

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**  
**NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BERİLYUM OKSİT (BeO) DOZİMETRELERDE OSL ÖLÇÜM  
PARAMETRELERİNİN DOZ CEVAP ÖZELLİKLERİNE GÖRE  
OPTİMİZASYONU**

**SELİME COŞKUN**

**MEDİKAL FİZİK ANABİLİM DALI**  
**SAĞLIK FİZİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**ANKARA**

**2019**

**Her hakkı saklıdır.**

## TEZ ONAYI

Selime COŞKUN tarafından hazırlanan “Berilyum Oksit (Beo) Dozimetrelerde OSL Ölçüm Parametrelerinin Doz Cevap Özelliklerine Göre Optimizasyonu” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Medikal Fizik Anabilim Dalı/Sağlık Fiziği Yüksek Lisans Programı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** :Prof. Dr. Niyazi MERİÇ

**Eş Danışman** :Dr. Georgios S. POLYMERIS

**Jüri Üyeleri** :

Prof. Dr. Niyazi MERİÇ  
Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

Prof. Dr. Aytunç ATEŞ  
Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Ömer YAVAŞ  
Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Şemsettin TÜRKÖZ  
Ankara Üniversitesi Fizik Bölümü

Dr. Georgios S. POLYMERIS  
Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

Prof. Dr. Niyazi MERİÇ

**Enstitü Müdürü**

Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kurallar ve davranışların gerektirdiği şekilde, başka kaynaklardan aldığım tüm materyalleri ve sonuçları alıntı yaparak, bunlara kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

Adı Soyadı: Selime COŞKUN

İmza:



## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

BERİLYUM OKSİT (BeO) DOZİMETRELERDE OSL ÖLÇÜM  
PARAMETRELERİNİN DOZ CEVAP ÖZELLİKLERİNE GÖRE OPTİMİZASYONU

**SELİME COŞKUN**

**Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü**

**Medikal Fizik Anabilim Dalı**

**Sağlık Fiziği Yüksek Lisans Programı**

**Danışman: Prof. Dr. Niyazi MERİÇ**

**Eş Danışman: Dr. Georgios S. POLYMERIS**

Termolüminesans (TL) ve Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL), dozimetrik malzemelerin radyasyona maruz kalmaları sonucunda ısı ve ışık yoluyla uyarılmasıyla salınan lüminesans ışığının dedekte edilmesine dayanan yöntemlerdir. Bu tez çalışmasında yüksek doku eşdeğeri olmaları sebebiyle son yıllarda üzerinde sıklıkla çalışmalar yapılan Berilyum Oksit (BeO) kristalleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada farklı ısıtma hızları yöntemi ve bilgisayarlı eğri ayrıştırma programı (CGCD) kullanılarak TL ışımaya eğrileri ayrıştırılmıştır (denkonvolüsyon). Ayrıştırma işlemi kullanılarak termal sönüm parametreleri olan aktivasyon enerjisi  $W(eV)$  ve C sabiti belirlenmiştir. BeO kristaline ait sığ tuzaklardan kaynaklanan 1.pik termal sönüm vermezken, 2. ve 3.pike ait  $W(eV)$  ve C parametreleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu parametrelerden yararlanarak TL ışımaya eğrilerinin rekonstrüksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

BeO kristallerin doz cevaplarını incelemek için linaklarda farklı dozlarda ışınlamalar yapılmıştır. Okumalar farklı ön ısıtma sıcaklıklarında ve farklı okuma sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. OSL bozunum eğrileri ayrıştırılarak (dekonvolüsyon)  $C_1$  (hızlı) ve  $C_2$

(yavaş) bileşenleri elde edilmiştir.  $C_1$  ve  $C_2$  bileşenlerinin doza karşı verdikleri cevaplar ayrı ayrı incelenmiştir. Termal sönüm parametreleri kullanılarak OSL bozunum eğrileri yeniden yapılandırılmıştır.

Termal sönüme uğramış ve yeniden yapılandırılarak elde edilen sönümlenmemiş OSL bozunum eğrilerinin doz cevap eğrilerinden faydalanarak verilen en düşük dozun (LDDL) ölçülmesi için en uygun okuma modu belirlenmiştir.

Eylül 2019, 91 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Berilyum Oksit (BeO), Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL), Termolüminesans (TL), Doz Cevap, Bilgisayarlı Işıma Eğrisi Ayrıştırma, Yeniden Yapılandırma, Termal Sönüm, Minimum Dedekte Edilebilir Doz

## **ABSTRACT**

### **Master Thesis**

**OPTIMIZATION OF OSL MEASUREMENTS PARAMETERS IN BERYLLIUM OXIDE (BeO) DOSIMETERS BASED ON DOSE RESPONSE CHARACTERISTICS**

**SELİME COŞKUN**

**Ankara University Institute of Nuclear Sciences**

**Department of Medical Physics**

**Health Physics Master Program**

**Supervisor: Prof. Dr. Niyazi MERİÇ**

**Co- Supervisor: Dr. Georgios S. POLYMERIS**

Thermoluminescence (TL) and Optical Stimulated Luminescence (OSL) are methods based on detecting luminescence light emitted by heat and light stimulation as a result of radiation exposure of dosimetric materials. In this thesis, Beryllium Oxide (BeO) crystals, which have been studied frequently in recent years, were used because of their high tissue equivalence.

In this study, activation energy  $W$  (eV) and  $C$  constant, which are thermal Quenching parameters were determined by using different heating rates method and computerized glow de-convolution program (CGCD). While the 1st peak caused by the shallow traps of the BeO crystal does not give thermal quenching, the  $W$  (eV) and  $C$  parameters of the 2nd and 3rd peak were determined separately. Using these parameters, TL curves were reconstructed.

Irradiations were performed at different doses to examine the dose responses of BeO crystals with linac. Readings were performed at different preheating temperatures and at different reading temperatures.  $C_1$  (fast) and  $C_2$  (slow) components of the OSL decay curves were obtained. by making deconvolution. The responses of the components  $C_1$  and

$C_2$  against the dose were examined separately. The OSL decay curves were reconstructed using thermal quenching parameters.

The optimal reading mode was determined to measure the lowest detectable dose level (LDDL) given by using the dose response curves of the thermally quenched and reconstructed unquenched OSL decay curves.

September 2019, 91 pages

**Key Words:** Beryllium Oxide (BeO), Optical Stimulated Luminescence (OSL), Thermoluminescence (TL), Dose Response, De-convolution, Reconstruction, Thermal Quenching, The Lowest Detectable Dose Level (LDDL)

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sırasında bilgi, birikim ve tecrübesiyle bana yardımcı olan ve beni yönlendiren değerli hocam Dr. Georgios S. POLYMERIS' e (Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü),

Tez çalışmam boyunca, Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü' nde gerekli bütün teknik alt yapıdan yararlanmamı sağlayan danışmanım Sayın Prof. Dr. Niyazi MERİÇ'e,

Eğitim hayatım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle üzerimde emeği olan tüm hocalarıma,

Laboratuvar çalışmalarım süresince teknik alt yapıyı kullanmamda yardımcı olan ve bilgilerini paylaşan Arş. Gör. Engin AŞLAR' a (Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü) ve Doç. Dr. Eren ŞAHİNER' e (Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü),

Hem arkadaşlığını hem de ölçümlerim sırasında yardımlarını esirgemeyen Sağlık Fizikçisi Ramiser TANRISEVEN' e

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, bana inanan ve beni her zaman destekleyen canım Ailem' e

En içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Selime COŞKUN

Ankara, 2019



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xviii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER .....	3
2.1 Lüminesans.....	3
2.2 Termolüminesans (TL) .....	4
2.2.1 Termolüminesans olayının fiziksel mekanizması.....	5
2.2.1.1 Birinci mertebeden TL kinetiği.....	7
2.2.1.2 İkinci mertebeden TL kinetiği .....	8
2.2.1.3 Genel mertebeden TL kinetiği .....	9
2.3 Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) .....	9
2.3.1 CW-OSL (sürekli dalga) modu.....	11
2.3.2 LM-OSL (lineer modülasyon) modu .....	11
2.3.3 P-OSL (pulsu OSL) modu.....	11
2.3.4 OSL modeli.....	12

<b>2.4 Tuzak Parametrelerinin Belirlenmesi ile İlgili Yöntemler .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.1 Başlangıçtaki artış (initial-rise) yöntemi .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2 Pik şekli yöntemi .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.3 Farklı ısıtma hızları yöntemi .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.4 Bilgisayarlı ışıma eğrisi ayrıştırma (dekonvolüsyon) yöntemi.....</b>	<b>19</b>
<b>2.5 Termal Sönüm (Quenching) Olayı .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6 Doz Cevabı.....</b>	<b>23</b>
<b>2.7 Lineer Hızlandırıcılar .....</b>	<b>24</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 BeO Materyali.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 TL/OSL Dozimetri Sistemi .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.1 Işık dedeksiyon sistemi.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.1.1 Fotoçoğaltıcı tüp (PMT).....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.1.2 Optik filtreler.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.2 Lüminesans uyarım sistemi .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.2.1 Isıtma sistemi.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.2.2 Optik uyarım sistemi.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.3 Işınlama kaynağı .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3 Lineer Hızlandırıcı .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4 Katı Su Fantomu .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5 Tavlama.....</b>	<b>33</b>

<b>3.6 Ön Isıtma.....</b>	<b>34</b>
<b>3.7 Termal Sönüm Parametrelerinin Belirlenmesi.....</b>	<b>34</b>
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 BeO Dozimetrelerin Kalibrasyonu.....</b>	<b>37</b>
<b>4.2 Farklı Isıtma Hızları Yöntemi Kullanılarak Termal Sönüm Parametrelerinin Belirlenmesi.....</b>	<b>38</b>
<b>4.3 TL Piklerinin Yeniden Yapılandırma (Rekonstrüksiyon) İşlemi ve Sönümlenmemiş TL Işıma Eğrilerinin Ayrıştırılması (Dekonvolüsyonu).....</b>	<b>47</b>
<b>4.4 Farklı Ön Isıtma ve Okuma Sıcaklıklarında OSL Okuması.....</b>	<b>51</b>
<b>4.5 Doz Cevabı.....</b>	<b>58</b>
<b>4.6 OSL Bozunum Eğrilerinin Yeniden Yapılandırılması ve Sönümlenmemiş OSL Bozunum Eğrilerinin Doz Cevabı.....</b>	<b>70</b>
<b>4.7 Minimum Dedekte Edilebilir Doz Değeri (Lowest Detectable Dose Level-LDDL).....</b>	<b>83</b>
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>85</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>88</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>91</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b><i>A</i></b>	<b>Pik Alanı</b>
<b><i>b</i></b>	<b>Kinetik Mertebe</b>
<b><math>\beta</math></b>	<b>Isıtma Hızı</b>
<b><i>C</i></b>	<b>Tuzak Parametre Sabiti</b>
<b><math>C_1</math></b>	<b>Hızlı OSL Bileşeni</b>
<b><math>C_2</math></b>	<b>Yavaş OSL Bileşeni</b>
<b><i>D</i></b>	<b>Doz</b>
<b><math>\delta</math></b>	<b>Maksimum Yüksek Sıcaklık Tarafındaki Yarı Genişlik</b>
<b><i>E</i></b>	<b>Aktivasyon Enerjisi</b>
<b><math>\eta</math></b>	<b>Lüminesans Verimi</b>
<b><i>H</i></b>	<b>Deşik Tuzağı</b>
<b><i>h</i></b>	<b>Deşik Yoğunluğu</b>
<b><i>I</i></b>	<b>Lüminesans Şiddeti</b>
<b><math>I_0</math></b>	<b>Başlangıçtaki Lüminesans Şiddeti</b>
<b><math>I_m</math></b>	<b>Maksimum Pik Şiddeti</b>
<b><math>I_q</math></b>	<b>Sönümlenmiş Lüminesans Şiddeti</b>
<b><math>I_{uq}</math></b>	<b>Sönümlenmemiş Lüminesans Şiddeti</b>
<b><i>k</i></b>	<b>Boltzman Sabiti</b>
<b><i>L</i></b>	<b>Yeniden Birleşme Merkezi</b>
<b><math>\lambda</math></b>	<b>Dalga Boyu</b>
<b><i>m</i></b>	<b>Yeniden Birleşme Merkezlerinin Yoğunluğu</b>
<b><math>\mu_g</math></b>	<b>Simetri Faktörü</b>
<b><i>n</i></b>	<b>Tuzaklanmış Elektronların Yoğunluğu</b>
<b><i>N</i></b>	<b>Tuzak Yoğunluğu</b>

$\gamma$	Frekans Faktörü
$p$	Elektronların Tuzaklardan Kurtulma Olasılığı
$p_r$	Yeniden Birleşme Olasılığı
$p_t$	Tuzaklanma Olasılığı
$\phi$	Foton Akısı
RT	Oda Sıcaklığı (Room Temperature)
$s$	Frekans Faktörü
$\sigma$	Foto İyonizasyon Tesir Kesiti
T	Elektron Tuzağı
$T$	Sıcaklık
$T_m$	Pik Maksimum Noktasının Sıcaklığı
$T_m^{cor}$	Düzeltilmiş Pik Maksimum Sıcaklığı
$t$	Zaman
$\tau$	Maksimum Düşük Sıcaklık Tarafındaki Yarı Genişlik
$\tau$	Bozunma Zamanı
$W$	Aktivasyon Enerjisi
$w$	Maksimum şiddetin Yarı Değerindeki Genişlik
$Z_{etkin}$	Etkin Atom Numarası

#### Kısaltmalar

CGCD	Computerized Glow De-Convolution
CW-OSL	Sürekli OSL Dalga Modu
ESR	Elektron Spin Rezonans
FOM	Figure-of-Merit
GOK	Genel Mertebeden Kinetik
GOT	Genel-Tek-Tuzak Modeli
LDDL	Lowest Detectable Dose Level

<b>LM-OSL</b>	<b>Lineer OSL Dalga Modu</b>
<b>OSL</b>	<b>Optik Uyarmalı Lüminesans</b>
<b>P-OSL</b>	<b>Pulslu OSL Dalga Modu</b>
<b>PL</b>	<b>Fotolüminesans</b>
<b>RL</b>	<b>Radyolüminesans</b>
<b>TL</b>	<b>Termolüminesans</b>
<b>UV</b>	<b>Mor Ötesi</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Lüminesans olayı. Uyarma ve emisyon arasındaki gecikme ( $\tau_c$ ) sonrası floresans ve fosforesans olayları .....	3
Şekil 2.2 (a) floresans ve (b) fosforesans üretiminde rol alan enerji geçişleri .....	4
Şekil 2.3 TL ve OSL işlemlerini gösteren basit bant modeli .....	5
Şekil 2.4 Cs-137 ile 10mGy ile ışınlanmış LiF: Mg,Ti dedektörünün TL okuması sonucu elde edilmiş ışımaya eğrisi (Olko 2002).....	6
Şekil 2.5 Üç OSL okuma metodunun şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.6. Basit Genel Tek-Tuzak (GOT) modeli. T tuzağında tuzaklanan bir elektron optik olarak iletim bandına uyarılır. Serbest hale gelen elektron ya T tuzağında tekrar tuzaklanır ya da ışımalı yeniden birleşme merkezi L de yeniden birleşerek foton salınacaktır.....	12
Şekil 2.7 BeO kristallerinde gözlenen tipik OSL eğrisi.....	15
Şekil 2.8 Bir kusur için konfigürasyonel koordinat diyagramı. Burada $E_g$ taban durumu ve $E_c$ uyarılmış durumdur. Uyarılmış durumda iken $\Delta E$ termal enerjisi elektron tarafından soğurulursa, taban durumuna ışımsız bir boşalım meydana gelir.....	22
Şekil 2.9 Lüminesans sinyalinin soğurulan doza göre şematik gösterimi (McKeever 1983) .....	23
Şekil 2.10 Tipik bir medikal lineer hızlandırıcının blok diyagramı .....	25
Şekil 3.1 0.25Gy' de ışınlanmış BeO kristaline ait TL ışımaya eğrisi .....	27
Şekil 3.2 Risø TL/OSL ölçüm sistemi (Anonymous 2014) .....	28
Şekil 3.3 Risø TL/OSL okuyucunun şematik diyagramı .....	29
Şekil 3.4 a) Isıtıcının ölçüm pozisyonundaki şekli b) karusel (ölçüm tablası) yerleştirildiğinde ısıtıcının şekli .....	31

Şekil 3.5 OSL biriminde mavi ve IR LEDleri gösteren diagram. Bu birim örnek pozisyonunda dörtlü grup halinde 470 nm ışık yayan 28tane mavi LED ve üçlü gruplar halinde 870 nm ışık yayan 21 tane IR LED içerir. ....	31
Şekil 3.6 Beta ışınlayıcının şematik diyagramı .....	32
Şekil 3.7 Varian True Beam Lineer Hızlandırıcı.....	33
Şekil 3.8 PROTHERM fırın ünitesi.....	34
Şekil 4.1 700°C de 1 saat tavllanmış ve <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y beta kaynağı ile 130mGy de ışınlanmış 47 dozimetrenin üst üste çizilmiş TL ışımaya eğrisi .....	37
Şekil 4.2 130 mGy de ışınlanan dozimetrelere seçilen 24 tane BeO in üst üste çizilmiş TL ışımaya eğrisi.....	38
Şekil 4.3 1 ve 2 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki TL ışımaya eğrileri .....	39
Şekil 4.4 3 ve 4 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki TL ışımaya eğrileri .....	39
Şekil 4.5 5 ve 6 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki TL ışımaya eğrileri .....	40
Şekil 4.6 7 ve 8 numaralı kristallerine ait farklı ısıtma hızlarındaki TL ışımaya eğrileri ..	40
Şekil 4.7 9 ve 10 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki TL ışımaya eğrileri ...	41
Şekil 4.8 1 numaralı BeO kristali için 0.5°C/s ısıtma hızındaki TL ışımaya eğrisine ait a) lineer skalada gösterim, b) logaritmik skalada gösterim.....	43
Şekil 4.9 2. ve 3.pik için deneysel ve teorik $\eta(T)$ verim değerlerinin sıcaklığa göre değişimi. pik3d 3.pik için doğrudan fit sonucu elde edilen verim değerini, pik2ud ise 2.pik için dolaylı fit sonucu elde edilen verim değerini temsil etmektedir.....	45
Şekil 4.10 1.pik için 10 farklı BeO kristaline ait normalize edilmiş pik alanlarının ısıtma hızına bağlı olarak değişimi .....	46
Şekil 4.11 2.pik için 10 farklı BeO kristaline ait normalize edilmiş pik alanlarının ısıtma hızına bağlı olarak değişimi .....	46



Şekil 4.12 3.pik için 10 farklı BeO kristaline ait normalize edilmiş pik alanlarının ısıtma hızına bağlı olarak değişimi .....	47
Şekil 4.13 1 ve 2 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki yeniden yapılandırılmış TL ışıma eğrileri .....	48
Şekil 4.14 3 ve 4 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki yeniden yapılandırılmış TL ışıma eğrileri .....	49
Şekil 4.15 5 ve 6 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki yeniden yapılandırılmış TL ışıma eğrileri .....	49
Şekil 4.16 7 ve 8 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki yeniden yapılandırılmış TL ışıma eğrileri .....	50
Şekil 4.17 9 ve 10 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki yeniden yapılandırılmış TL ışıma eğrileri.....	50
Şekil 4.18 Farklı ısıtma hızlarında 10 tane BeO kristali için her bir pike ait sönümlenmemiş TL sinyallerinin sapması.....	51
Şekil 4.19 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 100°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler .....	53
Şekil 4.20 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 100°C ön ısıtma ardından 100°C'de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler.....	54
Şekil 4.21 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 220°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler .....	55
Şekil 4.22 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 220°C ön ısıtma ardından 100°C'de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler.....	56

Şekil 4.23 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 220°C ön ısıtma ardından 220°C'de OSL okuması sonucu ayrıştırmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler.....	57
Şekil 4.24 12 farklı dozda ışınlanan BeO kristallerinin 100°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması ile elde edilen bozunum eğrileri.....	59
Şekil 4.25 12 farklı dozda ışınlanan BeO kristallerinin 100°C ön ısıtma ardından 100°C sıcaklıkta OSL okuması ile elde edilen bozunum eğrileri .....	59
Şekil 4.26 12 farklı dozda ışınlanan BeO kristallerinin 220°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması ile elde edilen bozunum eğrileri.....	60
Şekil 4.27 12 farklı dozda ışınlanan BeO kristallerinin 220°C ön ısıtma ardından 100°C sıcaklıkta OSL okuması ile elde edilen bozunum eğrileri .....	60
Şekil 4.28 12 farklı dozda ışınlanan BeO kristallerinin 220°C ön ısıtma ardından 220°C sıcaklıkta OSL okuması ile elde edilen bozunum eğrileri .....	61
Şekil 4.29 Farklı okuma modlarında elde edilen toplam OSL şiddetinin doza göre değişimi .....	62
Şekil 4.30 Farklı okuma modlarında elde edilen toplam OSL şiddetinin doza göre değişiminin logaritmik skalada gösterimi .....	62
Şekil 4.31 Ayrıştırma işlemi sonrasında elde edilen C <sub>1</sub> ve C <sub>2</sub> bileşenlerin doza karşı OSL şiddeti değişimi.....	64
Şekil 4.32 Ayrıştırma işlemi sonrasında elde edilen C <sub>1</sub> bileşeninin doza karşı OSL şiddeti değişimi .....	64
Şekil 4.33 Ayrıştırma işlemi sonrasında elde edilen C <sub>2</sub> bileşeninin doza karşı OSL şiddeti değişimi .....	65
Şekil 4.34 100°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması sonucu ayrıştırmış OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri.....	66

Şekil 4.35 100°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri .....	67
Şekil 4.36 220°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri .....	68
Şekil 4.37 220°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri .....	69
Şekil 4.38 220°C ön ısıtma ardından 220°C’ de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri .....	70
Şekil 4.39 0.25Gy’ de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 100°C ön ısıtma ardından 100°C’de OSL okuması sonucu yeniden yapılandırılarak ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler .....	72
Şekil 4.40 0.25Gy’ de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 220°C ön ısıtma ardından 100°C’de OSL okuması sonucu yeniden yapılandırılarak ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler .....	73
Şekil 4.41 0.25Gy’ de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 220°C ön ısıtma ardından 220°C’de OSL okuması sonucu yeniden yapılandırılarak ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler .....	74
Şekil 4.42 Yeniden yapılandırma sonucu farklı okuma modlarında elde edilen OSL şiddetinin doza göre değişimi .....	77
Şekil 4.43 Yeniden yapılandırma sonucu farklı okuma modlarında elde edilen OSL şiddetinin doza göre değişiminin logaritmik skalada gösterimi .....	77
Şekil 4.44 Ayrıştırma işlemi sonrasında elde edilen C <sub>1</sub> ve C <sub>2</sub> bileşenlerin doza karşı OSL şiddeti değişimi .....	79
Şekil 4.45 Ayrıştırma işlemi sonrasında elde edilen C <sub>1</sub> bileşeninin doza karşı OSL şiddeti değişimi .....	79

Şekil 4.46 Ayırıştırma işlemi sonrasında elde edilen C<sub>2</sub> bileşeninin doza karşı OSL şiddeti değişimi ..... 80

Şekil 4.47 100°C ön ısıtma ardından 100°C 'de OSL okuması sonucu ayırıştırılmış yeniden yapılandırılan OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri 81

Şekil 4.48 220°C ön ısıtma ardından 100°C' de OSL okuması sonucu ayırıştırılmış yeniden yapılandırılan OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri. .... 82

Şekil 4.49 220°C ön ısıtma ardından 220°C' de OSL okuması sonucu ayırıştırılmış yeniden yapılandırılan OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri 83

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 2. ve 3.pik için elde edilen $W(eV)$ ve $C$ değerleri.....	44
Çizelge 4.2 0.25 Gy 14 numaralı BeO kristalinin farklı okuma modlarındaki toplam OSL şiddeti ve ayrıştırma sonucu elde edilen $C_1$ ve $C_2$ bileşenlerinin OSL şiddetleri.....	58
Çizelge 4.3 Farklı OSL okumalarında doza karşı elde edilen ortalama OSL sinyalleri .	61
Çizelge 4.4 OSL sinyalinin doza karşı cevabını ifade eden $f(D)$ değerleri.....	63
Çizelge 4.5 0.25 Gy 14 numaralı BeO kristalinin farklı okuma modlarındaki toplam yeniden yapılandırılmış OSL şiddeti ve ayrıştırma sonucu elde edilen $C_1$ ve $C_2$ bileşenlerinin OSL şiddetleri.....	75
Çizelge 4.6 Farklı OSL okumalarında doza karşı elde edilen yeniden yapılandırılmış OSL sinyalleri .....	76
Çizelge 4.7 OSL sinyalinin doza karşı cevabını ifade eden $f(D)$ değerleri.....	78
Çizelge 4.8 Farklı okuma modlarında dedekte edilebilir minimum doz değerleri.....	84
Çizelge 5.1 OSL bileşenlerinin toplam OSL sinyaline katkısı (Toplam OSL sinyali $C_1$ ve $C_2$ bileşenlerinin katkısı ve arka plan değerinin katkısını içermektedir.).....	86

## 1. GİRİŞ

Dozimetri, doğrudan veya dolaylı olarak radyoaktif ışımaya maruz kalmış bir malzemenin ya da canlı dokunun maruz kaldığı radyasyon dozunu belirlenmesi için kullanılan bir tekniktir. Termoluminesans (TL), Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) ve Elektron Spin Rezonans (ESR) gibi yöntemler de bu maruz kalınmış dozun, pasif olarak belirlenmesi için kullanılan yaygın yöntemlerden birkaçıdır (Şahiner 2015). Bu pasif yöntemlerde dozimetrik özellikleri olan, radyasyona maruz kalma sonucu enerjiyi yapısındaki tuzaklar yardımıyla depolayan yarı iletken ya da yalıtkan kristaller kullanılmaktadır. LiF: Mg,Ti ( $Z_{\text{etkin}}=8.14$ ),  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ : Cu ( $Z_{\text{etkin}}=7.3$ ) ve  $\text{CaSO}_4$ : Tm ( $Z_{\text{etkin}}=15.6$ ) gibi kristaller yaygın olarak kullanılan TL malzemelerken,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ :C ( $Z_{\text{etkin}}=11.3$ ) ve BeO ( $Z_{\text{etkin}}=7.13$ ) en yaygın kullanılan OSL kristallerdir.

Berilyum Oksit (BeO) ticari olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Mükemmel ısı iletkenliği ve yüksek elektrik direnci nedeniyle elektronik endüstrisindeki soğutucuları yalıtım için kullanılmıştır. Yüksek erime noktası ( $2570^\circ\text{C}$ ) ve yüksek termal şok direnci nedeniyle potansiyel ve ısı çifti (thermocouple) tüpleri için uygun bir malzemedir (Bulur ve Göksu 1998, Watanabe vd. 2010).

BeO ( $Z_{\text{etkin}}=7.13$ ), neredeyse doku ( $Z_{\text{etkin}}=7.4$ ) eşdeğeri olmasından dolayı radyasyon dozimetresi için ilgi çekici bir malzemedir. İlk olarak Tochilin vd. (1969), Scarpa (1970), Crase ve Gammage (1975) gibi birçok araştırmacı tarafından, BeO' in dozimetrik bir TL malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Fakat, toz formunda toksik olması ve TL sinyalinin ışığa karşı duyarlılığından dolayı BeO' in bir TL malzemesi olarak kullanımını zordur. Bununla birlikte  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ :C için de kanıtlanmış olduğu gibi (Markey ve McKeever 1995), bir TL sinyalinin aşırı ışık hassasiyeti, kullanılan malzemenin OSL dozimetrisi için uygunluğunun bir göstergesi olarak kabul edilebileceği kabul edilebilir. X-ışınına maruz bırakılmış BeO' den gelen lüminesansın uyarılması için görünür fotonların kullanılması durumunu ilk defa Albrecht ve Mandeville (1956) tarafından önerilmiştir. Uyarılma maksimumunun  $410\text{nm}$  civarında olduğu ve emisyonun ise UV bölgesinde olduğu bulunmuştur. Daha sonra Tochilin vd. (1969), ışınlanmış bir BeO kristalinin aydınlatılmasından (uyarılmasından) sonra fosforesans bozunumu araştırılmıştır. Fosforesans bozunumundan ziyade hızlı OSL ölçümlerinin hassasiyeti

arttıracığı öngörölmüştür. Bulur ve Göksu (1998) ile BeO materyalinin OSL özellikleri detaylı bir şekilde araştırılmaya başlanmış ve OSL dozimetre olarak kullanımı önerilmiştir. Pasif radyasyon dedektörlerine, kişisel ve çevresel dozimetrelere olan yüksek talebe bağılı olarak, Dresden'deki radyasyon fizik grubu, bir OSL dozimetre olarak BeO' i araştırmışlardır (Sommer ve Henniger 2006).

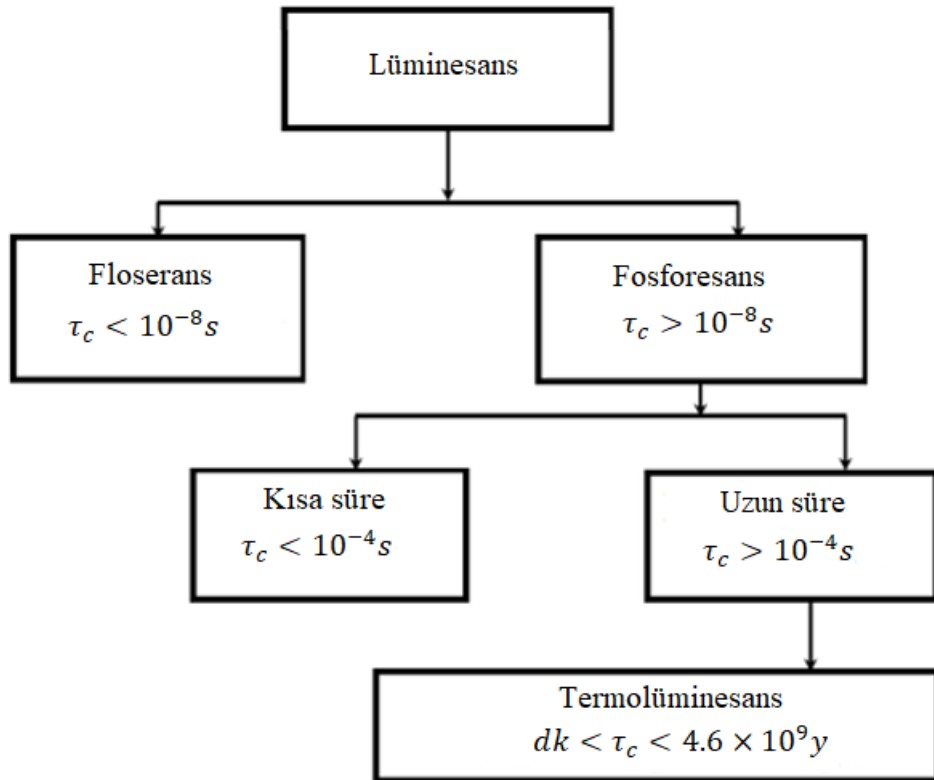
Bu tez çalışmasının amacı, farklı ısıtma hızları metodunu kullanarak BeO kristallerinin tuzak parametrelerini belirlemek ve belirlenen tuzak parametreleri ile termal sönüme uğramış TL ve OSL eğrilerini yeniden yapılandırmaktır (rekonstrüksiyon). Farklı ön ısıtma sıcaklıklarında ve farklı sıcaklıklarda OSL okumaları yaparak, BeO kristalinin OSL doz cevap eğrilerinden yararlanarak en düşük dedekte edilebilen doz için en uygun okuma modunu belirlemektir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1 Lüminesans

Yarı iletken ya da yalıtkan katı bir maddenin enerji soğurmasıyla uyarılan ve kararsız hale geçen atom veya moleküller, kazandıkları bu enerjiyi vererek temel (kararlı) hale dönmek isterler. Bu esnada sistemden ışık yayılması olayı gerçekleşir. Yayımlanan bu ışık malzemenin ve kullanılan enerjinin karakteristik bir özelliğidir. Bu ışık yayılım olayına genel olarak lüminesans denir.

