cu ve Tm katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin RL spektrumunun 290 nm, 340 nm, 360 nm, 455 nm, 480 nm ve 515 nm de altı emisyonlu olduğu belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ malzemesinin fotoluminesans yöntemi kullanılarak elde edilen PL spektrumunun 530 nm de bir band yapısına sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmalara ek olarak, %1 Mn katkılı kalsiyum borat malzemesi ile bakır ve tulum katkılı kalsiyum sülfat malzemesinin farklı radyasyon alanlarında kullanılabilirliklerinin araştırılması amacıyla, malzemeler gama, beta ve X-ışınları ile ışınlanmış ve elde edilen TSL ışıma eğrileri karşılaştırılmıştır.

Son olarak, farklı ışık kaynakları kullanılarak bu tez çalışması için yeni üretilmiş malzemelerin luminesans duyarlılıklarının belirlenebilmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, $\text{CaCO}_3:\text{Tm}$ malzemesinin hem UVB hem de UVC ışık kaynaklarına duyarlı olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aitken M.J.**, 1985, Thermoluminescence Dating, *Academic Press*, London, 359pp.
- Aitken, M.**, 1978, *J., Phys. Rep.*, 40C, 277.
- Alashrah, S., kandaiya, Sivamany, Maalej, N. and El-Taher, A.**, 2014, Skin dose measurements using radiochromic films, TLDs and ionisation chamber and comparison with monte carlo simulation, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 162, No. 3, pp. 338-344.
- Alexander, C.S. and McKeever, S.W.S.**, 1998, Phototransferred thermoluminescence, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 31, 2908-2920pp.
- Alexander, C.S. Morris, M.F. and McKeever, S.W.S.**, 1997, The time and wavelength response of phototransferred thermoluminescence in natural and synthetic quartz, *Radiation Measurements*, 27, 153-159pp.
- American Chemical Society**, 2006, *Reagent chemicals: specifications and procedures : American Chemical Society specifications, official from January 1, 2006, Oxford University Press.*, p. 242, ISBN 0-8412-3945-2.
- Anishia, S.R., Jose, M.T., Annalakshmi, O., Ramasamy, V.**, 2011, Thermoluminescence porperties of rare earth doped lithium magnesium borate phosphors, *Journal of Luminescence*, 131, 2492-2498.
- Atone M.S., Dhoble S. J., Moharil S. V., Dhopte S.M., Muthal P.L. and Kondawar V.K.**, 1993, *Phys.Status Solidi a*, 135, 299.
- Atone M.S., Moharil S.V. and Gundurao, T.K.**, 1995 *J.phys. D: Appl. Phys.*, 28, 1263.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Balarin M., 1979, Temperature Dependence of the Pre-Exponential Factor in the Glow Curve Theory, *Phys. Stat. Sol.(a)*, 54, K137.

Balarin, M., 1979, *Phys. Status Solidi a*, **54**, K137.

Becker, K., 1972, Environmental Monitoring with TLD, *Nucl. Instrum. Methods*, 104, 405-407.

Becker, K., 1974, The discovery of thermoluminescence, *Health Phys.*, 27, 321.

Behrens, G., Kuhn, L.T., Ubig, R. And Heuer, A.H., 1995, Raman spectra of vateritic calcium carbonate, *Spectrosc. Lett.*, 28, (6):983.

Benea V., Vandenberghe D., Timar A., van Den Haute P., Cosma C., Gligor M., Florescu C., 2007, Luminescence Dating of Neolithic Ceramics from Lumea Nouă, Romania, *Geochronometria*, 28: 9-16.

Berezovskaya, I.V., Efryushina, N.P., Voloshinovskii, A.S., Stryganyuk, G.B., Pir, P.V., Dotsenko, V.P., 2007. Luminescence and thermoluminescence of alkaline earth metaborates, *Radiat. Meas.*, 42, 878-881.

Betts, D.S. and Townsend, P.D., 1993, Temperature distribution in thermoluminescence experiments: II. Some calculational models, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 26, 849-57.

Bhasin B.D., Sasidharan, R., Sunta, C.M., 1976, Preparation and thermoluminescent characteristics of terbium doped magnesium orthosilicate phosphor, *Health Physics*, 30, 139-142.

