

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇEŞİTLİ TİCARİ CAM ÖRNEKLERİNİN DOZİMETRİSİ İÇİN  
KARŞILAŞTIRILMALI LÜMİNESANS ÇALIŞMASI**

**FUAT SERVER SAKUÇOĞLU**

**SAĞLIK FİZİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**ANKARA**

**2016**

## TEZ ONAYI

Fuat Server SAKUÇOĞLU tarafından hazırlanan "**Çeşitli Ticari Cam Örneklerinin Dozimetrisi İçin Karşılaştırılmalı Lüminesans Çalışması**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Sağlık Fiziği Anabilim Dalı' nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Niyazi MERİÇ

Eş Danışman : Dr. George S. POLYMERIS

Jüri Üyeleri :

İmza

Prof. Dr. Niyazi MERİÇ

(Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü)

Doç. Dr. Mustafa H. BÖLÜKDEMİR

(Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü)

Doç. Dr. Özer ÖZOĞUL

(Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü)

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Niyazi MERİÇ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

#### ÇEŞİTLİ TİCARİ CAM ÖRNEKLERİNİN DOZİMETRİSİ İÇİN KARŞILAŞTIRILMALI LÜMİNESANS ÇALIŞMASI

FUAT SERVER SAKUÇOĞLU

Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

Medikal Fizik Anabilim Dalı

Sağlık Fiziği Yüksek Lisans Programı

Danışman: Prof. Dr. Niyazi MERİÇ

Cam, kırılğan, saydam, pürüzsüz yüzeye sahip farklı oranlarda organik ve inorganik maddelerin yüksek sıcaklıklarda eritilmesiyle elde edilen amorf bir malzemedir. Bu tez kapsamında, Termolüminesans ve Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL) analizleri yapılmış ve literatür de daha önce yapılmış çalışmalarla kıyaslanmıştır. Materyal olarak sıradan cam, satina cam, renkli bronz cam, zeytin-dalı buzlu cam, buzlu cam, matobel cam, füme buzlu cam, yeşil bardak camı ve 3 farklı tipte alkollü içecek şişe camı kullanılmıştır. Lüminesans sinyal şekilleri ve dekonvolüsyon analizleriyle aktivasyon enerjileri ve doz-cevap eğrileri incelenmiştir. Bu analizlerin yanı sıra tekrarlanabilirlik, sönümlenme ve ağartma (bleaching) özellikleri araştırılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında cam malzemelerin lüminesans dozimetrik özelliklerinin yanı sıra, ek olarak ön çalışma niteliğinde, EPR tekniği kullanılarak farklı dozlara karşı elde edilen spektrumlar incelenerek bu tekniğin dozimetrik çalışmalar açısından alternatif bir yöntem olabileceği gözlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, incelenen örneklerin OSL, TL ve EPR doz cevap analizlerinin 16-512 Gy arasında radyasyona karşı duyarlı olduğu ve yüksek doz dozimetrisi olarak kullanılabilir olabileceği gözlenmiştir. İncelenen örneklerden renkli bronz cam, füme buzlu cam, zeytin-dalı buzlu cam ve c numaralı cam şişe hariç geri kalan 7 örnekte 200 °C' de lüminesans sinyallerinin şiddetinde 1 aylık bir süre sonunda %30-50 aralığında kayıp gözlenmiştir. Yukarıdaki sayılan örnekler için sinyal şiddetinde herhangi bir sönüm gerçekleşmemiştir. Ayrıca, 10 tekrar için sinyallerin tekrarlanabilir olduğu gözlenmiştir. OSL ağartma çalışmalarımızda mavi led ışık altında yeşil bardak camı ve b numaralı cam şişe için elde edilen sonuçlarda 1,5 saat sonunda OSL sinyal şiddetinin arka plan seviyesine düştüğü gözlenmiştir.

**2016, 111 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Amorf, Termolüminesans, Optik Uyarımlı Lüminesans, Cam, Ağartma, Elektron Paramanyetik Rezonans.

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **COMPARATIVE LUMINESCENCE STUDY OF VARIOUS COMMERCIAL GLASS SAMPLES FOR DOSIMETRY**

**FUAT SERVER SAKUÇOĞLU**

**Ankara University**

**Institute of Nuclear Sciences**

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

Glass, fragile transparent, smooth surface with different ratios of an amorphous material obtained by melting at high temperature of the organic and inorganic substances. For this purpose, Thermoluminescence and Optically Stimulated Luminescence (OSL) analyzed and compared with previous studies in the literature. Material as ordinary glass, satin glass, bronze-colored glass, olive tree frosted glass, frosted glass, matobel glass, smoked frosted glass, green glass bottle and three glasses of different types of alcoholic beverages have been used. Luminescence signal patterns, the activation energy and the deconvolution analysis of dose-response curves were analyzed. This analysis, as well as reproducibility, fading and bleaching properties were investigated.

This study is covered by the luminescence of the glass material as well as the dosimetric properties, in addition, the preliminary study, by examining the EPR spectrum obtained against various doses was observed using the technique of this technique would be an alternative method for dosimetric studies.

According to the results obtained, which is sensitive the TL, OSL, EPR to radiation between 16-512 Gy of the investigated sample was observed to be used as high-dose dosimetry. The samples analyzed, colored bronze glass smoked frosted glass, olive-branch frosted glass and the rest except c number of glass bottles 7 samples at 200 °C on the intensity of the luminescence signal loss in the 30-50% range at the end of a period of 1 month was observed. The above examples are listed in signal strength for the realization of any damping. It has also been found to be reproducible signal 10 again. OSL bleaching under blue light green glass glass of our work and the results obtained to be numbered glass bottle was observed to fall to the level of background signal intensity at the end of OSL 1,5 hours.

**2016, 111 pages**

**Key Words:** Glass, Bleaching, Thermoluminescence, Optically Stimulated Luminescence, Electron Paramagnetic Resonance, Amorphous.

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca hiç bir zaman desteğini esirgemedem, her konuda yardımını aldığım danıőmanım Sayın Prof. Dr. Niyazi Meriç' e eş danıőmanım Sayın Dr. George S. POLYMERIS' e çok teşekkür ederim. Laboratuvar çalıőmalarım boyunca bana destek veren Sayın Őule KAYA KELEŐ' e, Sayın Engin AŐLAR' a teşekkür ederim. Tezin bilimsel olarak düzenlenmesinde yardımlarını esirgemeyen ve yol gösteren Sayın Dr. Eren ŞAHİNER' e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca her zaman yanımda olan en büyük destekçilerim canım aileme, annem Guna SAKUÇOğLU' na, babam Bülent SAKUÇOğLU' na ve biricik kardeőim Eliz Seray SAKUÇOğLU' na sonsuz teőekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. TEORİK BİLGİLER.....	4
2.1 Termolüminesans Teorisi .....	4
2.1.1 Lüminesans .....	4
2.2 Amorf Yapılar ve Özellikleri.....	10
2.3 Kristal ve Amorf Yapılar Arasındaki Farklar .....	10
2.4 Katılarda Bant Modeli.....	15
2.5 Termolüminesans Kinetikleri .....	17
2.5.1 Birinci derece kinetik .....	17
2.5.2 İkinci derece kinetik.....	21
2.5.3 Genel mertebeden kinetik.....	23
2.6 Termolüminesans Dozimetri .....	25
2.6.1 Geriye dönük (retrospektif) dozimetre .....	25
2.6.2 Kişisel dozimetri.....	26
2.6.3 Çevresel dozimetri.....	27
2.6.4 Klinik dozimetri .....	28
2.6.5 Yüksek doz.....	29
2.6.6 Tuzak parametrelerinin hesaplanması ile ilgili yöntemler .....	30
2.6.7 Kesikli artış yöntemi (fractional glow teknik).....	30
2.6.8 Tepe şekli yöntemi.....	31
2.6.9 İzotermal sönüm yöntemi .....	32
2.6.10 Bilgisayarla ışım eğrisi ayrıştırma (CGCD yöntemi).....	33
2.6.11 Farklı ısıtma hızları yöntemi.....	35
2.6.12 Doz cevabı .....	38
2.6.13 Enerji cevabı.....	39

2.7 Optiksel Uyarımlı Lüminesans (OSL).....	42
2.7.1 Optiksel uyarım tipleri .....	44
2.7.2 Sürekli dalga uyarımı ile OSL (CW-OSL).....	44
2.7.3 Doğrusal olarak duruma göre değişen OSL (LM-OSL).....	46
2.7.4 Atımlı uyarımlı OSL (POSL) .....	47
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	48
3.1 Lüminesans Ölçüm Sistemi .....	50
3.1.1 TL/OSL ölçüm sistemi .....	50
3.1.2 IR ve mavi ışık kaynağı.....	53
3.1.3 Fotoçoğaltıcı tüp .....	54
3.1.4 Filtreler.....	54
3.1.5 Beta ışın kaynağı .....	57
3.1.6 Isıtma sistemi .....	58
3.1.7 Ağat havan .....	59
3.1.8 Elekler .....	60
3.1.9 EPR spektrometresinin yapısı.....	60
3.2 Kullanılan Analiz Yöntemleri .....	63
3.2.1 Bilgisayarlı ışım eğrisi ayrıştırma (dekonvolüsyon) analiz yöntemi .....	63
3.2.2 Kesikli artış (fractional glow technique) analiz yöntemi .....	63
3.2.3 Sönümlenme (fading) analiz yöntemi .....	64
3.2.4 Tekrarlanabilirlik analiz yöntemi .....	64
3.2.5 TL ve OSL için doz cevap analiz yöntemi.....	65
3.2.6 Elektron paramanyetik rezonans analiz yöntemi .....	65
3.2.7 OSL ağartma (bleaching) bulguları .....	66
4. BULGULAR .....	68
4.1 Örneklerin Radyasyonla Değişimleri .....	68
4.2 Bilgisayarlı Işıma Eğrisi Ayrıştırma Eğrisi Yöntemi (Dekonvolüsyon Bulguları) .....	70
4.3 Kesikli Artış Yöntemi (Fractional Glow Teknik) Bulguları .....	73
4.4 Sönümlenme (Fading) Bulguları.....	77
4.5 Tekrarlanabilirlik .....	79
4.6 TL İçin Doz Cevap Bulguları.....	82
4.7 Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) Bulguları.....	87
4.8 Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL) Bulguları .....	89
4.8.1 Ağartma işlemi 1. protokol (Mavi led kullanarak 1.mertebeden kinetik sonuçları).....	89

<b>4.8.2 Mavi led' i kullanarak 2.mertebeden kinetik sonuçları.....</b>	<b>92</b>
<b>4.8.3 Ağartma işlemi 2. protokol.....</b>	<b>93</b>
<b>4.8.4 Mavi led kullanılarak gerçekleştirilen OSL doz cevap bulguları.....</b>	<b>96</b>
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>105</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>108</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>111</b>





## SİMGELER DİZİNİ

<b>TL</b>	<b>: Termolüminesans</b>
<b>TLD</b>	<b>: Termolüminesans Dozimetri</b>
<b>OSL</b>	<b>: Optik Uyarımlı Lüminesans</b>
<b>EPR</b>	<b>: Elektron Paramanyetik Rezonans</b>
<b>E</b>	<b>: Tuzak Derinliği (tuzak enerjisi)</b>
<b>a.u.</b>	<b>: Keyfi Birim</b>
<b><math>\beta</math></b>	<b>: Isıtma hızı</b>
<b>eV</b>	<b>: Elektronvolt</b>
<b>k</b>	<b>: Boltzmann Sabiti</b>
<b>K</b>	<b>: Kelvin</b>
<b>s</b>	<b>: Frekans faktörü</b>
<b>T<sub>m</sub></b>	<b>: Tepe sıcaklığı</b>
<b>I</b>	<b>: Işıma şiddeti</b>
<b>Z<sub>etkin</sub></b>	<b>: Etkin atom numarası</b>
<b><math>\tau</math></b>	<b>: Yaşam ömrü (life-time)</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 TL ve OSL yöntemlerinin Enerji-seviyesi gösterimi.....	5
Şekil 2.2 Floresans olayı.....	7
Şekil 2.3 Fosforesans olayı.....	8
Şekil 2.4 Kristalleşerek katılaştıran malzemelerin erime (ya da katılma) noktalarında hacimlerinde ani bir azalma meydana geliyor (a). Camsı bir malzeme katılaştığında ise, atom düzeninde radikal bir değişiklik olmaması nedeniyle malzemenin hacmi kesintiye uğramadan azalıyor.....	13
Şekil 2.5 Kristal yapıdaki silisyum dioksit.....	14
Şekil 2.6 Kristal yapıdaki bileşik yapısı (a), amorf yapıdaki bileşik yapısı (b).....	14
Şekil 2.7 Bant modeline göre lüminesans mekanizmasının enerji diyagramı.....	17
Şekil 2.8 Yukarıdaki eşitliğin çözümü $T_M$ , tuzaklanmış elektronların başlangıçtaki yoğunluğu olan $n_0$ 'dan bağımsızdır.....	19
Şekil 2.9 I, birinci derece kinetiğe sahip, II, ikinci dereceden kinetiğe sahip örnekte elde edilen tepelerin şekli. İki eğri arasındaki büyük fark, eğrinin alçalan kısmında görülmektedir.....	22
Şekil 2.10 TLD' lerin kullanıldığı Kişisel Dozimetri, Çevresel Dozimetri, Klinik Dozimetri ve Yüksek Doz Uygulamaları gibi genel alanların alt kategorileri ile birlikte gösterimi.....	25
Şekil 2.11 LiF ( $Z_{etkin}=8.14$ ) ve CaF <sub>2</sub> ( $Z_{etkin}=16.3$ ) ve $Z_{etkin}=55$ olan bir materyal için teorik olarak elde edilmiş bağıl foton enerji cevabı (referans materyali olarak hava kullanılmıştır).....	42
Şekil 2.12 Optiksel uyarma olayının şematik gösterimi. Uyarma olayının tipi aynı değilse de PL de bu kategoride gösterilir.....	43
Şekil 2.13 Sürekli dalga uyarımlı OSL (CW-OSL) eğrisi.....	45
Şekil 2.14 Doğrusal olarak duruma göre değişen OSL (LM-OSL) eğrisi.....	46
Şekil 2.15 Atımlı uyarımlı OSL (POSL) eğrisi.....	47
Şekil 3.1 Risø TL/OSL cihazının genel görünümü.....	51
Şekil 3.2 Risø TL/OSL cihazının şematik gösterimi.....	51
Şekil 3.3 Deneylerde kullanılan 48 örnek haznesine sahip döner tabla ile örneklerin yerleştirildiği kenarlıklı diskler.....	52
Şekil 3.4 IR ve Mavi LED'lerin dizilişi (üstte) ve bu LED'lere ait yayınım dalga boyuna ait grafik (altta).....	53
Şekil 3.5 Risø TL/OSL cihazında bulunan üç algılama filtresinin geçirgenlik karakteristikleri.....	55
Şekil 3.6 Hoya U-340 ve mavi filtre paketinin geçirgenlik karakteristikleri ile kuvars ve feldispatın yayınım spektrumları.....	56
Şekil 3.7 Radyasyon kaynağının bulunduğu ve pnömatik sistemle açılıp kapanan kurşun muhafaza.....	58
Şekil 3.8 Isıtma biriminin a) ölçüme hazır pozisyondaki b) örnek tablası yerinde iken görüntüsü.....	59
Şekil 3.9 Cam örneklerinin toz haline getirilmesinde kullanılan agat havan.....	59
Şekil 3.10 Cam örneklerinin ayrıştırılmalarında kullanılan elekler.....	60
Şekil 3.11 Tipik bir EPR spektrometresi blok diyagramı.....	61
Şekil 3.12 EPR spektrometresinin dış görünüşü.....	62

Şekil 4.1 Cam örneklerinin radyasyona verdikleri tepkiler a) Sıradan cam b) Satina Cam.....	68
Şekil 4.2 Cam örneklerinin radyasyona verdikleri tepkiler a) Renkli Bronz cam b) Zeytin-dalı Buzlu.....	68
Şekil 4.3 Cam örneklerinin radyasyona verdikleri tepkiler a) Buzlu cam b) Matobel Cam.....	69
Şekil 4.4 Cam örneklerinin radyasyona verdikleri tepkiler a) Füme Buzlu cam b) Yeşil bardak.....	69
Şekil 4.5 Cam şişe örneklerinin radyasyona verdikleri tepkiler a) A numaralı b) B numaralı.....	69
Şekil 4.6 C numaralı cam şişe örneğinin radyasyona verdiği tepki.....	70
Şekil 4.7 Cam örneğinin dekonvolüsyon grafiği a) Sıradan cam b) Satina Cam.....	71
Şekil 4.8 Cam örneğinin dekonvolüsyon grafiği a) Zeytin-dalı buzlu cam b) Buzlu Cam.....	71
Şekil 4.9 Cam örneklerinin dekonvolüsyon grafiği a) Yeşil bardak b) A numaralı cam şişe.....	71
Şekil 4.10 B numaralı cam şişesinin dekonvolüsyon grafiği.....	72
Şekil 4.11 Yeşil bardak cam örneğinin 300 °C' de $\ln(I)-1/kT$ grafiği.....	73
Şekil 4.12 Sıradan cam örneğinin tuzak parametre grafiği.....	74
Şekil 4.13 Satina cam örneğinin tuzak parametre grafiği.....	74
Şekil 4.14 Zeytin-dalı buzlu cam örneğinin tuzak parametre grafiği.....	75
Şekil 4.15 Buzlu cam örneğinin tuzak parametre grafiği.....	75
Şekil 4.16 Yeşil bardak örneğinin tuzak parametre grafiği.....	75
Şekil 4.17 A numaralı cam şişe örneğinin tuzak parametre grafiği.....	76
Şekil 4.18 B numaralı cam şişe örneğinin tuzak parametre grafiği.....	76
Şekil 4.19 Cam örneklerinin sönmüleme grafiği a) Sıradan cam b) Satina Cam.....	77
Şekil 4.20 Cam örneğinin sönmüleme grafiği a) Renkli bronz cam b) Zeytin-dalı buzlu cam.....	77
Şekil 4.21 Cam örneklerinin sönmüleme grafiği a) Buzlu cam b) Matobel Cam.....	77
Şekil 4.22 Cam örneklerinin sönmüleme grafiği a) Füme buzlu cam b) Yeşil bardak camı.....	78
Şekil 4.23 Cam şişe örneklerinin sönmüleme grafiği a) A numaralı cam şişe b) B numaralı cam şişe.....	78
Şekil 4.24 C numaralı cam şişe örneğinin sönmüleme grafiği.....	78
Şekil 4.25 Sıradan cam örneğine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi.....	80
Şekil 4.26 Satina cam örneğine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi.....	80
Şekil 4.27 Zeytin-dalı buzlu cam örneğine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi.....	80
Şekil 4.28 Buzlu cam örneğine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi.....	81
Şekil 4.29 Yeşil bardak örneğine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi.....	81
Şekil 4.30 A numaralı cam şişesine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi.....	81
Şekil 4.31 B numaralı cam şişesine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi.....	82