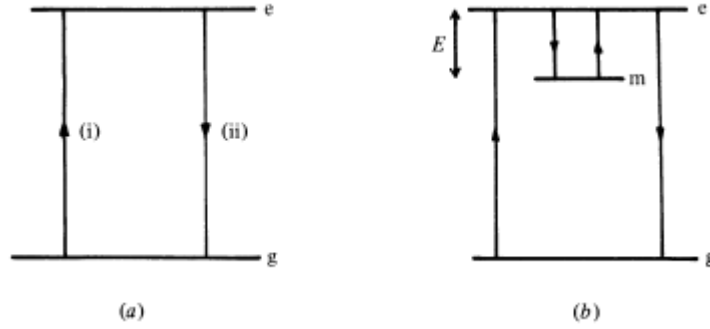
Lüminesans yayılımı yarı iletken ya da yalıtkan katıların ışınlanmasıyla içerisindeki elektronlardan enerji transferiyle açıklanabilir.



Şekil 2.1 Lüminesans olayı. Uyarma ve emisyon arasındaki gecikme ( $\tau_c$ ) sonrası floresans ve fosforesans olayları



Şekil 2.2' de görüldüğü gibi taban durumdaki bir elektron uyarılmış duruma geçebilir (i) ve uyarılmış durumdaki bir elektron da taban duruma geçebilir (ii). Bu geçiş esnasında lüminesans fotonu meydana gelebilir. İlk geçiş ile ikinci geçiş arasındaki gecikme eğer  $10^{-8}$  s'den daha az ise bu olaya floresans( $\alpha$ ) denir ve bu olay sıcaklığa bağlı değildir.



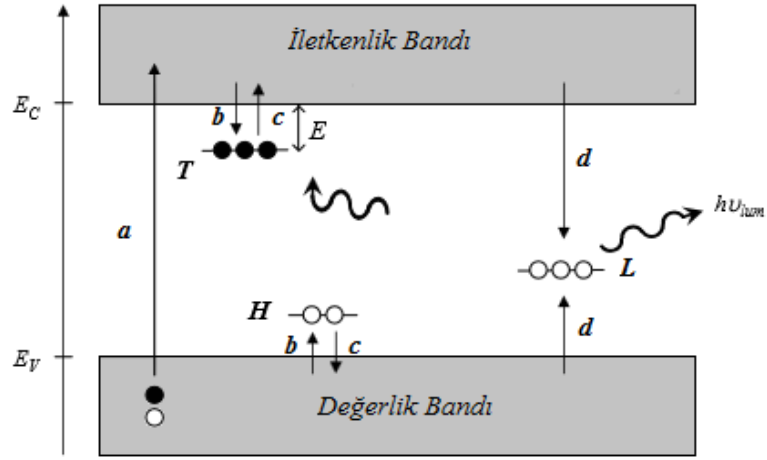
Şekil 2.2 (a) floresans ve (b) fosforesans üretiminde rol alan enerji geçişleri

Sıcaklığa bağlı fosforesans (b) olayı ise taban ve uyarılmış durum arasındaki yasak bant içinde yarı kararlı bir seviyenin varlığıyla açıklanır. Mutlak 0 ( $0^0\text{K}$ )' da saf bir yalıtkan veya yarıiletkende elektronların tamamı değerlik bandındadır. İletkenlik ve değerlik bandı arasında yasak bant olarak adlandırılan bir boşluk vardır. Yarı iletken ya da yalıtkan malzemelere bazı safsızlıklar eklenerek yasak bant içinde enerji seviyeleri elde edilir. Uyarılmış durumda bulunan bir elektron yasak bant içerisindeki safsızlıkların sebep olduğu yarı kararlı tuzaklarda tuzaklanabilir. Tuzaklanmış elektronu tuzaktan kurtarıp tekrar taban duruma dönmesini sağlamak için elektronun tuzaktan kurtulması için gereken minimum enerjinin (E) elektrona verilmesi gerekir. Elektron bu durumda uyarılmış seviyeden taban seviyeye geçerken ışık salınımı olayı gerçekleşir. Bu olaya fosforesans denir (McKeever 1983).

## 2.2 Termolüminesans (TL)

Yarı iletken ya da yalıtkan katıların radyasyona maruz kalması sonucunda tuzaklanmış elektronların tuzaktan kurtulmaları için gerekli minimum E enerjisinin elektronlara ısı enerjisi olarak sabit bir ısıtma hızı ile verilmesiyle termolüminesans olayı gerçekleşir.

### 2.2.1 Termolüminesans olayının fiziksel mekanizması

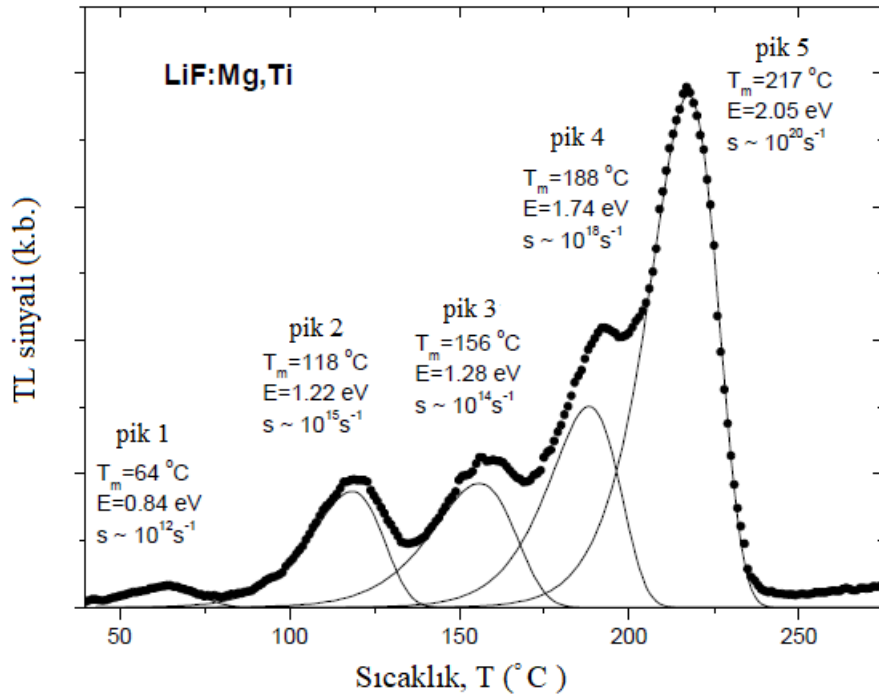


Şekil 2.3 TL ve OSL işlemlerini gösteren basit bant modeli

Termolüminesans olayı katıların enerji bant teorisiyle alakalıdır. Hiçbir kristal ideal değildir ve daima içinde bozukluk ve safsızlık olarak adlandırılan kusurlar vardır. Bu kusurlar yasak bant aralığında yarı kararlı enerji seviyeleri meydana getirir. Şekil 2.3 incelenirse; (a) geçişi ile serbest olarak hareket edebilmek için yeterli enerjiye sahip değerlik (valans) elektronu uyarılarak iletim bandına geçer. Bu geçiş kristalin dış bir kaynaktan enerji soğurması sonucu (iyonizasyon olayı) gerçekleşir. İletkenlik bandına geçen her elektron, değerlik bandında bir deşik meydana getirir. Böylece iyonizasyon sonucunda kristal içinde serbest olarak hareket edebilen elektron-deşik çiftleri oluşur. (b) geçişi ile elektronlar ve deşikler kristal içerisindeki yarı kararlı seviyelerde tuzaklanırlar. Elektronların bu tuzaklardan kurtulması için gereken minimum  $E$  enerjisi (tuzak derinliği) kristale verilene kadar (ki bu yıllarca sürebilir) elektronlar bu tuzaklarda depolanır. Kristalin termal olarak uyarılmasıyla elektronlar iletim bandına geçerek (c) tekrar serbest olarak hareket edebilirler. Sonuç olarak (d) geçişi ile yeniden birleşme merkezlerindeki deşiklerle tekrar birleşirler. Bu tekrar birleşme olayı sonucunda lüminesans fotonunun salınımı gerçekleşir.

Salınan bu fotonlar foto çoğaltıcı tüp ile dedekte edilerek doz eşdeğeri hesaplanır.

Işık şiddeti sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Bu ölçümlerin sonucunda ışımaya eğrisi (Glow Curve) olarak ifade edilen eğri elde edilir. Eğrinin altında kalan alan kristalde soğurulan doz miktarını verir. Klasik olarak LiF' ün ışımaya eğrisi dikkate alınırsa birden fazla tepe noktası bulunmaktadır (Şekil 2.4). Farklı tepe noktalarının olmasının nedeni, katı içindeki tuzakların farklı enerji seviyelerinde (tuzak derinliği) bulunmasıdır. Katı ısıtıldıkça tuzaklarda tutulan elektronlar serbest kalır ve farklı tepe noktaları ortaya çıkar. Sıcaklık arttırıldıkça da daha derin tuzaklarda tuzaklanan elektronlar serbest kalır. Tepe noktalarının genişliği bu tuzaklarda depolanan doz ile orantılıdır. Soğurulan doz, ışımaya eğrisi dikkate alınınca ya yayımlanan foton sayısı belirlenerek ya da tepe noktalarının yüksekliğinin belirlenmesi ile ölçülür (McKeever 1983).



Şekil 2.4 Cs-137 ile 10mGy ile ışınlanmış LiF: Mg,Ti dedektörünün TL okuması sonucu elde edilmiş ışımaya eğrisi (Olko 2002)

### 2.2.1.1 Birinci mertebeden TL kinetiği

Basit olarak Randall-Wilkins (1945) modeli incelenirse, değerlik ve iletim bandı arasında iki enerji seviyesi vardır. T seviyesi tuzaklama merkezini, L seviyesi ise yeniden birleşme merkezini ifade eder. Bu model tek bir tuzak derinliğine dayanır ve elektronların tekrar tuzaklanma olasılığının çok küçük olduğu varsayılır. Uyarılma sonucunda  $n_0$  tane elektronun T seviyesinde tuzaklandığını ve aynı miktarda değişimde H merkezinde biriktiğini varsayarsak tuzaklanan elektronların serbest kalma oranı Boltzmann fonksiyonu ile orantılıdır. İletkenlik bandına geçmiş elektronların L merkezinde, birikmiş deşiklerle birleşmesi sonucu foton salınımı gerçekleşir. Foton salınım hızı  $I(t)$  Randall-Wilkins modeline göre tuzaklanan elektron yoğunluğu ile orantılıdır.

Elektronu tuzaktan kurtarmak için gerekli E enerjinin verilmesiyle, elektronun tuzaktan kurtulma olasılığı;

$$p = s \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) \quad (2.1)$$

burada k Boltzmann sabiti, s frekans faktörü ( $s^{-1}$ ), E tuzak derinliği (eV) ve T mutlak sıcaklıktır.

Foton salınım hızı;

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = ns \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) \quad (2.2)$$

Malzeme sabit bir hızla ısıtılırsa  $\beta = dT/dt$ ;

$$\frac{dn}{dt} = \frac{dn}{dT} \frac{dT}{dt} = \beta \frac{dn}{dT} \quad (2.3)$$

$$\frac{dn}{dT} = -\frac{1}{\beta} ns \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) \quad (2.4)$$

$$\frac{dn}{n} = -\frac{s}{\beta} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dT \quad (2.5)$$

İntegral alınır;

$$\ln\left(\frac{n}{n_0}\right) = - \int_{T_0}^T \frac{s}{\beta} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \quad (2.6)$$

$$n(t) = n_0 \exp\left[- \int_{T_0}^T \frac{s}{\beta} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right] \quad (2.7)$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = n_0 \exp(-E/kT) \exp\left[- \int_{T_0}^T \frac{s}{\beta} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right] s \quad (2.8)$$

Birinci mertebeden TL kinetiği (2.8) denklemi ile ifade edilmektedir.

### 2.2.1.2 İkinci mertebeden TL kinetiği

Garlick ve Gibson (1948), serbest yük taşıyıcılarının tekrar birleşme merkezlerinde tuzaklanma veya yeniden birleşme olasılığını göz önünde bulundurur. İkinci mertebeden kinetik yeniden tuzaklanma durumu olduğu zaman kullanılır. Elektronların tuzaktan kurtulmaları, yeniden tuzaklanmaları veya deşiklerle yeniden birleşmelerinin eşit olasılıkta olduğunu varsayar. Elektronların tuzaktan kurtulma ve tekrar birleşme merkezlerinde yeniden birleşme olasılığı (Bos 2007);

$$\frac{m}{(N - n) + m} = \frac{n}{N} \quad (2.9)$$

Burada;

$N$ : tuzak yoğunluğu

$n$ : tuzaklanan elektronlar

$m$ : tekrar birleşme merkezlerinin yoğunluğu

$n = m$  yük nötrallığı şartı

TL şiddeti  $I(t)$ ,

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = \frac{n^2}{N} s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.10)$$

Malzeme sabit bir hızla ısıtılırsa  $\beta = \frac{dT}{dt}$ ;

$$I(t) = \frac{n_0^2 s}{N \beta} \frac{\exp\left(-\frac{E}{kT}\right)}{\left[1 + \left(\frac{n_0 s}{N \beta}\right) \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right]^2} \quad (2.11)$$

### 2.2.1.3 Genel mertebeden TL kinetiği

Genel mertebeden kinetik, birinci ve ikinci mertebeden kinetikteki gibi basit varsayımlar içermez. May ve Patridge (1964) genel mertebe kinetiği için ampirik bir ifade kullandı

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = n^b s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.12)$$

$b$ : kinetik mertebe

Malzeme sabit bir hızla ısıtılınca  $\beta = \frac{dT}{dt}$  genel mertebeden TL şiddeti (2.13) denklemi ile verilmektedir.

$$I(t) = \frac{s''}{\beta} n_0 \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + (b-1) \frac{s''}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right]^{\frac{b}{b-1}} \quad (2.13)$$

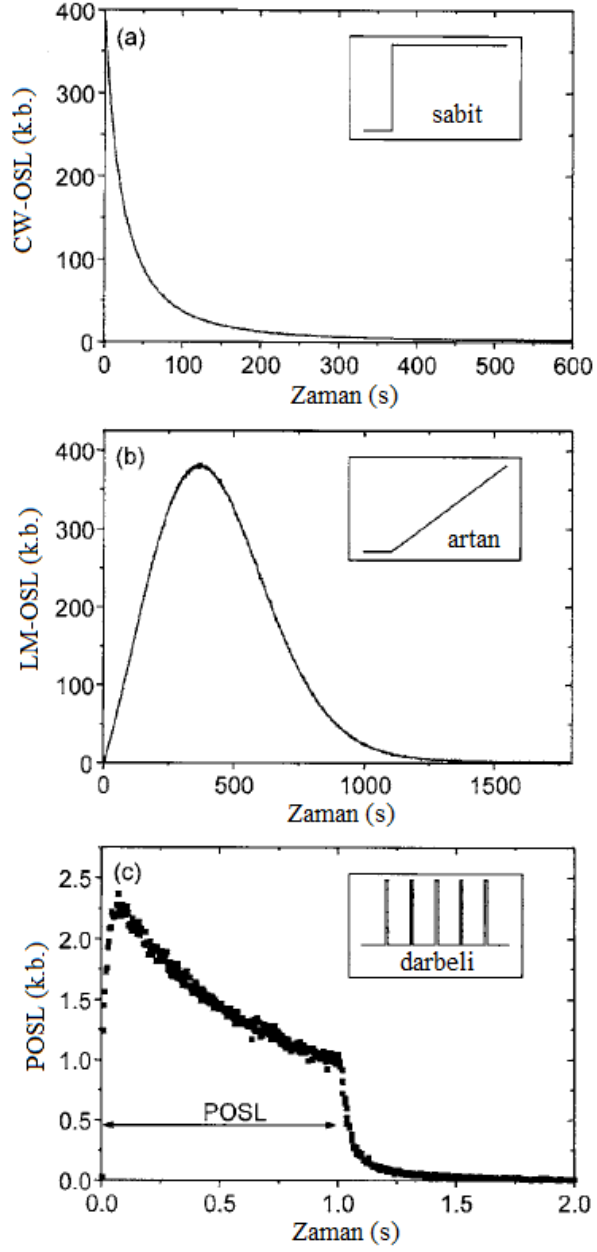
$s'' = s n_0^{(b-1)}$  birimi  $s^{-1}$ dir. Genel mertebe eşitliğinde  $b=2$  olması durumunda 2. mertebe kinetiğine,  $b=1$  olması durumunda 1. mertebe kinetik modeli elde edilmektedir (Furetta 1937).

### 2.3 Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL)

Yarı iletken ya da yalıtkan katıların radyasyona maruz kalması sonucunda tuzaklanmış elektronların tuzaktan kurtulmaları için gerekli minimum  $E$  enerjisinin, elektronlara termolüminesans dozimetredeki ısı enerjisi yerine ışık olarak verilmesi olayına da optik uyarımlı lüminesans denir.

OSL, TL ile aynı şekilde salınan fotonların foto çoğaltıcı tüplerde dedekte edilmesi ile doz hesaplanır.

Temel olarak üç farklı uyarılma metodu vardır. OSL' de farklı dalga boylu lüminesans emisyonu ölçülürken, materyallere özgü farklı dalga boylu ışıkla uyarılırlar. Uyarılan ışığın dalga boyunun, lüminesans ışığın dalga boyundan büyük olması gerekir.



Şekil 2.5 Üç OSL okuma metodunun şematik gösterimi

### **2.3.1 CW-OSL (sürekli dalga) modu**

OSL uygulamalarında ölçümler çoğunlukla materyalin sabit bir ışık şiddeti ile uyarıldığı ve uyarılma sırasında emisyon ışığının gözlemlendiği CW-OSL modunda gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde, uyarma ve emisyon ışığı arasında ayırım yapmak ve saçılmış uyarma ışığının detektöre ulaşmasını engellemek için filtreler gereklidir. Lüminesans sinyalinin, OSL tuzakları tükendikçe uyarılma süresiyle azaldığı gözlenir. OSL, genellikle ışık kaynağı açıldığı andan itibaren ve sinyal sabit bir arka plan seviyesine ulaşana kadar gözlemlenir, bunun sonucunda da OSL bozulma eğrisi elde edilir. (Thomsen 2004).

### **2.3.2 LM-OSL (lineer modülasyon) modu**

LM-OSL modunda, stimülasyon ışığının şiddeti, CW-OSL' deki gibi sabit tutulmaz. Sıfırdan belirli bir şiddet değerine kadar zamanla doğrusal olarak arttırılır. Uyarma gücünün değişimi TL' de sıcaklığın doğrusal olarak artışı gibi düşünülebilir. Başlangıçta tuzaklanmış elektronların salınma hızı, uyarma gücü düşük olduğundan düşüktür. OSL sinyali uyarma gücüyle maksimuma ulaşılana kadar artar. Bundan sonra OSL sinyalinin şiddeti, tuzaklanmış yük konsantrasyonundaki azalmanın bir sonucu olarak doğrusal olmayan bir şekilde azalır. Sonuç olarak uyarılma süresinin bir fonksiyonu olarak yayılan OSL sinyali, pik şeklinde gözlenir. Pikin pozisyonu (zaman birimi cinsinden), uyarılma ışığının şiddetindeki doğrusal artış hızına ve boşaltılmakta olan tuzağın fotoyonizasyon tesir kesitine bağlıdır (Thomsen 2004).

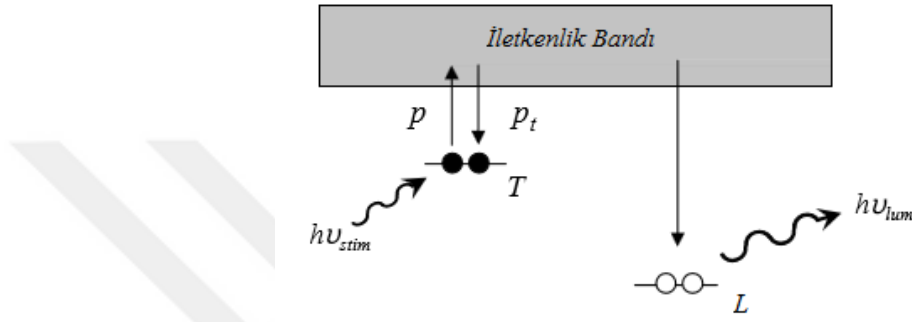
### **2.3.3 P-OSL (pulsu OSL) modu**

Uyarma ışığı darbeleri olarak uygulanır ve OSL sinyali sadece darbeler arasında ölçülür. Yayılan lüminesans, uyarma ışığı kapalıyken ölçülür. Böylece emisyon ve uyarma ışığının karışmasını engellemek için optik filtrelere daha az ihtiyaç duyulur. POSL' de bu karışıklık CW-OSL ve LM-OSL' deki gibi dalga boyu çözünürlüğünden ziyade zaman çözünürlüğüyle elde edilir (Thomsen 2004).



### 2.3.4 OSL modeli

Malzeme sabit ışık şiddeti (CW-modu) ile uyarıldığında, tuzaklanan elektronların serbest kalması ve bunun sonucunda elektron ve deşiklerin yeniden-birleşmesiyle, lüminesans şiddetinin azalması beklenir. Şekil 2.6' da gösterilen Genel Tek-Tuzak (GOT) modeli geliştirilmiştir. Bu model tek tip elektron tuzağı T ve tek tip yeniden-birleşme merkezi L ve iletim bandını içerir.



Şekil 2.6. Basit Genel Tek-Tuzak (GOT) modeli. T tuzağında tuzaklanan bir elektron optik olarak iletim bandına uyarılır. Serbest hale gelen elektron ya T tuzağında tekrar tuzaklanır ya da ışımalı yeniden birleşme merkezi L de yeniden birleşerek foton salınacaktır.

Tuzaklanma ve yeniden-birleşme süreçlerinde yalnızca elektronlar dikkate alınır ve tüm yük geçişleri iletim bandı üzerinden gerçekleşir. Yeniden-birleşme merkezine her geçiş ışımalı yeniden-birleşme ile gerçekleştiği varsayılır.

Bir elektronun birim zamanda T tuzağından ayrılma olasılığı  $p$ , uyarılma ışığının (sabit ışık şiddeti) foton akısı  $\phi$ (foton/m<sup>2</sup>s) ile orantılıdır.

$$p = \sigma(\lambda)\phi \quad (2.14)$$

Burada  $\sigma(\lambda)$  tuzaktan yük salınımı için foto iyonizasyon tesir-kesitidir (m<sup>2</sup>).  $\sigma(\lambda)$  uyarılan ışığın dalga boyuna bağlıdır, ancak basitlik için monokromatik (tek renkli) olduğu kabul edilir. Dışardan ışıkla uyarılma esnasında elektronları yeniden T tuzağına tuzaklanma hızı,

$$\frac{dn_u}{dt} = -pn \quad (2.15)$$

burada  $n$  tuzaklanmış elektron yoğunluğudur. Tuzaklanan veya yeniden tuzaklanan elektronların hızı, iletim bandındaki elektronların yoğunluğu ile orantılıdır.

$$\frac{dn_d}{dt} = p_t n_c (N - n) \quad (2.16)$$

Burada  $p_t$  tuzaklanma olasılığı,  $n_c$  iletim bandındaki elektron yoğunluğu,  $N$  elektron tuzaklarının yoğunluğudur.

Yeniden-birleşme hızı, iletim bandındaki elektron yoğunluğu  $n_c$  ve yeniden-birleşme merkezi L deki deşik yoğunluğu  $h$  ile orantılıdır.

$$\frac{dh}{dt} = -p_r n_c h \quad (2.17)$$

Burada  $p_r$  yeniden-birleşme olasılığıdır.

İletkenlik bandı, tuzak, yeniden-birleşme merkezi vb. de elektron geçişleri aşağıdaki hız denklemleri ile ifade edilmektedir.

$$\frac{dn_c}{dt} = -\frac{dn_u}{dt} - \frac{dn_d}{dt} - \frac{dh}{dt} = pn - p_t n_c (N - n) + p_r n_c h \quad (2.18)$$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{dn_u}{dt} + \frac{dn_d}{dt} = -pn + p_t n_c (N - n) \quad (2.19)$$

$$\frac{dh}{dt} = -p_r n_c h \quad (2.20)$$

İlk iyonizasyon sürecinde oluşan deşiklerin yeniden-birleşme merkezinde tuzaklandığı varsayılırsa,

$n + n_c = h$  olur. Böylece

$$\left| \frac{dn_c}{dt} \right| = - \left| \frac{dn}{dt} \right| + \left| \frac{dh}{dt} \right| \quad (2.21)$$

Olarak yazılabilir ve bu denklem yük nötrallığı şartı olarak bilinir. Bu modelde  $I_{OSL}$  şiddeti (foton/s) yeniden-birleşmenin olduğu hıza eşittir.

$$I_{OSL} = -\frac{dh}{dt} = -\frac{dn_c}{dt} - \frac{dn}{dt} \approx -\frac{dn}{dt} \quad (2.22)$$

Burada yarı-denge durumu varsayılır.  $n_c \ll n$  iletim bandındaki elektron yoğunluğu, tuzaklanmış elektron yoğunluğundan çok daha küçüktür ve  $|dn_c/dt| \ll |dn/dt|$  iletim bandındaki elektron yoğunluğunun değişim hızı tuzaklanmış elektron yoğunluğunun değişim hızından çok daha küçüktür.

$$I_{OSL}(t) \approx pn \left( 1 - \frac{p_t(N-n)}{p_r h + p_t(N-n)} \right) \quad (2.23)$$

Bu eşitlik OSL için Genel Tek-Tuzak (GOT) denklemi olarak adlandırılır (Thomsen 2004).

### CW-OSL Bozunum Eğrisi

Yeniden tuzaklanmanın ihmal edildiği düşünülürse,  $p_r h \gg p_t(N-n)$  olur. GOT denklemi,

$$I_{OSL}(t) = -\frac{dn}{dt} = pn \quad (2.24)$$

birinci dereceden denkleme indirgenir.

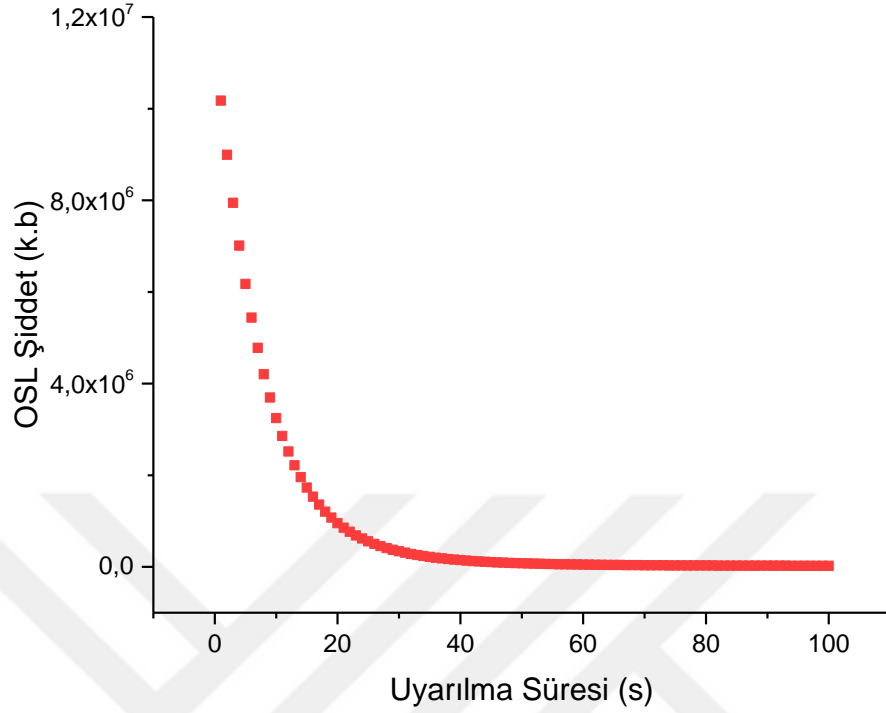
$$I_{OSL}(t) = I_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (2.25)$$

Burada  $I_0$   $t=0$  anındaki ilk OSL sinyalinin şiddeti,  $\tau$   $(\sigma(\lambda)\phi)^{-1}$  olarak verilen karakteristik bozunma zamanıdır.

Dozimetrik bir materyal birden fazla tuzığa sahip olabilir. Materyaldeki tüm tuzaklar uyarıldığında, OSL sinyali üstel bozunumların toplam serisi olarak düşünülebilir.

$$I_{OSL} = \sum_{i=1}^m I_{i0} \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (2.26)$$

1.5 Gy de ışınlanmış CW-OSL okuma modu ile okunmuş BeO materyalinin bozunma eğrisi Şekil 2.7' deki gibidir.



Şekil 2.7 BeO kristallerinde gözlenen tipik OSL eğrisi

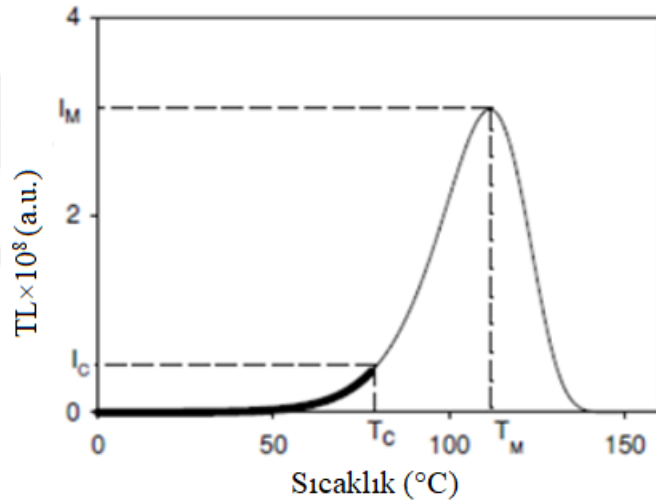
#### 2.4 Tuzak Parametrelerinin Belirlenmesi ile İlgili Yöntemler

Bir TL materyaline ait tuzak parametreleri incelenmek istendiğinde, tek bir TL piki için bile bir dizi parametre göz önünde bulundurulmalıdır. Birden fazla pikten oluşan bir ışımaya eğrisi ile incelendiğinde ise parametre sayısı da önemli ölçüde artar. Bir ışımaya eğrisi simüle edilmek istendiğinde, parametreleri verilen eğriyi elde etmek nispeten basittir. Tuzak parametrelerinin ölçülen eğriden elde edilmesi ise daha karmaşıktır. Her bir ışımaya pikinin şekli en önemli parametre olan aktivasyon enerjisine karşı çok hassastır. Bu nedenle bunu belirlemek için yöntemler geliştirilmiştir. Aktivasyon enerjisi, termal olarak tuzaklanmış bir elektronun iletim bandına bırakılması için gerekli enerji ile ilgilidir. Prensipte olarak, belirli bir tuzak parametresini bulmak için, bu parametreye karşı çok hassas ve diğer tüm tuzak parametrelerine karşı da duyarsız olan bir özellik tanımlanmalıdır. Aşağıdaki bölümlerde aktivasyon enerjisinin belirlenmesi için

yöntemler açıklanmaktadır ve bu bilindikten sonra bazı durumlarda frekans faktörü ve kinetik merteye de belirlenebilir (Chen ve Pagonis 2011).

#### 2.4.1 Başlangıçtaki artış (initial-rise) yöntemi

Bu yöntem, pikin düşük sıcaklık aralığının analizine dayanır. Bu yöntem ilk defa Garlick ve Gibson (1948) tarafından önerilmiştir. Bir ışımaya pikinin düşük sıcaklık bölgesinde tuzaklanmış elektron miktarının sabit olduğu varsayılabilir. Çünkü  $n(T)$  nin  $T$  sıcaklığına bağımlılığı bu bölgede önemsizdir. Sıcaklık arttıkça, (2.8) denkleminin ilk kısmı artarken, ikinci kısım sabit kalır. Bu maksimum TL şiddeti  $I_M$ ' nin yaklaşık olarak %15' inden daha küçük bir  $I_C$  TL şiddetine karşılık gelen bir kesim sıcaklığına ( $T_C$ ) kadar olan sıcaklıklar için geçerlidir.