Bhatt, B.C., Dhabekar, B., Kumar, R., Gundu Rao T. K. and Lakshmanan, A. R., 2006, Defect centers and thermoluminescence in CaSO₄:Dy, Ag Phosphor, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 119, No. 1 4, pp. 53-56.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bingfu, L., Lei, S., Haoran, Z., Yingliang, L., Shi-ging, M., Song, Y.,** 2010, Preparation and luminescence properties of green-light-emitting afterglow phosphor $\text{Ca}_8\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4\text{Cl}_2:\text{Eu}^{2+}$, *Solid State Sciences*, 12, 2177-2181.
- Borodin, V.L., Lutin, V.I., Ilyukhin, V.V., Belov, N.V.,** 1979, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 245, 1099.
- Budzanowski, M., Sas-Bieniarz, A., Bilski, P., Bubak, A., Kope, R.,** 2013, Dose reassessment by using PTTL method in MTS-N (LiF:Mg,Ti) thermoluminescent detectors, *Radiation Measurements*, 56, 389-392.
- Bulur, E.,** 2007, Photo-transferred luminescence from BeO ceramics, *Radiation Measurements*, 42, 334 – 340.
- Calvert, R.L., Danby, R.J. and Wilks, M.J.,** 1972, The preparation, testing and dosimetric applications of CaSO_4 rare earth phosphors, *Australian Radiation Laboratory Technical Report*, 065.
- Can, N., Karali, T., Townsend, P.D., and Yıldız.,** 2006, TL and EPR studies of Cu, Ag and P doped $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ phosphor, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 39, 2038-2043.
- Can N., Karali T., Wang Y., Townsend P.D., Prokic M., Canimoglu A.,** 2009, Room and Low Temperature Luminescence Properties of $\text{CaSO}_4:\text{Dy},\text{Tm}$ Codoped with Li, *Physics Procedia*, 2, 459-466.
- Chen R. and Winer S.A.A.,** 1970, Effect of various heating rates on glow curves, *J. Appl. Phys.*, 41, 5227–32.
- Chen, R. and Kirsh, Y.,** 1981, Analysis of Thermally Stimulated Processes (London: Pergamon).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chen, R.**, 1969, On the calculation of activation energies and frequency factors from glow curves, *Journal of Applied Physics*, 40(2), 570–585.
- Cheng, Q., Dong, Y., Kang, M., Zhang, P.**, 2014, Preparation and tunable luminescence $\text{CaCO}_3:\text{Eu}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$ phosphors, *Journal of Luminescence*, 156, 91-96.
- Cheng, Q., Kang, M., Wang, J., Zhang, P., Sun, R., Song, L.**, 2015, Low temperature microwave solid-state synthesis of $\text{CaCO}_3:\text{Eu}^{3+}, \text{K}^+$ phosphors, *Advanced Powder Technology*, 26, 848-852.
- Cordeiro de Oliveira, T., Souza da Siva M., Menezes de Jesus L., Sampaio D. V., Alves dos Santos J. C., Roberta da Silva Souza N., Santos da Silva R.**, 2014, Laser sintering and radioluminescence emission of pure and doped Y_2O_3 ceramics, *Ceramics International* 40, 16209-16212.
- Ekdal, E., Karali, T., Kelemen, A., Ignatovych, M., Holovey, V., Harmansah, C.**, 2014, Thermoluminescence characteristics of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ single crystal dosimeters doped with Mn, *Radiation Physics and Chemistry*, 96, 201-204.
- Ege, A.T., Ekdal, E., Karali, T., Can, N.**, 2007, Determination of thermoluminescence kinetic parameters of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}, \text{Ag}, \text{P}$, *Radiation Measurements*, 42, 1280-1284.
- Ekdal, E., Ege, A., Karali, T., Derin, Z.**, 2012, Luminescence dating studies of Yesilova Hoyuk, *Geochronometria* 39 (4), 268-275.
- Ekdal, E., GarciaGuinea, J., Kelemen, A., Ayvacikli, M., Canimoglu, A., Jorge, A., Karali, T., Can, N.**, 2015, Cathodoluminescence and Raman characteristics of $\text{CaSO}_4:\text{Tm}^{3+}, \text{Cu}$ phosphor, *Journal of Luminescence*, 161, 358–362.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ekdal, E.T., Ege, A., Karali, T., Townsend, P.D., Prokic, M.,** 2010, Thermoluminescence studies of thermally treated $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Dy}$, *Radiation Measurements*, 45, 764-767.
- Emsley, J.,** 2001, Nature's building blocks: an A-Z guide to the elements, US: Oxford University Press., pp. 442–443. ISBN 0-19-850341-5.
- Engström, P.E., Haraldsson, P., Landberg, T., Hansen, S. H., Engelholm, A.S. and Nyström, H.,** 2005, *Acta Oncologica*, 44, 572-578.
- Ersöz, A. ve Ark.,** 2010, Nanobilim ve Nanoteknoloji, *ODTU Yayıncılık (Toplum ve Bilim Merkezi)*, Ankara, 255s.
- Fukuda, Y., Mizuguchi, K. and Takeuchi, N.,** 1986, Thermoluminescence in sintered $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Dy}$ and $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Eu}$, *Radiat. Prot. Dosim.*, 17 pp. 397-401.
- Fukuda, Y., Takeuchi, N.,** 1985, Thermoluminescence in calcium borate containing copper. *J. Mater. Sci. Lett.* 4., 94-96.
- Fukuda, Y., Tomita A. and Takeuchi, N.,** 1984, Thermoluminescence and thermally stimulated exoelectron emission in glass and sintered $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:CuCl}_2$, *Phys. Stat. Sol. (a)*, 85, pp. K141-K144.
- Fukuda, Y., Tomita, A. and Takeuchi, N.,** 1987, Thermoluminescence and thermally stimulated exoelectron emission of sintered CaB_4O_7 doped with Pb, Eu or Dy, *Phys. Stat. Sol. (a)*, 99 pp. K135-K138.
- Gaedtke, C., Williams, G.V.M., Janssens, S., Raymond, S., Clarke, D.,** 2013, Photoluminescence and radioluminescence study of Eu and Mn doped RbMgF_3 nanoparticles, *Radiation Measurements*, 56, 187-191