Şekil 4.32 Sıradan cam örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi.....	83
Şekil 4.33 Satina cam örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi.....	83
Şekil 4.34 Renkli bronz cam örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi.....	83
Şekil 4.35 Zeytin-dalı buzlu cam örneğinin a) Işıma Eğrisi b) Doz cevap eğrisi.....	84
Şekil 4.36 Buzlu cam örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi.....	84
Şekil 4.37 Matobel cam örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi.....	84
Şekil 4.38 Füme buzlu cam örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi.....	85
Şekil 4.39 Yeşil bardak örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi.....	85
Şekil 4.40 A numaralı cam şişe örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi.....	85
Şekil 4.41 B numaralı cam şişe örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi.....	86
Şekil 4.42 C numaralı cam şişe örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi.....	86
Şekil 4.43 Yeşil bardak cam örneğinin güç çalışması.....	87
Şekil 4.44 Yeşil bardak cam örneğinin modülasyon genliği.....	87
Şekil 4.45 Yeşil bardak cam örneğinin doz cevap eğrisi.....	88
Şekil 4.46 B numaralı cam şişe örneğinin güç çalışması.....	88
Şekil 4.47 B numaralı cam şişe örneğinin modülasyon genliği.....	88
Şekil 4.48 B numaralı cam şişe örneğinin doz cevap eğrisi.....	89
Şekil 4.49 Sıradan cam örneğinin a) OSL $\tau$ bileşenleri b) Işıma eğrisi.....	90
Şekil 4.50 Satina cam örneğinin a) OSL $\tau$ bileşenleri b) Işıma eğrisi.....	90
Şekil 4.51 Buzlu cam örneğinin a) OSL $\tau$ bileşenleri b) Işıma eğrisi.....	90
Şekil 4.52 Yeşil bardak örneğinin a) OSL $\tau$ bileşenleri b) Işıma eğrisi.....	91
Şekil 4.53 B numaralı cam şişe örneğinin a) OSL $\tau$ bileşenleri b) Işıma eğrisi.....	91
Şekil 4.54 C numaralı cam şişe örneğinin a) OSL $\tau$ bileşenleri b) Işıma eğrisi.....	91
Şekil 4.55 Cam örneklerinin 2. mertebeden OSL $\tau$ bileşenleri a) Sıradan cam b) Satina cam.....	92
Şekil 4.56 Cam örneklerinin 2.mertebeden OSL $\tau$ bileşenleri a) Buzlu cam b) Yeşil bardak.....	92
Şekil 4.57 Cam şişe örneğinin 2.mertebeden OSL $\tau$ bileşenleri a) B numaralı cam şişe b) C numaralı cam şişe.....	93
Şekil 4.58 Yeşil bardak cam örneğinin sürekli dalga uyarımlı OSL azalım eğrisi.....	94
Şekil 4.59 Yeşil bardak cam örneğinin OSL analizi.....	94
Şekil 4.60 B numaralı cam şişe örneğinin sürekli dalga uyarımlı OSL azalım eğrisi.....	94
Şekil 4.61 B numaralı cam şişe örneğinin OSL analizi.....	95
Şekil 4.62 C numaralı cam şişe örneğinin sürekli dalga uyarımlı OSL azalım eğrisi.....	95
Şekil 4.63 C numaralı cam şişe örneğinin OSL analizi.....	95
Şekil 4.64 Sıradan cam örneğinin OSL azalım eğrisi.....	96
Şekil 4.65 Sıradan cam örneğinin doz cevap eğrisi.....	97
Şekil 4.66 Satina cam örneğinin OSL azalım eğrisi.....	97
Şekil 4.67 Satina cam örneğinin doz cevap eğrisi.....	97
Şekil 4.68 Renkli bronz cam örneğinin OSL azalım eğrisi.....	98
Şekil 4.69 Renkli bronz cam örneğinin doz cevap eğrisi.....	98
Şekil 4.70 Zeytin-dalı buzlu cam örneğinin OSL azalım eğrisi.....	98
Şekil 4.71 Zeytin-dalı buzlu cam örneğinin doz cevap eğrisi.....	99
Şekil 4.72 Buzlu cam örneğinin OSL azalım eğrisi.....	99
Şekil 4.73 Buzlu cam örneğinin doz cevap eğrisi.....	99
Şekil 4.74 Matobel cam örneğinin OSL azalım eğrisi.....	100
Şekil 4.75 Matobel cam örneğinin doz cevap eğrisi.....	100
Şekil 4.76 Füme buzlu cam örneğinin OSL azalım eğrisi.....	100

Şekil 4.77 Füme buzlu cam örneğinin doz cevap eğrisi.....	101
Şekil 4.78 Yeşil bardak cam örneğinin OSL azalım eğrisi.....	101
Şekil 4.79 Yeşil bardak cam örneğinin doz cevap eğrisi.....	101
Şekil 4.80 A numaralı cam şişe örneğinin OSL azalım eğrisi.....	102
Şekil 4.81 A numaralı cam şişe örneğinin doz cevap eğrisi.....	102
Şekil 4.82 B numaralı cam şişe örneğinin OSL azalım eğrisi.....	102
Şekil 4.83 B numaralı cam şişe örneğinin doz cevap eğrisi.....	103
Şekil 4.84 C numaralı cam şişe örneğinin OSL azalım eğrisi.....	103
Şekil 4.85 C numaralı cam şişe örneğinin doz cevap eğrisi.....	103



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Bazı lüminesans tipleri ve uyarılma şekilleri.....	6
Çizelge 3.1 Örnek tipine ve kullanılan lüminesans metoduna göre filtrelerin sınıflandırılması.....	56
Çizelge 3.2 EPR spektrometresinde kullanılan bantlar ve bölgeleri.....	61
Çizelge 4.1 7 farklı cam şişe örneklerinin kinetik parametre değerleri.....	72



## 1. GİRİŞ

Cam, soda veya potas katılmış silisli kumun ateşte eritilmesiyle oluşan saydam veya yarı saydam halde kullanılan, kırılma yapısına sahip olan malzemedir. Cam antik çağdan beri inşaat malzemesi, süs eşyası gibi çeşitli yerlerde kullanılmaktadır. Camın ilk kullanım tarihi kesin olarak bilinmemektedir fakat eski bir tarihe sahip olduğu düşünülmektedir. Bilinen en eski cam ise M. Ö. 1551-1527 yılları arasında yaşayan Firavun Amenhotep' e ait olan iri bir boncuktur (Aran 2006).

Anadolu' da cam kullanımının Orta Asya' dan gelen Selçuklular tarafından yaygınlaştırıldığı düşünülmektedir. Artuklular zamanında cami ve medreselerde cam kullanılmıştır. İstanbul' un alınmasıyla birlikte, 16 ve 17. yy da cam üretiminde gelişmeler olmuştur. Paşabahçe adıyla, Cumhuriyet devrinde 1934 yılında kurulmaya başlayan modern cam fabrikası, 1937 yılında üretime geçmiştir. İlerleyen yıllarda, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş' nin fabrika sayıları artırılıp, ihracat yapılabilecek duruma gelmiştir. Ayrıca özel şirketlere ait pek çok cam fabrikası bulunmaktadır (Aran 2006).

Cam, keşfedildiğinden günümüze kadar çok çeşitli kullanım alanlarına sahip, stratejik önemi olan bir maddedir. Bulunuşundan günümüze kadar bir taraftan çeşitleri, diğer taraftan da kullanım alanı artan cam, vazgeçilmez bir tüketim maddesidir. Kullandığımız camlar, yapay camlardır. Bununla birlikte, cam doğada doğal olarak da bulunmaktadır. Doğal cam, obsidien olarak bilinmektedir. Cam, doğal cam ve yapay cam olarak ikiye ayrılabilirse de yapay camın bulunması ve kullanımının yaygınlaşması doğal camın önemini yitirmesine sebep olmuştur. Bu nedenle günümüzde cam denildiğinde akla ilk gelen yapay cam türleridir.

Lüminesans (ışıldama); inorganik malzemelerin dışarıdan bir uyarma ile uyarıldıktan sonra görünür bölgede ışık (foton) yayması olayıdır. Lüminesansın, kara cisim ışımasından temel farkı, lüminesans için mineralin öncelikle dış bir kaynaktan enerji alması ve aldığı enerjinin bir kısmını elektromanyetik ışınım olarak salması gerekmektedir (Meriç 2013).

Termolüminesans (TL) ve optik uyarmalı lüminesans (OSL) önceden iyonize radyasyona maruz kalmış bir malzemenin dışarıdan sırasıyla ısı ve ışık ile uyarılması sonucu maruz kaldığı iyonize radyasyonla orantılı olarak dışarıya görünür bölgede ışık salmasıdır (Şahiner 2015).

Lüminesans yayını, elektromanyetik spektrumun genellikle UV (mor ötesi), görünür ve IR(kızıl ötesi) bölgesini kapsar. Radyasyona maruz kalan bir materyalin üzerine gelen enerjinin bir kısmı materyal tarafından soğurulur ve sonuçta daha uzun dalga boyuna sahip bir foton yayılır (Stoke's kanunu).

Lüminesans teknikler kullanılarak daha önce cam malzeme olan saat camı ile yapılmış çalışmada (Aydaş vd. 2015), cam malzemelerin radyasyona verdikleri tepkiler incelenmiş, bunun yanı sıra TL ve ESR analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin yanında tekrarlanabilirlik, dekonvolüsyon, sönünlenme, doz cevap gibi teknikler de kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonunda, hem ESR hem de TL kullanılarak araştırılan saat camı için 0,5-135 Gy aralığında kaza dozimetresi olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür. Bu tez kapsamında daha önce literatürde analiz tekniği olarak kullanılmayan, OSL ağartma (bleaching) tekniği kullanılmıştır ve bu çalışma literatüre katkıda bulunması açısından çok önemlidir.

Bu tez kapsamında TL, OSL, EPR ve XRD-XRF analizleri yapılarak farklı türdeki cam örneklerinin dozimetrik özellikleri ve tuzak yük yapısı incelenmiştir. Literatürde ilk defa cam malzemelere, ağartma (bleaching) analiz yöntemi uygulanmıştır.

Bu çalışmada, 11 farklı türde cam örneği incelenmiştir. Örnek olarak, sıradan cam, satina cam, renkli bronz cam, zeytin-dalı buzlu cam, buzlu cam, matobel cam, füme buzlu cam, yeşil bardak camı ve 3 farklı tipte alkollü içecek şişe camı kullanılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde, teorik olarak lüminesans, amorf yapılar ve özellikleri, kristal ve amorf arasındaki farklar, katılarda bant modeli, termolüminesans kinetikleri (birinci, ikinci ve üçüncü mertebeden kinetik), termolüminesans dozimetri (TLD), tuzak parametrelerinin hesaplanması ile ilgili yöntemler, optiksel uyarmalı lüminesans (OSL) ve optiksel uyarım tipleri hakkında bilgiler verilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde, kullanılan malzemelerin özellikleri, TL ve EPR ölçüm sistemleri verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde, yapılmış tüm analizler, termolüminesans dozimetri (TLD), optik



uyarmalı lüminesans (OSL), elektron paramanyetik rezonans (EPR), sönümlenme, ağartma (bleaching), doz-cevap eğrileri, örneklerin radyasyonla değişmeleri, tekrarlanabilirlik ile ilgili tüm sonuçlar ve analizler yer almaktadır. Tezin son bölümünde ise, elde edilen sonuçların yorumları ve değerlendirmesi yer almaktadır.



## 2. TEORİK BİLGİLER

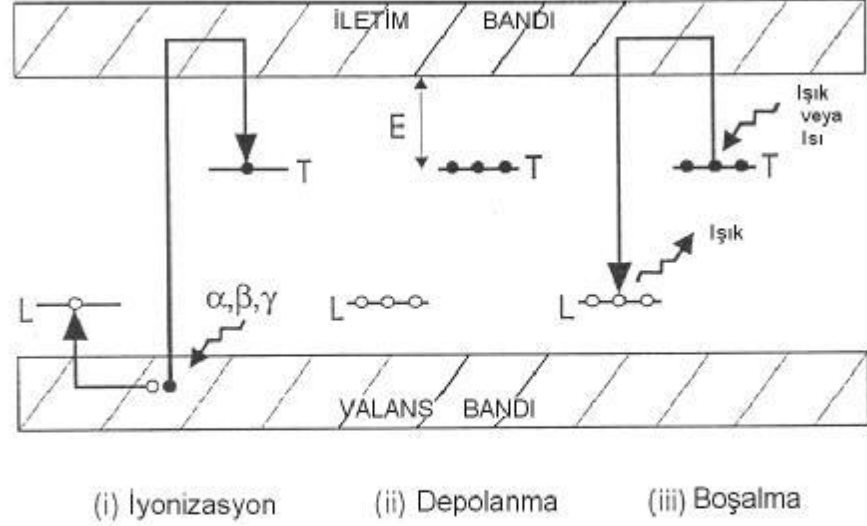
### 2.1 Termolüminesans Teorisi

#### 2.1.1 Lüminesans

Işık yayılımı, atom veya moleküllerin düşük enerji seviyesinden yüksek enerji seviyesine geçmesine bağlıdır; uyarılma enerjisi akkor telde olduğu gibi ısısal ya da flüoresan lambasında olduğu gibi ısısal olmayan bir enerji olabilir. Isısal olmayan enerjinin ışığa dönüştürüldüğü değişik yöntemlerinin hepsine birden lüminesans denir. Lüminesans kavramı, bu yüzyılın ortalarından günümüze kadar radyasyon dozimetrelerinde (insan vücudunun maruz kaldığı radyasyon miktarını ölçen cihazlar) ya da arkeolojik örneklerin ve jeolojik tortuların yaşlarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Biriken radyasyon dozunu bulmak ya da tarihlendirme olayını gerçekleştirmek henüz açığa çıkmamış olan lüminesansın geçmiş bir zamanda sıfırlanmış olmasına bağlıdır. Bu sıfırlama, radyasyon dozimetreleri, arkeolojik çömler, tuğlalar ve porselen gibi materyallerin ısıtılması ile ya da jeolojik tortuların gün ışığına maruz kalmalarıyla gerçekleşir. Bu sıfırlamadan sonra, gözlenecek lüminesans sinyalleri insan yapımı radyasyon kaynaklarından ya da toprakta doğal olarak bulunan zayıf kaynaklardan yayılan radyasyona maruz kalarak tekrar elde edilir. Radyasyon kaynaklı lüminesans kavramı fotolüminesans, fosforesans gibi lüminesans kavramlarından farklı tutulmalıdır. Çünkü bunlar doza bağlı değildir ve bu yüzden tarihlendirme ya da dozimetrik amaçla kullanım için uygun değildir (Nur 2010).

Böylece lüminesans, önceden iyonize radyasyona maruz bırakılmış minerallerin ya optiksel ya da ısısal olarak uyarılmalarıyla gerçekleşir. Radyasyona maruz kalma sırasında, radyasyon enerjisi kristal örgülerde birikir ve depolanır; bu depolanma kristal örgülerdeki kusurlarda tuzaklanmış elektronlar cinsindedir. Uyarılma sırasında, tuzaklanmış yükler serbest kalır ve sonuç olarak lüminesans sinyali sıfıra gider. Şekil 2.1'de, lüminesans kavramı için enerji diyagramı verilmiştir: (i) kristalin nükleer

radyasyona maruz kalması yolu ile iyonizasyon (ii) radyasyon enerjisinin depolanması (iii) uyarılma (Aitken 1998).



T= Elektron tuzağı

L= Işıma merkezi

Şekil 2.1 TL ve OSL yöntemlerinin Enerji-seviyesi gösterimi (Aitken 1998)

i) Elektron ve deşiklerin nükleer radyasyona maruz kalmalarıyla birlikte, T ve L kusurlarına yükseltgenmeleri.

ii) Radyasyon enerjisinin zamanın fonksiyonu olarak depolanması (sızıntılar ihmal edilirse, elektronların tuzaklardaki yaşam süreleri depolanma süresinden çok daha uzun olmalıdır). Elektronların bu yaşam süreleri, tuzak seviyesinin iletim bandına uzaklığını veren tuzak derinliği E' ye bağlıdır.

iii) Örnek ısı veya ışık yolu ile uyarıldığında, elektronlar tuzakları terk etmeye başlar ve luminesans merkezlerine ulaşırlar (L). Eğer böyle olursa, bu merkezlerdeki yeniden birleşme sonucunda foton ( TL veya OSL) yayılır.

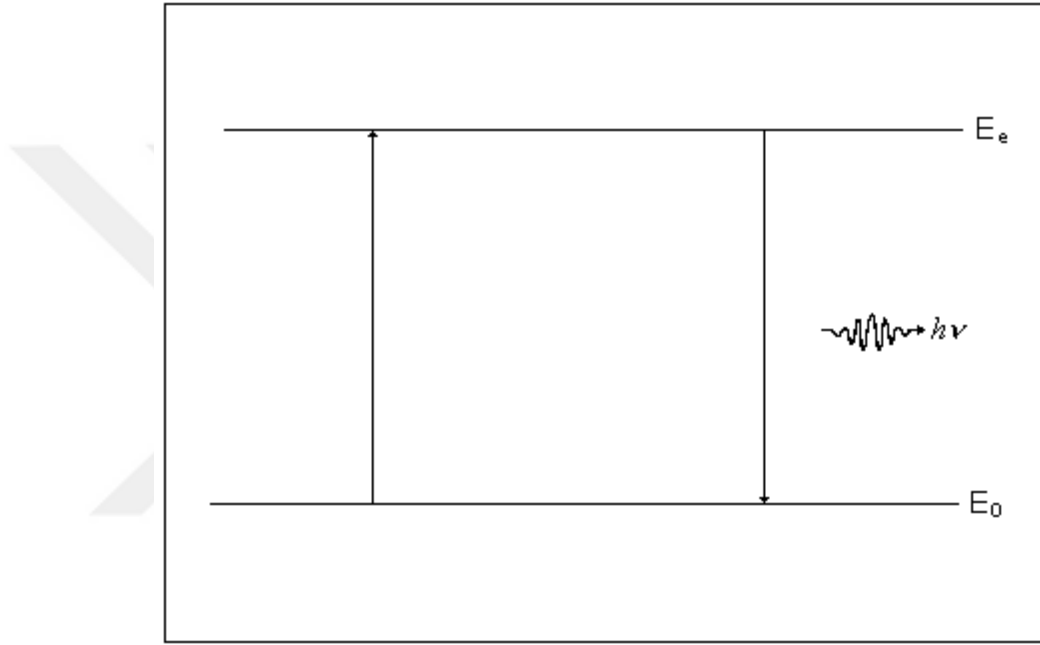
Lüminesans yayını, elektromanyetik spektrumun genellikle UV (mor ötesi), görünür ve IR(kızıl ötesi) bölgesini kapsar. Radyasyona maruz kalan bir materyalin üzerine gelen enerjinin bir kısmı materyal tarafından soğurulur ve sonuçta daha uzun dalga boyuna sahip bir foton yayılır (Stoke's kanunu). Bu fotonun dalga boyu lüminesans materyalinin bir karakteristiğidir. Dolayısıyla gelen radyasyonun karakteristiğine bağlı değildir. Lüminesans dozimetrelere açısından maruz kalınan radyasyon enerjisinin depolanmasını sağlayabilmek önemlidir. Bu da genellikle kristal yapı kusurlarına bağlıdır. Bazı lüminesans tipleri ve bu tiplere ait uyarılma yöntemleri Çizelge 2.1' de gösterilmiştir (Furetta vd. 1998).