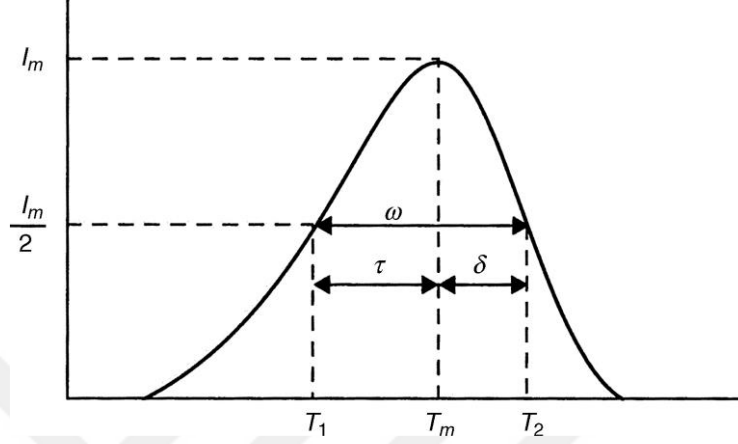
Sıcaklıktaki bir başka artış ( $T > T_C$ ), denklemin ikinci kısmını azaltırken, denklemdaki iki terim arasındaki fark TL ışımaya eğrisinin pik şeklini oluşturur.  $n(T)$ 'nin sabit olduğu varsayımı kullanılarak termoluminesans emisyonu;

$$I(T) \propto \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.27)$$

ile tanımlanabilir.  $\ln(I)$ 'yi  $1/T$ 'nin bir fonksiyonu olarak çizersek elde edilecek olan lineer eğrinin eğimi  $-E/k$  'ya eşit olacaktır (Shrivastava vd. 2012).

## 2.4.2 Pik şekli yöntemi

Bu yöntemde TL ışınma eğrisinin pik şeklinden ve eğri boyunca belirli noktalardaki ölçülen yoğunluklardan faydalanılır.



Bu noktalar;

$T_m$ : pik maksimum noktasının sıcaklığı,

$\omega = T_2 - T_1$ : maksimum şiddetin yarı değerindeki genişlik,

$\delta = T_2 - T_m$ : maksimumun yüksek sıcaklık tarafındaki yarı genişlik,

$\tau = T_m - T_1$ : maksimumun düşük sıcaklık tarafındaki genişliktir.

Grossweiner (1953), 1. mertebeden pikler ile ilgilenmiştir ve üstel integralleri değerlendirmek için asimptotik serilerde sadece ilk terimi kullanılmıştır.

$$E = 1.51kT_m T_1/\tau \quad (2.28)$$

Lushchik (1956), ise bir başka ifade olarak, yüksek sıcaklık tarafındaki yarı genişliğe dayanan 1.mertebeden TL pikleri ile ilgilenmiştir.

$$E = kT_m^2/\delta \quad (2.29)$$

Benzer şekilde 2.mertebe TL pikleri için ise,

$$E = 2kT_m^2/\delta \quad (2.30)$$

Halperin ve Braner (1960) ise düşük sıcaklık bölgesindeki yarı genişlik  $\tau$ ' nin ölçülmesine dayanan şekil yöntemleri geliştirmiştir. Bunlar da Chen (1969) tarafından değiştirilmiş ve 1.mertebeden pikler için,

$$E = \frac{1.52kT_m^2}{\tau} - 1.58(2kT_m) \quad (2.31)$$

şeklinde bir ifade geliştirilmiştir. Chen (1969), genel mertebeden piklerin aktivasyon enerjisini belirlemek için simetri faktörü  $\mu_g = \delta/\omega$ 'nin aktivasyon enerjisi E ve frekans faktörü s' nin değişimine karşı duyarlı olmadığını bununla birlikte de kinetik mertebeye bağlı olarak değiştiğini öne sürmüştür. 1.mertebe için  $\mu_g \approx 0.42$ , 2.mertebe için ise  $\mu_g \approx 0.52$  olduğunu bulmuştur.

Tüm denklemler bir araya getirilince ise,

$$E_\alpha = c_\alpha(kT_m^2/\alpha) - b_\alpha(2kT_m) \quad (2.32)$$

Burada  $\alpha; \delta, \tau, \omega$ ' ya karşılık gelmektedir. İlgili katsayılar ise,

$$\begin{aligned} c_\tau &= 1.51 + 3(\mu_g - 0.42); b_\tau = 1.58 + 4.2(\mu_g - 0.42) \\ c_\delta &= 0.976 + 7.3(\mu_g - 0.42); b_\delta = 0 \\ c_\omega &= 2.52 + 10.2(\mu_g - 0.42); b_\omega = 1 \end{aligned} \quad (2.33)$$

### 2.4.3 Farklı ısıtma hızları yöntemi

Piklerin maksimum sıcaklıklarındaki değişiklik ısıtma hızı değişikliği ile alakalıdır. Isıtma hızındaki artışla pik maksimum sıcaklığı  $T_m$  de bir kayma meydana gelir. Birinci mertebeden pik denklemi, (2.8) denklemine bakıldığında, Randall ve Wilkins (1945)  $dI/dT = 0$  türevini düzenleyerek TL ışıma pikinin maksimumu için bir ifade bulmuştur.

$$\frac{\beta E}{kT_m^2} = s \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT_m}\right) \quad (2.34)$$

$$\beta = \left(\frac{sk}{E}\right) T_m^2 \exp\left(-\frac{E}{kT_m}\right) \quad (2.35)$$

Sağ taraftaki ifade  $T_m$ 'nin artan bir fonksiyonu olduğu için ısıtma hızı  $\beta$ 'nin artırılması sağ taraftaki ifadenin dolayısıyla  $T_m$ 'nin artmasına neden olur. Bu da ısıtma hızı arttıkça pikin daha yüksek bir sıcaklığa kayması anlamına gelir. Booth (1954), Bohun (1954) ve Parfianovitch (1954) bu kaymanın E ve s tuzak parametrelerinin hesaplanması için kullanılmasını önermiştir. İki farklı ısıtma hızı  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  kullanıldığında  $T_{m1}$  ve  $T_{m2}$  maksimum sıcaklıkları elde edilir.  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  için ilk denklem yazılıp birbirine bölünerek düzenlendiğinde,

$$E = k \frac{T_{m1} T_{m2}}{T_{m1} - T_{m2}} \ln \left[ \frac{\beta_1 \left( \frac{T_{m2}}{T_{m1}} \right)^2}{\beta_2} \right] \quad (2.36)$$

Hoogenstraaten (1958), birkaç ısıtma oranının kullanılmasını önermiştir. (2.34) denklemini  $\ln(T_m^2/\beta)$ 'yi  $1/T_m$ 'nin bir fonksiyonu olarak çizersek elde edilecek olan lineer eğrinin eğimi  $-E/k$ 'yi verir. Buradan da aktivasyon enerjisi  $E$  kolaylıkla bulunabilir (Chen ve Pagonis 2011).

#### 2.4.4 Bilgisayarlı ışıma eğrisi ayrıştırma (dekonvolüsyon) yöntemi

Hem pik şekli yöntemi hem de ilk-artış yöntemi, TL pikinin biçiminin farklı özelliklerine dayanır. Bilgisayarlı veri kayıt yöntemlerinin gelişmesiyle birlikte, ayrıştırma yöntemleri daha popüler hale gelmiştir. Bu yöntem diğer deneysel metotlara göre daha avantajlıdır. Çünkü üst üste binmiş karmaşık piklerin ısısal işleme ihtiyaç duymadan ayrıştırılabilmektedir. Burada eğri boyunca birçok nokta kullanılabilir ve deneysel sonuçlar, tek bir pikte veya üst üste binmiş birkaç pik içeren bir eğride birçok parametre içeren daha karmaşık fonksiyonlara fit edilebilir. Ölçülen ışıma eğrisi içindeki üst üste binmiş piklerin sayısının bile daha önceden bilinmediği karmaşık eğrilerde bazı sorunlar vardır. Yani tek bir pikin bir eğriye fit edilmesi nispeten daha basitken, çok daha fazla pikin ayrıştırması çok daha zordur. Shenker ve Chen (1971), bu yöntemin genel mertebeden pikler için uyarlanabileceğini gösterdi. Bull vd. (1986) ışıma eğrilerinde çok sayıda pik olduğu ve tuzak seviyelerinin etkileşime girdiği zaman bile, ışıma eğrisinin birkaç ayrı ışıma pikinin üst üste binmesi olarak işlem görmesinin birinci mertebeden kinetikler için geçerli olduğunu, ancak daha yüksek mertebeler için giderek daha az geçerli hale geldiğini göstermiştir (Chen ve Pagonis 2011).



Bu çalışmada ışımada eğrisindeki pikleri ayırtmak için Microsoft Excel tabanlı GOK (General Order Kinetics) ayırtma programı kullanılmıştır. Her bir ışımada piki için  $I_m$ ,  $T_m$ ,  $E$  ve  $b$  parametreleri isteğe bağlı ancak anlamlı değerler girilerek GOK ifadesi ile elde edilen eğri,  $I_m$ ,  $T_m$ ,  $E$  ve  $b$  parametreleri kullanılarak deney sonucu elde edilen eğri ile fit edilir. Bununla birlikte, her bir ışımada pikinin integrali, frekans faktörü ve FOM (Figure-of Merit) gibi değerlerin de değerlendirilmesi mümkündür (Afouxenidis, 2012).

Kitis vd. (1998)' tarafından önerilen GOK analitik ifadesi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$I(T) = I_m b^{b/b-1} \exp\left(\frac{E}{kT} \frac{T - T_m}{T_m}\right) \left[ (b-1)(1-\Delta) \frac{T^2}{T_m^2} \exp\left(\frac{E}{kT} \frac{T - T_m}{T_m}\right) + Z_m \right]^{-b/b-1} \quad (2.37)$$

Burada  $\Delta = 2kT/E$ ,  $\Delta_m = 2kT_m/E$ ,  $Z_m = 1 + (b-1)\Delta_m$  şeklindedir.

Deneyssel ve teorik olarak elde edilen ışımada eğrisinin birbirine ne kadar iyi fit edildiğini belirlemek için FOM (Figure of Merit) değeri de kullanılabilir (Balian ve Eddy 1977).

$$FOM(\%) = 100 \frac{\sum_p |TL_{deneysel} - TL_{fit}|}{\sum_p TL_{fit}} \quad (2.38)$$

FOM değeri fit işleminin uygunluğu için bir ölçü sağlar ve bu değer ne kadar düşükse fit işlemi o kadar iyidir. Işımda eğrisindeki her pik için  $I_m$ ,  $T_m$ ,  $E$  ve  $b$  parametreleri değiştirilerek FOM değeri en aza indirgenir.

OSL' de sürekli ve lineer uyarım modları için ise TL' ye benzer şekilde;

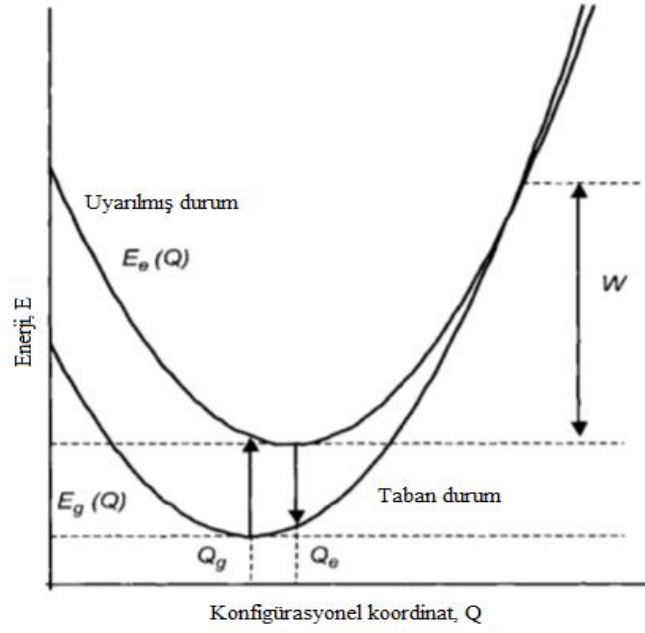
$$I(t) = I_0 \left( 1 + (b-1) \frac{t}{\tau} \right)^{\frac{-b}{b-1}} \quad (2.39)$$

Bøtter-Jensen vd. (2003), Kitis vd. (2008) tarafından önerilen Genel Mertebe Kinetiği (GOK) eşitliği (2.39) OSL ayırtması için kullanılmıştır.  $\tau(s)=1/\lambda$  ömür; tuzaklanmış elektronun uyarıldıktan sonra lüminesans merkezinde yeniden birleşinceye kadar geçen süre ve  $b$  (1.00001- 2) kinetik mertebedir. Bu ifadeye göre OSL sinyali hızlı ( $C_1$ ), orta ( $C_2$ ) ve yavaş ( $C_3$ ) olmak üzere üç bileşenden oluşur. OSL sinyallerinin fit işlemi için ise

Afouxenidis vd. (2012) tarafından önerilen “Microsoft Excel-Solver” kullanılarak yapılmıştır. Fit işleminin doğruluğu FOM değeri ile test edilmiştir.

## **2.5 Termal Sönüm (Quenching) Olayı**

OSL ve TL ölçümleri farklı sıcaklıklarda gerçekleştirildiğinde, sıcaklığa bağlı olarak ışımaya eğrilerinin şeklinde değişiklikler gözlemlenebilir. Ölçüm sıcaklığının artmasıyla lüminesans verimindeki azalmaya termal sönüm (thermal quenching) denir. Bu etki çeşitli şekillerde gözlemlenebilir. Fakat çoğu kez, sabit uyarım koşulları altında sıcaklığın bir fonksiyonu olarak bir numuneden yayılan PL (fotolüminesans) veya RL (radyolüminesans) şiddetinin takip edilmesine dayanan deneylerde görülmektedir. Her iki durumda da termal sönüm, sıcaklık arttıkça azalan emisyon şiddeti ile ortaya çıkar. OSL göz önünde bulundurulduğunda, numune sıcaklığı arttıkça hem pik şiddeti hem de CW-OSL bozunum eğrisi altında kalan alanda azalma gözlemlenir. Bu gözlem, aynı koşullar altında önceden ışınlanmış örneğin her ölçüm sıcaklığı için, deneydeki tek değişkenin sıcaklık olduğunu varsayar. Farklı ısıtma hızlarında bir grup TL eğrisi elde edildiğinde, bu etki TL de de ortaya çıkar. Artan ısıtma hızı ile TL pikleri daha yüksek sıcaklıklara kayar, böylece lüminesans verimi düşer ve daha düşük bir TL piki (alan ve pik yüksekliği) elde edilir (Botter-Jensen vd. 2003).



Şekil 2.8 Bir kusur için konfigürasyonel koordinat diyagramı. Burada  $E_g$  taban durumu ve  $E_e$  uyarılmış durumdur. Uyarılmış durumda iken  $\Delta E$  termal enerjisi elektron tarafından soğurulursa, taban durumuna ışımaz bir boşalım meydana gelir.

Etkinin açıklaması genellikle iki model üzerinden yapılmaktadır. Bunlar; Mott-Seitz modeli ve Schön-Klasens modelidir. Mott-Seitz modeli en iyi Şekil 2.8' de gösterilen konfigürasyonel koordinat diyagramı ile anlaşılmaktadır. Optik uyarılmalar taban durumdan uyarılmış duruma dikey olarak gerçekleşir. Emisyon ve uyarılma arasındaki enerji farkı  $2\hbar\omega_p$  ye karşılık gelir. Uyarılmış durumda yük taşıyıcılarının ömrü  $\tau$ , kuantum mekaniksel geçiş kurallarına tabidir. Uyarılmış durumdaki ömür  $\tau'$  nun sıcaklığa bağımlılığı

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} + \nu \exp\left(\frac{-W}{kT}\right) \quad (2.40)$$

olarak verilir. Burada  $\tau_0$  ışımaz geçişlerin ömrü,  $\nu$  bir sabit (frekans faktörü) ve  $W$  yük taşıyıcıların serbest bırakılması için gerekli olan aktivasyon enerjisidir. Lüminesans bozunum zamanı  $\tau$ ;

$$\tau = \frac{\tau_0}{1 + \tau_0 \nu \exp(-W/kT)} \quad (2.41)$$

şeklinde. Optik uyarılma sırasında numune sıcaklığı arttırıldıkça uyarılmış durumdaki elektronların ömrü azalır. Lüminesans verimi  $\eta$ ;

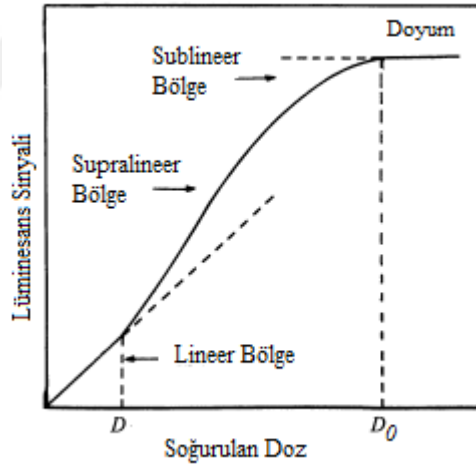
$$\eta = \frac{\tau}{\tau_0} = \frac{1}{1 + C \exp(-W/kT)} \quad (2.42)$$

burada  $C = \tau_0 \nu'$  dir. Buradan lüminesans şiddeti aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

$$I = \frac{I_0}{1 + C \exp(-W/kT)} \quad (2.43)$$

Burada  $I_0$  düşük sıcaklıklardaki lüminesans şiddetidir. Bu denkleme göre de uyarılma sırasında numune sıcaklığı arttırıldıkça lüminesans şiddetinin azaldığı görülmektedir.

## 2.6 Doz Cevabı



Şekil 2.9 Lüminesans sinyalinin soğurulan doza göre şematik gösterimi (McKeever 1983)

İdeal bir dozimetrik malzemede, geniş doz aralığında lüminesans şiddeti ile doz arasında lineer bir ilişki olmalıdır. Yani dozimetrik malzeme, farklı doz miktarlarına karşı aynı hassasiyette cevap vermelidir. Ancak birçok malzemede bu cevap lineer değildir. Şekil 2.9' da gösterildiği gibi dozimetrik malzemelerin doz cevap eğrisinde dozun artması ile birlikte lineer, lineer üstü (supralineer) ve lineer altı (sublineer) bölgeler gözlenmektedir. Doz cevabı için kullanılan supralineerlik fonksiyonu  $f(D)$  aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$f(D) = \frac{F(D)/D}{F(D_0)/D_0} \quad (2.44)$$

$F(D)$ : Herhangi bir  $D$  dozuna karşılık gelen lüminesans sinyali

$F(D_0)$ : Herhangi bir  $D_0$  dozuna karşılık gelen lüminesans sinyali

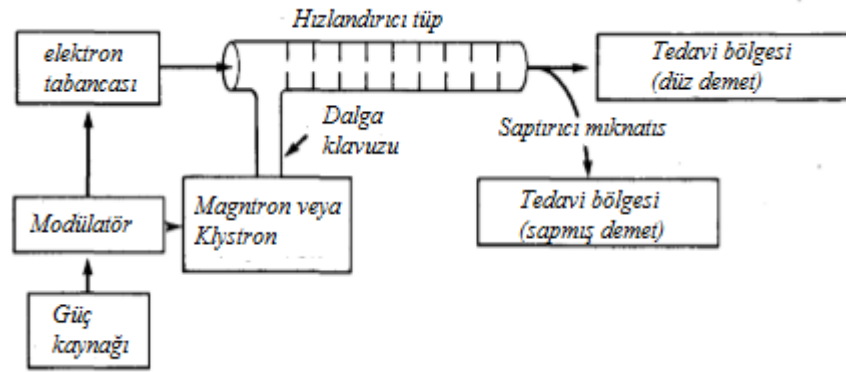
İdeal bir dozimetrede geniş bir aralıkta  $f(D) = 1$  olması beklenir. Fakat bu durum birçok materyalde birkaç Gy' e kadar dar bir aralıkta gözlenir. Daha çok gözlenen supralinerlik  $f(D) > 1$  durumundadır. Doygunluğa ulaşırken gözlenen sublineerlik ise  $f(D) < 1$  durumundadır.

Bir dozimetrik materyalin doz cevap eğrisindeki lineer doz aralığının belirlenmesi ile o materyalin hangi alanlarda kullanılabileceği belirlenebilir. Örneğin; 10Gy doz verildikten sonra doyuma ulaşan bir materyal yüksek dozlar için uygun değildir. Düşük dozlarda lineer olmayan doz cevabına sahip bir materyal ise kişisel dozimetreler için uygun değildir.

## 2.7 Lineer Hızlandırıcılar

Lineer hızlandırıcılar (linac), elektron gibi yüklü parçacıkların doğrusal bir tüp boyunca yüksek enerjilere hızlandırmak için yüksek frekanslı elektromagnetik dalgaların kullanıldığı cihazlardır. Yüksek enerjili elektronlar yüzeysel tümörlerin tedavinde veya bir hedefe çarptırılarak elde edilen x-ışınları ile daha derindeki tümörlerin tedavisi için de kullanılabilir (Khan 2003).

İlk radyoterapi uygulamalarında, x-ışını tüpleri ile 250-400kV x-ışını elde edilebiliyordu. Bu x-ışınlarının enerjilerinin düşük dolayısıyla giriciliklerinin de az olması sebebiyle derin tümörlerin tedavisinde tümörün üst kısmındaki sağlam dokular fazla miktarda doz almaktaydı. Zamanla yüksek enerjili ışınların elde edilmesiyle cilt ve sağlam dokulardaki hasar azaltılabildi.



Şekil 2.10 Tipik bir medikal lineer hızlandırıcının blok diyagramı

Modülatör bir doğru akım güç kaynağı (DC) tarafından beslenir ve yüksek voltajlı pulslar elde edilir. Bu pulslar magnetron veya klystrona ve eşzamanlı olarak elektron tabancasına iletilir. Magnetron veya klystronda üretilen elektromagnetik dalga kılavuzları ile hızlandırıcı tüpe iletilir. Aynı zamanda elektron tabancasında, katot ile anot arasına uygulanan gerilim farkı ile hızlanarak belirli bir (yaklaşık 50keV) enerjiye ulaşan elektronlar hızlandırıcı tüp içerisine iletilir. Magnetron veya klystronda üretilen elektromagnetik dalgalar ile üst üste biner ve doğrusal tüp boyunca hızlanır. Düşük enerjili hızlandırıcılarda (6MV'ye kadar) kullanılan hızlandırıcı tüp kısadır ve düz bir şekilde ilerler. Yüksek enerjili hızlandırıcılarda ise hızlandırıcı tüp uzundur. Elektron demeti saptırıcı mıknatıslarla uygun açıda bükülerek ilerler. Bu şekilde elde edilen elektronlar yüzeye yakın tümörlerin tedavisinde kullanılırken, elektronların bir hedefe çarptırılmasıyla yüksek enerjili x-ışınları elde edilir ve daha derindeki tümörlerin tedavisinde kullanılır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 BeO Materyali

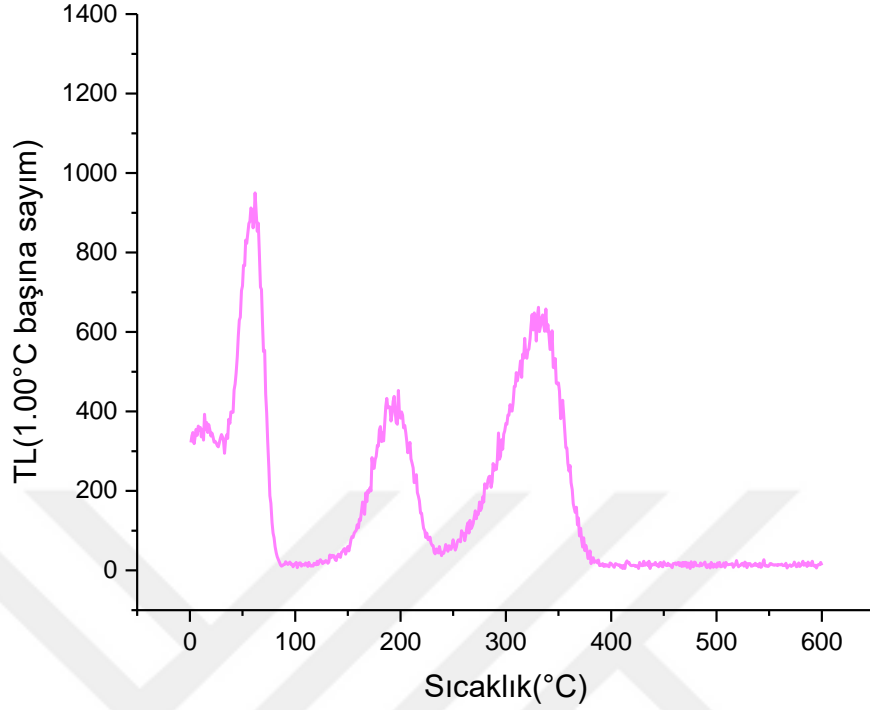
BeO kristali; her biri hegzagonal yapıda dört oksijenle çevrili Be atomundan ve benzer şekilde her biri dört Be atomunu ile çevrili oksijen atomundan oluşan bir kristal yapıya sahiptir.

BeO kristaller kalıplaştırılmış (sinterlenmiş) seramik şeklindedirler. Seramikler termal, kimyasal ve özellikle mekanik olarak son derece kararlıdır. Pudra formundaki BeO doğasından dolayı zehirli ve tehlikelidir. Fakat çip şeklinde olanlarda aşınma ve toz gözlenmez. Çip boyutları 4.7mm kare şeklinde ve 0.5mm kalınlığındadırlar. Yoğunluğu  $2.8 \text{ gcm}^{-3}$  ve etkin atom numarası ise 7.13' dür. Çipler Amerika Tucson/Arizona' daki, Brush Ceramics Inc.' de "Thermalox 995" ticari markası altında üretilmiştir.

TL dozimetre olarak kullanılan BeO materyalinin temel sorunlarından biri ışığa karşı hassasiyetinin yüksek olmasıdır. Bu durum BeO materyalinin bir OSL dozimetre olarak kullanılabilmesini gösterdi.

BeO neredeyse doku eşdeğeri olduğu için alternatif bir dozimetre malzemesi olarak kullanılabilir. Bunun yanında sağlam ve kolaylıkla işlenebilir seramik disk şeklinde hazır kullanılabilirliği, iyi termal iletkenlik ve düşük maliyeti olması nedeniyle cazip gelmektedir.

BeO' in TL özellikleri incelendiğinde Şekil 3.1' de görüldüğü gibi ışıma eğrisi  $\sim 75$ ,  $\sim 190$  ve  $\sim 340^\circ\text{C}$ ' de üç pik gözlenmektedir.  $75^\circ\text{C}$  deki pik kararsız ve oda sıcaklığında hızla sönmektedir.  $190^\circ\text{C}$ ' deki pik radyasyon dozimetre için değerlendirilmiş ve böylece birçok araştırmaya konu olmuştur (McKeever vd.1995).  $\sim 340^\circ\text{C}$ ' deki pik  $190^\circ\text{C}$ ' deki pikten nispeten daha düşük şiddette olduğu için aynı ilgiyi görmemiştir. Fakat Bulur ve Göksu (1998) yüksek bir OSL sinyalinin  $\sim 340^\circ\text{C}$ 'de kararsız tuzaklardan kaynaklanabileceğini gözlemlemişlerdir. TL ışıma eğrisini analiz ettiklerinde  $\sim 75$ ,  $\sim 190$  ve  $\sim 340^\circ\text{C}$ ' deki piklerin termal aktivasyon enerjileri sırasıyla 0.44, 1.00 ve 1.34 eV olarak belirlemişlerdir (Bulur 2007).



Şekil 3.1 0.25Gy' de ışınlanmış BeO kristaline ait TL ışıma eğrisi

### 3.2 TL/OSL Dozimetri Sistemi

Risø TL/OSL otomatik ölçüm sistemi hem termoluminesans hem de optik uyarmalı lüminesans ölçümlerinin yapılmasına olanak sağlar. Sistem 48 tane numunenin,

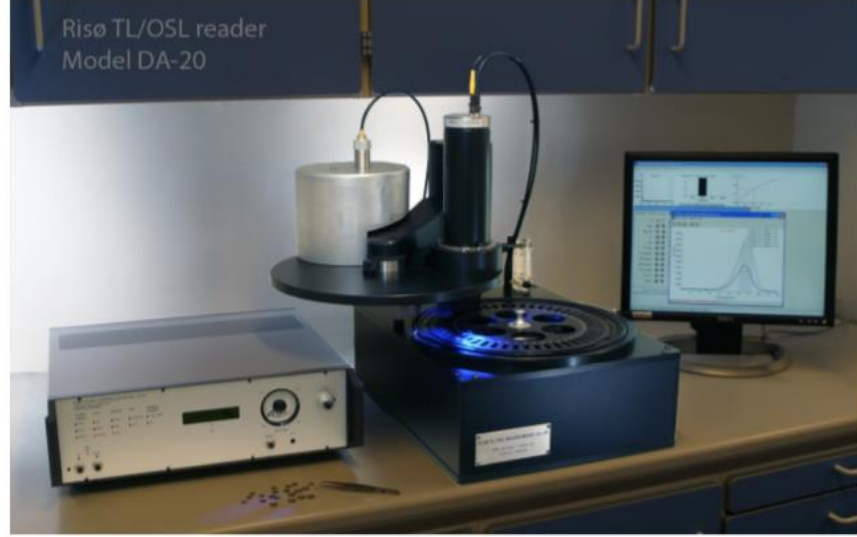
- Oda sıcaklığından 700°C' ye kadar ayrı ayrı ısıtılmasına,
- Çeşitli ışık kaynakları kullanarak sürekli dalga modunda (CW) ve lineer modülasyon OSL modunda (LM-OSL) optik olarak uyarılmaya,
- Radyoaktif beta kaynağı (<sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y) ışınlanmasına izin verir.

Yayılan lüminesans, fotoçoğaltıcı tüp ve uygun filtrelerden oluşan bir ışık dedeksiyon sistemi ile ölçülür. Numune ölçümleri azot akımı altında ve vakumlu ortamda yapılabilmektedir.

Risø TL/OSL sisteminin temel bileşenleri;

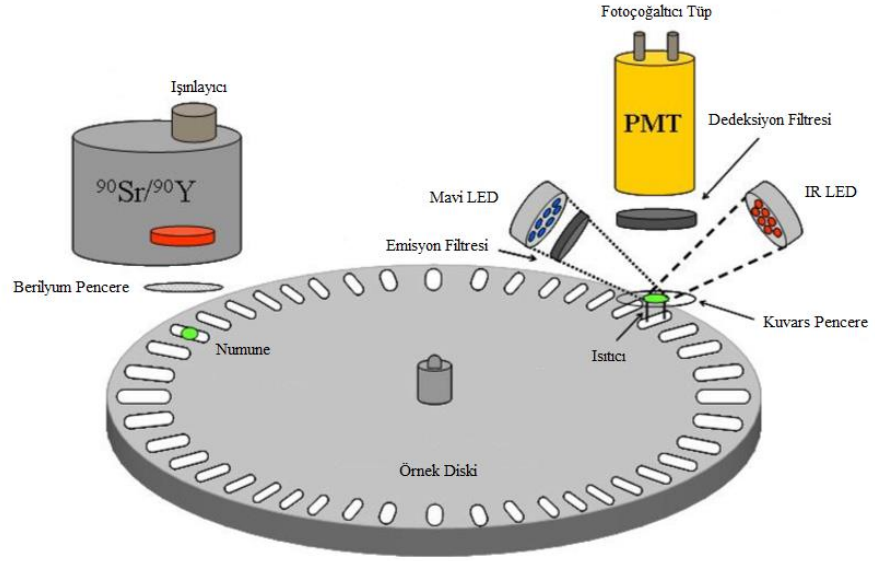


- Işık dedeksiyon sistemi,
- Lüminesans uyarım sistemi (termal ve optik),
- Işınlama kaynağıdır.