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gaedtke, C., Williams, G.V.M.,** 2014, Photoluminescence and radioluminescence study of NaMgF₃:Eu nanoparticles, *Radiation Measurements*, 71, 258-261
- Gerome, V., Lapraz D., Lacconi P., Benabdesselam M., Prevost H. And Baumer A.,** 1999, *Radiat. Prot. Dosim.*, 84-109.
- Gökçe, M., Oğuz, K.F., Karalı, T., and Prokic, M.,** 2009, Influence of heating rate on thermoluminescence of Mg₂SiO₄:Tb dosimeter, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42, 105412 (5pp).
- Göksu H.Y., Schwenk P. and Semiochkina N.,** 2001, Investigation of the thermal stability of 210°C TL peak of quartz and dating the components of terrazzo from the monastery church of Tegernsee, *Radiation Measurements*, 33(5): 785-792.
- Göksu, H.Y., Bailliff, I.K., Botter-Jensen, L., Brodski, L., Hütt, G., Stoneham, D.,** 1995, Interlaboratory beta source calibration using TL and OSL on natural quartz, *Radiation Measurements*, 24, 479-483.
- Gotlib, V I., Kantorovich, L.N., Grebenshikov, V.L., Bichev, V.R. and Nemiro, E.A.,** 1984, The study of thermoluminescence using the contact method of sample heating, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 17, 2097-114.
- Gotlib, V.I., Kantorovich, L.N., Grebenshikov, V.L., Bichev, V.R. and Nemiro, E.A.,** 1984, The study of thermoluminescence using the contact method of sample heating, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 17, 2097-114.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Haghiri Maryam Erfani, M.E., Elias Saion, E., Wan Saffiey wan Abdullah, Nayereh Soltani, Mansor Hashim, Manizheh Navasery, Mohammad Ali Shafaei, 2013, Thermoluminescence studies of manganese doped calcium tetraborate ($\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Mn}$) nanocrystal synthesized by co-precipitation method, *Radiation Physics and Chemistry*, 90, 1-5

Haghiri, M E., Saion, E., Abdullah, W.S.w., Soltani, N., Hashim, M., Navasery, M., 2013, Thermoluminescence characteristics of copper activated calcium borate nanocrystal ($\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Cu}$), *Journal of luminescence*, 141, 177-183.

Haghiri, M.E., Saion, E., Saffiey, W., Abdullah, w., Soltani, N., Navasery, M., Saraee, K.R.E., Deyhimi, N., 2014, Thermoluminescent dosimetry properties of double doped calcium tetraborate ($\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Cu-Mn}$) nanophosphor exposed to gamma radiation, *Journal of Alloys and Compounds*, 582,392-397.

Hammond, C. R., 2000, "The Elements". Handbook of Chemistry and Physics (81st ed.), CRC press., ISBN 0-8493-0481-4.

Harvey, E.N., 1954, A History of Luminescence, *Printed in the USA by J. H. Furst Company*, BALTIMORE, MARYLAND.

Hashizume, T., Kato, Y., Nakajima, T., Sakamoto, H., Kotera, N., Eguchi, S., 1971, A new thermoluminescence dosimeter of high sensitivity using a magnesium silicate phosphor. In: *Proceedings of the Symposium on Advanced Radiation Detectors*, IAEA-SM143/11, Vienna, Austria.