Çizelge 2.1 Bazı lüminesans tipleri ve uyarılma şekilleri (Furetta vd. 1998)

LÜMINESANS OLAYI	UYARILMA ŞEKİLLERİ
Biyolüminesans	Biokimyasal reaksiyon enerjisi
Katodalüminesans	Katot ışınları
Kimyasal lüminesans	Kimyasal etkileşim kaynaklı enerji
Elektrolüminesans	Elektriksel alan
Fotolüminesans	U.V., görünür ve kızıl ötesi ışık
Piezolüminesans	Basınç ( $10 \text{ ton m}^{-2}$ )
Tribolüminesans	Sürtünme
Radyolüminesans	İyonlaştırıcı radyasyon
Sonolüminesans	Ses dalgaları
Floresans Fosforesans Termolüminesans	İyonlaştırıcı radyasyon, U.V. ve görünür ışık

Yukarıdaki tabloda yer alan son üç lüminesans olayında ışık yayılımının meydana geldiği zaman aralığı incelendiğinde aralarında farklılık olduğu görülür. İlk olarak floresansı ele alırsak; floresans maddenin radyasyon soğurmasından sonra  $10^{-8}$

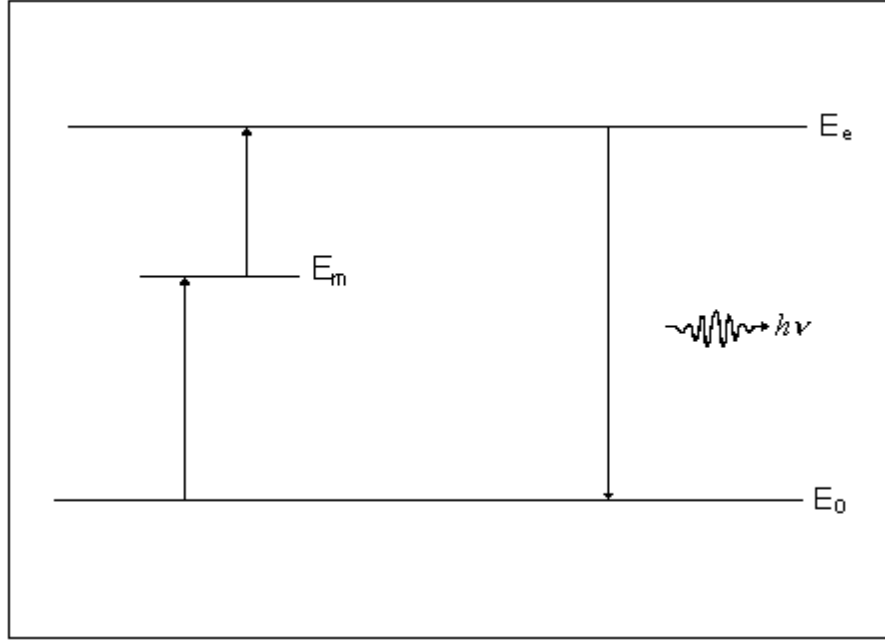
saniyeden daha az bir sürede ışığın yayılması durumundaki lüminesans olayı olarak tanımlanabilir. Floresans olayının bir diğer farklı özelliği de madde üzerindeki uyarılma işleminin süresi kadar devam etmesidir. Dolayısı ile uyarılma işlemi bittiğinde ışık yayımının gözlenmesi de duracaktır. Ayrıca floresans sürecinin sona erme zamanı sıcaklıktan bağımsızdır. Floresansın bitiş zamanı, uyarılmış bir  $E_e$  enerji seviyesinden  $E_0$  taban enerji durumuna geçiş olasılığı ile belirlenir. Bu olayın işleyişi Şekil 2.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Floresans olayı (Furetta vd. 1998)

Bir diğer süreç olan fosforesans olayı ise  $10^{-8}$  saniyeden daha uzun bir sürede meydana gelir. Fosforesans süreci, materyalin uyarıcı kaynak uzaklaştırıldıktan sonra da gözlemlenmeye devam edebilir. Floresanstan farklı olarak fosforesansın bitiş zamanı sıcaklığa bağlıdır. Fosforesans olayı, bir elektronun  $E_0$  taban enerji durumundan  $E_m$  elektron tuzağına (yarı kararlı durum) uyarılmasının ardından geçen bir  $t$  süresi sonrasında, çeşitli uyarıcı etkiler yardımı ile tekrar iletim bandına geçiş hemen ardından  $E_0$  taban enerji durumuna dönmesi durumunda gözlenebilir (Şekil 2.3). Şekilde görüldüğü gibi  $E_m$ ' den  $E_0$ ' a doğrudan bir geçiş yoktur. Bir elektron uyarıldığında  $E_m$ ' den  $E_e$  seviyesine geçerek buradan  $E_0$  taban enerji seviyesine dönerken bir foton yayar.

Böylece fosforesans olayı gerçekleşmiş olur. Bu fosforesans yayını tuzaklanmış durumda hiçbir yük kalmayana kadar azalan bir yoğunlukla devam edecektir (Furetta vd. 1998).



Şekil 2.3 Fosforesans olayı (Furetta vd. 1998)

Elektronun  $E_0$  taban enerji seviyesinden uyarılması ile lüminesans olayının meydana gelmesi arasındaki gecikme süresi çok kısa ise ( $10^{-4}$  saniyeden daha az bir sürede) floresans ve fosforesans arasındaki farkı ayırt etmek zordur. Bunu kontrol etmenin tek yolu lüminesans olayının sıcaklığa bağlı olup olmadığının incelenmesidir. Eğer materyal daha yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılırsa  $E_m$ ' den  $E_e$ ' ye geçiş oranında artış meydana gelecektir. Sonuç olarak fosforesans daha parlak olacaktır ve tuzaklanmış durumdaki elektronların sayısının daha hızlı azalmasından dolayı fosforesansın bitiş zamanı da daha hızlı olacaktır. Bu durumda sıcaklığa bağlı olarak lüminesans şiddetinin arttığı ve ışınım süresinin azaldığı fosforesans sürecini termolüminesans (TL) olarak adlandırabiliriz. Termolüminesans olayında uyarım ve ışık yayını arasında geçen süre birkaç dakikadan 1010 yıla kadar değişebilmektedir (Furetta vd. 1998).

Kısaca, termolüminesans olarak adlandırılan ısısal olarak uyarılmış lüminesans (TL), 1950'lerde (Daniels vd. 1953) yeterince duyarlı ve güvenilir fotokatlandırıcı (PM) tüplerinin piyasaya sürülmesinden sonra, yaygın olarak, nükleer radyasyon dozunu ölçmekte kullanıldı. TL yöntemi 1960' lı yılların başlarında arkeolojik tarihlendirmede (Aitken vd. 1968; Mejdahl, 1969), 1980'lerin başlarında da jeolojik tarihlendirmede kullanıldı (Wintle vd. 1980).

Termolüminesans ile tarihlendirmede kullanılan bu metot ve yöntemler Aitken tarafından (1985) yeniden derlendi. TL genellikle, örneğin sabit bir oranla belli bir sıcaklığa kadar (örneğin 500 °C) ısıtılmasıyla ve lüminesans yayılımının sıcaklığın fonksiyonu olarak kaydedilmesiyle gözlenir. TL sinyalleri "Işıma eğrisi" olarak adlandırılır ve bu eğriler örnek içerisinde yer alan elektron tuzaklarına bağlı, değişik sıcaklıklarda ortaya çıkan farklı tepeler olarak kendilerini gösterirler. Bu tuzakların oluşmasından örgü yapısındaki kusurlar sorumludur. Örneğin tipik bir kusur, negatif bir iyonun yerinden uzaklaşması ve elektron tuzağı gibi davranan bir negatif iyon boşluğu yaratmasıyla oluşabilir. Bir kez tuzaklanan bir elektron, sonunda ısısal örgü titreşimi ile rahatsız edilecektir. Sıcaklığın artmasıyla bu titreşimler giderek güçlenecek ve rahatsızlık hızlıca artacaktır. Ardından belli bir enerji seviyesine sahip tuzakların içerisindeki tuzaklanmış elektronlar hızlıca serbest kalacaklardır.

Bazı elektronlar daha sonra, sonuçta ışık yayılımı (TL) gerçekleştirecek şekilde, ışımaya merkezlerindeki tuzaklanmış "deşikler" ile birleşirler. TL ışımaya eğrisinin pürüzsüz, sürekli bir görünümü vardır. Fakat dikkatli incelendiğinde, değişik seviyelerdeki tuzaklardan ısısal yolla uyarılmış elektronlardan ileri gelen, bir dizi üst üste gelmiş tepelerden oluştuğu görülür. Derin tuzaklardaki elektronların ömürleri sığ tuzaklardakine göre daha uzundur. Normal olarak 200 °C nin altında ışımaya yol açan tuzaklar dozimetre uygulamaları için pek elverişli değildir. Bu tuzaklardaki elektronlar uzun bir süre sonunda ortam sıcaklığında bile yerlerinden ayrılabilirler (anormal sönüm). Dozimetre uygulamaları için uygun ışımaya tepeleri genellikle 300 °C ve

üzerinde elde edilir. Buna rağmen, oda sıcaklığında bazı feldispatların yüksek sıcaklık TL tepesinin anormal (yani beklenmedik) düşüşü gözlenmiştir. Bu durum kuantum mekaniksel tünelleme etkisi olarak açıklanmıştır (Wintle 1973).

## 2.2 Amorf Yapılar ve Özellikleri

Amorf katı atomların kararlı bir kristal yapıya sahip olmadığı katılar için kullanılan terim. Yunanca, morphé (şekil) kelimesinden türemiştir. Şekilsiz katı da denmektedir. Amorf katılar, gelişigüzel bir yapı gösterebilirler. Uzun süre beklemede akışkan olduğu gözlenmektedir. Genellikle sıvı halinin ani olarak soğutulmasıyla elde edilirler. Örneğin; cam, lastik ve plastikler bu türdür. Bu tür maddeler şekilsiz olduğu için amorf grubuna girerler. Amorf katılar belli bir sıcaklık aralığında gitgide yumuşarlar ve akıcılık kazanırlar. Yumuşamanın başladığı bu noktaya camsı geçiş sıcaklığı denir.

Erime, amorf bir cisimde belirli bir sıcaklıkta olmaz. Erimenin başladığı ve bittiği sıcaklık derecesi arasında belirli bir fark vardır. Bu nedenle, amorf bir maddenin erime noktasından bahsedilemez. Amorf maddenin sıcaklığı yükseldikçe, yumuşar ve belirsiz bir sıcaklıkta sıvı hale geçer. Bu maddelerin erime noktası yoktur.

Cam ısıtıldığı zaman önce yumuşar, sıcaklık daha da yükselirse akıcı hale gelir. Yumuşama ile akıcı hale gelme arasında kalan sıcaklıklarda çalışılarak laboratuvarlarda ve evlerde kullanılan cam eşyalar kalıplanarak yapılır. Plastik ve lastik malzemelerde kalıplanarak üretilir.

## 2.3 Kristal ve Amorf Yapılar Arasındaki Farklar

Kristal, billur amorf yapıda ya da kesme cam, kimyadaki katı haldeki bir elementin veya bileşiğin, molekül, atom veya iyon yığınlarının (paketinin) kesin geometrik bir



yapı göstermesidir. Araştırmalar göstermiştir ki, hemen hemen bütün katı maddelerde atomlar tekrarlı bir sıra halinde dizilmiştir ve bundan dolayı billurlar teşkil ederler. Cam ve plastik başlıca istisnalardır. Bu maddelerde billurlaşma görülmez. Fakat bu maddelerde bile küçük bölgelerde parça parça bir tekrarlı sıra bulunur. Billur maddeler; metallere, mücevher taşları ve tuzlardan toz taneciklerine kadar geniş bir dağılım gösterirler. Bununla beraber her birinin atomları sıralı bir tarzda dizilmiştir. Billur sıranın detaylı tabiatı yani billur yapısı, billuru teşkil eden maddenin özelliği olarak her birinde farklıdır. Bir billur, yüzeyleri arasındaki açının gösterdiği temel yapıları ile tanınır ve başlıca yedi yapıya ayrılır:

Triklinik, Monoklinik, Ortorombik, Trigonal (Comboedral), Hekzagonal, Tetragonal, Kubik. Bu yedi billur yapısı da kendi içinde 32 billur sınıfına; bu da yine kendi içinde 230 gruba ayrılmıştır. Bazı maddeler birden fazla billur çeşidi meydana getirir ki, buna o maddenin allotropları denir.

Amorf katılar, atomların kararlı bir kristal yapıya sahip olmadığı katılar için kullanılan terimdir. Cam gibi maddeler, polystyrene gibi polimerler, pamuk helva gibi yiyecekler ve ruj gibi makyaj malzemeleri örnek gösterilebilir. Gelişi güzel bir yapı gösterebilirler (Çetin 2012).

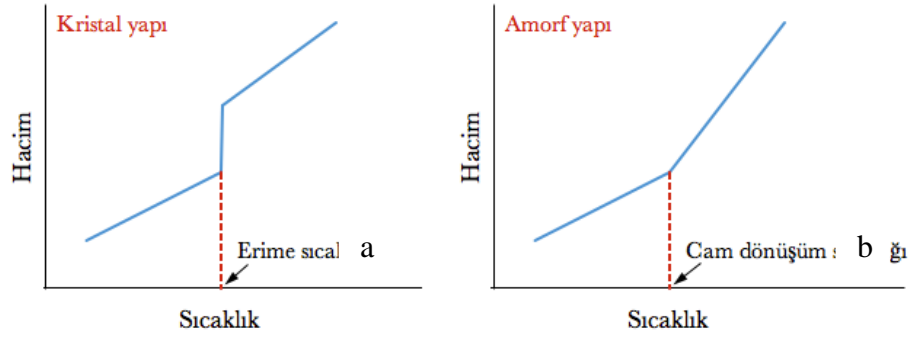
Amorf katılar genellikle sıvı hâlinin ani olarak soğutulmasıyla elde edilir. Örneğin; cam, lastik ve plastikler bu türdendir. Bu tür maddeler şekilsiz olduğu için amorf grubuna girer. Amorf katılar belli bir sıcaklık aralığında gitgide yumuşar ve akıcılık kazanır. Yumuşamanın başladığı bu noktaya camsı geçiş sıcaklığı denir.

Erime, amorf bir cisimde belirli bir sıcaklıkta olmaz. Erimenin başladığı ve bittiği sıcaklık derecesi arasında belirli bir fark vardır. Bu nedenle amorf bir maddenin erime noktasından bahsedilemez. Amorf maddenin sıcaklığı yükseldikçe yumuşar ve belirsiz bir sıcaklıkta sıvı hâle geçer. Mesela cam ve plastikler amorfudur. Bu maddelerin erime noktası yoktur. Cam ısıtıldığı zaman önce yumuşar, sıcaklık daha da yükselirse akıcı hâle gelir. Yumuşama ile akıcı hâle gelme arasında kalan sıcaklıklarda çalışılarak laboratuvarlarda ve evlerde kullanılan cam eşyalar kalıplanarak yapılır. Plastik ve lastik malzemelerde kalıplanarak üretilir.

Seramik malzemelerin katı fazdaki yapılarını incelediğimizde, atomların çoğu zaman önceki konularda bahsettiğimiz kristal simetrilerinde düzenlenmediklerini görüyoruz. Malzeme biliminde amorf (İngilizce: amorphous) adını verdiğimiz bu düzensiz yapı, aslında sadece seramiklere mahsus değil. Metallerde ve polimerlerde de amorf yapı örnekleriyle zaman zaman karşılaşılıyor. Atomların herhangi bir simetriye sahip olmadan kümelendikleri bu amorf yapılara, malzeme biliminde camsı malzemeler adını veriyoruz. Amorf yapıya sahip camsı malzemelere örnek olarak metalik cam ve polimer bazlı camlar (akrilik cam gibi) yanında, günlük hayatımızda kullandığımız camı da gösterebiliriz (Çetin 2012).

Camsı malzemelerin kristal yapıya sahip olmaması, kristalleşmeden katılaştıkları anlamına geliyor. Kristalleşmenin gerçekleşmediği bu katılaşma süreci, malzeme biliminde tarif ettiğimiz şekliyle katılaşma sürecinden oldukça farklı. Çünkü katılaşma terimi özünde bir faz dönüşümünü, yani bir fazdan başka bir faza geçişi ifade ediyor; amorf yapıdaki sıvı fazdan düzenli yapıdaki katı kristallerinin oluşması gibi. Camsı malzemelerin katılaşmasında ise, katı olduğu sırada sıvı fazdaki düzensiz yapının korunduğunu, yani fazın yapısında bir değişim gerçekleşmediğini görüyoruz. Dolayısıyla, camsı malzemelerde gözlemlediğimiz şekliyle katılaşma bir faz dönüşümünü değil, sıvının akışkanlığının sıcaklık düşüğe azalarak bir noktada tamamen kaybolmasını ifade ediyor. Akışkanlığın tamamıyla kaybolduğu bu noktaya cam dönüşüm sıcaklığı (İngilizce: glass transition temperature) adını veriyoruz.

Katılaşma, camsı malzemelerde bir faz dönüşümüyle gerçekleşmediği için, malzemenin katı ve sıvı fazdaki bazı özellikleri arasında ani değişimler de gözlemlemiyoruz. Aşağıdaki resimde, örnek olarak, kristal ve amorf katıların sıcaklığa bağlı olarak hacimlerinin nasıl değiştiği gösteriliyor.

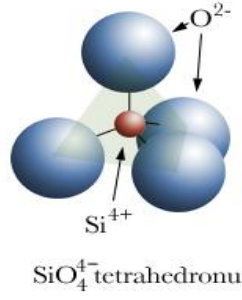


Şekil 2.4 Kristalleşerek katılaştıran malzemelerin erime (ya da katılaşma) noktalarında hacimlerinde ani bir azalma meydana geliyor (a). Camsı bir malzeme katılaşmışında ise, atom düzeninde radikal bir değişiklik olmaması nedeniyle malzemenin hacmi kesintiye uğramadan azalıyor (b) (Çetin 2012)

Cam dönüşüm sıcaklığı bütün malzemelerde erime noktasından daha düşük bir sıcaklık değerine denk geliyor. Dolayısıyla camsı bir yapı elde edebilmek için, sıvı fazdaki bir malzemenin erime noktasının altına soğutulduğunda hala sıvı fazda kalması gerekiyor. Bunun için de sıvının kristalleşmesine fırsat vermeden, çok hızlı soğutulması gerekiyor. Karmaşık moleküler yapıları nedeniyle polimerlerde cam oluşumu çok yüksek soğuma hızına gerek olmadan gerçekleşebiliyor. Kristalleşmeleri nispeten daha kolay olan metallerde ise, camsı yapı ancak sıvının çok hızlı soğutulmasıyla elde edilebiliyor (Çetin 2012).