Şekil 3.2 Riso TL/OSL ölçüm sistemi (Anonymous 2014)

Işık dedeksiyon sistemi, uygun dedeksiyon filtrelerinin kombinasyonundan oluşan fotoçöğaltıcı tüpden (PMT) oluşmaktadır. Lüminesans uyarım sistemi ısıtma elemanı ve optik uyarım ünitesinden oluşur ve bu iki ünite ayrı ayrı veya kombinasyon halinde kullanılabilir. Işınlama beta kaynağı ile yapılabilmektedir.



Şekil 3.3 Risø TL/OSL okuyucunun şematik diyagramı

### 3.2.1 Işık dedeksiyon sistemi

Risø TL/OSL okuyuculardaki fotoçöğaltıcı tüpler ve uygun optik filtrelerden oluşmaktadır. Optik filtrelerin kullanım amacı, saçılan ışığın PMT' ye ulaşmasını engellemektir.

#### 3.2.1.1 Fotoçöğaltıcı tüp (PMT)

Termal veya optik uyarım sonucunda salınan lüminesans PMT ile dedekte edilir. PMT' ün ışığa karşı duyarlı bileşeni katottur. Katot, foto-yayıcı madde olan CsSb ve diğer bialkali materyallerden oluşur. Tipik olarak, katoda çarpan görünür bölgedeki az sayıda foton daha az sayıda elektrona dönüşür (Anonymous 2015). Fotokatottan yayılan elektronlar fotokatota göre pozitif gerilimde tutulan bir dynot serisine doğru hızlandırılır. Yeterli hıza ulaşan elektronlar dynotlara çarparak yüzeyden ikincil elektronları koparır. Birbirini takip eden her dynot bir öncekinden daha yüksek potansiyele sahiptir.

Risø TL/OSL okuyuculardaki standart PMT'ler bialkali EMI 9235QB PMT' lerdir. Kuvars ve feldspatın lüminesans ölçümleri için uygun olan, 200 ve 400 nm arasında maksimum dedeksiyon etkinliğine sahiptir. Sistemde fotoçöğaltıcı tüp katodu ile numune arasındaki uzaklık 55 mm ve dedeksiyon katı açısı 0.4 steradyandır.

### 3.2.1.2 Optik filtreler

Uyarıma ışığın şiddeti yayılan ışığın şiddetinden yaklaşık  $10^{18}$  kat daha büyüktür. Yayılan ışığın ölçülebilmesi için, çeşitli filtrelerle uyarım ışığının PMT' e ulaşması engellenmelidir.

Risø TL/OSL okuyucu sisteminde üç tip filtre kullanılmıştır;

- Hoya U-340 (7.5 mm kalınlığında,  $\text{Ø} = 45$  mm)
- Schott BG 39 (2 mm kalınlığında,  $\text{Ø} = 45$  mm)
- Corning 7-59 (4 mm kalınlığında,  $\text{Ø} = 45$  mm)

### 3.2.2 Lüminesans uyarım sistemi

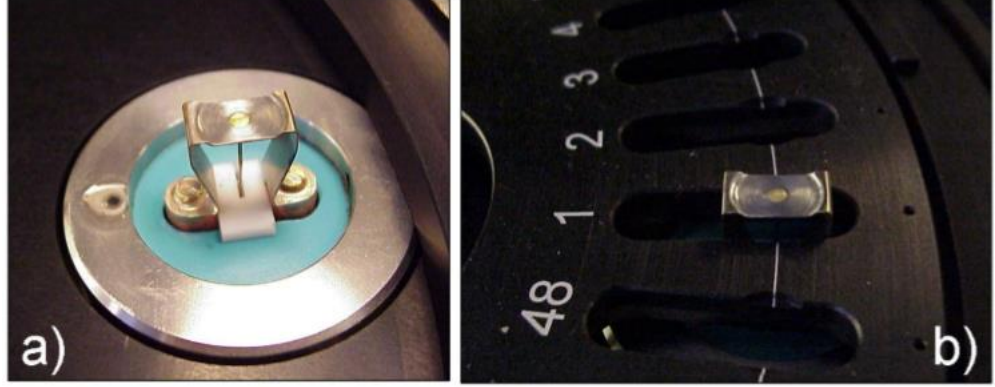
Risø TL/OSL okuyucu iki tip uyarım sistemine sahiptir.

- TL ölçümleri için kullanılacak olan ısıtma sistemi,
- OSL ölçümleri için kullanılacak olan optik uyarım sistemi.

#### 3.2.2.1 Isıtma sistemi

Isıtma elemanı ile kaldırma mekanizması doğrudan PMT'ün altına yerleştirilmiştir. Isıtma elemanının iki fonksiyonu vardır. Birincisi numunlerin ısıtılması, ikincisi ise numuneyi ölçüm pozisyonuna getirmektir. Isıtma, ısıtma elemanı ile kontrollü bir akım besleyerek gerçekleştirilir. Isıtma, kapalı bir sürekli tam sinüs dalgası üretici ile sağlanır.

Isıtma sistemi, numuneyi 0.1'den 10K/s' e kadar sabit bir ısıtma hızı ile 700°C' ye kadar ısıtabilmektedir.

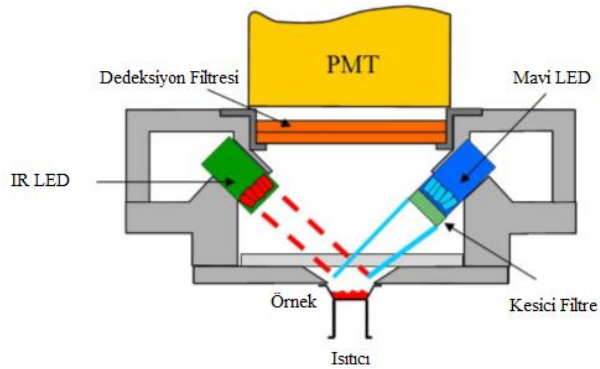


Şekil 3.4 a) Isıtıcının ölçüm pozisyonundaki şekli b) karusel (ölçüm tablası) yerleştirildiğinde ısıtıcının şekli

### 3.2.2.2 Optik uyarım sistemi

Genellikle, numuneler sabit ışık şiddeti (CW-sürekli dalga modu) ile uyarılır ve elektron tuzaklarının boşalması ile üstel olarak azalan bir sinyal elde edilir. Bununla birlikte, birçok numune için bozunma eğrisi birden fazla bileşen içerir ve yeterince veri tanımlamak için birkaç üstel fonksiyon kullanmak gerekir.

Risø TL/OSL okuyucuda, numunenin uyarılması için iki seçenek vardır: 1) IR (infrared) LED, 2) mavi LED.



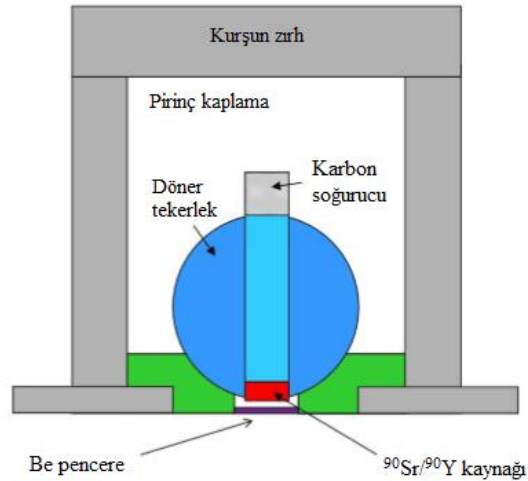
Şekil 3.5 OSL biriminde mavi ve IR LEDleri gösteren diagram. Bu birim örnek pozisyonunda dörtlü grup halinde 470 nm ışık yayan 28tane mavi LED ve üçlü gruplar halinde 870 nm ışık yayan 21 tane IR LED içerir.

Uyarılma şiddetinin, uyarılma zamanının bir fonksiyonu olarak değişimine ve farklı şiddetlerde uyarılmaya olanak sağlar. LEDlerin düzeni, uyarılma gücünün kararlılığını sağlamak için optik geri beslemeli yardımcı sistem ile donatılmıştır. Risø TL/OSL okuyucularda CW modunda ve LM modunda uyarım mümkündür. P-OSL modunda uyarılma ek donanın gerektirir ve sadece ek bir seçenek olarak sunulmaktadır.

### 3.2.3 Işınlama kaynağı

Beta ışınlayıcı örnek karuselinin üzerinde yer alır. Işınlayıcı, maksimum enerjisi 2.27MeV olan beta parçacıkları yayan  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  beta kaynağını barındırır. Yarı ömrü 30 yıl, aktivitesi 1.48 GBq, doz hız 130 mGy/s' dir.

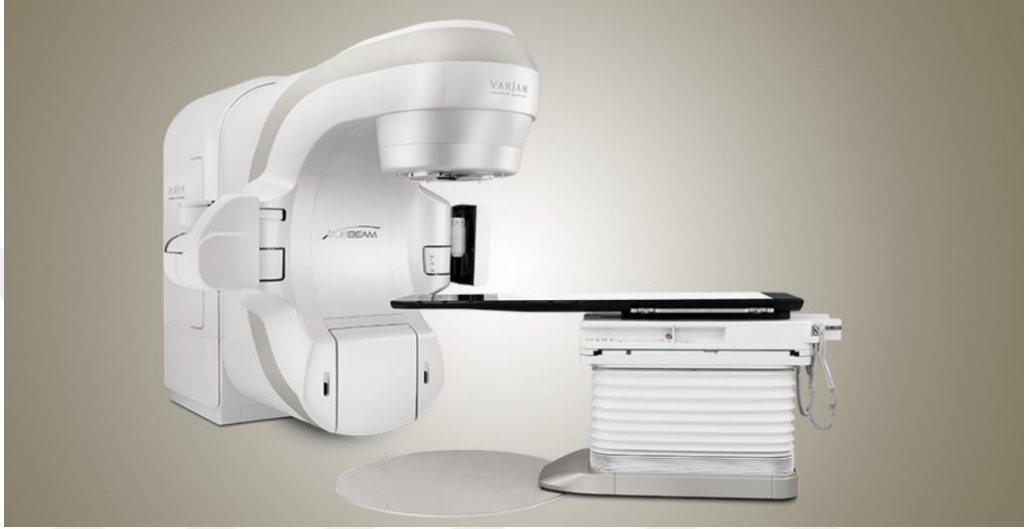
Kaynak, paslanmaz çelikten döner bir tekerlek içerisine yerleştirilmiştir. Böylece kaynağın kapalı pozisyondan açık pozisyona gelmesi 0.11 s sürer. Örneğin mümkün olan en yüksek dozu alması için kaynak-örnek arasındaki uzaklık olabildiğince küçük olmalıdır. Bununla birlikte, uygulanan doz hızındaki herhangi bir değişiklik küçük uzaklıklarda daha etkili olacaktır. Bu nedenle kaynak-örnek arasındaki mesafe için en uygun değer seçilmelidir. Kaynak-örnek arasındaki mesafe 7 mm'dir.



Şekil 3.6 Beta ışınlayıcının şematik diyagramı

### 3.3 Lineer Hızlandırıcı

Varian True Beam lineer hızlandırıcı çeşitli enerjilerde elektron ve foton üretebilen bir tedavi cihazıdır. 6 MV, 10 MV ve 15 MV enerjilerine sahip foton; 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV, 16 MeV ve 20 MeV enerjilerine sahip elektron üretebilmektedir (DeMarco ve Kupelian 2013).



Şekil 3.7 Varian True Beam Lineer Hızlandırıcı

### 3.4 Katı Su Fantomu

Katı su fantomu, beyaz polyesterden yapılmış 30×30 cm<sup>2</sup> boyutlarında 1, 2, 5 ve 10 mm kalınlıklarında, iyon odalarının girebileceği uygun delikler içeren, plakalar şeklindeki malzemelerdir. Kütle yoğunluğu 1.045 g /cm<sup>3</sup>, elektron yoğunluğu 3.43×10<sup>23</sup> e/cm<sup>3</sup> dür (Khan 2003).

### 3.5 Tavlama

Tavlama, dozimetrik materyallerden herhangi bir ışınlamaya ait sinyalin silinmesi için ihtiyaç duyulan ısı bir işlemdir. Dozimetrik materyaller dozimetrik amaçlı kullanılmadan önce hazırlanmalıdırlar. Hazırlanma işlemi daha önce herhangi bir ışınlamaya ait tüm bilgilerin silinmesi demektir. Böylece ışınlamadan önce olduğu gibi kristalin başlangıç şartlarına geri dönerler. Bu işlemle tuzak yapısının kararlılığı amaçlanmaktadır. Tavlama

işlemi bir fırın veya ocak yardımı ile yapılır. Tavlama sıcaklığı ve süresi materyallere göre değişiklik gösterir (Furetta 1937). Tezde kullanılan BeO kristaller her ışılama öncesinde 700°C de 1 saat boyunca Protherm marka PLF 120/12 model elektrikli fırınla tavlannıştır.



Şekil 3.8 PROTHERM fırın ünitesi

### 3.6 Ön Isıtma

Lüminesans uygulamalarında ön ısıtmanın amacı, kararsız tuzaklardan gelen lüminesans katkılarının ortadan kaldırılmasıdır. Kararsız tuzaklar, doza maruziyet işleminden sonra herhangi bir dış etki olmadan boşalan tuzaklardır. Ön ısıtma lüminesans okumalarından önce uygulanır.

### 3.7 Termal Sönüm Parametrelerinin Belirlenmesi

Termal sönüm parametrelerinin belirlenmesindeki zorluk, ölçümler sırasında TL ışılma eğrilerinde termal sönümden dolayı meydana gelen bozukluklardan kaynaklanmaktadır. Şiddetin yanı sıra, termal sönüm tuzak ve yeniden birleşme merkezlerinin temel parametrelerinin belirlenmesi için önemli olan TL piklerinin şekillerini ve maksimum

pozisyonlarını değiştirir. Bu nedenle hesaplamalar için doğrudan sndrlmş verileri kullanamayız. Bu nedenle, BeO kristallerinin termal sönüm parametrelerini bulmak için tüm farklı ısıtma hızlarındaki ışıma eğrileri Subedi vd. (2011) tarafından önerilen aşağıdaki basamaklara göre analiz edilir.

1. Farklı ısıtma hızları için tüm BeO kristallerine ait ışıma eğrileri, Computerized Glow De-Convolution (CGCD) Analysis programı kullanılarak ayrıştırılır. Fit etme işlemi Kitis tarafından önerilen (2.37) denkleminde belirtilen GOK ifadesi kullanılarak gerçekleştirildi. Fit işleminin uygunluğu ise (2.38) denkleminde belirtilen FOM ifadesi ile kontrol edildi. Tüm durumlar için, deneysel ışıma eğrileri genel mertebe kinetiğin  ışıma piki kullanılarak fit edildi. Her bir ayrıştırılmış ışıma piki için;  $T_m$  maksimum sıcaklık,  $I_m$  maksimum şiddet,  $E$  aktivasyon eneręisi ve  $b$  kinetik mertebe olarak adlandırılan dört farklı fit parametresi hesaplandı. Bu dört parametrenin yanı sıra, sönümlenmiş ışıma pikleri için toplam (integrated) pik alanları da belirlenmiştir.
2. Pik maksimum sıcaklığının sıcaklık gecikme düzeltmesi. Uygulamada temasla ısıtma sırasında, sıcaklık bir ısıler ile ölçülür. Fakat ısıler numunenin değil ısıtma şeridinin sıcaklığını kaydeder. Isıtma elemanının sıcaklığı ile numunenin sıcaklığı arasındaki fark, sıcaklık gecikme etkisi olarak bilinir. Sıcaklık değişiminin önemli olduğu bazı deneylerde, ısıtma elemanı sıcaklığı ile numune sıcaklığı arasındaki fark önemli hale gelir ve sıcaklık gecikmesi ile bağlantılı deneysel zorluklar istenmeyen sonuçlar verir. Sıcaklık gecikmesi Kitis and Tuyn (1998) tarafından verilen aşağıdaki denklem ile minimize edilebilir.

$$T_j = T_i - c \ln \left( \frac{\beta_i}{\beta_j} \right) \quad (3.1)$$

Burada  $T_i$  en düşük ısıtma hızı için elde edilen maksimum TL pik sıcaklığı,  $T_j$  0.5-8.0°C/s arasında değişen  $\beta_j$  ısıtma hızları için düzeltilmiş pik maksimum sıcaklığı,  $c = (T_{m2} - T_{m1}) / \ln 2$  bir sabit,  $T_{m2}$  ve  $T_{m1}$  ilk iki düşük ısıtma hızındaki pik maksimum sıcaklıklarıdır.  $c$  değeri en düşük iki ısıtma hızı 0.5 ve 1.0°C/s' ye göre seçilmiştir. Düzeltilmiş sıcaklıklar ise ışıma eğrisindeki her pik için (3.1) denklemine göre belirlenmiştir.

3. Her bir ışıma pikinin toplam (integrated) alanı ve pik maksimum sıcaklıkları  $T_m$  1.aşamadaki CGCD analizi ile hesaplanıp,  $T_m$  değerleri de 2.aşamadaki gibi sıcaklık



gecikmeleri düzeltildikten sonra, her bir pik için termal sönüm parametreleri W ve C' nin değerlendirilmesine devam edebiliriz. Normalde bu işlem (2.42) denklemi ile  $T_m$ ' ye karşı toplam pik alanı grafiğinin doğrudan fit edilmesiyle başarılabilir. Ancak doğrudan fit yöntemi, deneysel olarak kullanılan mevcut ısıtma hızlarının bir fonksiyonu olarak  $T_m$ ' deki kaymanın her durumda  $50^\circ\text{K}$ 'den fazla olmaması durumunda uygun değildir. Bu nedenle, bu sıcaklık kaymasında deneysel  $\eta(T_m)$  değerleri, W ve C' nin belirlenmesi için (3.1) dekleminin kullanılması güvenli bir fit gerçekleştirmek için yeterli değildir. Bu durum Subedi vd. tarafından termal sönümün TL ışıma pikleri üzerindeki etkisinin bir simülasyonunda ayrıntılı olarak gösterilmiştir (Subedi vd. 2010). Bu nedenle, bu aşamada Pagonis vd. (2002) tarafından kullanılan ve Subedi vd. tarafından teorik olarak doğrulanan dolaylı (indirect) fit yöntemi kullanılacaktır. Dolaylı fit yöntemine göre, deneysel termal sönüm verimi  $\eta(T_m)$  tahmini aşağıdaki ifade kullanılarak tüm pik maksimum sıcaklıkları için gerçekleştirilir.

$$\eta(T_m^{cor}) = \frac{A(\beta_i)}{A(\beta_l)} \eta(T_i, \beta_i) \quad (3.2)$$

Burada,  $A(\beta_i)$   $\beta_i$  ( $0.5-8.0^\circ\text{C/s}$ ) ısıtma hızları için CGCD ile belirlenmiş ışıma piklerinin alanları,  $A(\beta_l)$  en düşük  $\beta_l = 0.5^\circ\text{C/s}$  ısıtma hızındaki ışıma pik alanı,  $T_m^{cor}$  2.aşamada belirlenen düzeltilmiş pik maksimum sıcaklığıdır. Her tepe noktası için, tüm veriler (10 diskin tümü için tüm ısıtma hızları, yani j üzerinde) toplanır; bunlarla bir veri setinden oluşturulur. Yukarıdaki denklemle tüm ısıtma hızları için her bir ışıma pikinin deneysel termal sönüm verimleri  $\eta(T_m)$  ile W ve C değerlerinin değişken olduğu kabul edilerek elde edilen teorik  $\eta(T)$  verimleri fit edilir. Fit işleminin iyiliği FOM değerlerine bakılarak kontrol edilir. Bu fit işlemi işe uygun FOM değerinde W ve C değerleri belirlenir. Eğer  $\eta(T_m)$  deneysel değerleri, yukarıda tarif edildiği gibi elde edilen teorik  $\eta(T)$  değerleri ile örtüşüyorsa, incelenen malzemenin termal sönüm parametreleri teorik  $\eta(T)$  eğrisinin türetildiği değerler ile aynı olmalıdır.

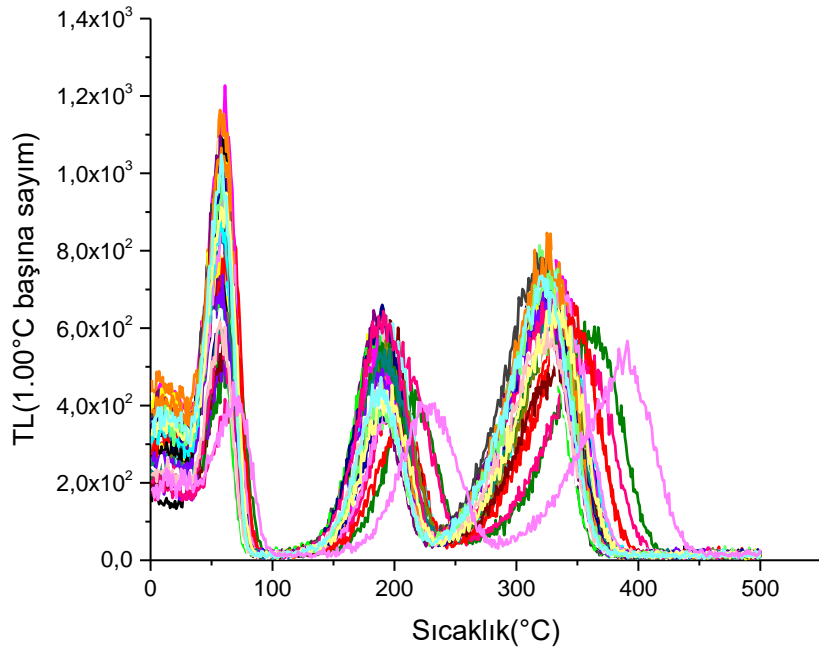
## 4. BULGULAR

### 4.1 BeO Dozimetrelerin Kalibrasyonu

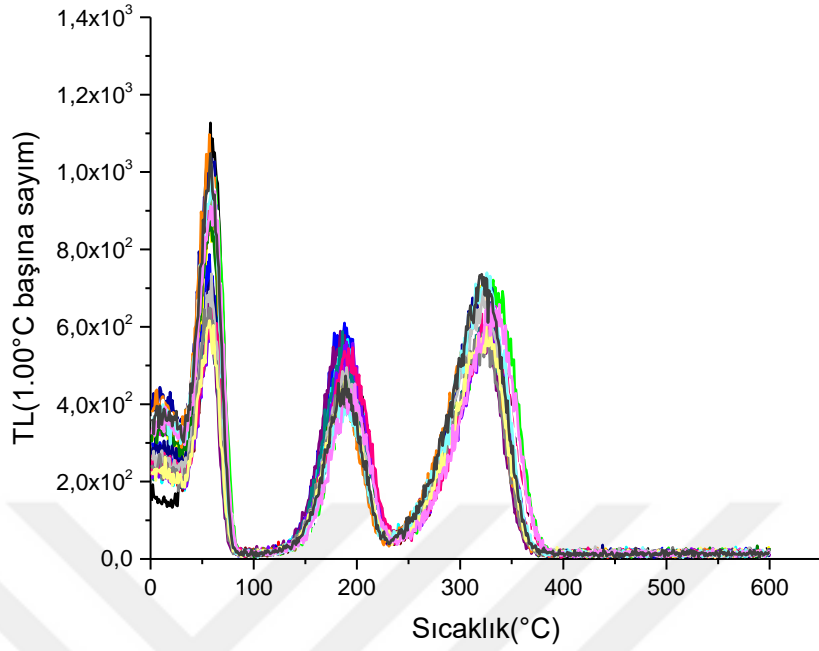
Ölçümlerde, hata oranını en aza indirmek için birden fazla dozimetre kullanılması gerekir ve kullanılan dozimetrelerin verilen doza cevabının aynı olması beklenir.

İlk olarak 47 tane BeO daha önceden kalan elektron tuzaklarını boşaltmak için fırında 700°C de 1saat tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Fırınlanan BeO' ler Risø TL/OSL ölçüm sistemindeki <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y beta kaynağı (10.01.2009 1.48 GBq) kullanılarak her bir kristal 130mGy' de ışınlanmıştır. Işınlama işlemi tamamlandıktan sonra 1°C/s ısıtma hızı ile 500°C ye kadar ısıtılarak okuma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm okuma işlemlerinde U-340 filtre kullanılmıştır.

Şekil 4.1' de görüldüğü gibi her bir BeO için TL (1.0°C başına sayım)-sıcaklık(°C) grafiği üst üste çizilmiştir. Bu ışıma eğrilerinden ±%10 sapma içindeki BeO' lerden ölçümlerde kullanmak için 24 tanesi seçilmiştir.



Şekil 4.1 700°C de 1 saat tavllanmış ve <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y beta kaynağı ile 130mGy de ışınlanmış 47 dozimetrenin üst üste çizilmiş TL ışıma eğrisi

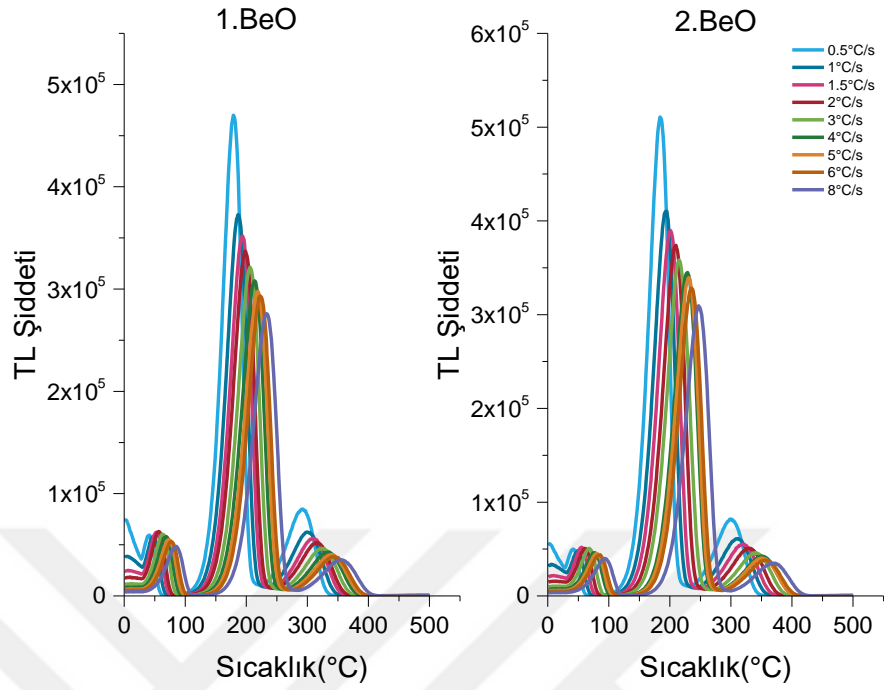


Şekil 4.2 130 mGy de ışınlanan dozimetrelerden seçilen 24 tane BeO in üst üste çizilmiş TL ışıma eğrisi

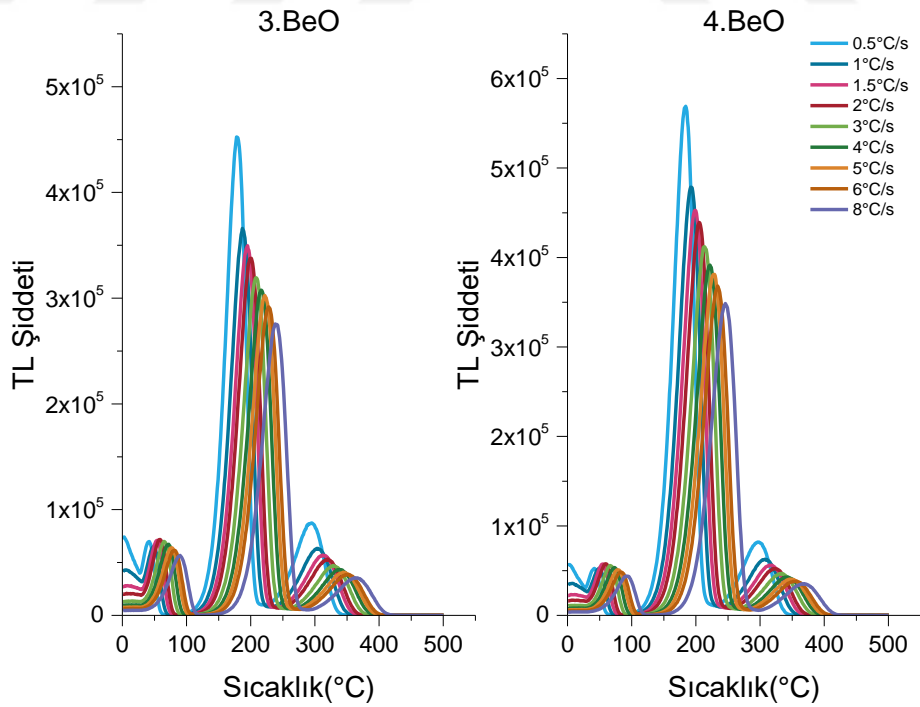
Şekil 4.2' de görüldüğü gibi BeO ışıma eğrisi ~75°C, ~190°C ve ~340°C de olmak üzere üç tane pik içerir. 75°C civarındaki pik kararsız ve oda sıcaklığında hızla bozunan bir piktir. Bu yüzden ölçümlerde ikinci ve üçüncü pikten gelen katkılar göz önünde bulundurulacaktır.

#### 4.2 Farklı Isıtma Hızları Yöntemi Kullanılarak Termal Sönüm Parametrelerinin Belirlenmesi

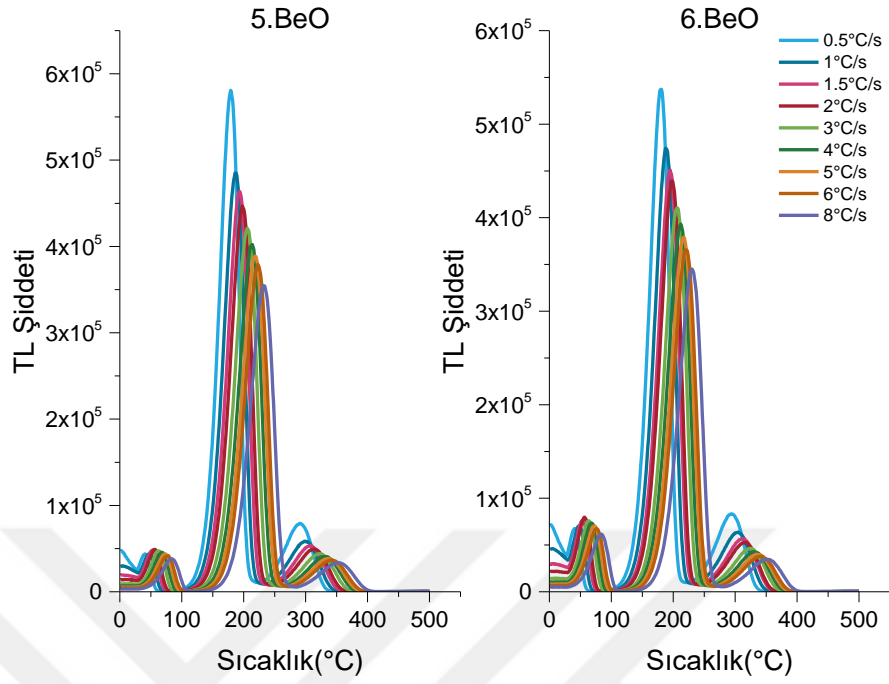
10 adet BeO kristali Risø TL/OSL ölçüm sistemindeki <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y beta kaynağı ile 3.25Gy dozda ışınlanarak, 500°C' ye kadar 9 farklı ısıtma hızında (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0°C/s) TL okumaları yapılmıştır. Elde edilen ışıma eğrileri aşağıdaki grafiklerde görülmektedir.