Holleman, A.F., Wiberg, E., Wiberg, N., 1985, "Mangan". Lehrbuch der Anorganischen Chemie (in German) (91–100 ed.), *Walter de Gruyter.*, pp. 1110–1117, ISBN 3-11-007511-3.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Horowitz, S. Y.**, 1984, Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry, CRC Press, USA.
- Hu, Z.S. and Deng, Y.L.**, 2004, Synthesis of needle-like aragonite from calcium chloride and sparingly soluble magnesium carbonate, *Powder Technol.*, 140 (1-2):10.
- Hunda, B. M., Puga, P.P., Solomon, A.M., Holovey, V.M.**, 2000, Semicond. Phys., *Quant. Electr. Optoelectr.*, 3 (2).
- Hütt G., Goksu H.Y., Jaek I. and Hiekkanen M.**, 2001, Luminescence dating of Somero sacristy, SW Finland using the 210 °C, *Quaternary Science Reviews*, 20(5-9), 773-777.
- Johnson, M.D., PhD. Larry E.**, 2008, "Copper", Merck Manual Home Health Handbook, Merck Sharp & Dohme Corp., a subsidiary of Merck & Co., Inc. Retrieved 7 April 2013.
- Kang, M., Liu, J., Sun, R., Yin, G.Y., Wang, X.M., and Yan, W.Q.**, 2010, Synthesis of red phosphors $\text{CaCO}_3:\text{Eu}^{3+}$ by microwave method, *Spectrosc. Spect. Anal.*, 30, 28-11.
- Kang, M., Liu, J., Yin, G. and Sun, R.**, 2009, Preparation and characterization of Eu^{3+} -doped CaCO_3 phosphor by micro-wave synthesis, *Rare Metals*, Vol. 28, No. 5, p. 439.
- Karaçam, Ç.S., Öksüz, D.Ç., Koca, A., Günhan, B., Çepni, İ., Çepni, K., Beşe, N.**, 2008, Hodgkin hastalığı mantle ışınlamsında fetüs dozlarının araştırılması, *Cerrahpaşa tıp dergisi*, 39 (2): 56-62.
- Karali, T. Rowlands, A.P., Townsend, P.D., Prokic M. and Olivares, J.**, 1998, Spectral comparison of Dy, Tm and Dy/Tm in CaSO_4 thermoluminescent dosimeters, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 31, 754-765.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Karali, T., 1999**, Luminescence studies of rare earth doped dosimeters, *PhD. Thesis*, University of Sussex.
- Karali, T., Rowlands, P. A., Prokic, M., Townsend, P.D. and Halmagean, E., 2002**, Thermoluminescent spectra of rare earth doped MgB_4O_7 doseimeters, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 100, Nos 1-4, pp. 333-336.
- Karali, T., Townsend, P.D., Prokic, M. And Rowlands, A.P., 1999**, Comparison of TL spectra of co-doped dosimetric materials, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 84, Nos. 1-4, pp. 281-284.
- Karsu, E. C., Gökçe, M., Ege, A., Karali, T., Can, N. and Prokic, M., 2006**, Kinetic characterization of $\text{MgB}_4\text{O}_7\text{:Dy}$, Na thermoluminescent phosphor, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 39, 1485-1488.
- Kasa, I., 1990**, Dependence of thermoluminescence response of $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ and $\text{CaSO}_4\text{:Tm}$ on Grain size and activator concentration, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 33, No.1/4, pp.299-302.
- Kasa, I., Chobola, R., Mell, P., Szakacs, S. and Kerekes, A., 2007**, Preparation and investigation of thermoluminescence properties of $\text{CaSO}_4\text{:Tm,Cu}$, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 123, No.1, pp.32-35.
- Kasa, I., 1996**, Dependence of TL response of $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ and $\text{CaSO}_4\text{:Tm}$ on grain size, *Periodica Polytechnica CH (Budapest)*, 28 (3-4), 251-261.
- Kasa, I., Solymosi, J., and Molnar, A., 1996**, Preparation and investigation of thermoluminescence properties of $\text{CaSO}_4\text{:Dy,Cu}$, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 65, Nos. 1-4, pp, 313-316.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kasa, I., Solymosi, J., Molnar, A. and Ötvös, N.,** 1997, Dependence of the thermoluminescence response on activator and coactivator concentration in $\text{CaSO}_4:\text{Dy,Cu}$, *Radiation Protection in Neighbouring Countries of Central Europe*, Prague, 8-12 September.
- Kazanskaya, V.A., Kuzmin, V.V., Minaeva E.E., Sokolov A.D.,** 1974, in: Proceedings of the Fourth International Conference on Luminescence Dosimetry, Krakow, Poland, p. 581.
- Kelemen A., Kasa, I., Mell, P., Mesterhazy, D.,** 2013, Effect of the Cu co-activator on the charge-carrier trapping efficiency in $\text{CaSO}_4:\text{Tm, Cu}$, *Radiation Measurements*, 56, 232-235.
- Kharita, M.H., Stokes, R. And Durrani, S.A.,** 1995, TL and PTTL in natural fluorite previously irradiated with gamma rays and heavy ions, *Radiation Measurements*, Vol.24., No.4., pp.469-472.
- Kibar R.,** 2007, Farklı metal iyonları ile bombalanan SrTiO_3 Kristalinin ve bazı minerallerin nükleer ve diğer yöntemlerle incelenmesi, Doktora tezi, *Fizik Anabilim Dalı*, Ege Üniversitesi.
- Kitis, G. and Tuy J.W.N.,** 1998, Thermal quenching of F-center luminescence in Al_2O_3 : C J. Appl. Phys., 84, 2636
- Kitis, G. and Tuyn, J. W. N.,** 1998, A Simple Method to Correct for Temperature Lag in TL Glow-Curve Measurements., *J. Phys.D: Appl. Phys.*, 31, 2065–2073.
- Kitis, G. and Tuyn, J.W.N.,** 1998, A simple method to correct for the temperature lag in TL glow-curve measurements, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 31, 2065-73.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Klos, A., Lipinska, L., Solarz, P. And Ryba-Romanowski, W.,** 2008, Spectroscopic study of Eu^{3+} -doped $\text{Gd}_{1-x}\text{Y}_x\text{Ca}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ prepared by sol-gel method, *J. Alloys Compd.*, 459 (1-2): 410.
- Konnai, A., Nariyama, N., Ohnishi, S., Odano, N.,** 2005, Energy response of LiF and Mg_2SiO_4 TLDs to 10-150 keV monoenergetic photos, *Radiation Protection Dosimetry*, 115, 334-336.
- Kostova, I., Tormo, L., Crespo-Feo, E., J.Garcia-Guinea,** 2012, Study of coal and graphite specimens by means of Raman and Cathodoluminescence, *Spectrochimica Acta*, Part A 91, 67– 74
- Kotan Alğın, Z.,** 2013, Nadir toprak elementi katkılı SrSnO_3 ve $\text{SrAl}_2\text{O}_4\text{:Mn}$ fosforlarının sentezlenmesi ve lüminesans karakterizasyonları, Doktora Tezi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Ege Üniversitesi.
- Kudryavtseva I., Lushchik, A., Maaros, A., Azmaganbetova, Z., Nurakhmetov, T., Salikhoja, Z.,** 2002, Recombination luminescence of $\text{CaSO}_4\text{:Tb}^{3+}$ and $\text{CaSO}_4\text{:Gd}^{3+}$ phosphors, *Cent. Eur. J. Phys.*, 10(4), 995-1001.
- Lakshmanan, A.R., Jose, M. T., Ponnusamy V. and Vivek Kumar P.R.,** 2002, Luminescence in $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ phosphor- dependence on grain agglomeration, sintering temperature, sieving and washing, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 35 386-396.
- Lakshmanan, A.R., Jose M. T. and Annalakshmi, O.,** 2008, High-sensitive $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ thermoluminescent phosphor synthesis by co-precipitation technique, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 132, No.1. pp, 42-50.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Lapraz, D., Goyet D., Gerome, V., Lacconi, P., Prevost, H., Gasiot, J. And Bumer, A., 1996, *Phys. Status Solidi a*, 153- 239.