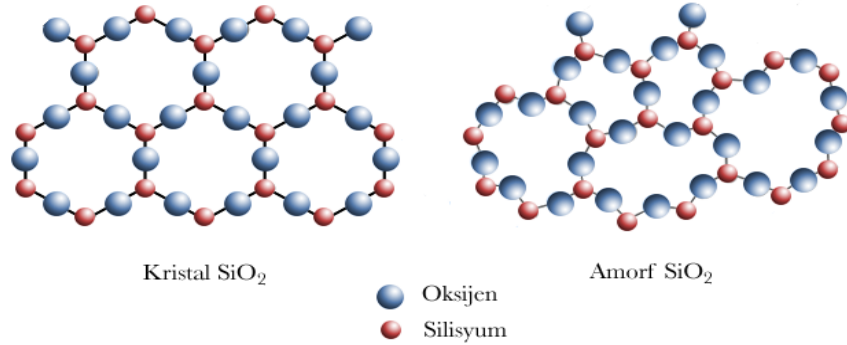
Camsı seramiklerin yapısından her ne kadar amorf olarak bahsetsek de, bu tür seramiklerdeki atomlar camsı metallerde olduğu gibi tamamıyla rastgele bir düzende konumlanmıyorlar. Metallerde camsı yapı oluşurken, metalik bağın herhangi bir yöne doğru kurulabiliyor olması nedeniyle atomlar rastgele bir dağılım gösterebiliyorlar. Seramiklerde ise, atomlar arası bağların kovalent ya da iyonik karaktere sahip olması, düzensiz bir yapıda bile atomları belli konumlara yerleşmek zorunda bırakıyor.

Örnek olarak, günlük hayatta kullandığımız çoğu cam eşyanın yapıtaşlarından biri olan silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) bileşimini ele alalım. Kristal yapıdaki bu bileşik, her bir silisyum atomuna dört oksijen atomunun bağlandığı tetrahedron simetrisi sergiliyor.



Şekil 2.5 Kristal yapıdaki silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) (Çetin 2012)

Şekil 2.6' de, kolaylık sağlaması açısından, bileşiğin yapısı iki boyutlu olarak gösteriliyor. Kırmızı renkle gösterilen silisyum atomlarının normalde dört oksijen atomuna bağlanması gerekirken, dördüncü atomun bulunduğu düzlem silinerek, yapı aşağıda iki boyutlu olarak resmediliyor. Soldaki resim kristal yapıdaki bileşiğin, sağdaki resim ise hızlı soğutulmuş elde edilen amorf yapıdaki bileşiğin yapısını gösteriyor. Seramiklerde atomlar arası bağların bazı yön dayatmalarına tabi olması nedeniyle, amorf yapıdaki seramik kristalleşmiş haline benzer şekilde, fakat simetrisi bozulmuş olarak karşımıza çıkıyor. Aşağıdaki amorf yapı gösteriminde her Si atomunun, kristal yapıdakiyle aynı sayıda oksijen atomuna bağlanmış olduğuna dikkat ediniz.



Şekil 2.6 Kristal yapıdaki bileşik yapısı (a), amorf yapıdaki bileşik yapısı (b) (Çetin 2012)

a

b

Amorf seramiklerde atomların amorf metallerde olduğu gibi tamamen rastgele bir şekilde dağılmıyor olmasının nedeni, atomlar arasındaki bağların farklı türde olmasından kaynaklanıyor. Tekrar etmek gerekirse, metalik bağda bütün atomlar sahip oldukları dış yörünge elektronlarını ortak bir elektron bulutuna bırakarak birbirlerine

bağlanıyorlar. Bu bağ türünde de atomlar dış yörünge elektronlarından kurtuldukları için iyonlaşıyorlar. Fakat oluşan iyonların aynı türde (yani katyon) olması, aynı zamanda metalik bağın herhangi bir yöne doğru kurulabiliyor olması nedeniyle camsı metallerde atomlar rastgele dağılabiliyorlar. Amorf seramiklerde ise katyonların anyonlarla birlikte bulunması ve oluşan bağların birebir elektron paylaşımına dayalı olması, atomları birbirlerine göre belli açılarda konumlanmak zorunda bırakıyor. Sonuç olarak seramiklerde gözlemlediğimiz şekliyle amorf yapılar, yukarıda sağdaki resimde gösterildiği gibi, atomların düzensiz ama yine de tam anlamıyla rastgele bir şekilde dağılmadan sıralanmasıyla karşımıza çıkıyor (Çetin 2012).

## 2.4 Katılarda Bant Modeli

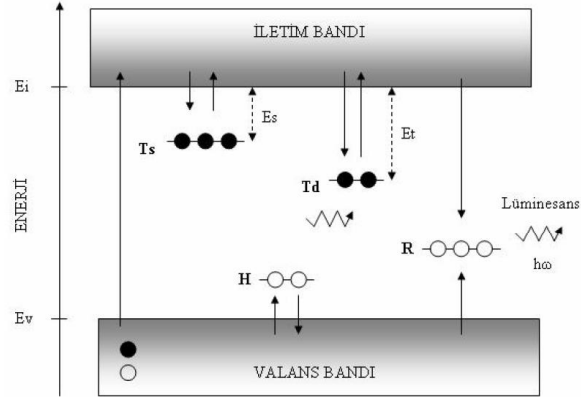
Bohr atom modeline göre, çekirdek etrafında dönen bir elektronun yalnız belli enerji seviyelerinde bulunma olasılığı vardır. Bu kesikli enerji seviyeleri arasındaki enerji değerleri, atomdaki elektron için yasaklanmıştır. Bir katıda birbirine bağlı atomlar birbirleri üzerinde belirli bir etkiye sahiptirler. Bunun sonucunda, atomları birbirine bağlayan kuvvetler, elektronların davranışını da büyük oranda etkilemektedir. Atomların bu yakın etkileşimleri, bir atomdaki her bir enerji seviyesinin şekillenmesine ve ayrılmasına neden olmaktadır. Katıdaki bu izinli enerji bantları, elektronlara yasaklanmış olan yasak bant aralığıyla iletim bandından ayrılmıştır.

Kristallerde bulunan iki bant, valans ve iletim bandı olarak adlandırılır. Elektronlar için izinli enerji durumları olarak bilinen bu iki bant, yasaklanmış enerji aralığının araya girmesiyle ikiye ayrılır, elektronlar için izinli enerji durumlarını belirten bu iki bant Şekil 2.7' de görülmektedir. Valans bandı izin verilen durumların en düşük bandıdır. Valans bandındaki en yüksek enerji seviyesi  $E_v$  ile ifade edilir. Elektronlar mümkün en düşük enerji durumunu doldurma eğiliminde olduğunda valans bandı tamamen elektronlarla doludur. İletim bandı izin verilen durumların en üst bandıdır. İletim bandındaki en düşük mümkün enerji durumu  $E_i$  ile verilir (Şekil 2.7). İletim bandındaki

elektronlar herhangi bir tek atoma bağlanmazlar; bu yüzden herhangi bir dış elektriksel alan etkisi altında kristal içerisinde serbestçe hareket ederler. Bant aralığı enerjisi  $E_g = E_i - E_v$ ) kristalde bir bağı kırmak için gerekli olan enerjidir (Şekil 2.7). Bir bağ kırıldığında, elektron valans bandından ayrılmak için yeterli enerjiyi soğurur ve iletim bandına geçer (Thomsen 2004).

Kristal materyaller bant aralığının genişliğine göre sınıflandırılabilir. Eğer bant aralığının genişliği büyükse (~3 ile 10 eV) materyal yalıtkan (zayıf iletici) olarak sınıflandırılır, eğer genişliği ihmal edilebilir bir seviyedeysen ya da mevcut değilse materyal iletken olarak sınıflandırılır. Yarı iletken materyaller bir iletken ve bir yalıtkan arasındadır. Böylece, bir elektronun sahip olduğu ısı enerjisi bu elektronu valans bandından iletim bandına yükseltecek kadar büyük olmadığı için, yalıtkan maddelerde, iletim bandı yalnızca birkaç elektron bulundurur. Lüminesans özellik gösteren materyaller yalıtkanlar olarak sınıflandırılırlar. Bant aralığı silisyum dioksit (yani kuvars) kristalinde yaklaşık 9 eV' tur, bu nedenle bu mineral iyi bir yalıtandır (Thomsen 2004).

Mükemmel bir yalıtkan kristalde, dış bir uyarıcı etki olmadan elektronların valans bandından iletim bandına geçiş yapma olasılığı yoktur. İyonlaştırıcı radyasyon madde ile etkileştiği zaman, bir elektron valans bandından iletim bandına geçiş yapmak için yeterli enerjiyi ( $\geq E_g$ ) soğurur. Böylece maddede enerji depolanmış olur. Elektron valans bandından iletim bandına geçtiğinde valans bandında bir deşik oluşur. Valans bandındaki elektronlar, uyarılan elektron tarafından boşaltılan yere hareket edebilir. Böylece valans bandından iletim bandına bir elektron uyarıldığında bir elektron deşik çifti yaratılır. Uyarılmış elektron valans bandına geri dönmeden ve uyarım enerjisini kaybetmeden önce iletim bandında sadece  $\leq 10$  ns (ortalama ömrü) kalır. Daha sonra bir deşik ile yeniden birleşir. Tekrar birleşme sürecinde enerji ışık olarak (ışıklı yeniden birleşme) veya ısı olarak (ışısız yeniden birleşme) salınır.



Şekil 2.7 Bant modeline göre lüminesans mekanizmasının enerji diyagramı (Yazıcı 1996)

## 2.5 Termolüminesans Kinetikleri

### 2.5.1 Birinci derece kinetik

Randall ve Wilkins (1945) ışıma eğrisindeki her bir ışımamanın tepe noktası için bir matematiksel ifade kullanmıştır. Bu matematiksel ifadeler için göz önünde bulundurulmuş temel varsayımlar kısaca:

- Elektronların kendiliğinden serbest kalmasını önleyecek kadar düşük bir sıcaklıkta fosforun radyasyona tutulması,
- Örneklerin sabit bir ısıtma hızı kullanılarak ısıtılması.

Randall - Wilkins teorisi, birinci dereceden kinetiği temel alarak tek bir tuzak derinliğini göz önüne alır. Dolayısıyla ile elektronların tekrar tuzaklanma olasılığının çok küçük olduğu varsayılır. Bu durumda TL şiddeti  $I$ , herhangi bir sıcaklıkta, doğrudan tuzaktan kurtulan elektronların sayısı ile orantılıdır:

$$I(t) = -c \left( \frac{dn}{dt} \right) = cpn \quad (2.1)$$

Burada,  $c$ , 1 olarak alınabilen sabit bir sayıdır. Daha sonra,

$$n = n_0 \exp \left[ -st \exp \left( -\frac{E}{kT} \right) \right] \quad (2.2)$$

$$P = s \exp \left( -\frac{E}{kT} \right) \quad (2.3)$$

eşitlikleri göz önüne alınır ve bunlar yukarıdaki eşitlik 2.1' de yerine yazılırsa:

$$I(t) = n_0 s \exp \left( -\frac{E}{kT} \right) \exp \left[ -st \exp \left( -\frac{E}{kT} \right) \right] \quad (2.4)$$

olur. Burada  $I(t)$  herhangi bir  $t$  anında elde edilen lüminesans şiddeti,  $n_0$  ise  $t=0$  anında tuzaklarda bulunan tuzaklanmış elektron konsantrasyonu,  $T$  sıcaklık,  $E$  tuzakların enerji seviyeleri,  $s$  elektronların tuzaklardan kurtulma olasılığına bağlı frekans faktörü ve  $k$  Boltzmann sabitidir.

Isıtma hızı lineer olacak şekilde ele alınır; ( $b = dT / dt$ ) kullanılarak

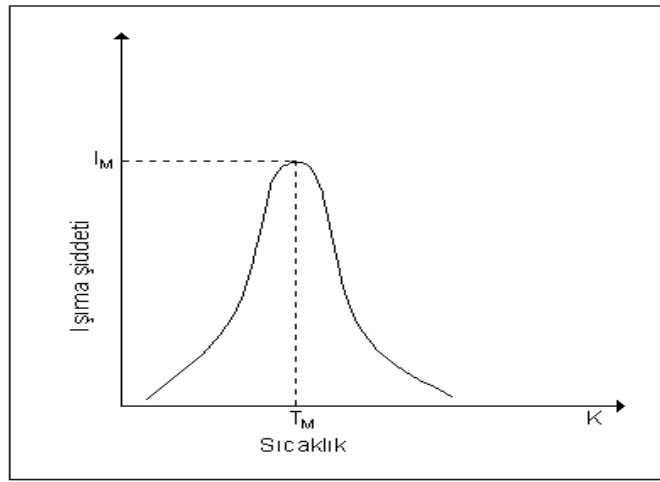
$$\int_{n_0}^n \frac{dn}{n} = - \int_{t_0}^t s \exp \left( -\frac{E}{kT} \right) dt \quad (2.5)$$

eşitlik 2.5 tekrar düzenlenebilir ve sonuçta  $n$  değeri için bir denklem elde edilir. Bulunan  $n$  ifadesi yukarıdaki denklemde tekrar yazılırsa;



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

elde edilir. Bu ifade nümerik çözüm kullanılarak hesaplanabilir. Ayrıca bu ifade, karakteristik bir tepe sıcaklığında ( $T_M$ ) maksimum bir şiddete sahip çan şeklinde bir eğri verir (Şekil 2.5).



Şekil 2.8 Yukarıdaki eşitliğin çözümü  $T_M$ , tuzaklanmış elektronların başlangıçtaki yoğunluğu olan  $n_0$ 'dan bağımsızdır (Furetta vd. 1998)

$T=T_M$  noktasında  $dI/dT = 0$  olarak alınabilir. Bu şekilde önemli bir ilişki elde edilir. Bu eşitliğin logaritmik türevi alınacak olursa;

$$d(\ln I)/dT = (1/I) \times (dI/dT) \text{ olur.} \quad (2.7)$$

TL tepelerinin enerji seviyeleri, frekans faktörü ve ısıtma hızı arasında önemli bir eşitlik elde edilir:

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad (2.8)$$

Eşitlik 2.8 kullanılarak farklı ısıtma hızları için deneysel sonuçlardan elde edilecek olan farklı  $T_M$  değerleri kullanılarak elde edilecek grafikten enerji seviyesi  $E$  ve frekans faktörü  $s$  rahatlıkla bulunabilir. Bu yöntem Farklı Isıtma Hızları Yöntemi olarak adlandırılmaktadır ve bu konu ilerideki bölümlerde daha detaylı bir şekilde işlenmiştir.

Yukarıdaki eşitlikte bazı önemli sonuçlar elde edebiliriz:

- Sabit bir ısıtma hızı için,  $E$  değeri arttırıldığında veya  $s$  azaltıldığında,  $T_M$  yüksek sıcaklıklara doğru kaymaktadır.
- Bir tuzak için ( $E$  ve  $s$  sabit değer olarak alınmıştı) ısıtma hızı artarken,  $T_M$  daha yüksek sıcaklıklara doğru kayar.
- $T_M, n_0$ 'dan bağımsızdır (dolayısı ile verilen dozdan da bağımsızdır).
- Toplam ışık miktarına  $S$  dersek,  $S$  ifadesini aşağıdaki gibi yazabiliriz;

$$S = \int_0^{\infty} I dt = -c \int_0^{\infty} \frac{dn}{dt} dt = -c \int_{n_0}^0 dn = cn_0 \quad (2.9)$$

Burada görüldüğü gibi  $S$  tuzaklanmış yüklerin başlangıçtaki sayısı ile doğru orantılıdır. Fakat ısıtma sürecinden bağımsızdır. Tuzaklanmış yüklerin sayısının radyasyon dozu ile orantılı olduğu bilinmektedir. Bu durumda  $S'$  de radyasyon dozu ile orantılıdır. Bu özellik radyasyon dozimetresinde çok önemlidir (Furetta vd. 1998).

## 2.5.2 İkinci derece kinetik

İkinci dereceden kinetik ifadesi, yeniden tuzaklanmanın öne çıktığı bir durumu tanımlamak için kullanılır. Bu konu Garlick ve Gibson (1948) tarafından ele alınmış ve bir serbest yük taşıyıcısının TL merkezi ile yeniden birleşmesi veya tekrar tuzaklanması olasılıkları birlikte incelenmiştir. Bu durumda, eşitlik 2.10 kullanılmalıdır:

$$I(t) = \frac{dn}{dt} = -n^2 s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.10)$$

Bu ifade, yeniden birleşme olasılığının 1'e eşit olduğu birinci derece kinetiği için elde edilen sonuçtan farklıdır çünkü birinci derece kinetikte yeniden birleşme olasılığı yoktur. Burada

$s' = s / N$  ile gösterilir ve genellikle ön-üssel faktör olarak adlandırılır.  $s'$ ,  $\text{cm}^3\text{s}^{-1}$  boyutunda bir sabit,  $N(\text{cm}^{-3})$  ise tuzak yoğunluğudur. Eşitliğin integrali sabit T sıcaklığı için alınırsa aşağıdaki denklem elde edilir;

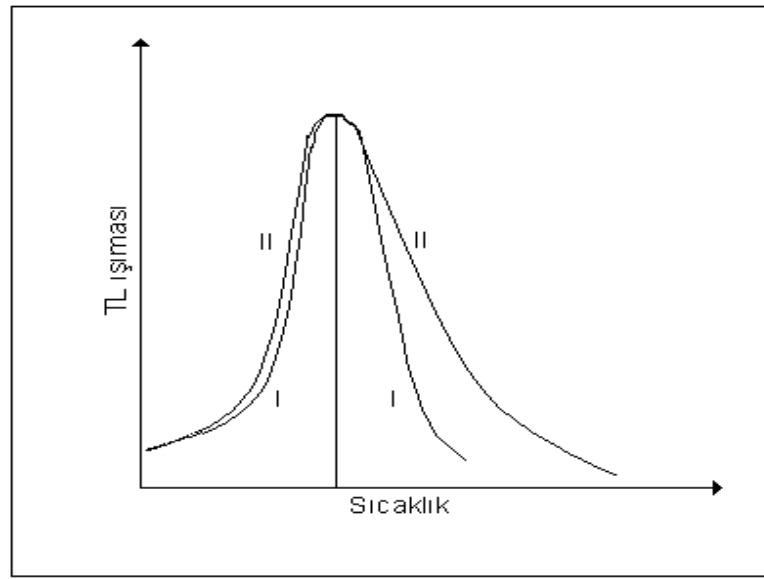
$$n = n_0 \left[ 1 + s' n_0 t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \right]^{-1} \quad (2.11)$$

Sabit bir ısıtma hızı için ( $dt = dT / \beta$ ) gereklidir, integraller alındığında  $I(T)$  ışık şiddeti:

$$I(T) = n_0^2 s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[ 1 + \left(\frac{s' n_0}{\beta}\right) \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right]^{-2} \quad (2.12)$$

olarak elde edilir.

Kinetik mertebenin ışımaya eğrisinin şekli üzerinde nasıl bir etki yarattığını gösterebilmek amacıyla Şekil 2.9’ da birinci dereceden ve ikinci dereceden kinetik mertebeye sahip iki TL tepesi üst üste bindirilerek verilmiştir. Şekilde her örnek için tek tip tuzak ve dolayısı ile her örnek için sadece bir tepe mevcuttur. Şekilde görüldüğü gibi ikinci dereceden kinetiğe sahip örnek içerisindeki elektronların tekrar tuzaklanmaları TL sinyalinin sönümünü geciktirmektedir. Böylece ikinci derece kinetiğe sahip örnekten elde edilen eğrinin azalan kısmı daha uzundur. Bu fark birinci ve ikinci derece kinetik mertebesine sahip tepeleri ayırt edebilmemizi sağlayan önemli bir özelliktir.