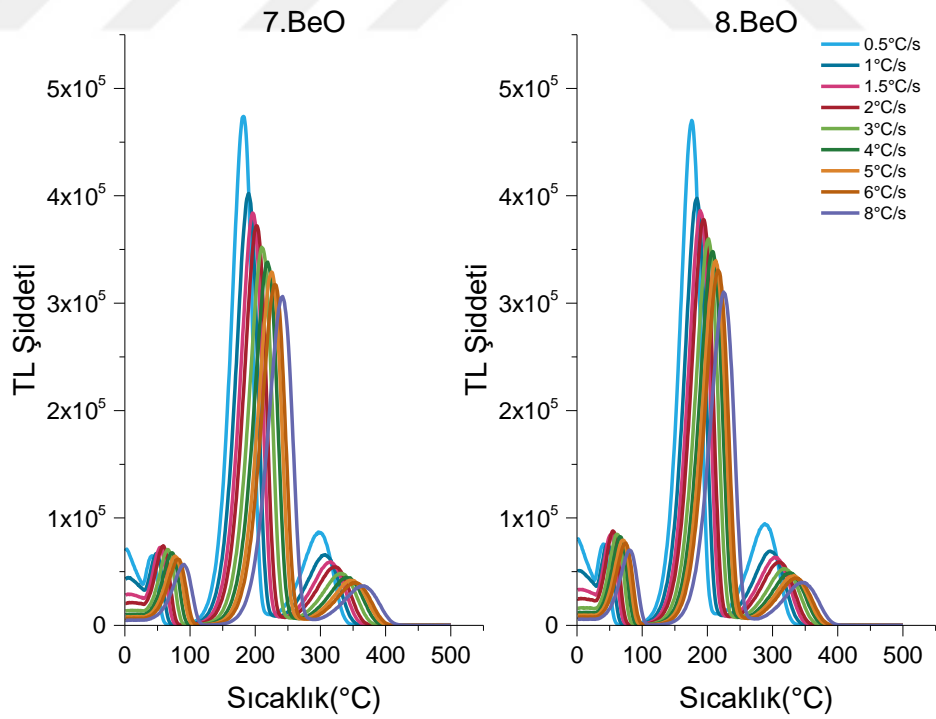
Şekil 4.3 1 ve 2 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki TL ışıma eğrileri



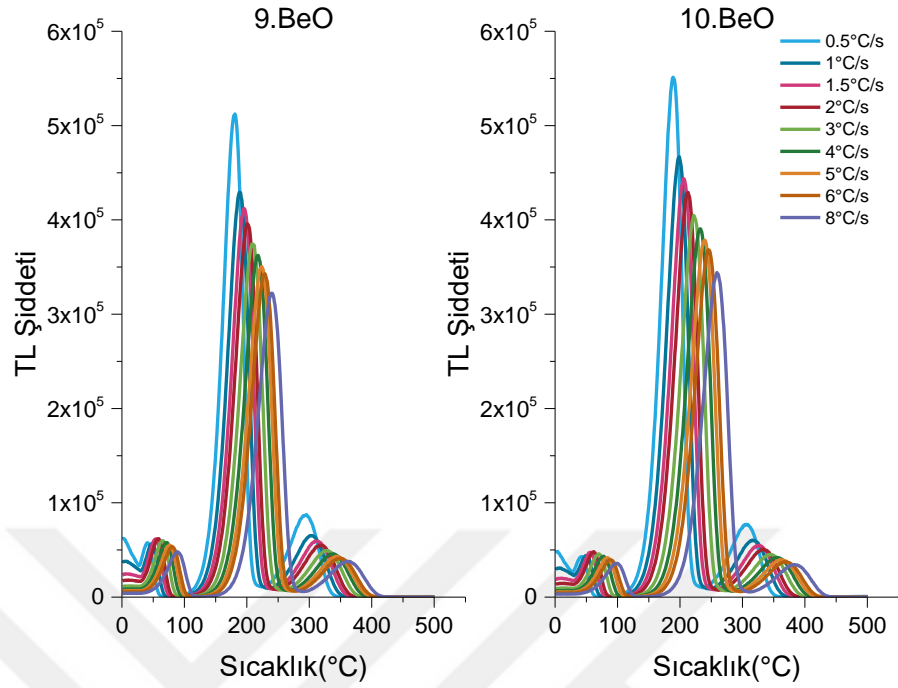
Şekil 4.4 3 ve 4 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki TL ışıma eğrileri



Şekil 4.5 5 ve 6 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki TL ışımaya eğrileri



Şekil 4.6 7 ve 8 numaralı kristallerine ait farklı ısıtma hızlarındaki TL ışımaya eğrileri



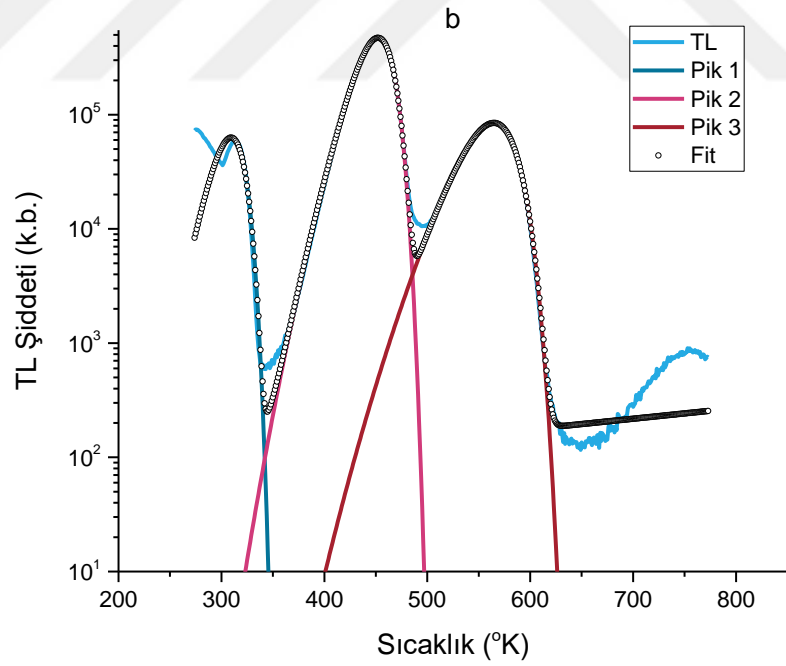
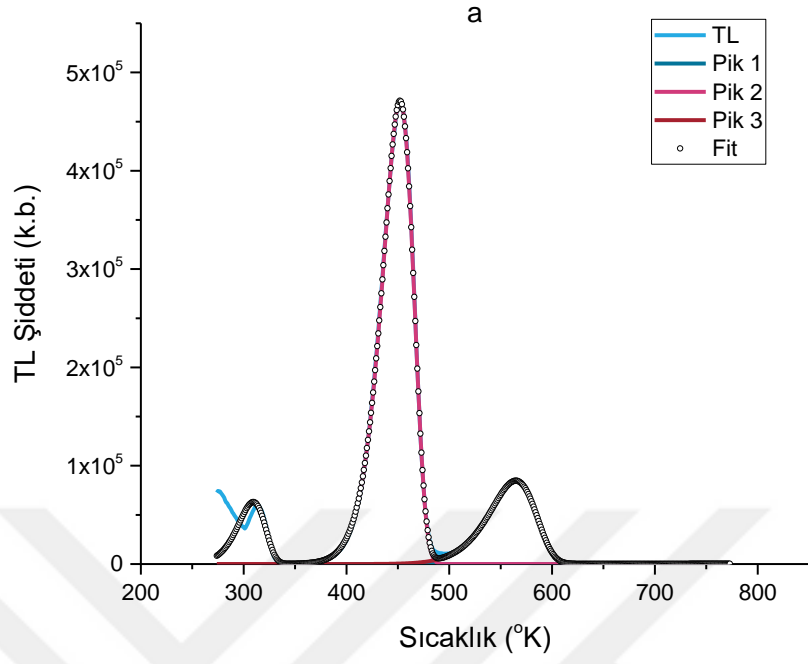
Şekil 4.7 9 ve 10 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki TL ışıma eğrileri

En düşük ısıtma hızı ile ısıtılma sırasında, önemsiz bir termal sönüm meydana gelir. Isıtma hızları arttıkça pik maksimum sıcaklıkları yüksek sıcaklık tarafına doğru kaymakta ve maksimum pik yüksekliği azalmaktadır. Termal sönüm olayı lüminesans veriminin sıcaklığın artmasına bağlı olarak azalması olayıdır. Bu azalma ısıtma hızı arttırıldıkça daha belirgin bir şekilde karşımıza çıkmaktadır. Böylece gözlenen lüminesans şiddeti ısıtma hızı arttıkça azalmaktadır. Termal sönüm olayındaki temel mantık yüksek ısıtma hızlarıyla ısıtılan bir malzemede, birim zamanda tuzaklardan kurtulan elektron sayısının çok fazla olmasıdır. Bu durum elektronların birbirleriyle rekabet etmelerine yol açmakta ve yeniden birleşme merkezlerindeki ışımalı yeniden birleşme olasılığı azalmaktadır. Buna bağlı olarak da pik yüksekliği azalmaktadır. Bu yöntemin en iyi avantajlarından biri sadece pik maksimumlarının ( $I_m$ ,  $T_m$ ) bilinerek, tuzak parametrelerinin hesaplanabilmesidir.

Bölüm 3.7' deki basamaklarda da belirtildiği gibi CGCD analiz programı ile tüm ısıtma hızları için ışıma eğrileri ayrıştırılmıştır. Bu ayrıştırma işleminde pik maksimum sıcaklıkları  $T_{max}$  (°C), maksimum pik şiddetleri  $I_{max}$ , aktivasyon enerjileri  $E_a$ (eV) ve kinetik mertebelere (b) uygun değerler verilerek iyi bir fit işlemi gerçekleştirilmeye

alışılmıştır. Fit işlemi sırasında FOM değerleri de kontrol edilmiştir. Bu fit işlemi sonucunda  $T_{\max}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve  $I_{\max}$ ,  $W$  ve  $C$  termal sönüm parametrelerinin belirlenmesi için kullanılmıştır.





Şekil 4.8 1 numaralı BeO kristali için  $0.5^{\circ}\text{C/s}$  ısıtma hızındaki TL ışıma eğrisine ait a) lineer skalada gösterim, b) logaritmik skalada gösterim

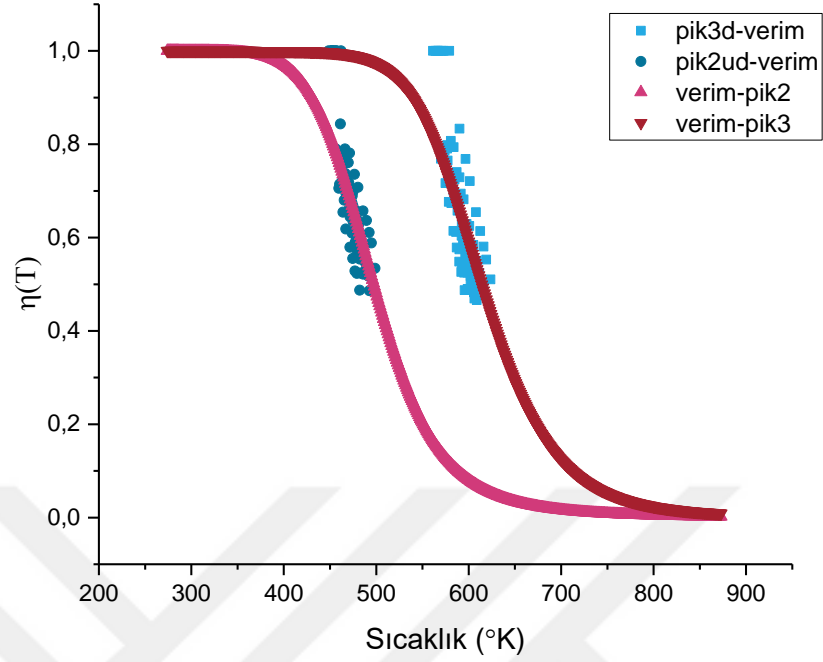


Her BeO kristali için (2.42) denklemi,  $\eta(T) = I/I_0$  ifadesi kullanılarak farklı ısıtma hızlarında elde edilen her bir pik için verim değerleri belirlenmiştir. Bu deneysel verim değerleri bir set halinde yazılarak  $T_{\max}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) a göre grafiği çizilmiştir. (3.2) denklemine göre W ve C değerleri değişken kabul edilerek  $T_{\max}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) ye göre  $\eta(T_m^{cor})$  grafiği çizilerek verim değerleri birbirine fit edilmiştir. 2. ve 3.pik için maksimum sıcaklık  $T_m$ ' deki kaymalara bakılmıştır. Bölüm 3.6 basamak 3'e göre 2.pike ait maksimum sıcaklıktaki kayma  $50^{\circ}\text{K}$ ' den küçük olduğu için verim değeri  $\eta(T_m^{cor})$  kullanılarak dolaylı fit yapılmıştır. 3.pik için ise maksimum sıcaklıktaki kayma  $50^{\circ}\text{K}$ 'den büyük olduğu için  $\eta(T)$  kullanılarak doğrudan fit yapılmıştır (Subedi vd. 2011). Fit işlemi sonucunda elde edilen W ve C değerleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1 2. ve 3.pik için elde edilen W(eV) ve C değerleri

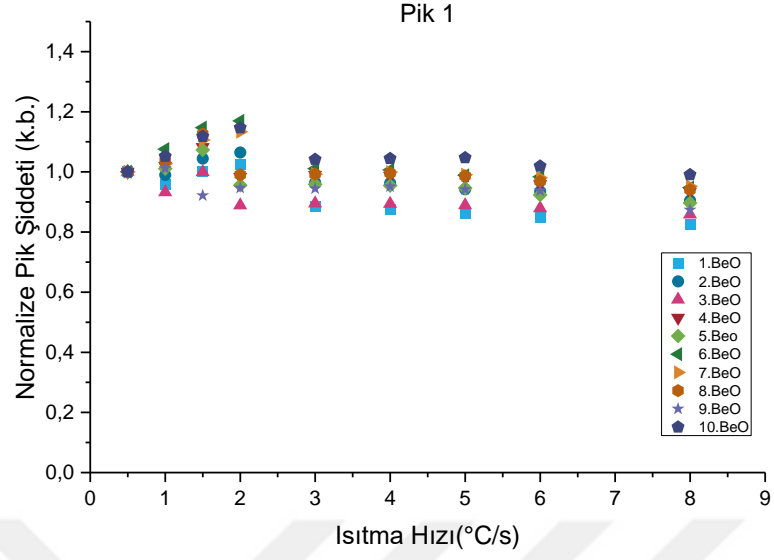
	W (eV)	C
<b>2.pik</b>	0.61	$1.50 \times 10^6$
<b>3.pik</b>	0.84	$8.10 \times 10^6$

$\eta(T_m)$  deneysel değerleri ile teorik  $\eta(T)$  değerleri ile örtüşmesi beklenmektedir.

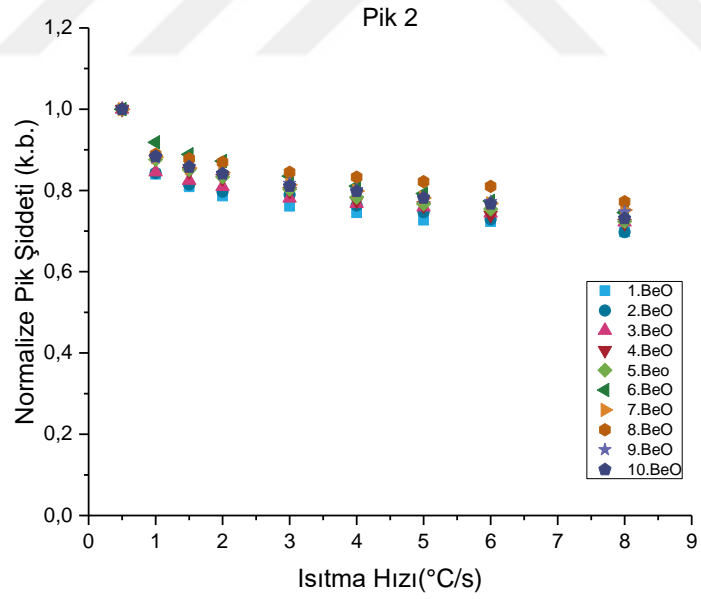


Şekil 4.9 2. ve 3.pik için deneysel ve teorik  $\eta(T)$  verim değerlerinin sıcaklığa göre değişimi. pik3d 3.pik için doğrudan fit sonucu elde edilen verim değerini, pik2ud ise 2.pik için dolaylı fit sonucu elde edilen verim değerini temsil etmektedir.

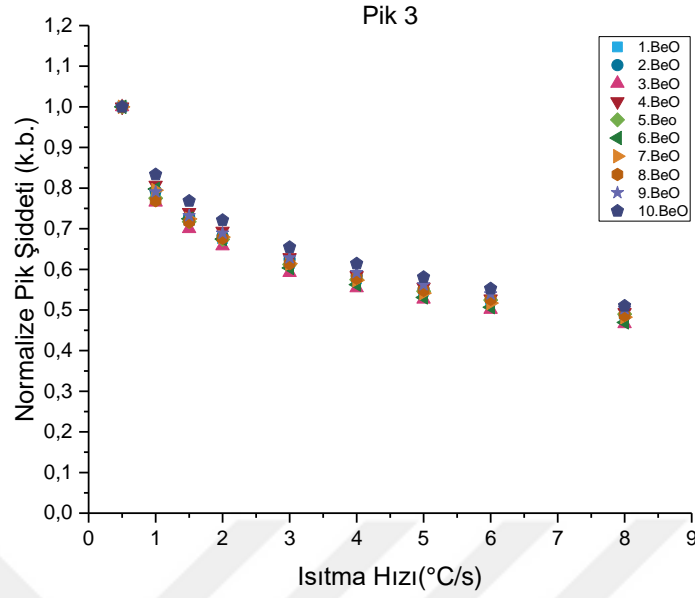
Sıg TL ışıma piki 1.pikin şiddeti değişen ısıtma hızı ile değişiklik göstermemektedir. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi 1.pik termal sönüm vermez. Fakat 2.pik ve 3.pik üzerinde termal sönüm etkisi görülmektedir. Şekil 4.9 ve 4.10’ a göre 2.pikin normalize edilmiş şiddeti, ısıtma hızı  $0.5^{\circ}\text{C/s}$ ’ den  $8.0^{\circ}\text{C/s}$ ’ye yükselirken yaklaşık olarak %30 azalırken, 3.pikin normalize edilmiş şiddeti ise yaklaşık %50 azalmaktadır. 3.pikin şiddeti 2.pike göre daha hızlı azalmaktadır. Yani bu iki pik farklı termal sönüm verimlerine sahiptirler.



Şekil 4.10 1.pik için 10 farklı BeO kristaline ait normalize edilmiş pik alanlarının ısıtma hızına bağlı olarak değişimi



Şekil 4.11 2.pik için 10 farklı BeO kristaline ait normalize edilmiş pik alanlarının ısıtma hızına bağlı olarak değişimi



Şekil 4.12 3.pik için 10 farklı BeO kristaline ait normalize edilmiş pik alanlarının ısıtma hızına bağlı olarak değişimi

#### 4.3 TL Piklerinin Yeniden Yapılandırma (Rekonstrüksiyon) İşlemi ve Sönümlenmemiş TL Işıma Eğrilerinin Ayrıştırılması (Dekonvolüsyonu)

Tüm BeO kristallerin deneysel TL ışımaya eğrileri termal sönümden dolayı yüksek oranda bozulmaktadır. Sönümlenmiş deneysel TL şiddetleri,

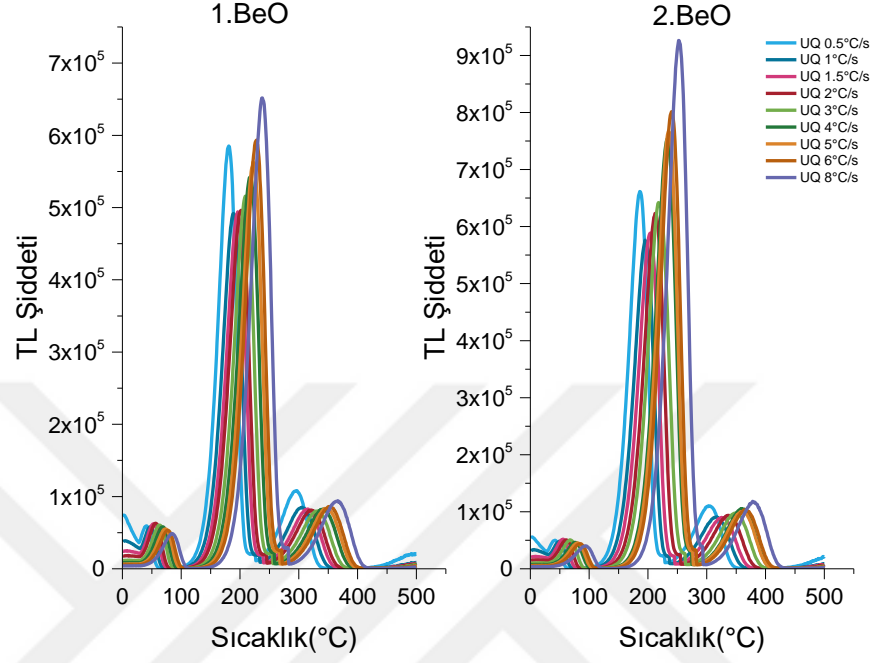
$$I_q(T) = I_{uq}(T) \cdot \eta(T) \quad (4.1)$$

ile verilmektedir. Burada  $\eta(T)$  (2.42) denkleminde belirtilen verim,  $I_q(T)$  sönümlenmiş,  $I_{uq}(T)$  ise sönümlenmemiş veya gerçek lüminesans şiddetleridir. Numunenin sönümlenmemiş gerçek lüminesans şiddeti bilinmemektedir. Bu şiddet,

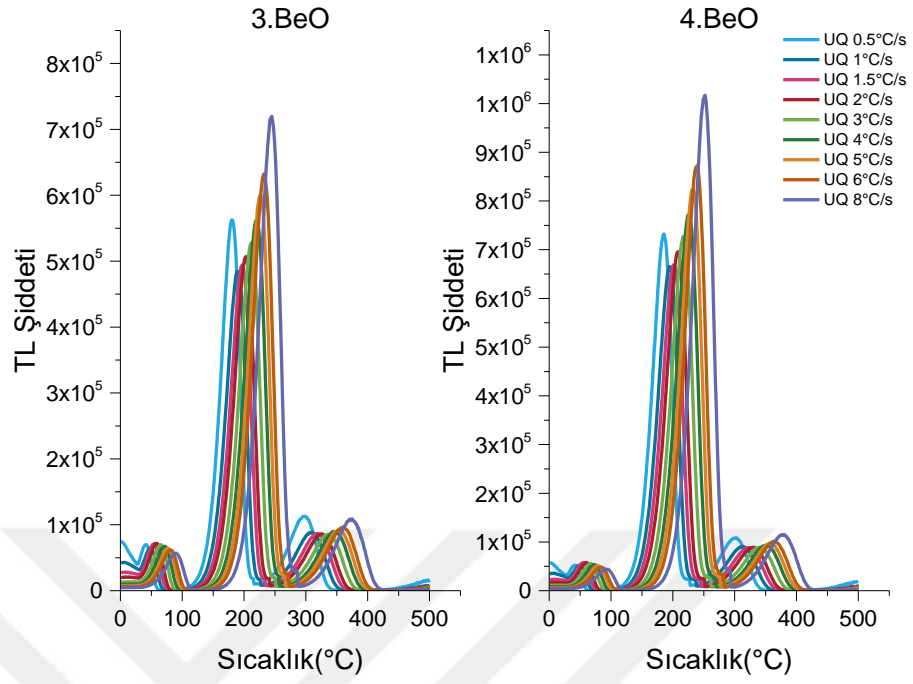
$$I_{uq}(T) = \frac{I_q(T)}{\eta(T)} \quad (4.2)$$

ifadesi ile sönümlenmiş TL ışımaya eğrisinin yeniden yapılandırılmasıyla hesaplanmaktadır.  $\eta(T)$  ifadesi 2. ve 3.pik için Çizelge 4.1' de belirtilen W ve C değerleri

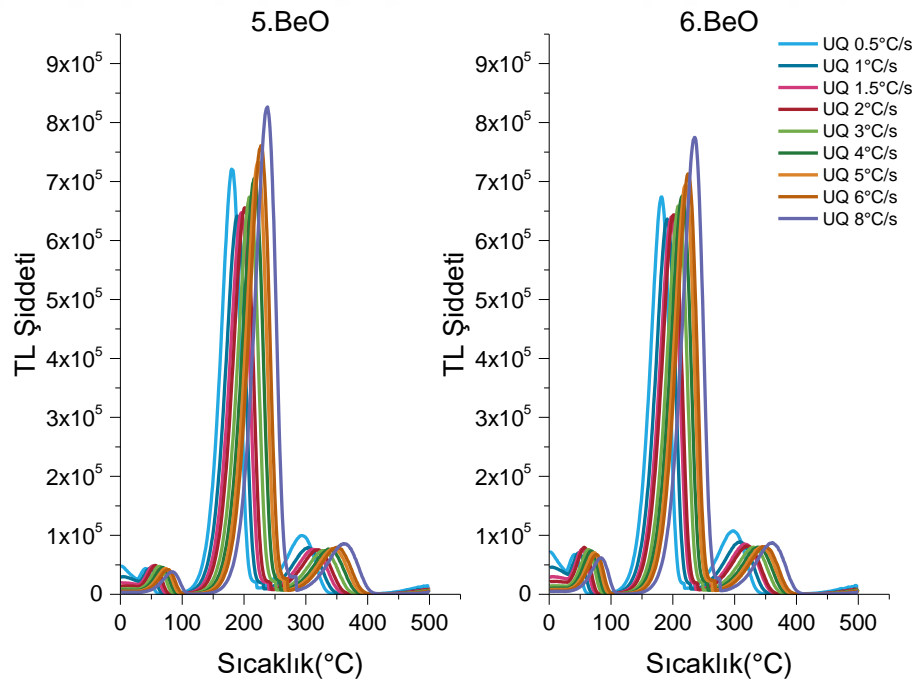
kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir ısıtma hızı için (4.2) denklemine göre sönümlenmemiş ışımaya eğrileri tekrar çizdirilmiştir.



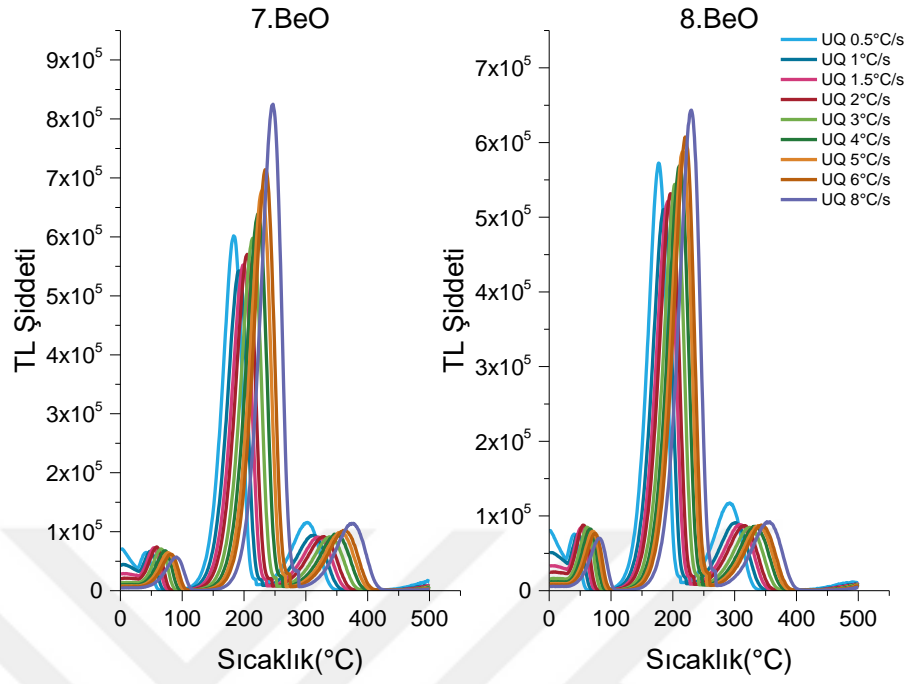
Şekil 4.13 1 ve 2 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki yeniden yapılandırılmış TL ışımaya eğrileri



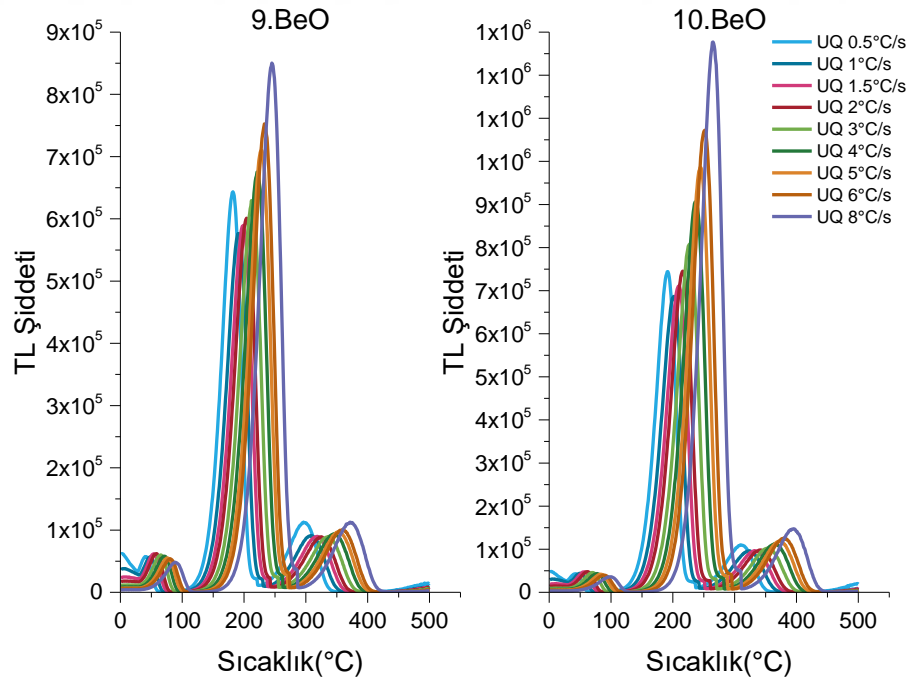
Şekil 4.14 3 ve 4 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki yeniden yapılandırılmış TL ışıma eğrileri



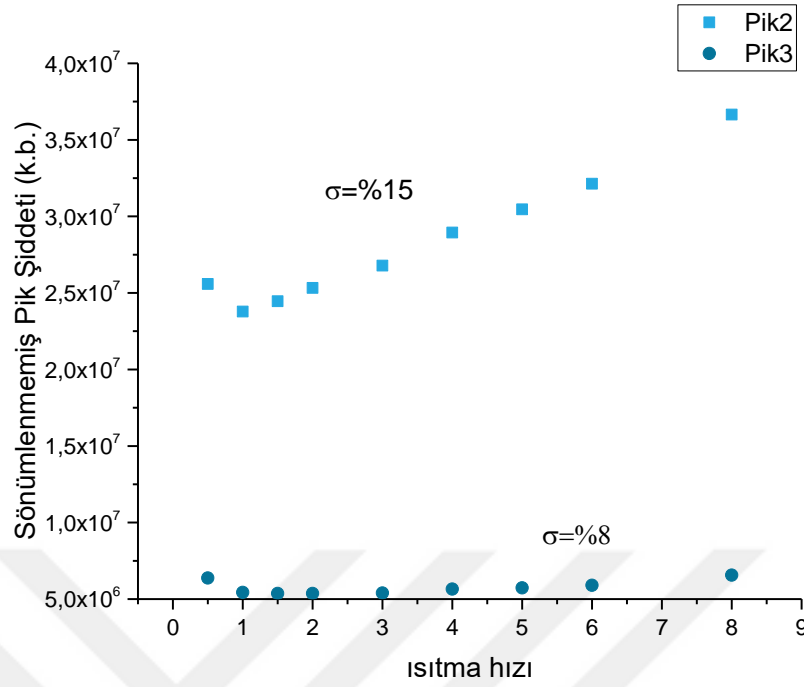
Şekil 4.15 5 ve 6 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki yeniden yapılandırılmış TL ışıma eğrileri



Şekil 4.16 7 ve 8 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki yeniden yapılandırılmış TL ışımaya eğrileri



Şekil 4.17 9 ve 10 numaralı kristallere ait farklı ısıtma hızlarındaki yeniden yapılandırılmış TL ışımaya eğrileri



Şekil 4.18 Farklı ısıtma hızlarında 10 tane BeO kristali için her bir pike ait sönümlenmemiş TL sinyallerinin sapması

#### 4.4 Farklı Ön Isıtma ve Okuma Sıcaklıklarında OSL Okuması

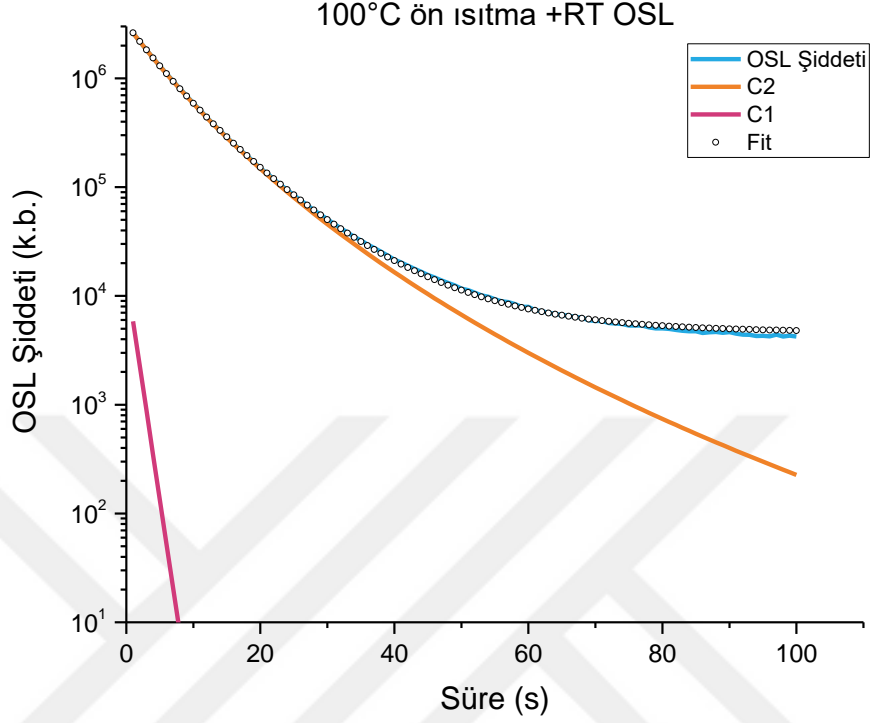
14 numaralı BeO kristali Varian True Beam lineer hızlandırıcı cihazında 6MV'luk X-ışınları ile SSD=100cm' de 0.25 Gy doz verilerek ışınlanmıştır. BeO kristaller, ışığa maruz kalmasını engellemek amacıyla siyah ışık geçirmeyen poşetle kaplanmıştır. Bu ışınlamaları gerçekleştirirken BeO kristallerinin altına en az 5cm olacak şekilde katı su fantomu yerleştirilmiştir. Lineer hızlandırıcının doz maksimum derinliği  $d_{maks}=1.5cm$  kadar katı su fantomu da ışın merkezindeki BeO kristallerin üzerine yerleştirmiştir. Aşağıda belirtilen şartlarda Risø TL/OSL ölçüm sisteminde 100s boyunca OSL okuması yapılmıştır.