Lewandowski, A.C., Barkyoumb, J.H. and Mathur, V.K., 1996, Thermoluminescence emission, excitation and stimulation spectra of $\text{CaSO}_4\text{:Dy}$ and $\text{CaSO}_4\text{:Tm}$, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 65, Nos, 1-4, pp. 281-286.

Lide, D.R., ed., 2005., "Magnetic susceptibility of the elements and inorganic compounds", CRC Handbook of Chemistry and Physics (PDF) (86th ed.), Boca Raton (FL): CRC Press., ISBN 0-8493-0486-5.

Linde (ed.) D.R., 2002, CRC Handbook of Chemistry and Physics, ,CRC Press, 83rd Edition.

Liu, J., Kang, M., Sun, R., Yang, D.M., 2008, Preparation of $\text{CaCO}_3\text{:Eu}^{3+},\text{Li}^+$ red phosphor by high temperature solid-state reaction method, *China Powder Sci. Techonol.* 3, 28-31.

Maghrabi, M., Karali, T., Townsend, P.D. and Lakshmanan, A.R., 2000, Luminescence spectra of CaSO_4 with Ce, Dy, Mn and Ag codopants, *J.Phys.D: Appl. Phys.*, 33,477-484.

Mahesh, K., Weng, P.S., Furetta, C., 1989, Thermoluminescence in solids and its applications, *Nuclear Technology Publishing*, ISBN: 1870965019