Şekil 2.9 I, birinci derece kinetiğe sahip, II, ikinci dereceden kinetiğe sahip örnekte elde edilen tepelerin şekli. İki eğri arasındaki büyük fark, eğrinin alçalan kısmında görülmektedir (Furetta vd. 1998)

$I(T)$ ' nin önce logaritmasını daha sonra türevini alıp sıfıra eşitlersek;

$$\frac{\beta E}{2kT_M^2} \left[ 1 + \frac{s' n_0}{\beta} \int_{T_0}^{T_M} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right] = s' n_0 \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad (2.13)$$

denklemini tepe sıcaklığına bağlı olarak elde edilir.

İkinci derece kinetiğin baskın olduğu durumlarda yeniden tuzaklanan elektronlardan kaynaklı gecikmeden dolayı  $T_M$  %1' lik bir derecele artış gösterir.

Tuzaklanmış elektronların serbest kalması  $T_M$  sıcaklığının altındaki sıcaklık değerlerinde gerçekleştiğinden ışık yayınımı,  $T_M$ ' nin altındaki sıcaklıklarda meydana gelir. Sabit bir  $E$  değeri için  $\beta$  arttırıldığında veya  $s'$  azaldığında  $T_M$  artmaktadır. Sabit bir  $\beta$  değeri için  $T_M$ ,  $E$  ile doğru orantılı bir sonuç verir (Furetta vd. 1998).

### 2.5.3 Genel mertebeden kinetik

Birinci ya da ikinci dereceden kinetiğin yetersiz olduğu durumlarda genel mertebeden kinetik süreci kullanılmaktadır. Bu süreç deneysel olarak çalışılır ve daha önce anlatılan mertebelerin orta durumu olarak tanımlanabilir. Genel mertebeden kinetikte de tuzakların tek tip olduğu yani enerji seviyelerinin aynı olduğu varsayılır. Tek bir enerji seviyesinde bulunan yük taşıyıcılarının sayısının ( $n$ ),  $n^b$  ile orantılı olduğunu düşünelim. Bu durumda tuzaklardan kurtulma olasılığı aşağıdaki eşitlik ile gösterilebilir (May vd. 1964; Ausin vd. 1972; Ward vd. 1972):

$$I(t) = \frac{dn}{dt} = -s'' n^b \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.14)$$

Burada,  $s''$ , ön-üssel faktördür.  $b$  ise genellikle 1 ve 2 arasında herhangi bir değer alır ve kinetik mertebesi olarak tanımlanır.  $s''$  ön-üssel faktörü,  $cm^{3(b-1)}s^{-1}$  boyutunda ifade edilir.  $s''$ 'nin boyutları  $b$  mertebesi ile değişir. Ayrıca,  $b=2$  olduğunda,  $s''$ ,  $s'$  'ne indirgenir.

$$n = n_0 \left[ 1 + s(b-1)t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \right]^{\frac{1}{1-b}} \quad (2.15)$$

Burada,  $s = s''n_0^{b-1}$  olarak ifade edilirken birimi de saniye<sup>-1</sup>'dir. Frekans faktörü olan  $s$ , verilen bir doz için sabittir fakat doz değiştirildiğinde  $s$  de değişir. Buna göre lineer bir ısıtma hızı ( $dT = \beta dt$ ) kullanılarak elde edilecek olan bir TL ışımaya eğrisinin şiddeti  $I(T)$  ışımaya şiddeti gibi verilebilir:

$$I(T) = sn_0 \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[ 1 + \frac{s(b-1)}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right]^{\frac{b}{b-1}} \quad (2.16)$$

Bu eşitlikte görüldüğü gibi burada verilen iki faktörün  $I(T)$ 'ye katkısı gözlenebilmelidir;

- $T$  ile sabit bir oranda artan üssel faktör,
- $T$  artarken azalan ve köşeli parantez içerisinde gösterilen faktör.

Yukarıdaki eşitlikte  $b=2$  olduğunda ikinci dereceden kinetik denklemi elde edilmiş olur. Fakat  $b=1$  durumu için bu denklem geçerli değildir. Ancak  $b \rightarrow 1$  için bu denklem birinci dereceden kinetik denkleme indirgenir. Bunların yanı sıra yukarıdaki eşitlik tamamen deneysel sonuçlarla türetilmiştir.

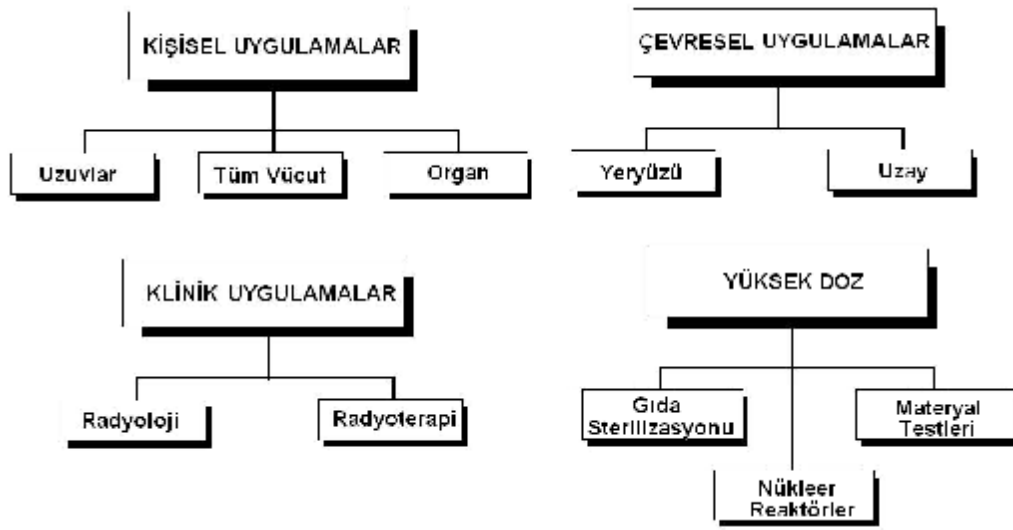
$$\frac{kT_M^2 bs}{\beta E} \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) = 1 + \frac{s(b-1)}{\beta} \int_{T_0}^{T_M} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \quad (2.17)$$

Sonuç olarak elde edilen ilginç sonuçlar vardır:

$n_0$  başlangıç yoğunluğuna bağlı değildir. Birinci dereceden tepelerin yüksekliklerinin ışınlama dozlarına bağlı olarak değişmesi beklenemez.  $b \neq 1$  olması durumunda ise (genel derece ve ikinci derece kinetik için),  $s$ ,  $n_0$ 'a bağlı olduğundan  $TM'$  nin uyarılma dozuna bağlı olarak değişmesi beklenir (Furetta vd. 1998).

## 2.6 Termolüminesans Dozimetri

Hangi dozimetrik malzemenin hangi uygulama için en iyi sonucu verdiğini anlamak için dozimetrik malzeme ile yapılan çalışmaların incelenmesi gerekir. Bu bölümde termolüminesans dozimetrelerinin (TLD) geniş anlamda kullanıldığı uygulama alanları incelenmektedir. Şekil 2.10' de bu ana uygulama alanlarının şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.10 TLD'lerin kullanıldığı Kişisel Dozimetri, Çevresel Dozimetri, Klinik Dozimetri ve Yüksek Doz Uygulamaları gibi genel alanların alt kategorileri ile birlikte gösterimi (McKeever vd. 1995)

### 2.6.1 Geriye dönük (retrospektif) dozimetre

Lüminesans yöntemleri ile tarihlendirme ve geriye dönük dozimetrenin temeli kuvars, feldspat gibi minerallerin lüminesans özelliklerinden yararlanarak, toplam soğrulan dozun ölçülmesine dayanır. Bu mineraller, çevremizde kil içeren kiremit, tuğla gibi fırınlanmış bina malzemelerinde bulunduğu gibi, rüzgâr veya sularla taşınmış tüm çökeltilerde, volkanik kayalarda belli oranlarda bulunurlar. Bu tür maddeler içinde

bulunan minerallerde, doğal çevre radyasyonundan kaynaklanan jeolojik devirlerden itibaren oluşan tuzaklanmış elektronlar, fırınlanma veya taşınma sırasında güneş ışığına maruz kaldıklarında tekrar kararlı hale dönüşürler.

İyonize radyasyon madde ile etkileştiğinde oluşan serbest elektronlar, mineral örgüsü içindeki safsızlıklar ve bozukluklardan ileri gelen yarı-kararlı enerji seviyelerinde tuzaklanırlar. Bu nedenle, tuzaklanan elektronların sayısı soğrulan doz ile orantılıdır. Tuzaklanan elektronlar, ısı veya ışık ile uyarıldıklarında ışık salar ve kararlı enerji seviyelerine inerler. Bu nedenle, bu tür mineraller pişirilme ve taşınma süreci sonunda birer dozimetre olarak kullanılabilirler (McKeever vd. 1995).

## **2.6.2 Kişisel dozimetri**

Kişisel dozimetre uygulamalarında radyasyon ile ilişkili işlerde çalışan personelin rutin uygulamalar sırasında maruz kaldığı radyasyon miktarının ölçülmesi birincil hedeftir. Nükleer reaktör çalışanları, hastanelerdeki radyoterapi teknisyenleri ve nükleer atıklar ile ilgilenen işçiler bu guruba örnek olarak verilebilir. Burada radyasyon dozunun ölçülmesindeki amaç bu personelin maruz kaldığı radyasyon dozunun önceden belirlenmiş limitlerin altında tutmaya çalışmaktır. Bu limitler Uluslararası Radyasyon Korunma Ajansı (ICRP) gibi ajanslar temel alınarak belirlenmektedir. Bu rutin doz belirleme uygulamasının yanı sıra radyoaktif kazalar sonucunda maruz kalınan radyasyon miktarının ölçülmesi de bu alana girmektedir. Tüm bu uygulamaların ana amacı her bireyin maruz kaldığı toplam radyasyon miktarının ICRP tarafından belirlenen ve izin verilen maksimum doz değerinin altında tutmaktır (McKeever vd. 1995).

Şekil 2.10' de belirtilen alt kategoriler aşağıdaki gibi açıklanabilir:



a) UzuV Dozimetresi: Eller, kollar ve bacaklar gibi insan vücudunun uzuvlarının maksimum eşdeğer doz miktarının kullanılmasında kullanılır.

b) Tüm Vücut Dozimetresi: İnsan vücudunun yüzeyinin altında yer alan organların içerisinde 1,0 cm derinliğindeki eşdeğer dozun hesaplanmasında kullanılır. Burada ilgilenilen konu etki gücü yüksek radyasyon tipleridir. Başka bir deyişle gama ışınları, X-ışınları (>15 keV) ve nötronlardır.

c) Doku Dozimetresi (deri dozimetresi): Birkaç milimetre derinlikteki soğurulan eşdeğer doz ile ilgilenir. Bu kategoride ise etki gücü düşük olan (örneğin beta parçacıkları ve enerjisi <15 keV olan X ışınları) radyasyon tipleri ile ilgilenilir.

Sonuç olarak, TLD' lerin yukarıda bahsedilen alanlarda kullanılmasındaki en büyük gereksinim organların maruz kaldıkları eşdeğer dozların hesaplanması olduğu açıkça söylenebilir. Bu alanların ilgilendiği doz aralığı  $\sim 10^{-5}$  Sv' ten  $10^{-1}$  Sv' e kadar değişmekle beraber dozun belirsizliği  $\pm \%10 - 20$  aralığında olmalıdır (McKeever vd. 1995).

### 2.6.3 Çevresel dozimetri

Son yıllarda bilim, sağlık, sanayi ve politik çevreler, toplumların insan yapımı radyasyon kaynaklarından ileri gelen çevresel felakete verdikleri tepkilerin artmasıyla, dikkatlerini bu konuya daha çok vermeye başlamışlardır. Dünyanın geniş bir kitlesinde, nükleer santrallerde yapılan çalışmalar sırasında gaz formundaki radyonüklitlerin günden güne kaçması, düşük seviyeli atıkların atılımı, nükleer yakıtların kullanımı, nükleer santral kazaları ve nükleer enerji endüstrisinin yapmış olduğu bazı aktiviteler sonucunda, bu çalışmaların olası çevresel zararları ile ilgili endişeler oluşmaya başlamıştır. Sonuçta çevresel radyasyon dozunun sürekli olarak ölçülmesi endüstrileşen ülkeler için önemli bir konu haline gelmiştir. Bu sebeple TLD' lerin çevresel radyasyonun ölçülmesindeki kullanımı önemlidir. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da nükleer santrallerin kurulmakta olduğu bölgelere radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi amacıyla TLD sistemleri yerleştirilmektedir.

Böyle bir çalışmada kullanılan TLD' lerin kişisel dozimetri alanında kullanılanlara göre performans kriterlerinin farklı olması gerekmektedir. Burada doku eşdeğer doz söz konusu değildir. Buna karşın, maruz kalınan doz seviyesinin düşük olması (doz eşdeğeri tipik olarak  $10^{-2}$  mSv civarındadır) uzun süren bir okuma zamanı gerektirir. Böylece kullanılacak olan TLD' lerin uzun süreler boyunca istikrarlı halde kalabilmesi yüksek orandaki hassasiyetlerini koruyabilmeleri oldukça önemlidir. Özellikle gama ışını yayan kaynaklar bu konuda üzerinde durulan ana kaynak tipleridir (McKeever vd. 1995).

Son zamanlardaki uzay uçuşlarının artması çevresel dozimetrenin bir alt kolu olan uzay dozimetrisine ilginin çoğalmasına yol açmıştır. Bu ilginin en büyük sebebi astronotların zararlı radyasyonla karşı karşıya kalmaları ve dolayısıyla maruz kalınan dozun ölçülmesinin gerekliliğidir. Ayrıca elektronik cihazların uzun süre boyunca radyasyona maruz kalmaları da bir diğer sebeptir. Çünkü bu cihazlar uzun süreli radyasyona maruz kaldıklarında sistemin çökmesine yol açacak kadar ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Uzaysal radyasyonun kaynağı, ana bileşeni daha çok yüksek enerjili fotonlardan oluşan galaktik kozmik ışınlar ve güneş rüzgârlarından gelen ağır yüklü parçacıklardır. Yüksek enerjili radyasyonların etkisinin hesaplanabilmesi için TLD' ler son zamanlarda birçok uçuşta kullanılmaya başlanmıştır (McKeever vd. 1995).

#### **2.6.4 Klinik dozimetri**

Son zamanlarda küçük boyuttaki TLD materyalleri teşhis ve tedavide oldukça sık kullanılmaya başlanmıştır. Bu TLD' ler teşhis ve/veya tedavi sırasında hastanın vücudunun üzerine yerleştirilerek maruz kaldıkları iyonize radyasyonun miktarının hesaplanması amacıyla sıkça kullanılmaktadır. Radyasyona maruz kalan TLD daha sonra hastadan alınarak ölçümleri yapılmaktadır. Bu sayede fizikçiler kritik iç organlara ulaşan gerçek doz miktarını hesaplayabilmekte ve böylece tedaviye yön verebilecek bilgiler edinmektedirler. Bu tarz bir uygulamanın diğer radyasyon dozimetre tipleri ile gerçekleştirilmesi oldukça zordur.

İnsanlar klinik radyasyona iki alanda maruz kalırlar; bunlardan birincisi teşhis amaçlı radyoloji (ör. mamografide, dişçilikte ve genel tanı amaçlı çekilen filmler sırasında X ışınına maruz kalırlar), ikincisi de radyoterapidir (değişik tiplerdeki birinci seviyeden kanser terapileri). Bu alanlarda kullanılan radyasyon tipleri X ışınları (maksimum 10 keV civarında), gama ışınları (137 Cs veya 60 Co kaynaklı), elektronlar (40 MeV' e kadar), ağır yüklü parçacıklar ve nötronlardır. Kullanılan doz oranları radyoloji için  $10^{-5}$  ile  $10^{-2}$  Gy arasında değişirken radyoterapide toplam doz olarak 20 Gy' e kadar radyasyon dozu kullanılmaktadır. Radyasyon terapisi için hesaplanan dozdaki hata oranı  $\pm \%3$ 'ten az olmalıdır. Aksi takdirde tedavi sürecinde sorunlar yaşanabilmektedir.

TLD materyallerinin bu alandaki kullanımı ile elde edilen doz doku eşdeğer dozdur. TLD' lerden beklenen canlı içerisinde doz ölçümünü yüksek hassasiyette gerçekleştirebilmeleri ve mümkün olduğunca küçük boyutlarda olmalarıdır. Ayrıca yukarıda belirtilen doz aralıklarında yüksek oranda lineer doz cevap eğrisine sahip olmaları da bu dozimetrelere beklenen bir diğer özelliktir (McKeever vd. 1995).

### **2.6.5 Yüksek doz**

TLD' lerin kullanıldığı bir diğer ana kategori ise yüksek doz oranlarındaki radyasyon miktarının (102 Gy' den 106 Gy' e kadar) ölçülmesidir. Yüksek doz uygulamalarına nükleer santrallerin içerisinde, gıdaların sterilizasyonunda veya malzeme testlerinde rastlamamız mümkündür (Şekil 2.10). Geleneksel TLD' lerin bu doz aralıklarında kullanılması bazı limitlerden dolayı zor olabilir. Bu limitler kullanılan malzemenin doygunluğa ulaştığı doz miktarı ile paraleldir. Bu alanda kullanılan TLD materyallerinin (ör. LiF: Mg, Ti) özellikle yüksek sıcaklık tepeleri kullanılmaktadır. Çünkü bu yüksek sıcaklık tepelerinin daha yüksek dozlarda doygunluğa ulaştığı görülmektedir. Alternatif olarak bazı araştırmacılar, TLD materyalinin okuma öncesi yüksek dozlara maruz bırakılması ile (radyoaktif hasar) doz hassasiyetlerinin azalacağını ve böylece bu özelliğin kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak TLD' lerin böyle yüksek uç noktadaki dozların bulunduğu ortamlarda kullanılabilirliği amacıyla sahip olmaları gereken özellikler biraz karmaşık olabilmektedir (McKeever vd. 1995).

### **2.6.6 Tuzak parametrelerinin hesaplanması ile ilgili yöntemler**

Tuzak parametrelerinin hesaplanması ile ilgili çalışmalar son yarım yüz yıldır önemli bir çalışma alanı olmuştur. Bu çalışmalar sonucunda ışıma eğrilerinin kullanılarak tuzak parametrelerinin bulunması ile ilgili birçok metot geliştirilmiştir (Randal vd. 1945; Chen vd. 1997; Chen vd. 1970; Chen, 1969; Grossweiner, 1953). Bir ışıma eğrisinde yer alan bir tepe diğer tepelerden belirgin bir şekilde ayrıştırılabiliyorsa, Tepe Şekli Yöntemi, İzotermal Sönüm Yöntemi, Başlangıçtaki Artış Yöntemi ve Farklı Isıtma Hızları yöntemi gibi deneysel metotlar tuzak parametrelerinin hesabında kullanılabilir. Fakat birçok dozimetrik malzeme için, elde edilen TL ışıma eğrileri birden çok tepenin üst üste binmesiyle oluşabilmektedir. Böyle bir durumda, tuzak parametrelerin elde edilmesinde temel olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi ısısal yolla kısmi temizleme yöntemi ve ikincisi de bilgisayarla ışıma eğrisi ayrıştırma (CGCD) yöntemidir. Fakat çoğu zaman ısısal yolla kısmi temizleme yönteminin kullanımıyla diğer tepelerin katkısını yok ederek, ilgilenilen tepenin tamamen izole hale getirilmesi oldukça zordur. Bu yüzden bilgisayarlı ışıma eğrisi ayrıştırma programı, TL ışıma eğrilerinin kullanılarak tuzak parametrelerinin elde edilmesinde kullanılan ve son zamanlarda oldukça popüler olan bir yöntem haline gelmiştir (Bunghkhardt vd. 1977). Yukarıda bahsedilen ve tuzak parametrelerinin hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan bazı metotlar ile ilgili ayrıntılı bilgi aşağıda yer almaktadır.