- i. 100°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması,
- ii. 100°C ön ısıtma ardından 100°C' de OSL okuması,
- iii. 220°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması,
- iv. 220°C ön ısıtma ardından 100°C' de OSL okuması,
- v. 220°C ön ısıtma ardından 220°C' de OSL okuması,



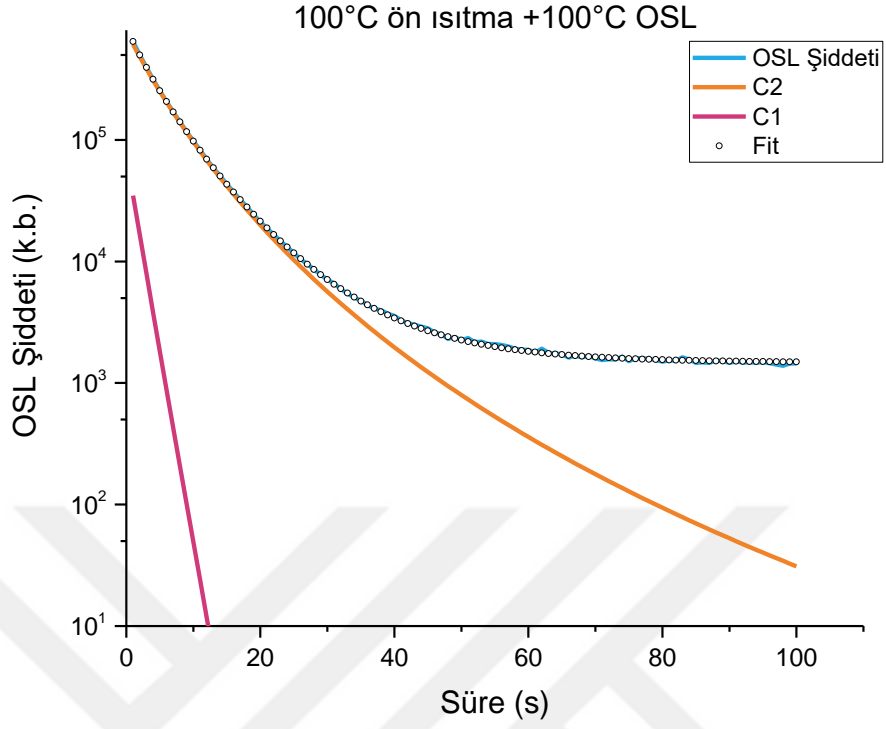
Bu okuma işlemlerinde, BeO kristaline ait TL ışıma eğrisinde 1.pikin bitiş sıcaklığı olan 100°C ile 2.pikin bitiş sıcaklığı olan 220°C kullanılmıştır. “Microsoft Excel-Solver” kullanılarak 5 farklı okuma modu için de OSL sinyali (2.39) denklemi kullanılarak hızlı ( $C_1$ ), yavaş ( $C_2$ ) bileşenlerine ayrılmıştır (Şekil 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23). OSL sinyallerinin fit işleminin doğruluğu FOM değerleri ile kontrol edilmiştir. Çizelge 4.2’ de toplam OSL şiddetleri ve  $C_1$  ve  $C_2$  bileşenlerine ait lüminesans şiddetleri verilmiştir.

FOM değerleri; 100°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması için %0.36, 100°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması için %0.21, 220°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması için %0.34, 220°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması için %0.27, 220°C ön ısıtma ardından 220°C’ de OSL okuması için %1.85 elde edilmiştir.



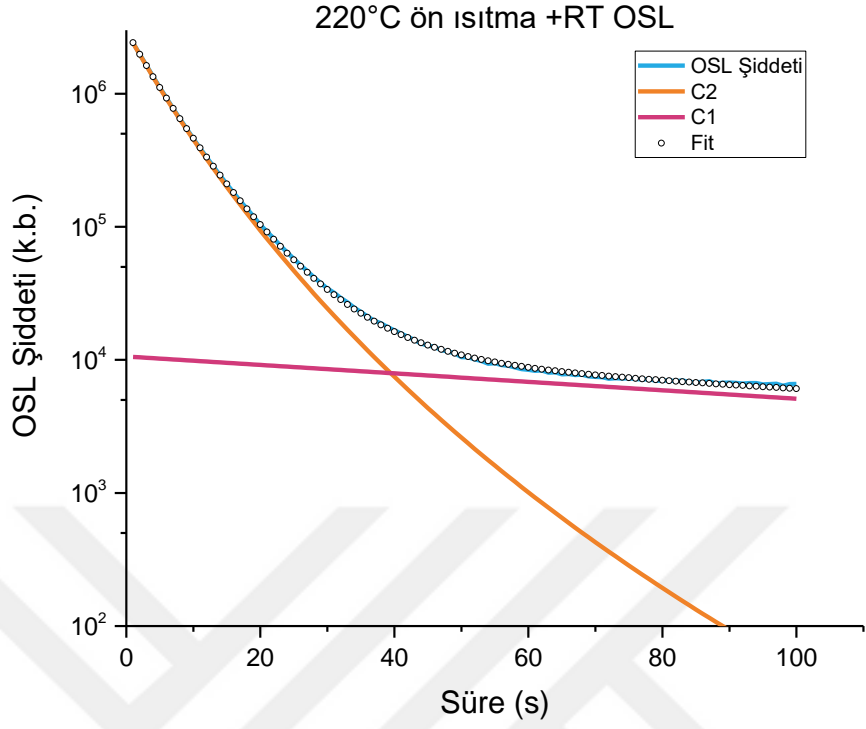
Parametreler	$C_1$	$C_2$
$I_0$	15031	3139166
$b$	1.0001	1.1476
$\tau$	1.0596	6.1249
	Hızlı	Yavaş
<b>BGK</b>	4577	

Şekil 4.19 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 100°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler



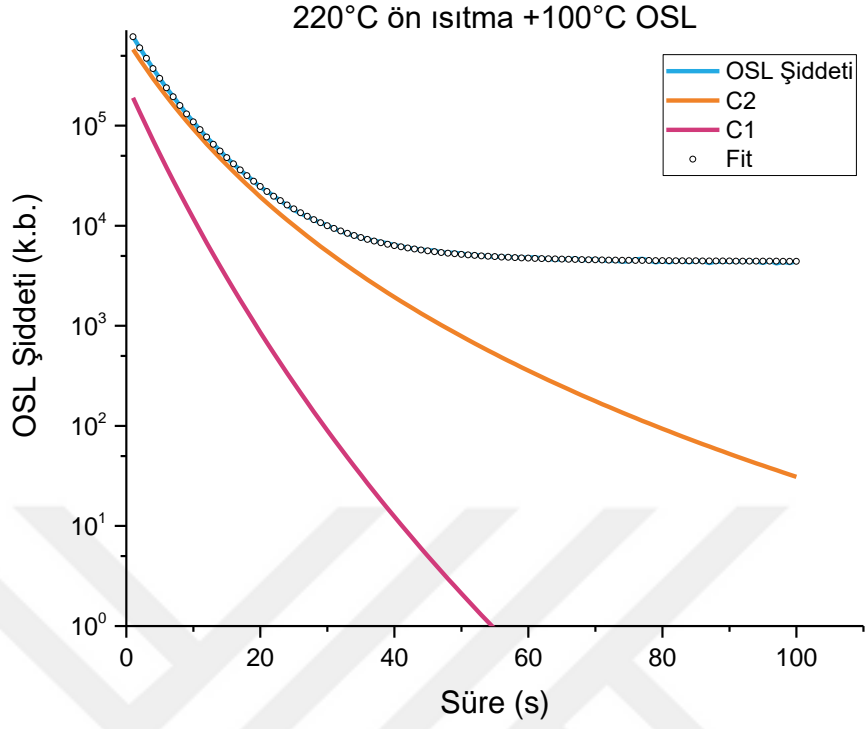
Parametreler	$C_1$	$C_2$
$I_0$	73444	776708
$b$	1.0005	1.1846
$\tau$	1.3481	4.7986
	Hızlı	Yavaş
<b>BGK</b>	1460	

Şekil 4.20 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 100°C ön ısıtma ardından 100°C'de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler



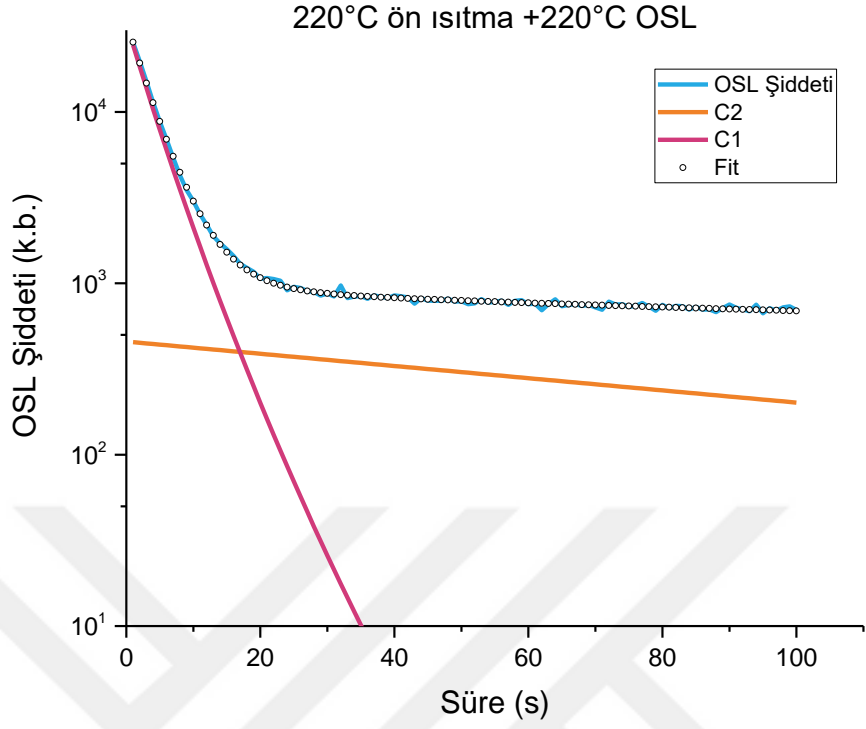
Parametreler	$C_1$	$C_2$
$I_0$	10608	2952292
$b$	1.0001	1.1165
$\tau$	136.6553	5.3799
	Hızlı	Yavaş
<b>BGK</b>	925	

Şekil 4.21 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 220°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler



Parametreler	$C_1$	$C_2$
$I_0$	267258	735229
$b$	1.065	1.1847
$\tau$	3.0992	4.8482
	Hızlı	Yavaş
<b>BGK</b>	4382	

Şekil 4.22 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 220°C ön ısıtma ardından 100°C'de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler



Parametreler	$C_1$	$C_2$
$I_0$	33123	457
$b$	1.0661	1.0001
$\tau$	3.5495	121.9366
	Hızlı	Yavaş
<b>BGK</b>	489	

Şekil 4.23 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 220°C ön ısıtma ardından 220°C'de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler

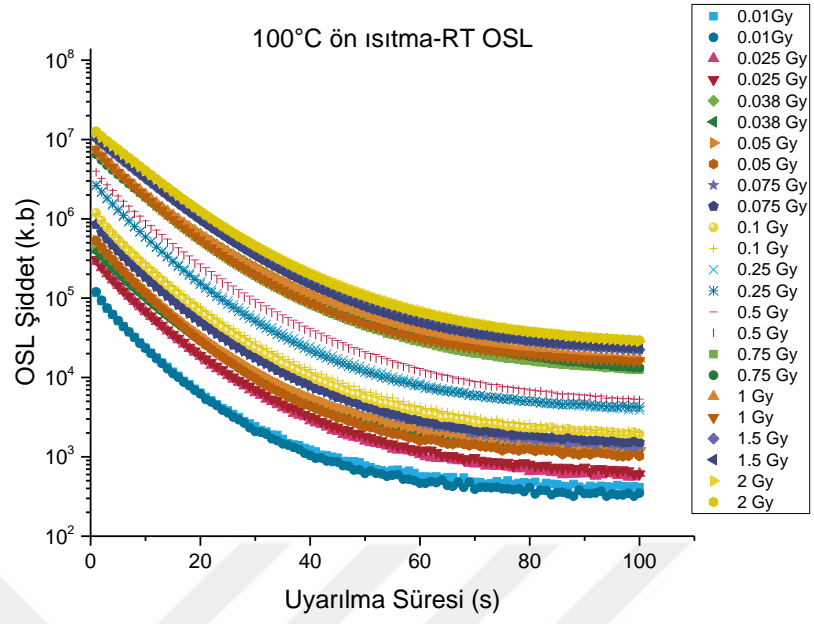
Çizelge 4.2 0.25 Gy 14 numaralı BeO kristalinin farklı okuma modlarındaki toplam OSL şiddeti ve ayrıştırma sonucu elde edilen C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> bileşenlerinin OSL şiddetleri

	100°C ön ısıtma + RT OSL	100°C ön ısıtma + 100°C OSL	220°C ön ısıtma + RT OSL	220°C ön ısıtma + 100°C OSL	220°C ön ısıtma + 220°C OSL
<b>OSL Şiddeti</b>					
<b>I<sub>top</sub></b>	1.82E+07	3.57E+06	1.53E+07	4.35E+06	1.82E+05
<b>C<sub>1</sub></b>	9.58E+03	6.68E+04	7.50E+05	7.02E+05	1.02E+05
<b>C<sub>2</sub></b>	1.77E+07	3.35E+06	1.45E+07	3.21E+06	3.11E+04

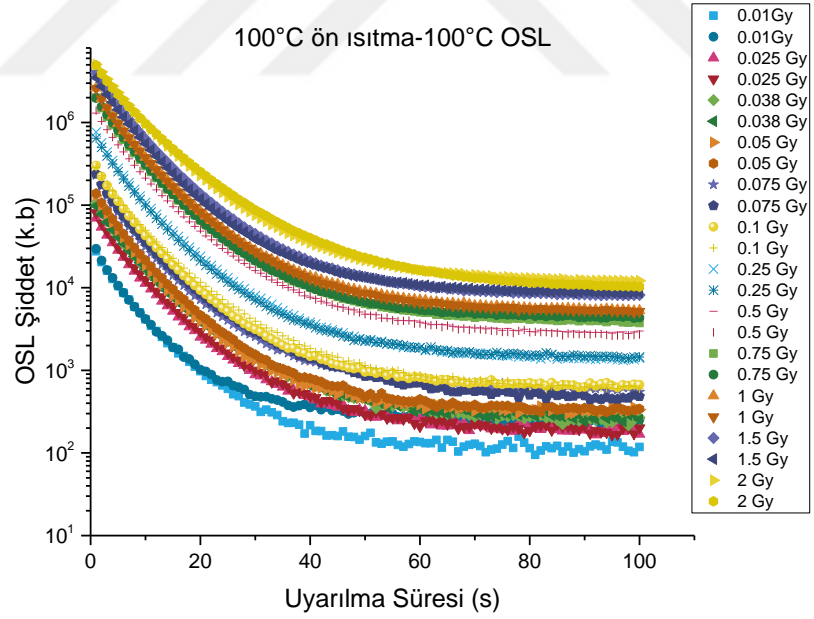
#### 4.5 Doz Cevabı

BeO' in toplam OSL sinyalinin ve ayrıştırma işlemi sonucu elde edilen bileşenlerinin (C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub>) radyasyon dozuna tepkisini belirlemek için 0.01Gy, 0.03Gy, 0.04Gy, 0.05Gy, 0.08Gy, 0.10Gy, 0.25Gy, 0.50Gy, 0.75Gy, 1.00Gy, 1.50Gy ve 2.00Gy olmak üzere 12 farklı dozda ikişer tane BeO kristali Varian True Beam lineer hızlandırıcı cihazında Bölüm 4.4' de belirtilen düzenele ışınlanmıştır. Risø TL/OSL ölçüm sisteminde 100s boyunca OSL okuması yapılmıştır.

BeO kristallere ait OSL bozunum eğrileri Şekil 4.24, 4.25, .26, 4.27, 4.28' de verilmiştir. Bu okuma modlarında elde edilen OSL sayımları yani eğri altında kalan alanlar da Çizelge 4.3' de verilmiştir.

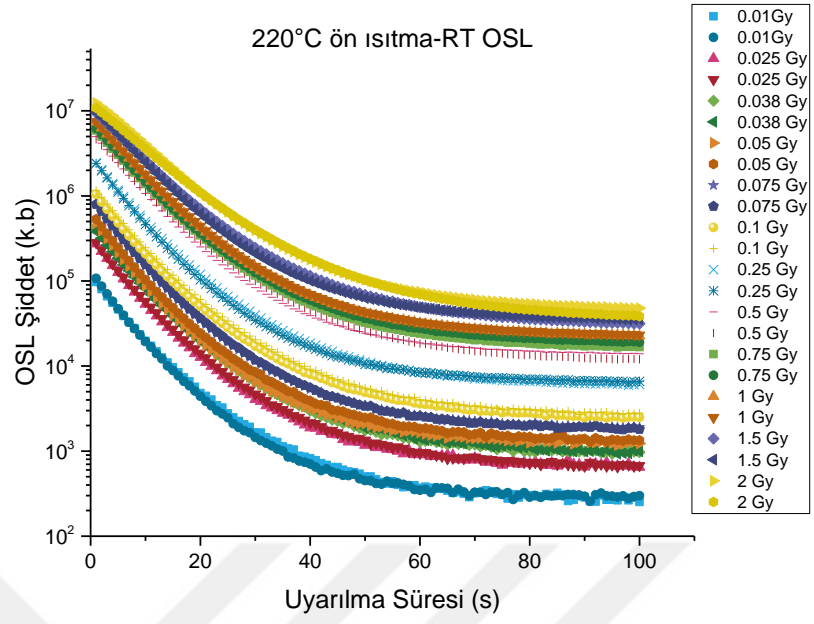


Şekil 4.24 12 farklı dozda ışınlanan BeO kristallerinin 100°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması ile elde edilen bozunum eğrileri

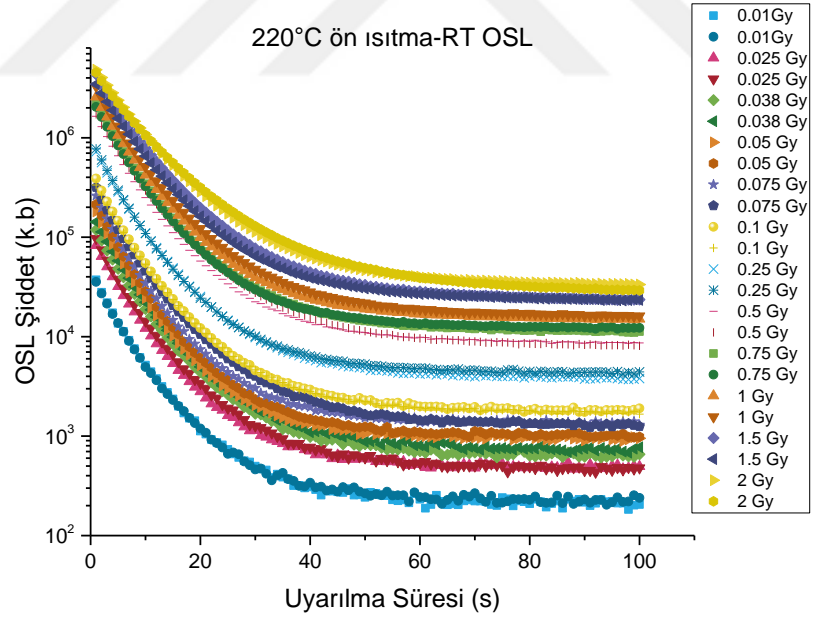


Şekil 4.25 12 farklı dozda ışınlanan BeO kristallerinin 100°C ön ısıtma ardından 100°C sıcaklıkta OSL okuması ile elde edilen bozunum eğrileri

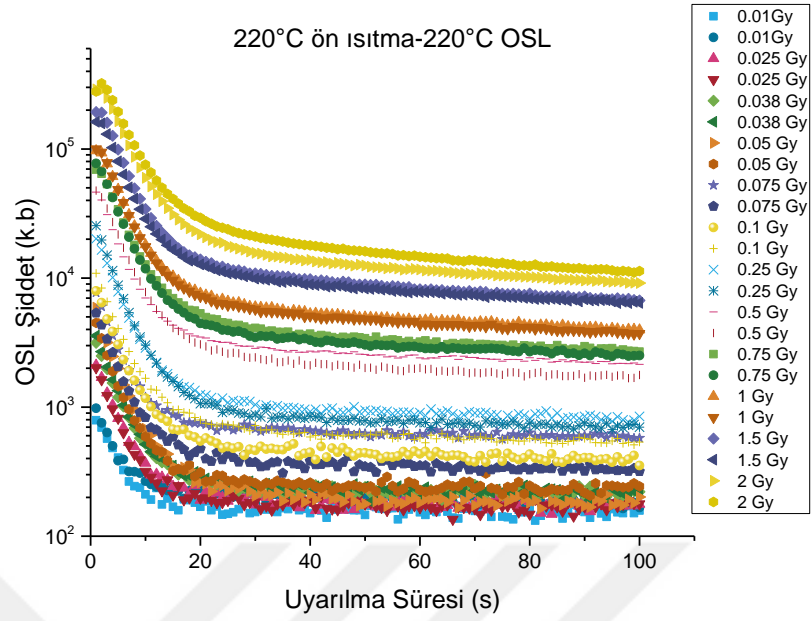




Şekil 4.26 12 farklı dozda ışınlanan BeO kristallerinin 220°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması ile elde edilen bozunum eğrileri



Şekil 4.27 12 farklı dozda ışınlanan BeO kristallerinin 220°C ön ısıtma ardından 100°C sıcaklıkta OSL okuması ile elde edilen bozunum eğrileri

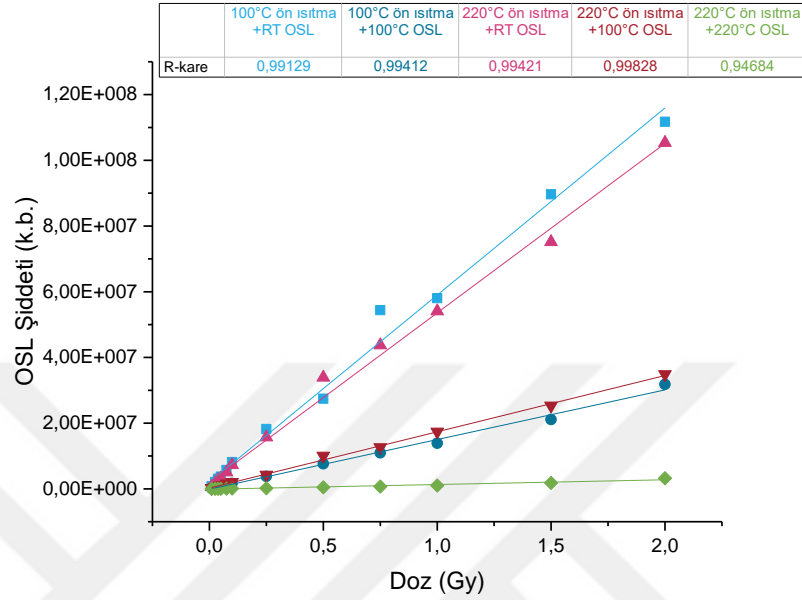


Şekil 4.28 12 farklı dozda ışınlanan BeO kristallerinin 220°C ön ısıtma ardından 220°C sıcaklıkta OSL okuması ile elde edilen bozunum eğrileri

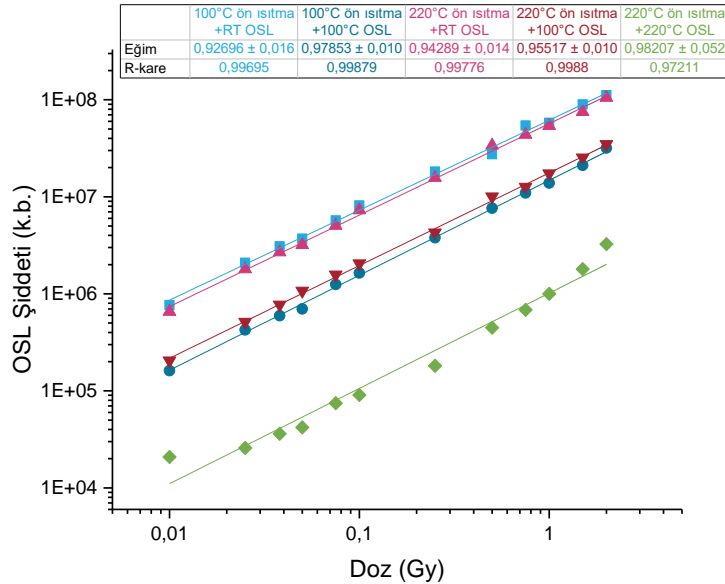
Çizelge 4.3 Farklı OSL okumalarında doza karşı elde edilen ortalama OSL sinyalleri

Doz (Gy)	100°C	ön	100°C	ön	220°C	ön	220°C	ön	220°C	ön
	ısıtma	+ RT	ısıtma	+ 100°C	ısıtma	+ RT	ısıtma	+ 100°C	ısıtma	+ 220°C
	OSL		OSL		OSL		OSL		OSL	
	OSL Şiddeti (k.b.)									
<b>0.01</b>	7.67E+05		1.62E+05		6.54E+05		2.05E+05		2.08E+04	
<b>0.03</b>	2.09E+06		4.25E+05		1.80E+06		5.13E+05		2.58E+04	
<b>0.04</b>	3.09E+06		5.96E+05		2.69E+06		7.71E+05		3.61E+04	
<b>0.05</b>	3.71E+06		6.99E+05		3.20E+06		1.07E+06		4.21E+04	
<b>0.08</b>	5.71E+06		1.25E+06		5.05E+06		1.58E+06		7.46E+04	
<b>0.10</b>	8.16E+06		1.64E+06		7.30E+06		2.05E+06		9.06E+04	
<b>0.25</b>	1.82E+07		3.79E+06		1.57E+07		4.27E+06		1.81E+05	
<b>0.50</b>	2.74E+07		7.64E+06		3.39E+07		1.01E+07		4.48E+05	
<b>0.75</b>	5.44E+07		1.09E+07		4.37E+07		1.26E+07		6.84E+05	
<b>1.00</b>	5.80E+07		1.39E+07		5.41E+07		1.74E+07		1.00E+06	
<b>1.50</b>	8.97E+07		2.11E+07		7.52E+07		2.53E+07		1.80E+06	
<b>2.00</b>	1.12E+08		3.18E+07		1.05E+08		3.49E+07		3.25E+06	

OSL şiddetinin verilen doza göre değişimi doğrusal ve logaritmik skalada Şekil 4.29 ve 4.30' da verilmiştir. Grafiklerin üzerinde verilerin doğrusallığını ifade eden R<sup>2</sup> katsayıları hesaplanmıştır.



Şekil 4.29 Farklı okuma modlarında elde edilen toplam OSL şiddetinin doza göre değişimi



Şekil 4.30 Farklı okuma modlarında elde edilen toplam OSL şiddetinin doza göre değişiminin logaritmik skalada gösterimi

Bölüm 2.6’ da ifade edildiği gibi doz cevaplarını belirlemek için  $f(D)$  değerleri hesaplanarak Çizelge 4.4’ de gösterilmiştir.