Manam, J. and Das, S., 2008, Thermally stimulated luminescence studies of undoped, Cu-and Mn-doped CaSO_4 compounds, *Radiation Effects and Defects in Solids*, Vol. 163, No. 12, December, 955-965.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Manam, J., Das ,S.,** 2009, Structural analysis, TSL studies and evaluation of trapping parameters of Cu^{2+} activated CaSO_4 , *Current Applied Physics* 9, 1257–1262.
- Manam, J., S.K. Sharma,** 2003, Thermally stimulated luminescence studies of undoped and doped CaB_4O_7 compounds, *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, V. 6, N 4. P. 465-470.
- Manam, J., Sharma, S.K.,** 2004, Thermally stimulated luminescence studies of undoped and doped $\text{K}_2\text{B}_4\text{O}_7$ compounds, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 217, 314-320.
- Manam, J., Sharma, S.K.,** 2004, Thermally stimulated luminescence studies of BaB_4O_7 compound, *Journal of Materials Science*, 39, 6203-6208.
- Marcazzo, J., M. Prokic, M. Santiago, P. Molina, E. Caselli,** 2009, Analysis of thermoluminescence kinetics of $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{:Tb}$ compounds employing and interactive model, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 267, 3347-3350.
- Maruyama, T., Kumamoto, Y., Noda, Y.,** 1991, Reassessment of gamma-ray doses in Hiroshima and Nagasaki, *Journal of Radiation Research (Suppl.)*, 40-47.
- Matthews R. J. And Stoebe T. G.,** 1982, *J. Phys. C: Solid State Phys.*, 15, 6271.
- McKeever, S., Moscovitch, M. And Townsend, P.,** 1995, Thermoluminescence Dosimetry Materials: Properties and Uses, *Nuclear Technology Publishing*, England.
- McKeever, S.W.S.,** 1985, Thermoluminescence of solids, *Cambridge University Press*, England.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mittani, J.C., Prokic, M., Yukihiro, E.G.,** 2008, Optical stimulated luminescence and thermoluminescence of terbium-activated silicates and aluminates, *Radiation Measurements*, 43, 323-326.
- Miyoshi, T., Kobayashi, T., Shinohara, T., Okumura K. and Kaneda, T.,** 2004, Thermoluminescence of Laser-Irradiated $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{:Tb}$, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 43, No.9A, pp. 6172-6173.
- Molina, P., Prokic, M., Marcazzo, J., Santiago, M.,** 2010, Characterization of a fiberoptic radiotherapy dosimetry probe based on $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{:Tb}$, *Radiation Measurements*, 45, 78-82.
- Montalvo, T.R., Furetta, C., Kitis, G., Azorin, J., and Vite, R.M.,** 2004, Influence of heating rate on thermoluminescence of zirconium oxide UV irradiated, *Radiation Effects & Defects in solids*, Vol. 159, pp. 217-222.
- Morgan M. D. And Stoebe T. G.,** 1989, *J. Phys. : Condens. Matter*, 1, 5773.
- Moscovitch M., Benevides, L., Romanyukha1, A., Hull, F., Duffy, M., Voss, S., Velbeck, K.J., Nita, I.,** 2011, The applicability of the PTTL dose re-analysis method to the harshaw LiF:Mg,Cu,P material, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 144, No. 1-4, pp. 161-164.
- Nakajima, T.,** 1972, Optical and thermal effects on thermoluminescence response of $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{(Tb)}$ and $\text{CaSO}_4\text{(Tm)}$ phosphors, *Health Physics*, 23133.
- Nambi, K.S.V., Bapat, V. N. and Ganguly, A. K.,** 1974, *J. Phys. C: Solid State Phys.*, 7, 4403.
- Nara, J., and Adachi, S.,** 2013, Photoluminescence properties of $(\text{Ce}^{3+}, \text{Mn}^{2+})$ -codoped CaCO_3 red phosphor, *Journal of Applied Physics*, 113, 033519.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Oğuz, K. F.**, 2009, Çeşitli termoluminesans dozimetrelerin kinetik parametrelerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi.
- Oguz, K.F., Ekdal, E., Aslani, M.A.A., Canimoglu, A., Guinea, J.G., Can, N. Karali, T.**, 2016, Study of luminescence of Mn-doped CaB_4O_7 prepared by wet chemical method, *Journal of Alloys and Compounds*, 683, 76-85.
- Pagonis, V., Kitis, G., Furetta, C.**, 2005, Numerical and Practical Exercises in Thermoluminescence, *Springer Press*, New York.
- Pan, Y.X., Wu, M. M., and Su, Q.**, 2003, Synthesis of Eu^{3+} -doped calcium and strontium carbonate phosphors at room temperature, *Mater. Res. Bull.*, 38, (9-11):1537.
- Paun, J., Iozsa, A., Jipa, S.**, 1977, *Radiochem. Radional. Lett.*, 28, 411.
- Piters, T.M. and Bos, A.J.J.**, 1994, Effects on non-ideal heat transfer on the glow curve in thermoluminescence experiments, *J.Phys.D: Appl.Phys.*, 27, 1747-56.
- Prokic, M.**, 1978, Improvement of the thermoluminescence properties of the non-commercial dosimetry phosphors $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ and $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$, *Nucl. Instrum. Methods*, 151, 603-608.
- Prokic, M.**, 1993, *Magnesium Borate*. In: Thermoluminescent Materials, Ed. D. R. Vij (New Jersey: Prentice Hall) .
- Prokic, M.**, 1996, A TLD system for enviraonmental monitoring, *Radiat. Prot. Dosim.*, 66 (1-4), 153-156.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Prokic, M.**, 1996, Optimization of Magnesium Borate Thermoluminescent Material for Radiation Protection Dosimetry, In: *Proc. Int. Congress on Radiation Protection*, Vienna, Austria, Vol., 4., pp. 296-298.
- Prokic, M.**, 2000, Effect of lithium co-dopant on the thermoluminescence response of some phosphors, *Appl. Radiat. Isot.*, 52, 97-103.
- Prokic, M., Yukihiro, E.G.**, 2008, Dosimetric characteristics of high sensitive $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{:Tb}$ solid TL detector, *Radiation Measurements*, 43, 463-466.
- Randall, J.J. and Wilkins, M.H.F.**, 1945, Phosphorescence and electron traps. I. The study of trap distributions, *Proc. R. Soc., London Ser. A*, A184, 366.
- Randall, J.T. and Wilkins, M.H.**, 1954, *proc. Roy. Soc. Lond.*, 184, 390.
- Rasheedy, M.S.**, 2005, Method of hoogenstraaten as a tool for obtaining the trap parameters of general-order thermoluminescence glow peaks, *Radiat. Eff. Defect Solids*, 160, 383-90.
- Rivera, M.T., Furetta, C., Kitis, G., Azorin, J. And Vite, R.M.**, 2004, Influence of heatin rate on thermoluminescence of zirconium oxide UV irradiated, *Radiat. Eff. Defects Solids*, 159, 217-22.
- Rohleder, J.; Kroker, E.**, 2001, Calcium Carbonate: From the Cretaceous Period Into the 21st Century, *Springer Science & Business Media.*, ISBN 3-7643-6425-4.
- Ropp, R.C.**, 2013, Elsevier. Encyclopedia of the alkaline earth compounds, *Elsevier.*, pp. 359–370, ISBN 9780444595508.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Roth, J., Ponzoni, S., Aschner, M.,** 2013, "Chapter 6 Manganese Homeostasis and Transport". In Banci, Lucia. *Metallomics and the Cell. Metal Ions in Life Sciences 12*. Springer. doi:10.1007/978-94-007-5561-1_6. ISBN 978-94-007-5560-4.
- Salah, M.K., Awad, S.G. and Mohamed, A. Al-said,** 2003, Thermoluminescence properties of home-made $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ for dosimetry purpose, *4th Conference on Nuclear and Particle Physics*, 11-15 October, Fayoum, Egypt.
- Salah, N., Khan, Z.H., Habib, S.S.,** 2011, Nanoparticles of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}$ as a sensitive thermoluminescent material for high exposures of gamma rays irradiations, *Nucl. Instrum. Methods B.*, 269, 401-404.
- Sampson EH and Fleming SJ,** 1972, Thermoluminescent dating of colombian pottery in the Yotoco style, *Archaeometry*, 14(1), 119-126.
- Sasaki, T., Mori, Y., Yoshimura, M., Yap, Y.K., Kamimura, T.,** 2000, Recent development of nonlinear optical borate crystals: key materials for generation of visible and UV light, *Mater. Sci. Eng.*, 30, 1-54.
- Schmid, T., and Dariz, P.,** 2014, Shedding light onto the spectra of lime: Raman and luminescence bands of CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and CaCO_3 , *Journal of Raman Spectroscopy*, 46, 141-146.
- Schmidt K., Linemann H. And Giessing R.,** 1974, Proc. 4th Int. Conf. On Luminescence Dosimetry, (Karakow, Poland), vol 1.
- Schulman, J.H., Kirk, R.D., West, E.J.,** 1967, Proceedings of the International Conference on Luminescence Dosimetry, CONF-650637, Stanford University.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Settle, F.A., 1997, Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry, Prentice Hall PTR, USA, 339-351pp.