### **2.6.7 Kesikli artış yöntemi (fractional glow teknik)**

Kesikli artış yöntemi tuzak derinliklerinin belirlenmesinde tuzak aktivasyon enerjilerinin hesaplanmasında kullanılan bir yöntemdir. Deneysel ve analiz yöntemi olarak çok zor hesaplanan bu yöntem Gobrecht ve Hofmann tarafından geliştirilmiştir. Yöntem, küçük sıcaklık salınımları için o sıcaklıkta meydana gelen şiddetlerin değişimleri sayesinde tuzakların ortalama derinliklerinin belirlenmesinde kullanılır.

Kesikli artış yönteminin kesikli denmesinin nedeni sıcaklıkları kesik kesik örneklerle uygulamaktan dolayı kaynaklanmaktadır. Kesikli verilen sıcaklıklara karşın o sıcaklıktaki şiddet değerlerinin  $\ln'$  i alınıp  $1/kT'$  ye karşı grafiği çizildiğinde elde edilen eğrinin eğimi o sıcaklıktaki tuzak aktivasyon enerjisini verir (Gobrecht vd. 1965).

### 2.6.8 Tepe şekli yöntemi

Aktivasyon enerjisi  $E'$  nin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden biri Tepe Şekli yöntemidir. Bu yöntemde  $E'$  nin hesaplanmasında ışıma eğrisindeki tepenin şeklinden faydalanılarak elde edilen parametreler kullanılmaktadır. Şekil parametreleri olarak bilinen bu parametreler tepenin maksimum noktasının sıcaklığı olan  $T_m$ , maksimum şiddetin yarı değerindeki genişlik  $w=T_2-T_1$ , maksimumun yüksek sıcaklık tarafındaki yarı genişlik değeri  $d=T_2-T_m$ , maksimumun düşük sıcaklık tarafındaki yarı genişlik değeri  $t = T_m-T_1$  ve simetri faktörü  $\mu g = d/w'$  dir.

TL eğrisinin kinetik merteye ( $b$ ) değeri tepenin şeklinden tahmin edilebilir. Fakat bu yöntemde dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta aktivasyon enerjisi hesaplanacak olan tepenin üst üste binmiş tepelerden oluşmamasının gerekmesidir. Başka bir deyişle bu yöntem sadece tek bir tepe için kullanılabilir. Chen (1969) çalışmasında, simetri faktörü  $\mu g'$  nin aktivasyon enerjisi  $E$  ve frekans faktörü  $s'$  nin değişimine duyarlı olmadığını fakat kinetik merteye bağlı olarak değiştiğini bulmuştur. Örneğin lineer olarak ısıtılması koşuluyla  $\mu g'$  nin değerinin  $b=1$  için 0.42' den  $b=2$  için 0.52' ye kadar değiştiği gösterilmiştir.

Tepe Şekli Yöntemi ilk olarak Grossweiner (1953) tarafından geliştirilmiştir. Ardından Chen (1969)  $E$  değerini hesaplayabilmek amacıyla Halperin ve Braner'in (1960) denklemini geliştirmiştir;

$$E_{\tau} = [1.51 + 3(\mu_g - 0.42)] \frac{kT_m^2}{\tau} - [1.58 + 4.2(\mu_g - 0.42)] 2kT_m \quad (2.18)$$

$$E_{\delta} = [0.976 + 7.3(\mu_g - 0.42)] \frac{kT_m^2}{\delta} \quad (2.19)$$

$$E_{\omega} = [2.52 + 10.2(\mu_g - 0.42)] \frac{kT_m^2}{\omega} - 2kT_m \quad (2.20)$$

Burada  $t E$ ,  $d E$  ve  $w E$  sırasıyla  $t$ ,  $d$ , ve  $w$  değerlerinin kullanılmasıyla elde edilen aktivasyon enerjileridir. Bir tepenin ortalama enerjisi bu  $t E$ ,  $d E$  ve  $w E$  değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Tepe Şekli Yöntemiyle herhangi bir tepenin aktivasyon enerjisinin ve kinetik mertebenin değeri hesaplanırsa frekans faktörü  $s'$  nin değeri hesaplanabilir. Bu amaçla birinci dereceden kinetik için denklem ve genel derece kinetik için kullanılarak aşağıdaki eşitlik bulunabilir.

$$s = \frac{\beta E}{kT_m^2} \left[ \exp\left(-\frac{E}{kT_m}\right) \left(1 + (b-1) \frac{2kT_m}{E}\right) \right]^{\frac{b}{b-1}} \quad (2.21)$$

Burada Tepe Şekli Yöntemi ile herhangi bir tepe için bulunan  $E$  ve  $b$  değerleri yerlerine konarak frekans faktörü rahatlıkla hesaplanabilir.

### 2.6.9 İzotermal sönüm yöntemi

İzotermal Sönüm Yöntemi tuzak parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan farklı bir yöntemdir. Bu yöntemde TL okuması sırasında belli bir noktada sıcaklık sabit tutulur ve ışık yayılımı zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir. Genel olarak izotermal sönüm yönteminde aşağıdaki 1. dereceden denklem sabit  $T$  sıcaklığı için çözümlenebilir;

$$I(t) = -c \frac{dn}{dt} = c \frac{n_0}{\tau} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (2.22)$$

İzotermal Sönüm Yöntemi daha yüksek kinetik mertebeye sahip eğriler için kullanışlı değildir. Kathuria ve Sunta (1979) tarafından kinetik derece değeri  $b'$  nin termolüminesansın izotermal sönümünden faydalanılarak hesaplanabileceği bir metod önerilmiştir. Bu metoda göre eğer sönüm eğrisi örneğin sabit sıcaklıkta tutulmasıyla elde edilmişse, seçilen uygun  $b$  değerleri için  $I^{(1/b-1)}$  in  $t$  ye göre grafiği düz bir çizgi verecektir. Böylece düz bir çizgi elde edene kadar farklı kinetik derece değerleri denendiğinde tepenin sahip olduğu  $b$  değeri bulunmuş olur (Nur 2010).

#### **2.6.10 Bilgisayarla ışıma eğrisi ayrıştırma (CGCD yöntemi)**

Bilgisayarla ışıma eğrisi ayrıştırma yönteminin diğer deneysel metotlara göre avantajı üst üste gelmiş karmaşık tepelerin ısısal işleme ihtiyaç duymadan ayrıştırılabilmesidir. Bu ayrıştırma yöntem analizinde iki farklı CGCD programı kullanılmaktadır. Birincisi Tamtam adı verilen ve Hollanda'da bulunan Delft Reaktör Enstitüsü'nde geliştirilen bir programdır (Bos vd. 1993). İkinci program ise Glowfit adı verilen ve Puchalska ve Bilski (2006) tarafından geliştirilen ve 1. dereceden tepelerin ayrıştırılmasında oldukça başarılı bir programdır. Her iki program da bir ışıma eğrisini dokuza kadar alt tepelerine aynı anda başarılı bir şekilde ayırabilmektedir. Tamtam programı ile Glowfit programının arasındaki temel fark, Tamtam programı ile hem birinci dereceden hem de genel dereceden kinetiğe sahip TL eğrileri ayrıştırılabilmesi mümkünken GlowFit programı ise sadece 1. dereceden kinetiğe sahip TL eğrilerinin ayrıştırılmasında kullanılabilir. Fakat Tamtam programı MSDOS ortamında çalışan bir programdır ve eğrilerin ayrıştırılması için daha çok çaba ve zaman gerekmektedir (Nur 2010).

GlowFit programı ise Microsoft Windows tabanlı bir program olup ara yüz programına sahip olup bu sayede bize rahat bir kullanım sunmakta ve böylece eğrilerin ayrıştırılması oldukça hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. CGCD yönteminde genel olarak iki farklı model kullanılabilir. Birinci modelde ışımaya eğrisi aşağıdaki denklem kullanılarak birinci derece kinetiğe sahip bir eğriye yaklaştırılmaktadır. Bu denklem:

$$I(T) = n_0 s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left[\left(-\frac{s}{\beta} \frac{kT^2}{E} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) * (0.9920 - 1.620 \frac{kT}{E})\right)\right] \quad (2.23)$$

şeklinde verilmektedir. Burada  $n_0$  ( $m^{-3}$ )  $t=0$  anındaki tuzaklanmış elektron yoğunluğu,  $s$  ( $s^{-1}$ ) birinci dereceden kinetik için frekans faktörü,  $E$  (eV) aktivasyon enerjisi,  $T$  (K) sıcaklık,  $k$  (eV/K) Boltzmann sabiti ve  $\beta$  ( $^{\circ}C / s$ ) ısıtma hızıdır. İkinci modelde ise ışımaya eğrisi, genel derece kinetik mertebesine sahip bir eğriye aşağıdaki denklemin kullanımı ile yaklaştırılır;

$$I(T) = n_0 s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \left(-\frac{(b-1)s}{\beta} \frac{kT^2}{E} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) * (0.9920 - 1.620 \frac{kT}{E})\right)^{\frac{b}{b-1}}\right] \quad (2.24)$$

Burada  $n_0$  ( $m^{-3}$ )  $t=0$  anındaki tuzaklanmış elektron yoğunluğu,  $s$  ( $s^{-1}$ ) ön-üssel faktör,  $E$  (eV) aktivasyon enerjisi,  $T$  (K) sıcaklık,  $k$  (eV/K) Boltzmann sabiti,  $\beta$  ( $^{\circ}C / s$ ) ısıtma hızı ve  $b$  kinetik mertebedir. Görülen tepelerin toplamı ve artalan sinyallerinin katkısı aşağıda verilen bileşik ışımaya eğrisi denklemine indirgenebilir;

$$I(T) = \sum_{i=1}^n I_i(T) + a + b \exp(T) \quad (2.25)$$

Burada  $I(T)$  fit edilmiş toplam ışımaya eğrisi,  $a$  örneğin elektronik gürültü katkısını ve fon sinyalinin katkısını verir (Nur 2010).



Yukarıdaki denklemde, en küçük kare yaklaşım prosedürü ve ayrıca değer katsayısı (FOM) kullanılarak fit sonuçlarının iyi olup olmadığı kontrol edilmektedir. Başka bir deyişle,

$$FOM = \sum_{i=1}^n \frac{|N_i(T) - I(T)|}{A} = \sum_{i=1}^n \frac{|\Delta N_i|}{A} \quad (2.26)$$

burada  $N_i(T)$  i. deneysel veri noktası (toplam n=350 veri noktası),  $I(T)$  i. fit edilmiş nokta, ve A da fit edilmiş ışımaya eğrisinin altında kalan toplam alanıdır. Birçok deneme sonucunda (Mahesh vd. 1989; Hsu vd. 1986) görülmüştür ki, eğer FOM değeri %0,0 ile %2,5 arasında ise eğri iyi fit edilmiştir, %2,5 ile %3,5 arasında ise fit doğrudur ve >%3,5 ise fit kötüdür denilebilir (Nur 2010).

Deneysel olarak elde edilen TL ışımaya eğrisi ile programın yaklaşım yöntemi sonucu elde ettiği eğrinin birbiri ile uyumluluğunu grafiksel olarak gösterebilmek için program ayrıca şu fonksiyonu çizmektedir,

$$X(T) = \frac{N_i(T) - I_i(T)}{\sqrt{I_i(T)}} \quad (2.27)$$

bu denklem beklenen değeri 0 olan normal bir değişkendir ve  $\delta^2(T)=I_i(T)$  olduğunda  $\delta=1$ 'dir.

### 2.6.11 Farklı ısıtma hızları yöntemi

Termolüminesansta (TL) ışımaya eğrisi bazı deneysel parametrelerden etkilenmektedir. Işıma eğrisinin şeklini değiştiren ısıtma hızı bu deneysel değişkenler arasında oldukça

önemli bir yere sahiptir (Ogundare vd. 2005). TL dozimetresinde soğurulan doz ve buna bağlı olarak elde edilen TL şiddeti ısıtma hızının değişiminden etkilenmektedir (Betts vd. 1993; Taylor vd. 1982). Bilim adamları tarafından birçok araştırma yapılarak farklı ısıtma hızlarında TL ışınma eğrisindeki değişikliklerin sebepleri araştırılmıştır. Taylor ve Lilley (1982) farklı ısıtma hızlarına bağlı olarak meydana gelen ışınma şiddetindeki değişikliklerin tuzak parametreleri arasında yer alan  $E$  (tuzak derinliği) ve  $s'$  nin (frekans faktörü) hesaplanmasında kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Yapılan birçok araştırmanın sonucunda ısıtma hızının artmasıyla TL şiddetinin azaldığı gözlenmiştir (Spooner vd. 2002). Bu olgu, sıcaklığın artışıyla etkinliği artan termal sönüm ile bağlantılı olarak açıklanmıştır. Lüminesansın termal sönümü olgusu lüminesans etkinliğinin sıcaklığın artmasına bağlı olarak azalması olayıdır (Nur 2010).

Termal sönümü açıklayabilmek amacıyla, aşağıdaki lüminesans verimliliği denklemi kullanılabilir (Spooner vd. 2002).

$$\eta = [1 + C \exp(-W / kT)]^{-1} \quad (2.28)$$

burada  $W$  termal sönüme bağlı olarak lüminesans verimliliğinin aktivasyon enerjisi,  $k$  Boltzmann sabiti,  $T$  (K) sıcaklık ve  $C$  bir sabittir. Ayrıca toplam TL şiddetinin Napierian logaritması şu şekilde yazılabilir;

$$\ln(\text{toplaml TL}) = (W / k)T_m^{-1} + F \quad (2.29)$$

burada  $F$  ısıtma hızından bağımsız bir sabit ve  $T_m$  maksimum tepe sıcaklığıdır. Böylece  $\ln(\text{toplaml TL})$ ' in  $1/T_m$ ' ye karşı grafiği çizilecek olursa  $W/k$  değeri eğimden bulunabilir. TL tepesinin sıcaklığı ısıtma hızının artmasıyla daha yüksek sıcaklıklara doğru kaymaktadır. Böylece düşük ısıtma hızlarında TL tepesi termal sönümün minimum olduğu bölgede gözlenirken, yüksek ısıtma hızlarında tepe termal sönümün güçlü olduğu noktada gözlenebilir (Nanjundaswamy vd. 2002). Barkani-Krachi vd. (2002) ısıtma hızının TL cevabına etkisi üzerine çalışmalar yapmışlar ve ısıtma hızının artmasıyla TL cevabının azaldığını göstermişlerdir. Ayrıca TL duyarlılığındaki bu azalmanın Mott-Seitz teorisinin kullanılmasıyla iyi bir şekilde açıklanabileceğini belirtmişlerdir. Hornyak vd. (1992) bu konu üzerinde incelemeler yapmış ve en düşük ısıtma hızından en yüksek ısıtma hızına doğru gidildikçe tepe sıcaklığının yaklaşık 42

°C kaydığını göstermiştir. Bunun yanı sıra ısıtma hızının artmasıyla TL şiddetinin kademeli olarak azaldığını gözlemlemiştirler. Bu azalma 0,5 °C/s ile 4 °C/s arasındaki ısıtma hızları için büyük olasılıkla termal sönüme bağlı olarak %8 civarındadır. Deneyler sırasında ölçülen sıcaklık ile örnek sıcaklığı, örnek ile ısıtıcı arasındaki temasa göre değişen termal gecikmeye bağlı olarak, birbirinden farklı olabilmektedir. Bu yüzden örnekte termal gecikmeyle beraber sıcaklıkta lineer bir artış meydana gelir ve böylece ışıma eğrisinden okunan  $T_m$  değeri gerçek değerinden sistematik olarak düşük olur. Sonuçta örnek kalınlığının, özellikle yüksek ısıtma hızlarında, sıcaklığın kademeli olarak artışı ve termal gecikme üzerinde önemli etkileri vardır (Kıyak vd. 2002). Aktivasyon enerjisinin hesaplanmasında kullanılan bir diğer önemli yöntemlerden biri Farklı Isıtma Hızları Yöntemidir. Eğer bir örnek  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  gibi iki farklı ısıtma hızları ile ısıtılırsa tepelerin maksimum sıcaklıkları değişecektir. Aşağıdaki denklem ısıtma hızı  $\beta$ , aktivasyon enerjisi  $E$ , frekans faktörü  $s$  ve maksimum şiddete karşılık gelen sıcaklık  $T_m$  arasındaki bağıntıyı vermektedir (Nur 2010).

$$\frac{\beta E}{kT_m} = s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.30)$$

Burada  $k$  Boltzmann sabitidir. Bu denklem her ısıtma hızı için yazılabilir.  $\beta_1$  (ve  $T_{m1}$ ) değerleri yazılarak elde edilen denklem ile  $\beta_2$  (ve  $T_{m2}$ ) yazılarak elde edilen denklemin oranı alınıp yeniden düzenlendiğinde,  $E$ ' nin hesaplanabilmesi için aşağıdaki basitleştirilmiş eşitlik elde edilebilir.

$$E = k \frac{T_{m1} T_{m2}}{T_{m1} - T_{m2}} \ln\left[\left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right) \left(\frac{T_{m2}}{T_{m1}}\right)^2\right] \quad (2.31)$$

Burada  $T_{m1}$  ve  $T_{m2}$  farklı iki ısıtma hızı kullanılarak ( $\beta_1$  ve  $\beta_2$ ) elde edilen tepe sıcaklıklarıdır. Farklı Isıtma Hızları Yönteminin en önemli avantajı sadece tepe

maksimum noktasındaki verilerin  $(T_m, I_m)$  alınmasının yeterli olmasıdır. Çünkü bu değerler geniş bir tepenin daha küçük tepelerle çevirili olması durumunda bile ısıma eğrisinden rahatlıkla ve doğru bir şekilde alınabilirler. Ayrıca bu yöntemin bir diğer avantajı da  $E$ 'nin hesaplanması sırasında, Başlangıçtaki Artış Yönteminde etki gösteren termal sönüm sorunu gibi bir sorundan etkilenmemesidir. Birinci dereceden kinetik için farklı ısıtma hızları kullanıldığında eşitlik 2.32 elde edilmektedir:

$$\ln\left(\frac{T_m^2}{\beta}\right) = \left(\frac{E}{k}\right)\left(\frac{1}{T_m}\right) + \text{sabit} \quad (2.32)$$

Eğer  $\ln((T_m^2 / \beta)$  nin  $(1/T_m)$ 'ye karşı grafiği çizilirse eğimi  $E/k$  olan bir düz eğri elde etmemiz gerekir ve bu eğim kullanılarak  $E$  değeri rahatlıkla hesaplanabilir. Ayrıca  $1/T_m=0$  noktasındaki değer kullanılacak olursa  $\ln(sk/E)$  denklemi için bir değer bulunmuş olur ve eğimden elde edilen  $E/k$  değeri burada yerine konacak olursa  $s$  frekans faktörü de hesaplanmış olur.