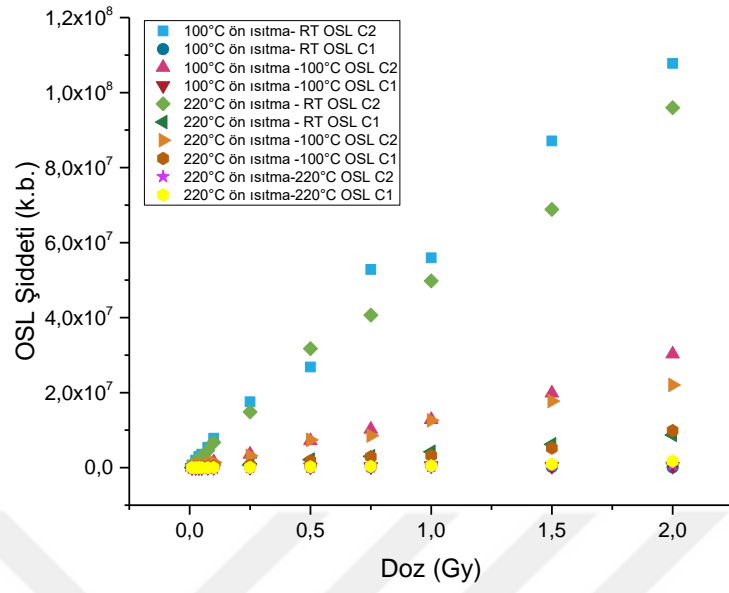
Çizelge 4.4 OSL sinyalinin doza karşı cevabını ifade eden  $f(D)$  değerleri

	100°C	ön	100°C	ön	220°C	ön	220°C	ön	220°C	ön
	ısıtma	+	ısıtma	+	ısıtma	+	ısıtma	+	ısıtma	+
	OSL	RT	OSL	100°C	OSL	RT	OSL	100°C	OSL	220°C
<b>Doz (Gy)</b>	<b>f(D)</b>									
<b>0.01</b>	-		-		-		-		-	
<b>0.03</b>	1.1		1.1		1.1		1.0		0.5	
<b>0.04</b>	1.1		1.0		1.1		1.0		0.5	
<b>0.05</b>	1.0		0.9		1.0		1.0		0.4	
<b>0.08</b>	1.0		1.0		1.0		1.0		0.5	
<b>0.10</b>	1.1		1.0		1.1		1.0		0.4	
<b>0.25</b>	0.9		0.9		1.0		0.8		0.3	
<b>0.50</b>	0.7		0.9		1.0		1.0		0.4	
<b>0.75</b>	0.9		0.9		0.9		0.8		0.4	
<b>1.00</b>	0.8		0.9		0.8		0.8		0.5	
<b>1.50</b>	0.8		0.9		0.8		0.8		0.6	
<b>2.00</b>	0.7		1.0		0.8		0.9		0.8	

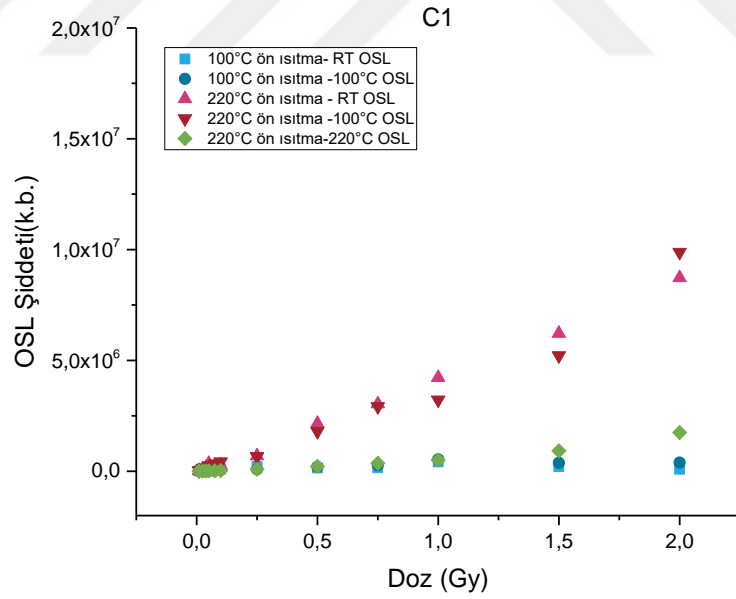
“Microsoft Excel-Solver” kullanılarak 5 farklı okuma modu için de bozunum eğrileri ayrıştırılmıştır. OSL sinyallerinin fit işleminin doğruluğu FOM değerleri ile kontrol edilmiştir.

FOM değerleri; 100°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması için %0.22-3.18 aralığında, 100°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması için %0.12-1.35 aralığında, 220°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması için %0.20-1.73 aralığında, 220°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması için %0.10-1.25 aralığında, 220°C ön ısıtma ardından 220°C’ de OSL okuması için %1.85-6.45 aralığında elde edilmiştir.

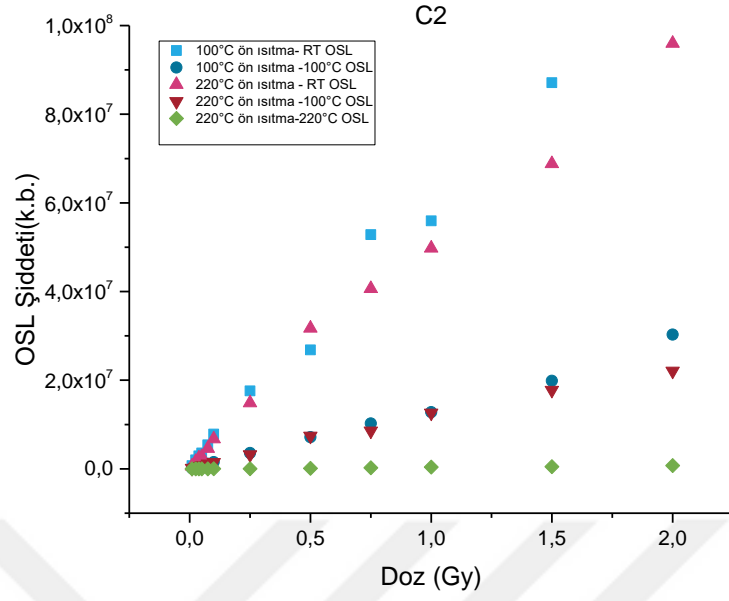
$C_1$  ve  $C_2$  bileşenlerinin verilen radyasyon dozuna göre değişimleri Şekil 4.31, 4.32 ve 4.33’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.31 Ayrıştırma işlemi sonrasında elde edilen C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> bileşenlerin doza karşı OSL şiddeti değişimi



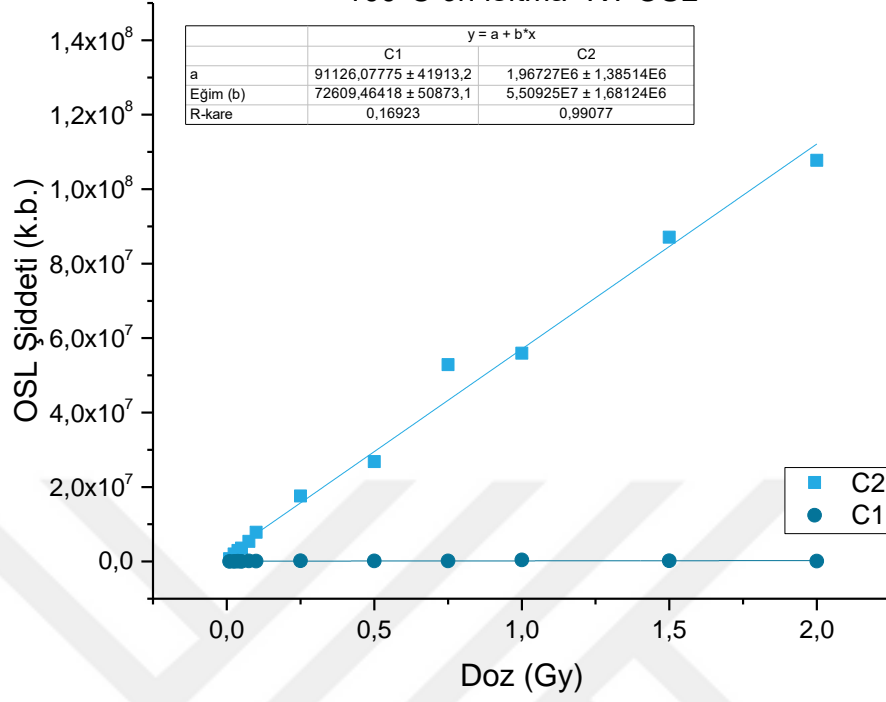
Şekil 4.32 Ayrıştırma işlemi sonrasında elde edilen C<sub>1</sub> bileşeninin doza karşı OSL şiddeti değişimi



Şekil 4.33 Ayrıştırma işlemi sonrasında elde edilen C<sub>2</sub> bileşeninin doza karşı OSL şiddeti değişimi

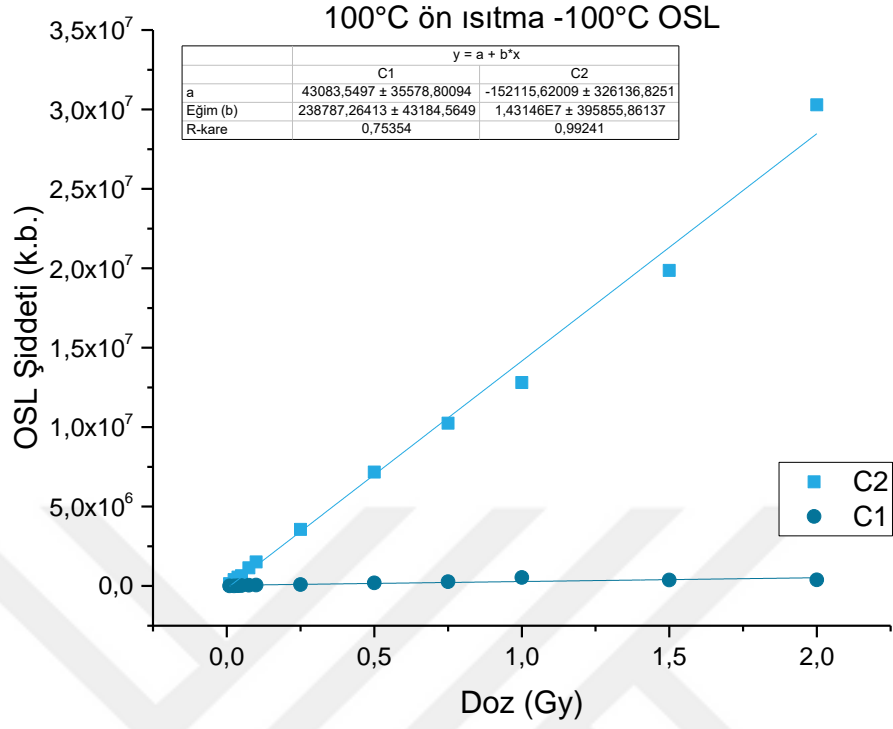
C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> bileşenlerinin doza karşı vermiş oldukları cevabı belirlemek için tüm modlarda değerler lineer bir eğriye ( $y = a + bx$ ) fit edilmiştir. Şekil 4.34, 4.35, 4.36, 4.37 ve 4.38' de doz cevap eğrileri ve fit eğrilerine ait a, b, R<sup>2</sup> ve f(D) değerleri belirlenmiştir.

100°C ön ısıtma- RT OSL



Doz (Gy)	0.01	0.03	0.04	0.05	0.08	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
<b>f(D)</b>												
<b>C<sub>1</sub></b>	-	0.5	0.5	0.1	1.1	0.6	0.5	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0
<b>C<sub>2</sub></b>	-	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8

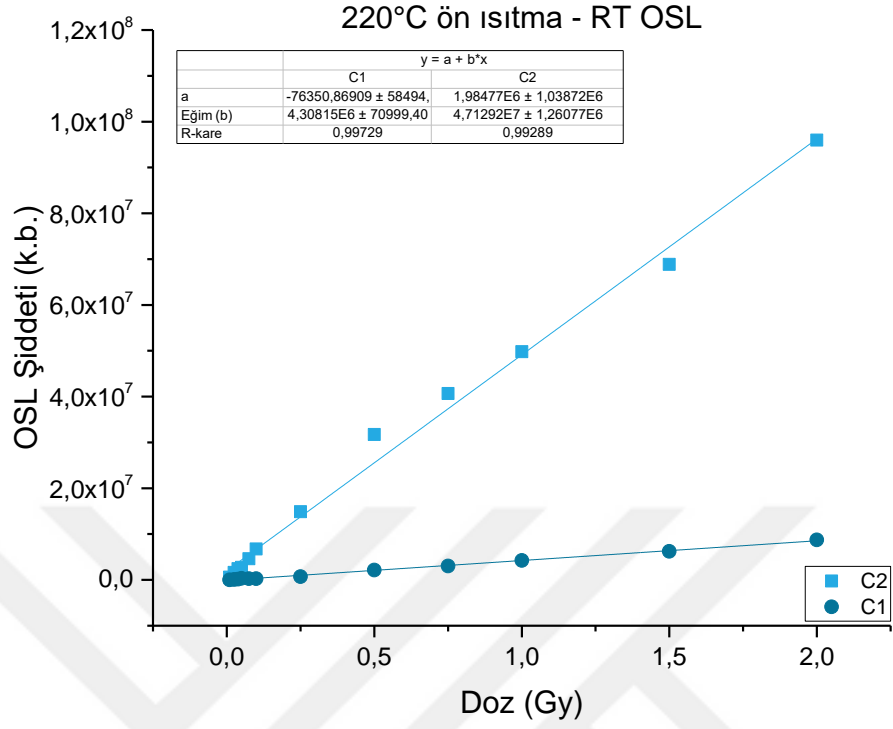
Şekil 4.34 100°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri



Doz (Gy)	0.01	0.03	0.04	0.05	0.08	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
<b>f(D)</b>												
<b>C<sub>1</sub></b>	-	0.9	0.9	1.1	1.6	1.4	0.8	0.9	0.8	1.2	0.6	0.5
<b>C<sub>2</sub></b>	-	1.1	1.0	0.9	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	1.1

Şekil 4.35 100°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri

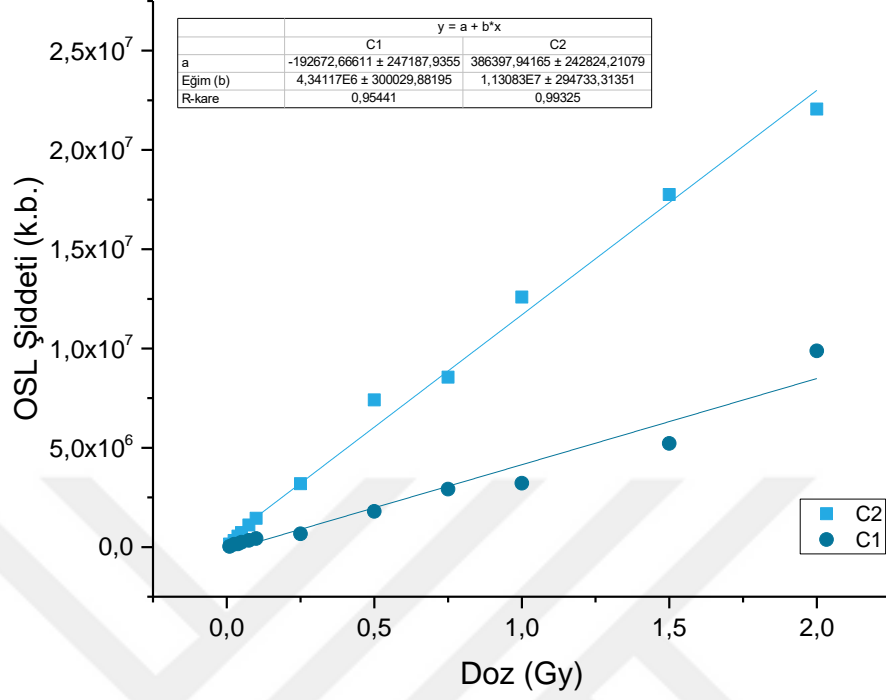




Doz (Gy)	0.01	0.03	0.04	0.05	0.08	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
<b>f(D)</b>												
<b>C<sub>1</sub></b>	-	1.8	2.0	3.3	1.7	1.3	1.3	2.1	1.9	2.0	2.0	2.1
<b>C<sub>2</sub></b>	-	1.1	1.1	0.9	1.0	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8

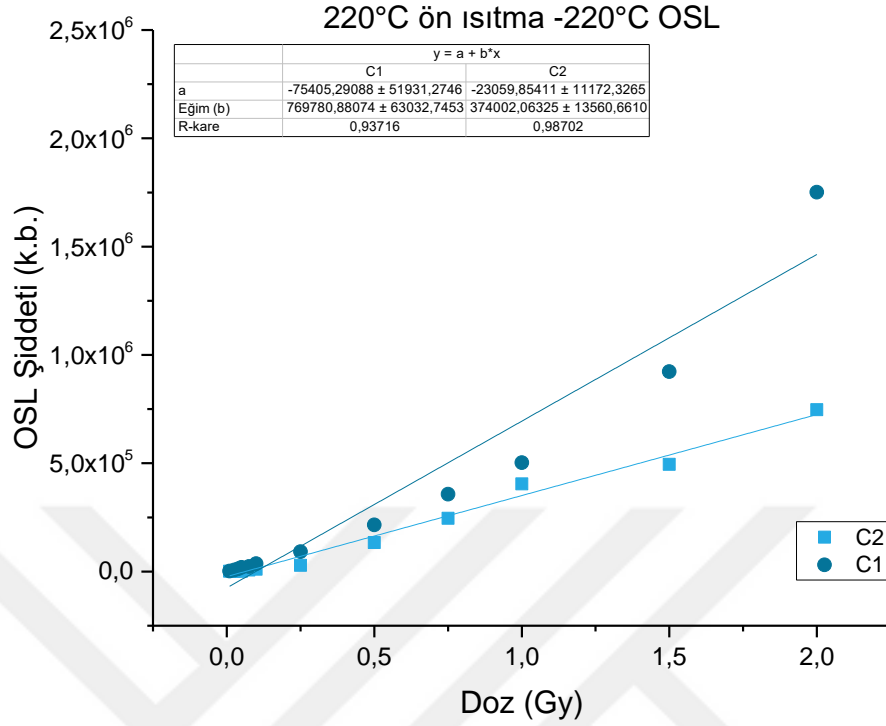
Şekil 4.36 220°C ön ısıtma ardından oda sıcaklığında OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri

220°C ön ısıtma -100°C OSL



Doz (Gy)	0.01	0.03	0.04	0.05	0.08	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
<b>f(D)</b>												
<b>C<sub>1</sub></b>	-	1.9	1.4	1.7	1.5	1.4	0.9	1.2	1.3	1.1	1.2	1.7
<b>C<sub>2</sub></b>	-	0.8	0.9	1.0	1.0	0.9	0.8	1.0	0.7	0.8	0.8	0.7

Şekil 4.37 220°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri



Doz (Gy)	0.01	0.03	0.04	0.05	0.08	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

	f(D)											
C <sub>1</sub>	-	1.2	1.4	1.6	1.3	1.5	1.5	1.8	2.0	2.1	2.6	3.7
C <sub>2</sub>	-	0.4	0.4	0.2	0.7	0.8	0.8	1.9	2.3	2.9	2.4	2.7

Şekil 4.38 220°C ön ısıtma ardından 220°C’ de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri

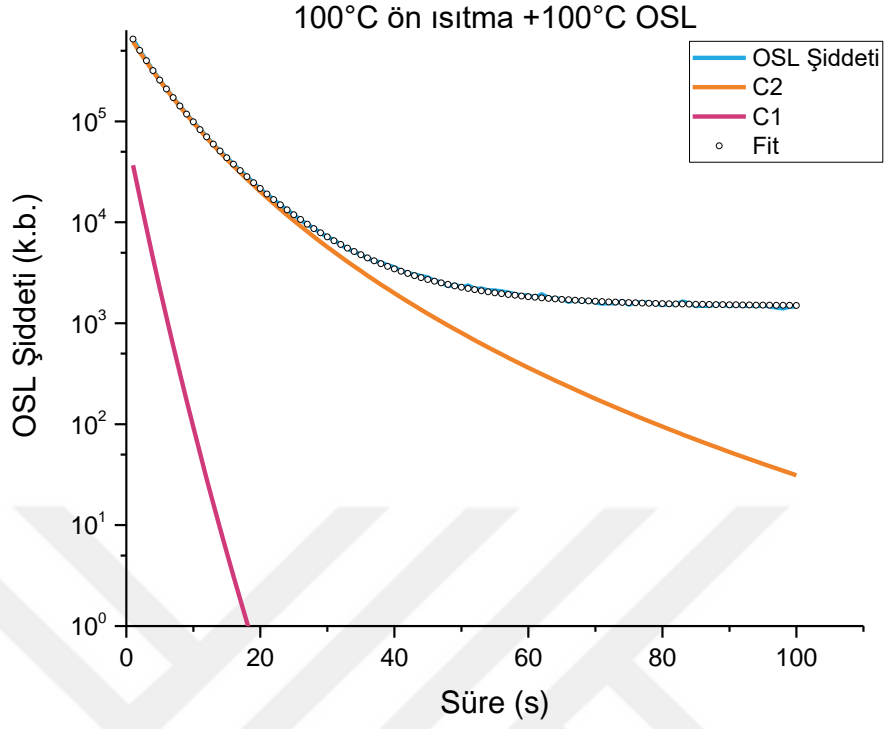
#### 4.6 OSL Bozunum Eğrilerinin Yeniden Yapılandırılması ve Sönümlenmemiş OSL Bozunum Eğrilerinin Doz Cevabı

Bölüm 4.3’ de TL ışıma eğrileri için de belirtildiği gibi (4.2) denklemi kullanılarak 0.25Gy’ de ışınlanan 14 numaralı BeO’ in sönümlenmemiş OSL bozunum eğrileri yeniden çizilmiştir. Burada 100°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması ve 220°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması için Çizelge 4.1’ de 2.pik için elde edilen

W(eV) ve C değeri kullanılmıştır. 220°C ön ısıtma ardından 220°C’ de OSL okuması için ise 3.pik için elde edilen W(eV) ve C değeri kullanılmıştır. Oda sıcaklığında yapılan OSL okumalarında sıcaklık etkisinin sebep olduğu termal sönüm olmadığı bu ölçümlere yeniden yapılandırılma uygulanmamıştır.

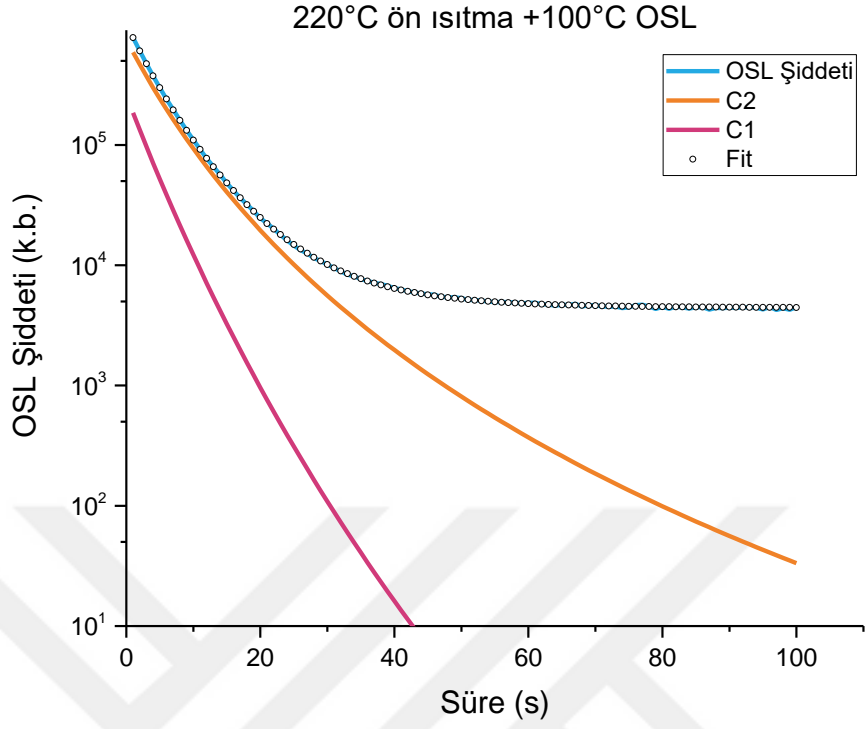
“Microsoft Excel-Solver” kullanılarak 3 farklı okuma modu için de bozunum eğrileri ayrıştırılmıştır. OSL sinyallerinin fit işleminin doğruluğu FOM değerleri ile kontrol edilmiştir. Şekil 4.39, 4.40 ve 4.41’ de ayrıştırma işlemine örnek verilmiştir. Çizelge 4.5’ de toplam OSL şiddetleri ve C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> bileşenlerine ait lüminesans şiddetleri verilmiştir.

FOM değerleri; 100°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması için %0.21, 220°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması için %0.26, 220°C ön ısıtma ardından 220°C’ de OSL okuması için %1.85 elde edilmiştir.



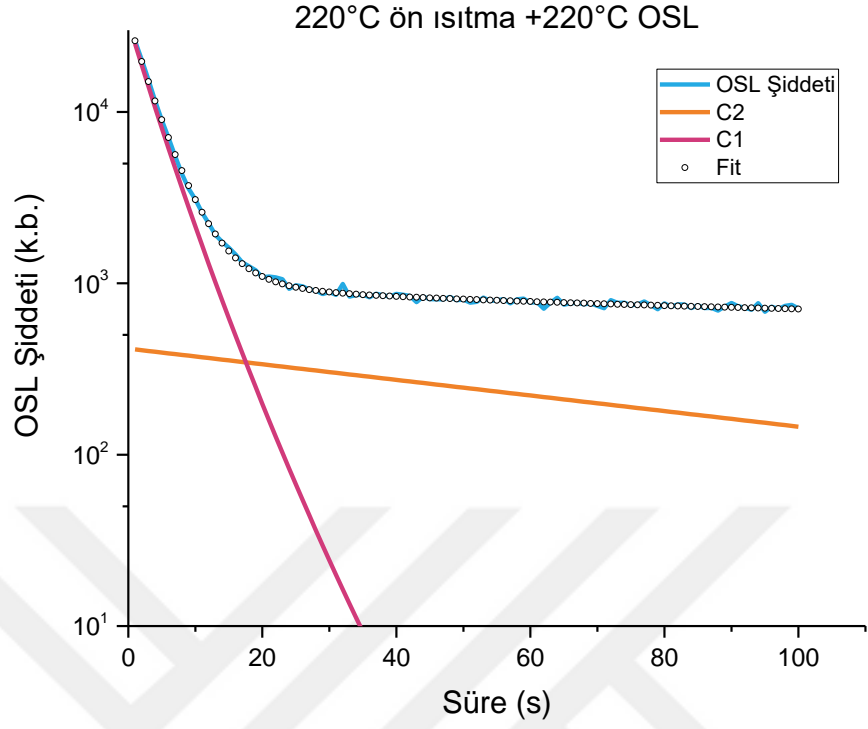
Parametreler	$C_1$	$C_2$
$I_0$	77365	781179
$b$	1.0353	1.1842
$\tau$	1.3702	4.8048
	Hızlı	Yavaş
<b>BGK</b>	1469	

Şekil 4.39 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 100°C ön ısıtma ardından 100°C'de OSL okuması sonucu yeniden yapılandırılarak ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler



Parametreler	$C_1$	$C_2$
$I_0$	258422	752748
$b$	1.0702	1.9012
$\tau$	3.1664	4.8003
	Hızlı	Yavaş
<b>BGK</b>	4421	

Şekil 4.40 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 220°C ön ısıtma ardından 100°C'de OSL okuması sonucu yeniden yapılandırılarak ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler



Parametreler	$C_1$	$C_2$
$I_0$	33662	416
$b$	1.0596	1.0001
$\tau$	3.5582	95.3926
	Hızlı	Yavaş
<b>BGK</b>	561	

Şekil 4.41 0.25Gy' de ışınlanmış 14 numaralı BeO kristalinin 220°C ön ısıtma ardından 220°C'de OSL okuması sonucu yeniden yapılandırılarak ayrıştırılmış OSL bozunum eğrisine ve ayrıştırma işlemi sırasında belirlenen değişkenler

Çizelge 4.5 0.25 Gy 14 numaralı BeO kristalinin farklı okuma modlarındaki toplam yeniden yapılandırılmış OSL şiddeti ve ayrıştırma sonucu elde edilen C1 ve C2 bileşenlerinin OSL şiddetleri

	100°C ön ısıtma + 100°C OSL	220°C ön ısıtma + 100°C OSL	220°C ön ısıtma + 220°C OSL
	<b>OSL Şiddeti</b>		
<b>I<sub>top</sub></b>	3.60E+06	4.39E+06	1.86E+05
<b>C1</b>	7.21E+04	6.96E+05	1.04E+05
<b>C2</b>	3.38E+06	3.25E+06	2.56E+04

0.01Gy, 0.03Gy, 0.04Gy, 0.05Gy, 0.08Gy, 0.10Gy, 0.25Gy, 0.50Gy, 0.75Gy, 1.00Gy, 1.50Gy ve 2.00Gy olmak üzere 12 farklı dozda ışınlanan BeO' in toplam yeniden yapılandırılmış OSL sinyalinin ve bileşenlerinin (C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub>) radyasyon dozuna tepkisini belirlemek için ayrıştırma işlemi tekrar yapılmıştır.

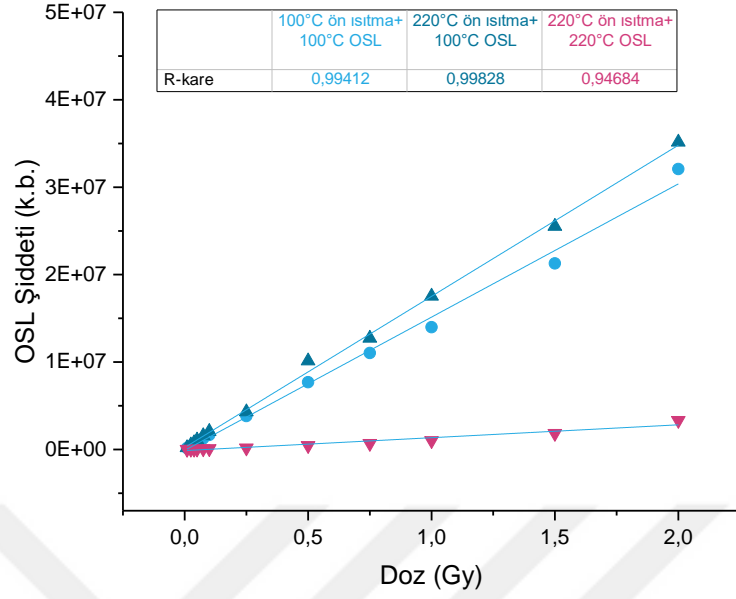
Bu okuma modlarında elde edilen OSL sayımları yani eğri altında kalan alanlar da Çizelge 4.6' da verilmiştir.



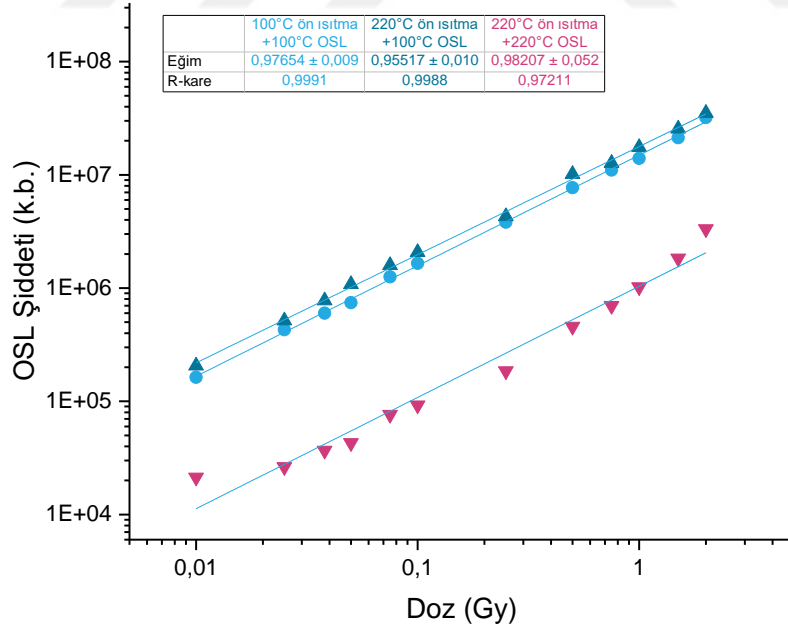
Çizelge 4.6 Farklı OSL okumalarında doza karşı elde edilen yeniden yapılandırılmış OSL sinyalleri

	100°C ön ısıtma + 100°C OSL	220°C ön ısıtma + 100°C OSL	220°C ön ısıtma + 220°C OSL
<b>Doz (Gy)</b>	<b>OSL Şiddeti (k.b.)</b>		
<b>0.01</b>	1.63E+05	2.06E+05	2.13E+04
<b>0.03</b>	4.29E+05	5.17E+05	2.64E+04
<b>0.04</b>	6.01E+05	7.77E+05	3.68E+04
<b>0.05</b>	7.44E+05	1.08E+06	4.29E+04
<b>0.08</b>	1.26E+06	1.59E+06	7.62E+04
<b>0.10</b>	1.66E+06	2.07E+06	9.25E+04
<b>0.25</b>	3.82E+06	4.30E+06	1.85E+05
<b>0.50</b>	7.70E+06	1.01E+07	4.58E+05
<b>0.75</b>	1.10E+07	1.27E+07	6.98E+05
<b>1.00</b>	1.40E+07	1.75E+07	1.02E+06
<b>1.50</b>	2.13E+07	2.55E+07	1.83E+06
<b>2.00</b>	3.21E+07	3.52E+07	3.32E+06

OSL şiddetinin verilen doza göre değişimi doğrusal ve logaritmik skalada Şekil 4.42 ve 4.43' de verilmiştir. Grafiklerin üzerinde verilerin doğrusallığını ifade eden  $R^2$  katsayıları hesaplanmıştır.