Sharma R., Bisen, D.P., Dhoble, S.J., Brahme, N., Chandra, B.P., 2011, Mechanoluminescence and thermoluminescence of Mn doped ZnS nanocrystals, *Journal of Luminescence*, 131, 2089-2092.

Srivastava, J.K., Bhatt, B.C., Shinde, S.S., Supe, S.J., 1992, Role of copper co-doping in rare earth doped CaSO_4 TL phosphors, *Bull. Radiat. Prot.*, 15, 22-27.

Standard Atomic Weights 2013, Commission on Isotopic Abundances and Atomic Weights.

Stoddard, A.E., 1960, Effects of illumination upon sodium chloride thermoluminescence, *Physical Review*, 120, 114-117pp.

Sun, Y., Zou, H., Zhang, B., Zhou, X., Huo, Q., and Sheng, Y., 2015, One-pot synthesis of hydrophobic and enhanced red-emitting $\text{CaCO}_3:\text{Eu}^{3+}$ phosphors, *Journal of Materials Chemistry C*, 3, 5316-5321.

Sytsma, J., Meijer, A., and Blase, G., 1992, Spectroscopy of Gd^{3+} and Eu^{3+} in the calcite structure, *J.Solid State Chem.*, 99 (1):78.

Tawara, H., Masukawa, M., Naamatsu, A., Kitajo, K., Kumagai, H., Yasuda, N., 2011, Characteristics of $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Tb}$ (TLD-MSO-S) relevant for space radiation dosimetry, *Radiation Measurements*, 46, 709-716.