### 2.6.12 Doz cevabı

İdeal dozimetrik bir malzeme geniş bir doz aralığında lineer bir doz cevabına sahip olmalıdır. Buna karşın birçok dozimetre materyalinde değişik etkilerden dolayı lineer olmayan eğriler gözlenir. Normal şartlarda bir dozimetrik malzemedan elde edilen doz cevap eğrisinde dozun artması ile beraber lineer, supralineer ve sublineer (doygunluk) bölgelere rastlanır. Normalize edilmiş doz cevap fonksiyonu (veya supralineerlik indeksi)  $f(D)$  aşağıdaki denklem ile verilebilir:

$$f(D) = \frac{(F(D)/D)}{(F(D_1)/D_1)} \quad (2.33)$$

burada  $F(D)$  herhangi bir  $D$  dozuna karşılık gelen doz cevabıdır ve  $F(D_1)$  ise daha düşük bir  $D_1$  doz değerine karşılık gelen doz cevabıdır. Böylece ideal bir dozimetre için geniş bir bölgede (ör.  $D=0$  Gy' den birkaç MGy' e kadar)  $f(D)=1$  olması beklenir. Fakat birçok TLD materyalinde  $f(D)=1$  şartı sadece dar bir doz aralığında (birkaç Gy' e kadar) sağlanmaktadır. Burada genellikle gözlenen, supralineerlik yani  $f(D)>1$  olduğu durumdur. Sublineerlik ise daha çok doyunluğa ulaşılırken gözlenmekte olup  $f(D)<1$  olarak tanımlanabilir (McKeever vd. 1995).

### 2.6.13 Enerji cevabı

Enerji cevabı soğurulan dozun enerjisinin değişimine bağlı olarak, aynı doz oranı için farklı TL şiddeti elde edilmesi olayıdır. Dolayısıyla birçok dozimetrik malzeme için, aynı doz miktarı fakat farklı radyasyon kaynakları ile örneğin ışınlaması sonucu elde edilecek olan TL ışıma şiddeti farklı olabilmektedir. Söz gelimi beta ve gama kaynakları kullanılarak aynı miktarda doz verilmiş örnekte farklı tepe yüksekliklerine sahip TL ışıma eğrileri elde edilebilir. Çünkü radyasyon kaynağından ileri gelen enerjinin soğurulması ve bunun sonucunda elde edilen TL şiddeti ilgili süreçler enerji bağımlıdır. Birçok materyal için 15 keV' un altında fotoelektrik olay baskındır. Daha yüksek enerjilerde ise ( 10 MeV' a kadar) düşük  $Z_{etkin}$  (etkin atom numarası) değerine sahip materyaller için Compton saçılması baskındır. Buna karşın yüksek  $Z_{etkin}$  değere sahip materyallerde fotoelektrik olay 100 keV' a kadar baskın olmaya devam etmektedir (McKeever vd. 1995). Enerji cevabı, sabit bir doz için ölçülen TL şiddetinin soğurulan enerjinin fonksiyonu cinsinden değişmesi olarak tanımlanabilir. Bu değişim materyalin soğurma katsayısından kaynaklanmaktadır. Eğer foton ile ışınlama söz konusu ise soğurma katsayısı, materyalin kütle enerji soğurma katsayısı olarak adlandırılır ve kısaca  $\mu_{en}/\rho$  olarak gösterilir. Böylece foton enerji cevabı  $S_E(E)$ ;

$$S_E(E) = \frac{(\mu_{en} / \rho)_m}{(\mu_{en} / \rho)_{ref}} \quad (2.34)$$

olarak tanımlanır. Denklemden yer alan alt indisler TLD materyalini ve bir referans materyalini (normalde hava) temsil etmektedir. Bileşikler için soğurma katsayısı ise;

$$(\mu_{en} / \rho) = \sum_i (\mu_{en} / \rho)_i W_i \quad (2.35)$$

olarak gösterilebilir. Burada  $W_i$  i. elementin ağırlıkça kesridir. Fotonların sahip olduğu enerji çift oluşumu, Compton saçılması veya fotoelektrik olayı süreçleri ile sınırlanmaktadır. Yukarıda da bahsedildiği gibi bu süreçlerden hangisinin baskın olacağı sadece fotonun enerjisine değil aynı zamanda materyalin etkin atom numarasına da ( $Z_{etkin}$ ) bağlıdır. Dolayısıyla kütle soğurma katsayısının fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu süreçlerine bağlı olan bileşenleri bulunmaktadır. Bu bileşenlerden ilki olan fotoelektrik bileşeni yaklaşık olarak  $Z_{etkin}^3$  ile değişmektedir. Compton bileşeni ise  $Z_{etkin}/M$  (M burada TLD materyalinin molar kütesidir) ile doğru orantılı olarak değişmekte iken çift oluşumu bileşeni de  $Z_{etkin}^2$  ile değişmektedir. Fotoelektrik etkileşimleri düşük enerjilerde baskınken, Compton olayı enerjinin artmasıyla beraber baskın hale gelir. Çift oluşumu ise sadece yüksek enerjilerde önemlidir ( $E > \text{birkaç MeV}$ ). Bu süreçlerin kesin olarak hangi enerji değerlerinde baskın olacağı  $Z_{etkin}$  değeri tarafından belirlenmektedir. Düşük etkin atom numarasına sahip materyaller,  $\sim 25 \text{ keV}$ ' tan  $10 \text{ MeV}$ ' a kadar enerjilere sahip fotonlarla ışınladıklarında Compton saçılması enerjinin sınırlanma mekanizmasındaki en baskın süreç olmaktadır (McKee vd. 1995).

Foton enerji cevabının pratikte kullanılabilmesi için Bağlı Enerji Cevabı'nın (RER) tanımlanması gerekir. Bu Bağlı Enerji Cevabı bir  $^{60}\text{Co}$  kaynağından yayılan  $1,25 \text{ MeV}$ ' luk enerjiye sahip fotonlar temel alınarak tanımlanmaktadır;

$$(RER)_E = \frac{S_E(E)}{S_E(1.25 \text{ MeV}^{60}\text{Co})} \quad (2.36)$$

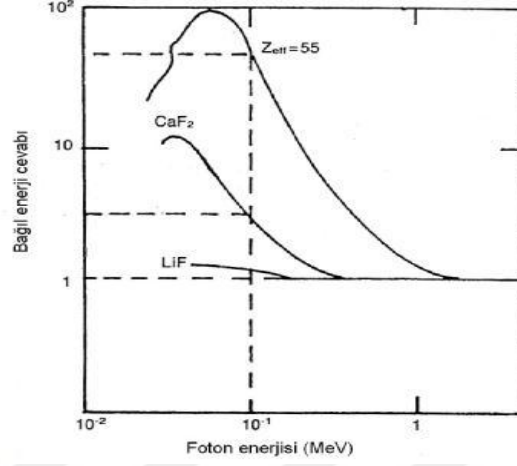
LiF ve CaF<sub>2</sub> ve  $Z_{\text{etkin}}=55$  olan bir materyal için teorik olarak elde edilmiş  $(\text{RER})_E$ ' nin E ye karşı çizilmiş bir grafiği Şekil 2.11' te verilmektedir. Normal şartlarda tercih edilen, enerji cevabının bu grafikte düz bir çizgi şeklinde gözlenmesidir. Bu sebeple düşük  $Z_{\text{etkin}}$  değerine sahip materyallerin tercih edilmeleri gerektiği açıkça görülmektedir. Bilindiği gibi TLD uygulamalarının en önemli amaçlarından biri insan dokusu tarafından soğurulan dozun hesaplanmasıdır. Bu sebeple TLD materyalinin doku eşdeğeri (başka bir deyişle  $Z_{\text{etkin}}= 7,4$ ) olması arzulanan bir durumdur. Örneğin lityum borat bu materyallerden biridir. LiF ise  $Z_{\text{etkin}} = 8,14$  değeri ile neredeyse doku eşdeğeridir. Herhangi bir materyalin etkin atom numarasını ( $Z_{\text{eff}}$ ) hesaplayabilmek için aşağıdaki denklem kullanılabilir;

$$Z_{\text{etkin}} = \sqrt[2.94]{f_1(Z_1)^{2.94} + f_2(Z_2)^{2.94} + f_3(Z_3)^{2.94} + \dots} \quad (2.37)$$

burada  $f_n$  her elementin sahip olduğu elektron sayısının toplam elektron sayısına bölünmesiyle elde edilen kesir ve  $Z_n$  ise her bir elementin atom numarasıdır. Böylece herhangi bir dozimetrik materyalin etkin atom numarası bu formül kullanılarak hesaplanabilir.

TLD materyalinin  $\beta$  parçacıkları için göstermiş oldukları enerji cevabı daha karmaşıktır. Yüklü parçacıklar enerjilerini, birçok çarpışma ve ışımayla sonuçlanan etkileşimler sonucunda, küçük basamaklarla kaybederler. Buradaki en önemli parametre durdurma gücüdür, yani  $dE/dx|_{E,Z_{\text{etkin}}}$  (x, materyal içerisindeki mesafedir). Görüldüğü gibi fotonlar için olduğu gibi beta parçacıklarının etkileşiminde de materyalin etkin atom numarası önemli bir rol oynamaktadır. Bir materyal için, durdurma gücü enerji bağımlı olduğundan, elektronun materyal içerisine nüfuz etme menzilineki değişim  $\beta$  parçacığının enerjisine bağlıdır. Dolayısıyla TLD materyalinin kalınlığı  $\beta$  parçacığının menziline küçük ise soğurulan doz ve buna bağlı olarak elde edilen TL sinyali yine enerjiye bağlı olarak değişecektir. Genel olarak  $\beta$  parçacığının enerjisinin artmasıyla TL cevabında artış gözlenmektedir.  $\beta$  parçacığının enerjisi materyalin kalınlığını aşmasına yetecek seviyeye geldiğinde TL cevabındaki artış sabitlenmektedir. Bu

sebeple  $\beta$  parçacığı TLD' leri, 5-30 mg.cm<sup>-2</sup> kalınlığa sahip olacak şekilde ince materyaller kullanılarak üretilmektedir (McKeever vd. 1995).



Şekil 2.11 LiF ( $Z_{\text{etkin}}=8.14$ ) ve CaF<sub>2</sub> ( $Z_{\text{etkin}}=16.3$ ) ve  $Z_{\text{etkin}}=55$  olan bir materyal için teorik olarak elde edilmiş bağıl foton enerji cevabı (referans materyali olarak hava kullanılmıştır) (McKeever vd. 1995)

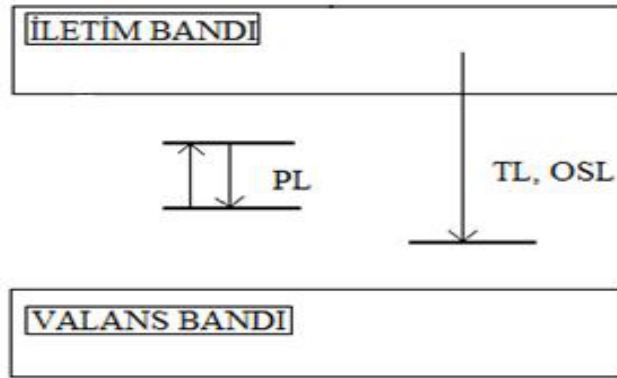
## 2.7 Optiksel Uyarımlı Lüminesans (OSL)

Optiksel uyarılma ile lüminesans (OSL), ışınlanmış bir yalıtkan veya yarı iletkenin ışığa maruz kalma süresince yayımlanan ışımadır. OSL şiddeti örnek tarafından soğurulan radyasyon dozunun bir fonksiyonudur ve radyasyon dozimetresi metodunun temelini oluşturur. Valans bandındaki elektronların iyonlaşması ve elektron/deşik çiftlerinin yaratılmasına neden olan ışınlama ile süreç başlar. Örnek içerisinde önceden var olan kusurlar ışımsız tuzak geçişleri boyunca serbest elektron ve deşikleri tuzaklar. Radyasyon ile ışınlanmış bir örneğin ışık ile uyarılması sonucu tuzaklanmış olan elektronların serbest kalarak iletim bandına geçişi sağlanır. Serbest elektronların lokalize olmuş deşiklerle yeniden birleşmesi ışımalı yayılım ve lüminesans ile sonuçlanır. Bu OSL sinyalidir ve sinyalin şiddeti soğurulan radyasyon dozu ile orantılıdır (Doğan 2010).



OSL sinyalleri genellikle fotoiletkenlik olayı olarak anılır. Fotoiletkenlik bir maddenin morötesi ışığı, elektromanyetik ışınım ve dalga boyuna göre çeşitli sınıflara ayrılır. Bunlar, en uzun dalga boyundan en kisasına doğru radyo, mikrodalga, kızılötesi, görünür, morötesi X-ışını ve gama ışınımıdır. Dalga boyu arttıkça, ışınımın enerjisi azalır. Başka bir deyişle Fotoiletkenlik, gama ışınları veya görünür ışık gibi elektromanyetik ışınımı soğurarak elektrik iletkenliğinin değişmesine verilen isimdir. Bir yarı iletkenin fotoiletken olması için serbest elektronlar ve deşikler içermesi gerekir. Işık yarı iletken tarafından soğurulduğunda deşikler ve serbest elektronların dağılımı değişir ve elektrik iletkenliğini artırır (Doğan 2010).

OSL, fotolüminesans olayı ile karıştırılmamalıdır. OSL, örnek tarafından soğurulan iyonize radyasyon dozu ile ortaya çıkan sinyalle orantılıyken fotolüminesans (PL), genellikle örneğin iyonize radyasyona maruz kalmasına bağlı değildir (Şekil 2.12). PL örnek içindeki kristal kusurundaki elektronun ışık soğurarak taban seviyesinden uyarılmış seviyeye yükseltgenmesi ile sonuçlanır. Taban seviyesine geri dönüş şiddeti uyarılmış kusurların yoğunluğu ile orantılı ışımaya şiddeti ile sonuçlanır. Kusurdan elektronun iyonlaşması genellikle meydana gelmez ve bu durumla ilgili fotoiletkenlik durumu da meydana gelmez. Bu mekanizmanın sonucu olarak yayılan ışımaya dalga boyu uyarılma ışığının dalga boyundan daha uzundur (Stoke kayması).



Şekil 2.12 Optiksel uyarma olayının şematik gösterimi. Uyarma olayının tipi aynı değilse de PL de bu kategoride gösterilir (Bøtter-Jensen vd. 2003)

Arkeolojik ve jeolojik materyaller tarafından soğurulan radyasyon dozunun hesaplanmasında OSL oldukça popülerdir. Bu yöntemde hedef örnekler (doğal kuvars tanecikleri ve/veya feldispatlar) uygun dalga boyu ve yoğunluktaki ışık kaynağı ile ışığa maruz bırakılır. Son yıllarda optiksel tarihlendirme hem sedimentlere hem de ısıtılmış kuvarslara başarı ile uygulanmaktadır. İyonize radyasyona maruz kalan kuvars tanecikleri mavi veya yeşil ışığa maruz kaldığı zaman gözlenen optiksel olarak uyarılan ışımının miktarı, çanak/çömleğin ısıtılması veya sedimentin oluşum zamanından itibaren doğal olarak oluşan radyoaktiviteden üretilen radyasyon dozunu belirlemek için kullanılır. Bu radyasyon dozu bilinen bir laboratuvar dozu sayesinde üretilen OSL sinyali ile doğal OSL sinyalinin kıyaslanması ile hesaplanabilir. Fakat OSL tarihlendirmesinin limiti olan 500,000 yıldan daha yaşlı sedimentlerde OSL sinyali doyuma ulaşacağından bu sedimentler için OSL tarihlendirilmesi problemlidir (Doğan 2010).

### **2.7.1 Optiksel uyarım tipleri**

OSL' de özel bir dalga boyundaki ışık ile yapılan birkaç farklı uyarım tipi mevcuttur:

- 1) Sürekli dalga uyarımı ile OSL (CW-OSL)
- 2) Doğrusal olarak duruma göre değişen OSL (LM-OSL)
- 3) Atımlı uyarımlı OSL (POSL)

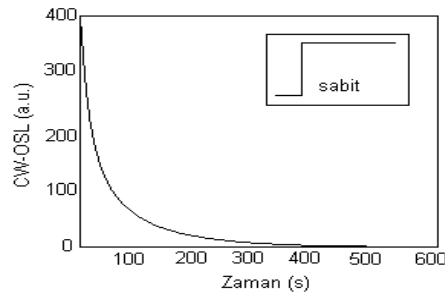
### **2.7.2 Sürekli dalga uyarımı ile OSL (CW-OSL)**

Sürekli Dalga Uyarımı ile OSL (CW-OSL), sabit ışık şiddeti ile uyarılan örneğin uyarım sırasında gözlenen lüminesans yayınıdır ve birçok OSL uygulamasının ölçümünde kullanılmaktadır (Şekil 2.13). Dedektöre ulaşan dağınık uyarım ışığını önlemek, yayını ve uyarım ışığını ayırt etmek için filtre kullanılması gerekmektedir. OSL

tuzaklarında elektron sayısının azalmasına bağı olarak lüminesans sinyalinin uyarma zamanı ile azaldığı görülür. Kuvarsın ilk çalışmalarında, CW modunda bir argon lazerinden elde edilen yeşil ışığın (514,5 nm) kullanımının, görünür bölgedeki ışık enerjisinin OSL elektron tuzaklarını boşaltmak için yeterli olduğu görülmüştür. Kuvarsda daha uzun dalga boylu ışık, OSL uyarımı için giderek yetersiz kalır (Aitken, 1990; Bøtter-Jensen vd. 1994b). Buna karşın, feldispattan lüminesans elde etmek için kullanılan kaynağın dalga boyunun kızıl ötesi ışığın dalga boyuna yakın olması gerekmektedir. Çünkü bu mineralin 850 nm (1,46 eV) civarında uyarım rezonans özelliği vardır. Bu durum, iki basamaklı termo-optiksel süreç ile açıklanır (Hütt, 1998). Kusurlarda biriken yükler iletim bandına geçmeden önce bir seri yarı kararlı uyarılma seviyelerine yükseltgenirler. Buradan da ısısal etki ile (örgü titreşimi) iletim bandına geçerler. Fakat enerjisi yaklaşık 2 eV' un (~600 nm) üzerinde olan fotonlar, elektronları iletkenlik bandına direkt olarak yükseltgeyebilirler. Dalga boyu azaldıkça uyarım verimliliği yani yükseltgenen elektron sayısı artacaktır. Kuvars ve feldispat uyarımının karakteristiği arasındaki farklılık değişik şekillerde kullanılabilir. Örneğin, kuvars örneklerinin saflıklarının (feldispat bulaşması) test edilmesinde ve polimineral örneklerin ölçümünde kullanılabilir (Spoooner ve Questiaux, 1990; Bøtter-Jensen ve Duller, 1992).