Şekil 4.42 Yeniden yapılandırma sonucu farklı okuma modlarında elde edilen OSL şiddetinin doza göre değişimi



Şekil 4.43 Yeniden yapılandırma sonucu farklı okuma modlarında elde edilen OSL şiddetinin doza göre değişiminin logaritmik skalada gösterimi

Bölüm 2.6’ da ifade edildiği gibi doz cevaplarını belirlemek için  $f(D)$  değerleri hesaplanarak Çizelge 4.7’ de gösterilmiştir.

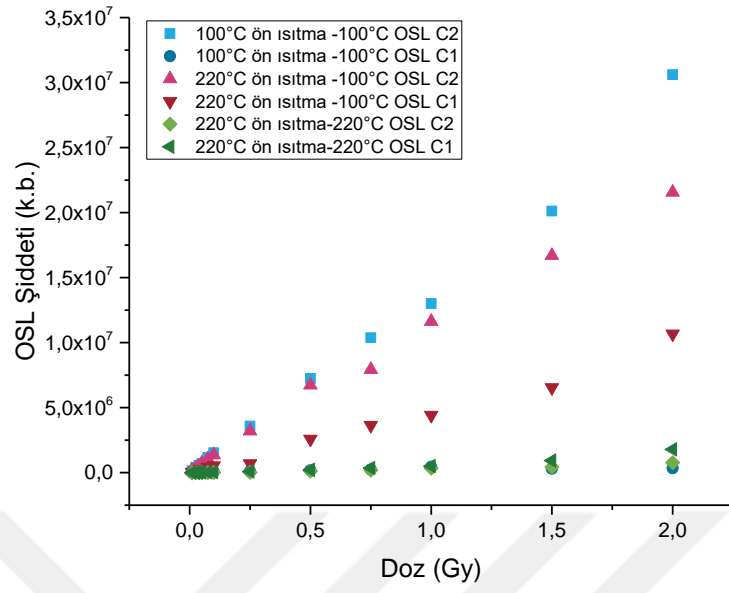
Çizelge 4.7 OSL sinyalinin doza karşı cevabını ifade eden  $f(D)$  değerleri

	100°C ön ısıtma + 100°C OSL	220°C ön ısıtma + 100°C OSL	220°C ön ısıtma + 220°C OSL
<b>Doz (Gy)</b>	<b>f(D)</b>		
<b>0.01</b>	-	-	-
<b>0.03</b>	1.1	1.0	0.5
<b>0.04</b>	1.0	1.0	0.5
<b>0.05</b>	0.9	1.0	0.4
<b>0.08</b>	1.0	1.0	0.5
<b>0.10</b>	1.0	1.0	0.4
<b>0.25</b>	0.9	0.8	0.3
<b>0.50</b>	0.9	1.0	0.4
<b>0.75</b>	0.9	0.8	0.4
<b>1.00</b>	0.9	0.8	0.5
<b>1.50</b>	0.9	0.8	0.6
<b>2.00</b>	1.0	0.9	0.8

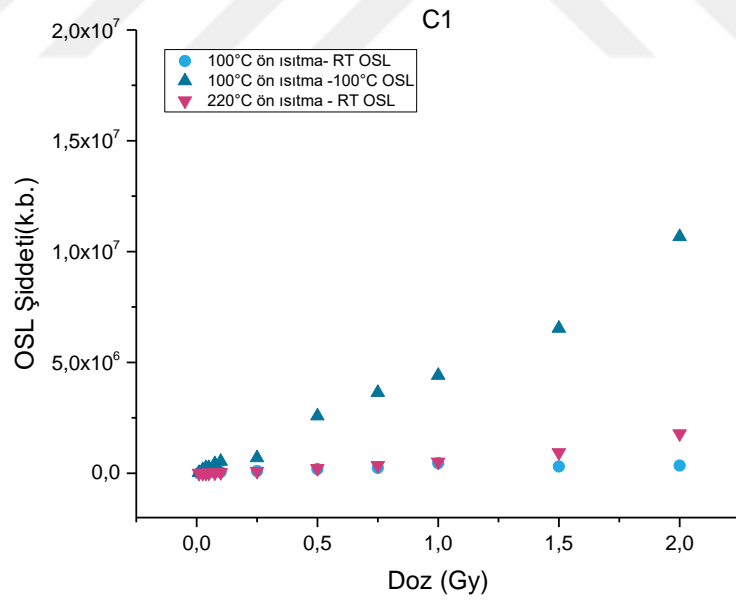
“Microsoft Excel-Solver” kullanılarak 3 farklı okuma modu için de bozunum eğrileri ayrıştırılmıştır. OSL sinyallerinin fit işleminin doğruluğu FOM değerleri ile kontrol edilmiştir.

FOM değerleri; 100°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması için %0.12-1.33 aralığında, 220°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması için %0.10-1.20 aralığında, 220°C ön ısıtma ardından 220°C’ de OSL okuması için %1.85-6.17 aralığında elde edilmiştir.

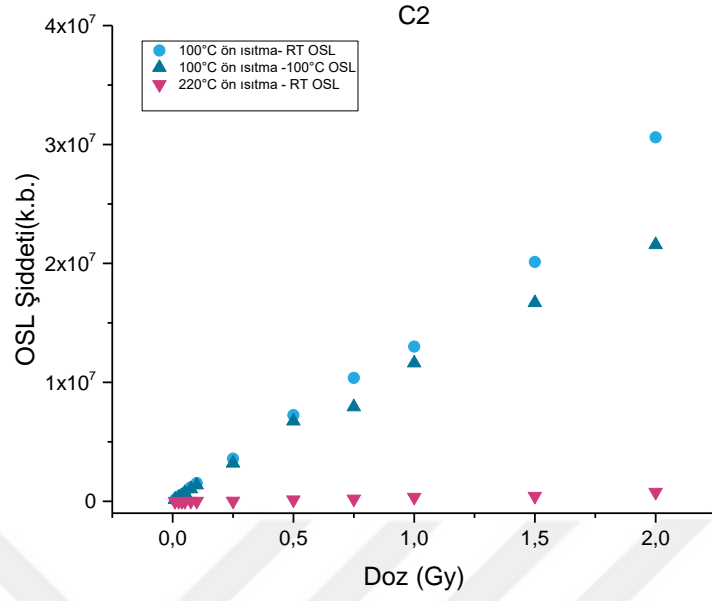
$C_1$  ve  $C_2$  bileşenlerinin verilen radyasyon dozuna göre değişimleri Şekil 4.44, 4.45 ve 4.46’ da gösterilmiştir



Şekil 4.44 Ayrıştırma işlemi sonrasında elde edilen C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> bileşenlerin doza karşı OSL şiddeti değişimi

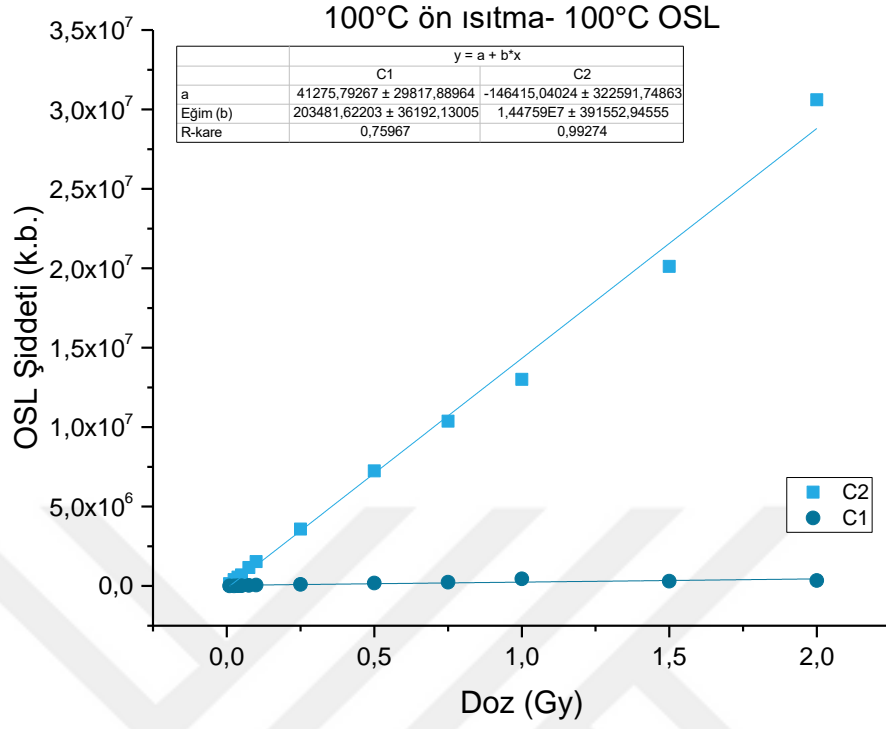


Şekil 4.45 Ayrıştırma işlemi sonrasında elde edilen C<sub>1</sub> bileşeninin doza karşı OSL şiddeti değişimi



Şekil 4.46 Ayrıştırma işlemi sonrasında elde edilen C<sub>2</sub> bileşeninin doza karşı OSL şiddeti değişimi

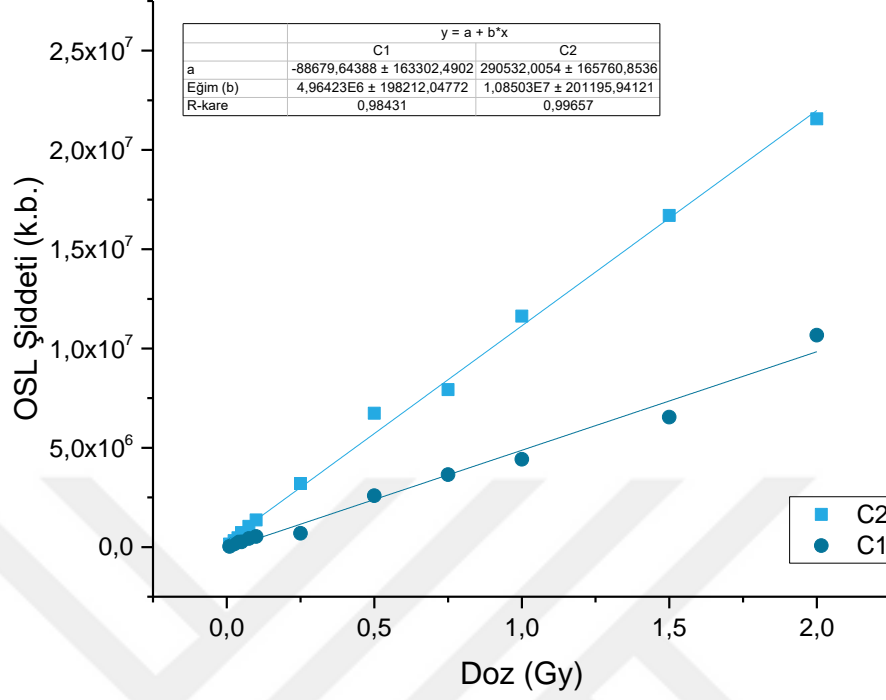
C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> bileşenlerinin doza karşı vermiş oldukları cevabı belirlemek için tüm modlarda değerler lineer bir eğriye ( $y = a + bx$ ) fit edilmiştir. Şekil 4.47, 4.48 ve 4.49' da doz cevap eğrileri ve fit eğrilerine ait a, b, R<sup>2</sup> ve f(D) değerleri belirlenmiştir.



Doz (Gy)	0.01	0.03	0.04	0.05	0.08	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
f(D)												
<b>C1</b>	-	0.8	0.7	0.8	1.0	1.0	0.7	0.7	0.6	0.8	0.4	0.3
<b>C2</b>	-	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.1

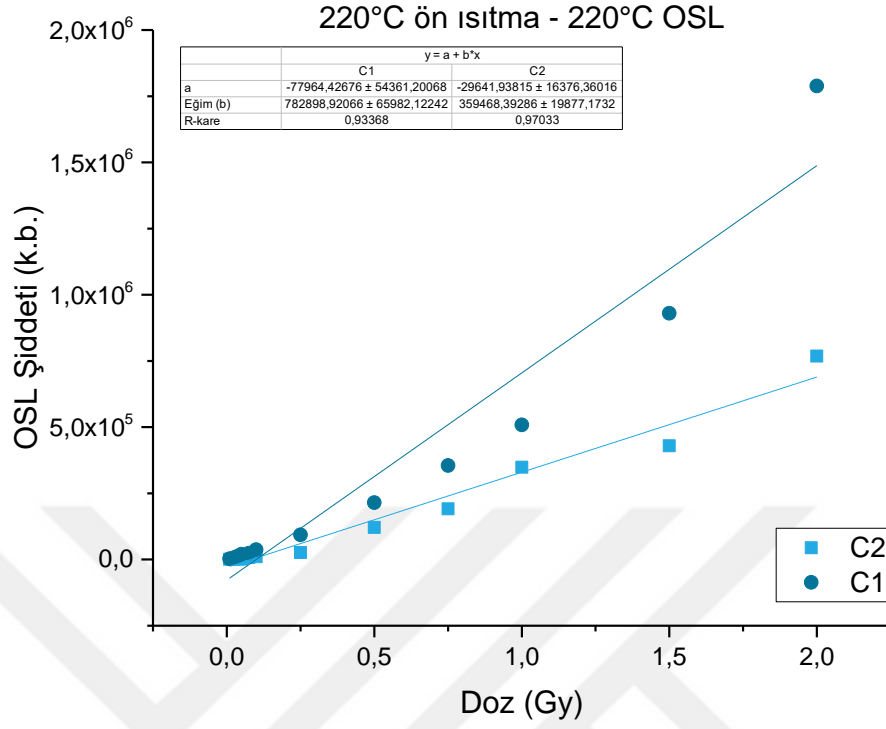
Şekil 4.47 100°C ön ısıtma ardından 100°C 'de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış yeniden yapılandırılan OSL sinyallerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri

220°C ön ısıtma -100°C OSL



Doz (Gy)	0.01	0.03	0.04	0.05	0.08	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
<b>f(D)</b>												
<b>C1</b>	-	1.8	2.0	1.6	1.7	1.6	0.8	1.6	1.5	1.3	1.3	1.6
<b>C2</b>	-	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	0.7	0.8	0.7	0.7

Şekil 4.48 220°C ön ısıtma ardından 100°C’ de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış yeniden yapılandırılan OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri.



Doz (Gy)	0.01	0.03	0.04	0.05	0.08	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00
<b>f(D)</b>												
<b>C1</b>	-	1.2	1.3	1.6	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.4	3.5
<b>C2</b>	-	0.5	0.4	0.3	0.9	1.0	1.0	2.2	2.4	3.2	2.7	3.6

Şekil 4.49 220°C ön ısıtma ardından 220°C’ de OSL okuması sonucu ayrıştırılmış yeniden yapılandırılan OSL sinyal bileşenlerinin doza göre değişimi ve f(D) değerleri

#### 4.7 Minimum Dedekte Edilebilir Doz Değeri (Lowest Detectable Dose Level-LDDL)

Minimum dedekte edilebilir doz değeri. C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> bileşenlerinin doz cevaplarından elde edilen a ve b değerleri ile belirlenmiştir. y=a+bx denkleminde y OSL şiddeti sıfır alındığında -a/b ifadesi ile minimum dedekte edilebilir doz değeri belirlenmiştir (Şahiner, 2017).



Çizelge 4.8 Farklı okuma modlarında dedekte edilebilir minimum doz değerleri

	Minimum Dedekte Edilebilir Doz (Gy)	
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
100°C ön ısıtma+RT OSL	-	-
100°C ön ısıtma+100°C OSL	-	0.01
220°C ön ısıtma+RT OSL	0.02	-
220°C ön ısıtma+100°C OSL	0.04	-
220°C ön ısıtma+220°C OSL	0.10	0.06
<b>Yeniden Yapılandırılmış OSL Bozunum Eğrileri</b>		
100°C ön ısıtma+100°C OSL	-	0.01
220°C ön ısıtma+100°C OSL	0.02	-
220°C ön ısıtma+220°C OSL	0.10	0.08

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, BeO kristalinin TL ışımaya eğrilerinden faydalanarak farklı ısıtma hızları metodunun kullanılmasıyla tuzak parametreleri belirlenmiştir. W(eV) ve C tuzak parametreleri ile TL ve OSL eğrileri yeniden yapılandırılmıştır. Doz cevap eğrilerinden faydalanarak BeO kristali için en düşük dedekte edilebilen doz için uygun okuma modu belirlenmiştir.

Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7' de görüldüğü gibi ısıtma hızı arttıkça termal sönüm etkisiyle tepe sıcaklıkları yüksek sıcaklık tarafına doğru kaymakta ve maksimum tepe yüksekliği azalmaktadır. Lüminesans şiddeti ısıtma hızı arttıkça azalmaktadır. Şekil 4.10' da görüldüğü gibi, sıg TL piki 1.pik'e ait alan değeri değişmez ve bu durum termal sönüme uğramadığını göstermektedir. Termal sönüm etkisiyle 2.pik için şiddet değeri yaklaşık %30 azalırken, 3.pik için şiddet değeri yaklaşık %50 azalmaktadır (Şekil 4.11, 4.12).

Bulur ve Göksu (1998), BeO için ilk kez OSL sinyalinin okuma sıcaklığı ile azaldığını ve termal sönümün varlığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmada BeO kristali için termal sönüm parametresi W' yi 0.52eV olarak verilmiştir. Yine Bulur ve Yeltik (2010), termal sönüm parametresi W' yi LM-OSL kullanarak 0.55-0.59eV olarak hesaplamıştır. Yukihara 2011' de yapılan çalışmasıyla W değerini 0.56eV olarak hesaplamıştır. Aşlar vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada ise termal sönüm parametreleri W ve C değerleri 2. ve 3.pik için sırasıyla, 0.54-0.66eV,  $1.8 \times 10^5$ - $2.4 \times 10^6$  ve 0.74-0.86eV,  $2.8 \times 10^6$ - $2.1 \times 10^7$  olarak hesaplamıştır.

BeO' deki iki pik için Çizelge 4.1' de de görüldüğü gibi W ve C değerleri sırasıyla 2.pik için 0.61eV ve  $1.50 \times 10^6$  iken 3.pik için 0.84eV ve  $8.10 \times 10^6$ 'dır. Elde edilen sonuçlar Aşlar vd. (2017) tarafından verilen aralıkların içerisinde iken, literatürdeki diğer değerlere göre yaklaşık %3.4-%17.3 arasında farklılıklar çıkmıştır. Ayrıca 2.pik ve 3.pik için bu değerlerin farklılığından dolayı bu iki pikin farklı yeniden birleşme merkezleri kullandığı düşünülebilir.

$\eta(T_m)$  deneysel değerleri ile hesaplanan W(eV) ve C sönüm parametreleri kullanılarak hesaplanan teorik  $\eta(T)$  değerleri incelendiğinde Şekil 4.12' de görüldüğü üzere eğriler birbiri ile uyum içerisindedir.

Yeniden yapılandırma işlemi, sönümlenmemiş TL ışımaya eğrisinin tam ve gerçek halini belirlemek için oldukça önemlidir. Farklı ısıtma hızları ile elde edilen TL ışımaya eğrilerinin yeniden yapılandırılması sonucu elde edilen sönümlenmemiş TL pik şiddetlerindeki sapma 2.pik için %15 iken 3.pik için %8 olarak hesaplanmıştır.

0.25Gy de ışınlanarak farklı ön ısıtma sıcaklıkları ve farklı sıcaklıklarda yapılan OSL okumalarında, Çizelge 5.1’ de görüldüğü gibi ön ısıtma sıcaklıklarına bakılmaksızın oda sıcaklığında ve 100°C’ de yapılan OSL okumalarında C<sub>2</sub> bileşeni baskınken, 220°C’ de yapılan OSL okumalarında C<sub>1</sub> bileşeni baskın gelmektedir.

Çizelge 5.1 OSL bileşenlerinin toplam OSL sinyaline katkısı (Toplam OSL sinyali C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub> bileşenlerinin katkısı ve arka plan değerinin katkısını içermektedir.)

	100°C ön ısıtma + RT OSL	100°C ön ısıtma + 100°C OSL	220°C ön ısıtma + RT OSL	220°C ön ısıtma + 100°C OSL	220°C ön ısıtma + 220°C OSL
<b>C<sub>1</sub></b>	0.05	1.87	4.90	16.14	56.00
<b>C<sub>2</sub></b>	97.43	94.03	94.50	73.79	17.09

220°C ön ısıtma yapılan OSL okumaları göz önünde bulundurulunca okuma sıcaklığı arttıkça Çizelge 4.2’ de görüldüğü gibi OSL şiddetleri azalmaktadır. 100°C’ de yapılan okuma oda sıcaklığında yapılan okumaya göre %71.6 azalmışken, 220°C’ de yapılan okuma ise %98.8 azalmıştır. Yani termal sönüm etkisi görülmektedir. Bu yüzden OSL eğrilerine yeniden yapılandırma işlemi uygulanarak sönümlenmemiş OSL bozunum eğrileri elde edilmiştir. Sönümlenmiş OSL eğrilerinin yeniden yapılandırılması sonucu Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.5 karşılaştırılınca OSL sinyallerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir.

Farklı ön ısıtma ve okuma sıcaklıkları kullanılarak yapılan OSL okumaları ile BeO kristalinin toplam OSL sinyalinin ve OSL bileşenlerinin sinyallerinin doza karşı cevabı incelenmiştir. Bu doğrultuda 0.01Gy-2.00Gy doz aralığında 12 farklı dozda ışınlama gerçekleştirilmiştir.

- Toplam sinyal göz önünde bulundurulduğunda, Şekil 4.29 ve 4.30' da görüldüğü gibi hem doğrusal hem de logaritmik skalada incelenen OSL şiddeti-Doz eğrilerinde oda sıcaklığı ve 100°C' de yapılan OSL okumalarında doz cevabı doğrusala yakınken ( $R^2=0.99$ ), 220°C' de yapılan OSL okumasının doza cevabı doğrusal değildir. Çizelge 4.4' de incelendiğinde oda sıcaklığı ve 100°C' de yapılan OSL okumaları için  $f(D)\sim 1$  yani doz cevabı doğrusal, 220°C' de yapılan OSL okuması için  $f(D)<1$  yani doza karşı cevap sublineer bir davranış gözlenmiştir.
- Ayırıştırma işlemi sonucu elde edilen  $C_1$  (hızlı) ve  $C_2$  (yavaş) OSL bileşenleri ayrı ayrı incelendiğinde, ön ısıtma sıcaklıklarına bakılmaksızın oda sıcaklığı ve 100°C' de yapılan OSL okumalarında  $C_2$  bileşeni baskındır. Şekil 4.34, 4.35, 4.36 ve 4.37' de  $C_2$  için  $R^2=0.99$  ve  $f(D)\sim 1$  olduğu için doza karşı cevap doğrusala yakınken, Şekil 4.38' de  $C_1$  için doğrusal bir cevap gözlenmemiştir. 220°C' de yapılan OSL okumasında ise baskın olan bileşen  $C_1$ 'dir. Ancak  $C_2$  için  $R^2=0.98$  iken  $C_1$  için  $R^2=0.93$ ' dür.  $C_2$  bileşeni, baskın olan  $C_1$  bileşenine göre doza karşı daha doğrusal bir davranış göstermektedir.

Yeniden yapılandırma işlemi ile elde edilen toplam OSL sinyalinin ve OSL bileşenlerinin sinyallerinin doza karşı cevabı da incelenmiştir ve benzer davranışlar gözlenmiştir.

TL ve OSL okumaları göz önünde bulundurulduğunda, 100°C kararsız olan ve oda sıcaklığında bozunarak TL okumalarına herhangi bir katkısı olmayan 1.pikin bitiş sıcaklığına karşılık gelmektedir. Yapılan OSL okumalarının 100°C' de yapılmasıyla bu kararsız pikten gelecek katkıların önüne geçildi. Böylece oda sıcaklığında yapılan OSL okumalarına göre daha doğrusal bir doz cevabı elde edildi. Ancak 220°C' de yapılan OSL okumalarında ise TL okumalarına asıl katkıyı sağlayan 2.pikin etkisi ortadan kaldırıldı ve elde edilen sonuçlarla doza karşı doğrusal cevaplar elde edilemedi.

Bu çalışmada BeO kristali ile dedekte edilebilen en düşük doz değeri 0.01 Gy' dir. Bu doz değeri  $C_2$  bileşeni ile belirlenebilmektedir. Çizelge 4.8' de görüldüğü gibi en düşük dedekte edilebilen doz değerinin belirlenmesi için en uygun okumanın 100°C ön ısıtma ardından 100°C OSL okuması olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Afouxenidis, D. 2012. Computerized curve deconvolution of TL/OSL curves using a popular spreadsheet program. *Radiation Protection Dosimetry*, 363–370.
- Albrecht, H., Mandeville, C. 1956. Storage of energy in BeO. *Phys Rev.* 101, 1250.
- Anonymous. 2014. Product specification Risø TL/OSL Reader. DTU Nutech Center of Nuclear Technologies.
- Anonymous. 2015. Guide to The Risø TL/OSL Reader. DTU Nutech.
- Aşlar, E., Meriç, N., Şahiner, E., Kitis, G., Polymeris, G. 2017. Calculation of thermal quenching parameters in BeO ceramics using solely TL measurements. *Radiation Measurements* 103, 13-25.
- Balian, H., Eddy, N. 1977. Figure-of-merit (FOM), an improved criterion over the normalized chi-squared test for assessing goodness-of-fit of gamma-ray spectral peaks. *Nuclear Instruments and Methods*, Volume 145, Issue 2, 389-395.
- Bos, A. 2007. Theory of thermoluminescence. *Radiation Measurements* 41, 45–56.
- Botter-Jensen, L., McKeever, S., Wintle, A. 2003. *Optically Stimulated Luminescence Dosimetry*. ELSEVIER.
- Bull, R., McKeever, S., Chen, R., Mathur, V., Brown, M. 1986. Thermoluminescence kinetics for multipeak glow curves produced by the release of electrons and holes. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 19, 1321-1334.
- Bulur, E. 2007. Photo-transferred luminescence from BeO ceramics. *Radiation Measurements*, 334 – 340.
- Bulur, E., Göksu, H. 1998. OSL from BeO ceramics: New observations from an old material. *Radiation Measurements* 29, 639-650.
- Bulur, E., Yeltik, A. 2010. Optically stimulated luminescence from BeO ceramics: An LM-OSL study. *Radiation Measurements* 45, 29–34.
- Chen, R. 1969. Glow Curves with General Order Kinetics. *Journal of The Electrochemical Society* 116, 1254–1257.
- Chen, R. 1969. On the Calculation of Activation Energies and Frequency Factors from Glow Curves. *Journal of Applied Physics* 40, 570-585.
- Chen, R., Pagonis, V. 2011. Thermally and optically stimulated luminescence: A simulation approach.
- Cruse, K., Gammage, R. 1975. Improvements in the use of ceramic BeO for TLD. *Health Phys.* 29, 739–746.

- DeMarco, J., Kupelian, P. 2013. Varian Truebeam Replaces Linear Accelerator at Ucla; Clinics Go Paperless With Aria Conversion. Varian Medical Systems.
- Furetta, C. 1937. Handbook of Thermoluminescence.
- Garlick, G., Gibson, A. 1948. The Electron Trap Mechanism of Luminescence in Sulphide and Silicate Phosphors. Proceedings of the Physical Society 60, 574.
- Halperin, A., Braner, A. 1960. Evaluation of Thermal Activation Energies from Glow Curves. Phys. Rev. 117, 408.
- Hoogenstraaten, W. 1958. Electron traps in zinc sulphide phosphors. Philips Research Report 13, 515-593.
- Khan, F. 2003. The Physics of Radiation Therapy.
- Lushchik, C. 1956. The Investigation of Trapping Centers in Crystals by the Method of Thermal Bleaching. Soviet Physics—JETP 3, 390-399.
- Markey, B., L.E., C., McKeever, S. 1995. Time-resolved optically stimulated luminescence from  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Radiat. Meas. 24(4), 457-463.
- May, C., Patridge, J. 1964. Thermoluminescence kinetics of alpha-irradiated alkali halides. The Journal of Chemical Physics, 40, 1401-1409.
- McKeever, S. 1983. Thermoluminescence of Solids. Cambridge Solid State Science Series.
- Olko, P. 2002. Microdosimetric Modelling Of Physical And Biological Detectors. Kraków.
- Pagonis V., T. E. 2002. Search for common characteristics in the glow curves of quartz of various origins. Radiat. Protect. Dosim., 373-376.
- Randall, J., Wilkins, M. 1945. Phosphorescence and Electron Traps. Proceedings of the Royal Society, A184.
- Scarpa, G. 1970. The dosimetric use of beryllium oxide as a thermoluminescent material a preliminary study. Phys. Med. Biol. 15, 667-672.
- Shenker, D., Chen, R. 1971. Numerical curve fitting of general order kinetics. J. Phys. D: Appl. Phys. 4, 287–291.
- Shrivastava, R., Dubey, V., Saluja, J. 2012. Determination of TL Kinetic parameters of a phosphor. Recent Research in Science and Technology 4(8), 126-127.
- Sommer, M., Henniger, J. 2006. Investigation of a BeO-based optically stimulation luminescence dosimeter. Radiat. Prot. Dosimetry 119, 394-397.

- Subedi, B. 2011. Thermal quenching of thermoluminescence in quartz samples of various origin. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 572–581.
- Subedi, B., Kitis, G., Pagonis, V. 2010. Simulation of the influence of thermal quenching on thermoluminescence glow-peaks. *Phys. Status Solidi*, 1216–1226.
- Subedi, B., Oniya, E., Polymeris, G., Afouxenidis, D., Tsirliganis, N., Kitis, G. 2011. Thermal quenching of thermoluminescence in quartz samples of various origin. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 269, 572–581.
- Şahiner, E. 2015. Paleosismolojik çalışmalarda TL/OSL ve ESR yöntemlerinin kullanılması: Kütahya-Simav ve Kuzey Anadolu fay hattı. Doktora tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, 216s.
- Şahiner, E. 2017. TL and OSL dose response and stability properties of various commercially glass samples obtained from Turkey for dosimetric purposes in the UV emission spectral region. *Applied Radiation and Isotopes*, 128, 68-74.
- Thomsen, K. J. 2004. Optically Stimulated Luminescence Techniques in Retrospective Dosimetry using Single Grains of Quartz extracted from Unheated Materials.
- Tochilin, E., Goldstein, N., Miller, W. 1969. Beryllium Oxide As a Thermoluminescent Dosimeter. *Health Physics* 16, 1-7.
- Watanabe, S., Gundo Rao, T., Page, P., Bhatt, B. 2010. TL, OSL and ESR studies on beryllium oxide. *Journal of Luminescence*, 2146-2152.
- Yukihara, E. 2011. Luminescence properties of BeO optically stimulated luminescence (OSL) detectors. *Radiation Measurements* 46, 580-587.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Selime COŞKUN

Doğum Yeri: Niğde

Doğum Tarihi: 04.04.1988

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

### **Eğitim Durumu**

Lise: Prof. Dr. Şevket Raşit Hatipoğlu Lisesi (2005)

Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü (2010)

### **Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl**

RADKOR Personel Dozimetre Ölçüm ve Değerlendirme Laboratuvarı 2013-