Taylor, G.C. and Lilley, E., 1982, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 15, 2053-65.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Thakare, D.S., Omanwar, S.K., Moharil, S.V., Dhopte, S.M., Muthal, P.L., Kondawar, V.K.,** 2007, Combustion synthesis of borate phosphors, *Opt. Mater.* 29, 1731-1735.
- Toryu, T., Sakamoto H., Kotera, N., Yumada, H.,** 1973, Compositions dependency of thermoluminescence of new phosphors for radiation dosemetry, *In Proceedings of the International Conference on Luminescence*, Leningrad, USSR, pp. 685-689.
- Townsend P. D. And Rowlands A. P.,** 1999, *Radiat. Prot. Dosim.* 84, 7.
- Vandenberghe, D.,** 2003, Investigation of the optically stimulated luminescence dating method for application to young geological sediments, Ph.D. Thesis, *Department of Analytical Chemistry Institute for Nuclear Sciences*, Universiteit Gent.
- Veronese I., Göksu H.Y., Schwenk P. and Herzig F.,** 2008, Thermoluminescence dating of a mikveh in Ichenhausen, Germany, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(4): 621-630.
- Vij, D.R.,** 1998, *Luminescence of Solids*, Plenum Press, New York and London.
- Wang, J., Zhang M., Q. Zhang, W. Ding, Q. Su,** 2007, The photoluminescence and thermoluminescence properties of novel green long-lasting phosphorescence materials $\text{Ca}_8\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4\text{Cl}_2:\text{Eu}^{2+}, \text{Nd}^{3+}$, *Appl. Phys. B*, 87, 249-254.
- Wang, Y. And Gao, H.,** 2006, Photoluminescence of new red phosphor $\text{SrZnO}_2:\text{Eu}^{3+}$, *J. Solid State Chem.*, 179 (6):1870.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Wick, F.W., 1925, Thermoluminescence of fluorites and calcites, *Phys. Rev.*, 25, 588.

Wintle A.G., and Huntley D.J., 1979, Themoluminescence dating of a deep-sea ocean core, *Nature* 279(5715): 710-712.

X-ray powder diffraction (XRD),
http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRD.html (Eriřim tarihi:10/01/2016).

Yalçın, H., 2005, Malzeme Analiz Teknikleri Ders Notları, Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas, 139s.

Yamashita, T., Nada, N., Onishi, H. and Kitamura, S., 1971, Calsium sulfate phosphor activated by rare earth, *In. Proc. 2nd Int. Conf. on Luminescence Dosimetry CONF. 680920 (1968) and also Health Phys.*, 21, 295-300.

Yang, H., Prewitt, C. T., 1999, *American Mineralogist*, 84, 929 - 932,

Yasuda, H., Fujitaka, K., 2000, Responsesof TLD-Mg₂SiO₄:Tb and radiophotoluminescent glass to heavy charged particles and space radiation, *Radiation Protection Dosimetry*, 87, 115-119.

Yoshikazu, K., Akihiro, S., Yutaka, N., Tatsuaki, K., Yukio, S., Takeshi, M., 1996, *Radiation protection for heavy ion therapy at NIRS-HIMAC, Natl. Inst. Radiol. Sci.*, 116, 151-152.

Zachariasen, W H, Ziegler, G E, 1977, Zeitschrift fuer Kristallographie, Kristallgeometrie, Kristallphysik, Kristallchemie (-144,), **83**, 354 – 361.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zhang, Z.Y., Wang, Y.H., Zhang, J.C. and Hao, Y., 2008, Luminescent properties of $\text{Na}_3\text{YSi}_3\text{O}_9$ doped with Eu^{3+} under UV-VUV excitation, *Matter. Res. Bull.*, 43, (4):926.





ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kemal Fırat OĞUZ

Doğum Yeri : Elazığ

Doğum Tarihi : 15.08.1981

Öğrenim Bilgileri

Lisans : 2000-2006, Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İzmir

Yüksek Lisans : 2006-2009, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, İzmir

Doktora : 2009- 2016, Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, İzmir

SCI TARAFINDAN TARANAN DERGİLERDE YAYIMLANAN MAKALELER

1. **Oguz, K.F.**, Ekdal, E., Aslani, M.A.A., Canimoglu, A., Guinea, J.G., Can, N. Karali, T., 2016, Study of luminescence of Mn-doped CaB_4O_7 prepared by wet chemical method, *Journal of Alloys and Compounds*, 683, 76-85.
2. Sule Aytas, Sema Erenturk, Mahmut A. A. Aslani, Sabriye Yusan, D. Alkim Turkozu, Cem Gok, Turgay Karali, Melis Gokce, **K. Fırat Oguz**, 2014, Determination and evaluation of natural radioactivity and heavy metal levels in the aquatic environment of trans-boundary rivers: Maritza, Tundja and Arda, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Volume 300, Issue 3, pp 933-945.
3. Aytas, S, Yusan, S, Aslani, MA, Karali, T, Turkozu, D.A, Gok, C, Erenturk, S., Gokce, M., **Oguz, K.F.**, 2012, Natural radioactivity of riverbank sediments of the Maritza and Tundja Rivers in Turkey, *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.*, 47(13):2163-72.
4. Gökçe, M., **Oğuz, K.F.**, Karalı, T., and Prokic, M., 2009, Influence of heating rate on thermoluminescence of $\text{Mg}_2\text{SiO}_4\text{:Tb}$ dosimeter, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42, 105412 (5pp).
5. S. Aytas, S. Lavrova, A. Damianova, S. Akyil, M. A. A. Aslani, T. Karali, I. Sivriev, D.A. Turkozu, S. Yusan, C. Gok, M. Gokce, **F. K. Oguz**, 2009, Physicochemical Profile of Tundja and Maritza River Waters, *Journal of Balkan Ecology*, Vol.12, No.4.