Özetleyecek olursak, rutin OSL ölçümlerinde doğrudan kullanılan iki ana CW uyarım metodu vardır:

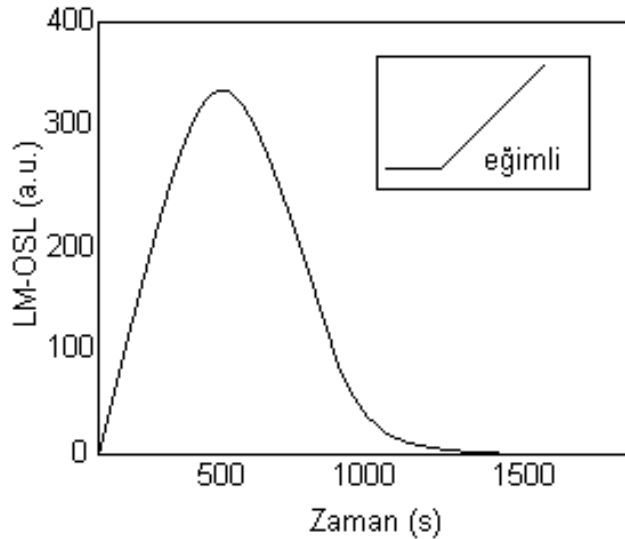
- 1) Sadece feldispatlarla kullanılması daha uygun olan kızıl ötesi uyarımlı lüminesans (IRSL).
- 2) Hem kuvars hem de feldispatlarda işe yarayan görünür ışık uyarımlı lüminesans.



Şekil 2.13 Sürekli dalga uyarımlı OSL (CW-OSL) eğrisi (Bøtter-Jensen vd. 2003)

### 2.7.3 Doğrusal olarak duruma göre değişen OSL (LM-OSL)

Doğrusal olarak duruma göre değişen OSL (LM-OSL) modunda (Bulur, 1996) uyarım kaynağının şiddeti  $I$ , sürekli dalga uyarımındaki gibi (CW-OSL) sabit değildir, fakat lineer olarak  $I$  şiddetinin değeri 0'dan belli bir  $I$  şiddeti seviyesine kadar zamanla artmaktadır (Şekil 2.14). Değişen uyarım gücünün, doğrusal olarak artan TL sıcaklıklarına benzer olduğu düşünülür. Başlangıçta uyarım gücü düşük olduğunda, tuzaklanmış elektronların serbest kalma oranı çok küçüktür. Maksimum seviyeye ulaşıncaya kadar uyarım gücü ile OSL sinyali artar. Bu nedenle OSL sinyalinin şiddeti tuzaklanmış yük konsantrasyonunun da ki tükenmenin sonucu olarak doğrusal olmayan şekilde azalır. Uyarım zamanının fonksiyonu olarak yayımlanan OSL bir tepe noktası şeklindedir. Tepe noktası pozisyonu (zaman biriminde) uyarım kaynağının şiddetinde doğrusal artış oranına ve tuzağın boşaltılırken fotoiyonizasyon tesir kesit oranına bağlıdır. Verilen bir eğim oranı (ışığın örnek üzerine geliş açısı) için tuzaklar farklı fotoiyonizasyon tesir kesidi değerleri ile farklı zamanlarda açığa çıkar ve metot farklı tuzaklardan OSL' nin geliş noktası (lüminesansın geldiği kaynak) arasında farklılıklar ortaya koyar.

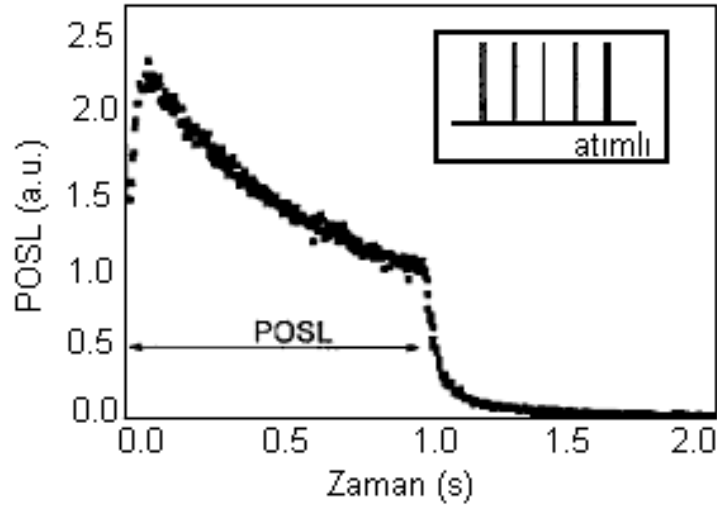


Şekil 2.14 Doğrusal olarak duruma göre değişen OSL (LM-OSL) eğrisi (Bøtter- Jensen vd. 2003)

#### 2.7.4 Atımlı uyarımlı OSL (POSL)

Şimdiye kadar anlatılan OSL tekniklerinde ışık kaynağı olarak sürekli dalga yayınına sahip kaynaklar kullanılmıştır. Bu bölümde ise kullanılan ışık kaynağı kesikli ışık yayınına sahip bir kaynaktır. Başka bir deyişle, yayımlanan ışık dalgadaki bir atma gibi davranıp maksimum ve minimum şiddet değerlerine sahiptir.

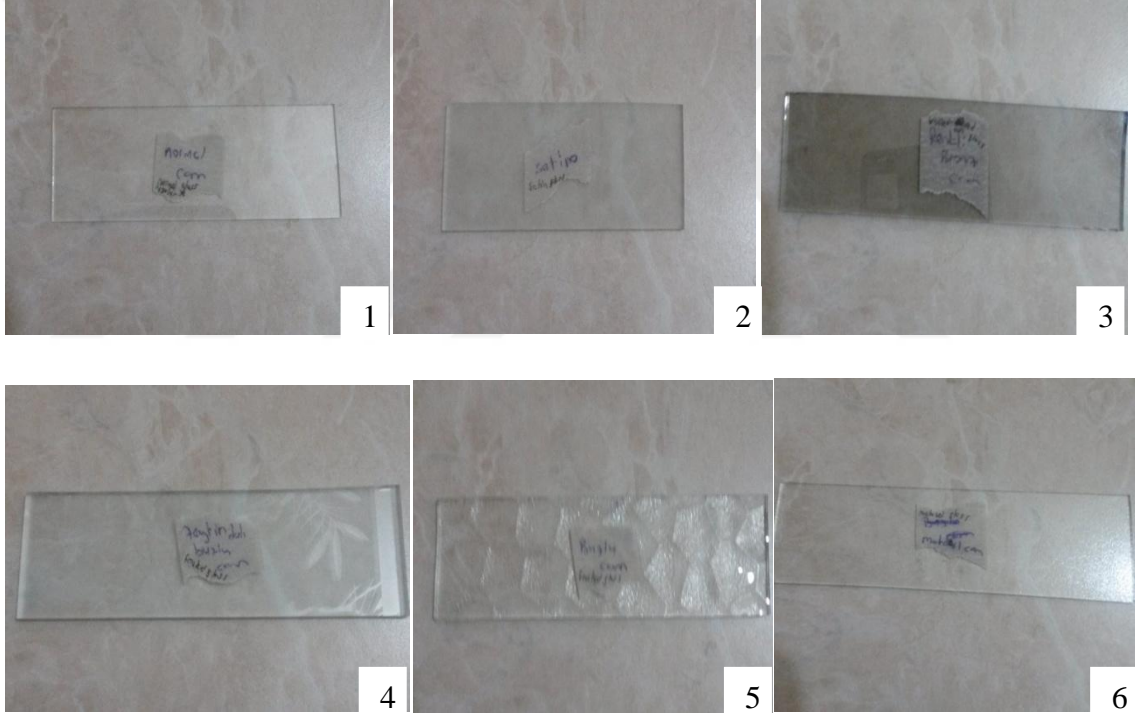
Bu tarz bir ışık kaynağı atımlı uyarım kaynağı olarak adlandırılabilir (Şekil 2.15). Bu atım sonunda gözlenen OSL sinyal şiddetinin uyarımın ardından ortaya çıktığı belirlenmiştir. Atım var olduğu sürece yayılım algılanmadığı için, bu ayarlama sayesinde, kullanılacak uyarım kaynaklarının dalga boylarının menzili genişletilebilir. Atımlı uyarım sırasında ışık yayını aletsel olarak gözlenmemektedir. Buna rağmen yapılan son analizlerin gösterdiğine göre, daha kısa atımlar şeklindeki uyarımlar için atım sonrası yayımlanan ışık miktarı, atım sırasında yayımlanan ışık miktarından daha büyüktür (McKeever, 1996a).



Şekil 2.15 Atımlı uyarımlı OSL (POSL) eğrisi (Bøtter-Jensen vd. 2003)

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmalarımız A.Ü. Nükleer Bilimler Enstitüsü Retrospektif Dozimetri laboratuvarında bulunan Risø TL / OSL otomatik termoluminesans cihazı kullanıldı. Bununla birlikte Elektron Paramanyetik Rezonans laboratuvarında bulunan EPR cihazında ölçümler alındı. Ticari olarak üretilmiş 11 cam malzemesi analiz edildi. Camlar, şişelerin renkleri, yapıları göz önüne alınarak seçilmişlerdir. Seçilen 11 örneğimizin isimleri ve şekilleri aşağıdaki gibidir.





1 - Sıradan Cam

2 - Satina Cam

3 - Renkli Bronz Cam

4 - Zeytin-dalı Buzlu Cam

5 - Buzlu Cam

6 - Matobel Cam

7 - Füme Buzlu Cam

8 - Yeşil Bardak Camı

9 - A numaralı cam şişe

10 - B numaralı cam şişe

11 - C numaralı cam şişe

Numuneler tek tek havanda dövölüp 90-140 mikron boyutuna ufalandı. Hassas terazide aynı miktarda (7,5 mg) tartılan örnekler disklere konup karosel yardımıyla Risø TL / OSL cihazına yerleştirilip doğal TL ölçümü (TL, 500 °C, 500 veri noktası, 1 °C/s) yapıldı.

### 3.1 Lüminesans Ölçüm Sistemi

#### 3.1.1 TL/OSL ölçüm sistemi

Bu çalışmada yapılan ölçümlerde Risø TL/OSL (model DA-20) cihazı kullanılmıştır. Risø' nun bu en son geliştirilen modeli hem TL hem de Optiksel Uyarılma ile Lüminesans (OSL) ölçümlerini bir arada yapabilmektedir. Bu TL/OSL cihazı tamamen bilgisayar kontrollüdür. Bu kontrolün sağlanabilmesi ve elde edilen ölçüm sonuçlarının analiz edilebilmesi için sırasıyla “Sequence” ve “Analyst” adı verilen iki program kullanılmaktadır. Şekil 3.1' de cihazın bir görüntüsü verilmektedir. Şekil 3.2' de ise cihazı oluşturan parçalar şematik olarak gösterilmektedir (Nur 2010).

Risø TL/OSL otomatik ölçüm sistemi 48 örneğin sırasıyla;

- Oda sıcaklığı ile 700 °C arasında TL ölçümü yapılabilmektedir,
- Sürekli dalgada (CW) modunda değişik ışık kaynakları (IR ve mavi ışık) kullanarak OSL ölçümü yapılabilmektedir,
- Radyoaktif beta ( $\beta$ ) kaynağı ( 90 Sr / 90 Y) yardımıyla örneklerin sırasıyla ışınlanmasına olanak tanımaktadır.

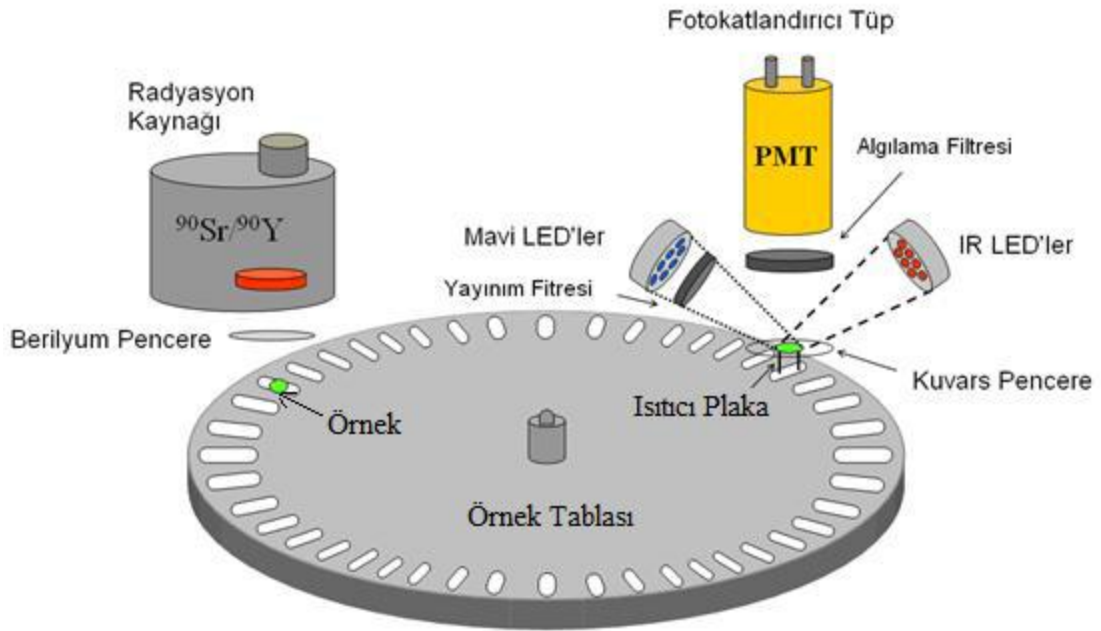
TL/OSL cihazının bir diğer avantajı da örneklerin OSL ve TL ölçümleri sırasında ön ısıtma işlemine tabi tutulabilmeleridir. Ayrıca OSL ölçümü, belirlenen bir ön ısıtma



sıcaklığında örnek sıcaklığının sabit tutularak gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede kuvars gibi dozimetrik malzemelerin tuzak parametreleri ve karakteristiği ile ilgili çalışmaların yapılması mümkün olmaktadır (Nur 2010).



Şekil 3.1 Risø TL/OSL cihazının genel görünümü



Şekil 3.2 Risø TL/OSL cihazının şematik gösterimi (Anonymous 2015)

Şekil 3.2' de görüldüğü gibi, bir fotokatlandırıcı tüp ve uygun algılama filtrelerini barındıran ışık algılama sistemi tarafından örneklerden yayımlanan lüminesans şiddeti ölçülebilmektedir. Örnek odası, vakum ortamı veya azot akışı ile azot atmosferine sahip

bir ortam sağlayacak biçimde tasarlanmıştır. Deneylerde kullanılan 48 örneğin bir arada okunmasını sağlayan örnek tablası aşağıdaki gibidir (Şekil 3.3).



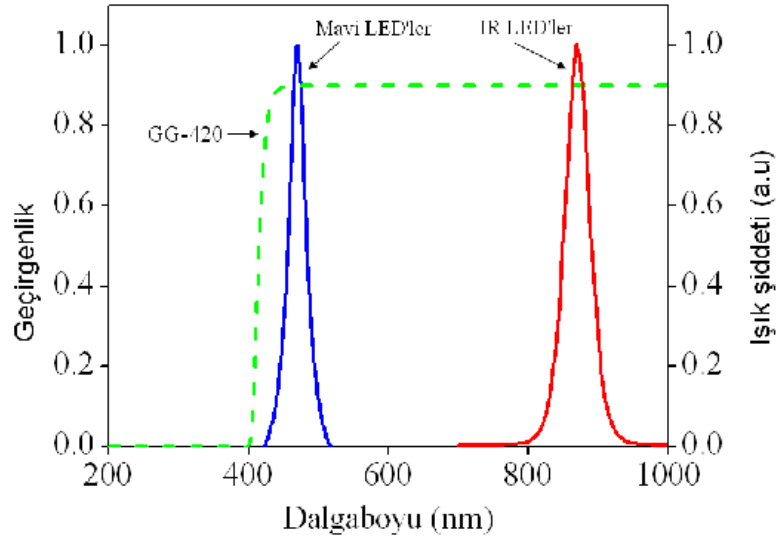
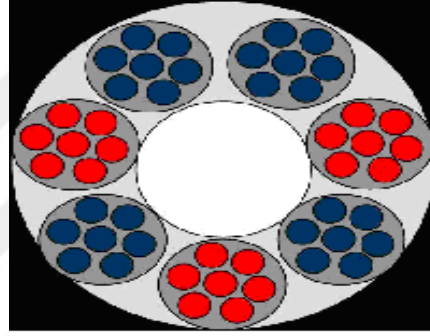
Şekil 3.3 Deneylerde kullanılan 48 örnek haznesine sahip döner tabla ile örneklerin yerleştirildiği kenarlıklı diskler

Risø TL/OSL cihazı 5 temel bölümden oluşmaktadır (bkz. Şekil 3.1) :

- IR ve Mavi Işık Kaynağı,
- PM Tüpü (Fotokatlandırıcı),
- Radyasyon Kaynağı,
- Isıtma sistemi,
- Kontrolör.

### 3.1.2 IR ve mavi ışık kaynağı

TL/OSL cihazının içerisinde örneklerin hem IR hem de mavi ışık ile uyarılabilmesini sağlayan diyotlar (LED) bulunmaktadır. Bu LED'lerden hangisinin kullanılacağı cihazın arkasında bulunan düğmelerle önceden ayarlanmalıdır. Mavi LED'ler ve IR LED'ler sırası ile  $40 \text{ mW/cm}^2$ ,  $135 \text{ mW/cm}^2$ 'lik ışımaya gücüne sahiptir. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi Mavi LED'ler 450 nm civarında IR LED'leri ise 875 nm civarında dalga boyuna sahip ışık yaymaktadırlar. Böyle iki tip LED kullanarak hem kuvars hem de feldispat kristallerinin uyarılmaları mümkün olmaktadır.



Şekil 3.4 IR ve Mavi LED'lerin dizilişi (üstte) ve bu LED'lere ait yayılım dalgaboyuna ait grafik (altta) (Anonymous 2015)

### 3.1.3 Fotoçoğaltıcı tüp

Lüminesans yayını bir fotoçoğaltıcı tüp (PMT) tarafından algılanmaktadır. PMT' deki ışığa karşı duyarlı eleman katottur. Katot ışık yayan bir malzeme ile kaplıdır; CsSb ve diğer alkali bileşikler bu materyal için oldukça yaygın olarak kullanılırlar. Tipik olarak katoda görünür skala da bir foton çarptığında bu ışık demeti bir ile üç arasında elektron koparabilir. Fotokatot tarafından yayımlanan bu elektronlar dinotlar ile fotokatot arasındaki voltaj gerilim farkından dolayı dinotlara doğru hızlandırılırlar. Elektronlar yeterli hıza ulaşmış ise dinotlara çarpması sonucu yüzeyden ikincil elektronlar kopacaktır. Bu şekilde sayısı artan elektronlar bir akım oluşturur ve elde edilen bu akım kontrolör tarafından sayısal verilere çevrilir. Elde edilen akım değeri katoda çarpan ışığın yoğunluğuna bağlı olarak artacaktır. Böylece lüminesans sinyalindeki artışa bağlı olarak akım değeri de artacaktır. Bu şekilde lüminesans sinyalleri elektrik akımına çevrilerek önce kontrolöre, kontrolörden de bilgisayara aktarılmaktadır.

Risø TL/OSL okuyucusundaki standart PM tüpü Bialkali EMI 9235QB model numaralı bir fotokatlandırıcıdır. PM tüpünün en verimli algılama aralığının dalga boyunun 200 nm ile 400 nm arasında olduğu görülmektedir.

### 3.1.4 Filtreler

Risø Otomatik TL/OSL cihazının çalışması sırasında fotokatlandırıcı tüpün, uyarım ışık kaynağı ve diğer çevresel ışık kaynaklarından etkilenmemesi amacıyla optik filtreler kullanılmaktadır. Bu filtreler ölçümü yapılacak olan örneğin tipine ve kullanılacak olan TL/OSL yöntemine bağlı olarak seçilmelidir. OSL/TL ölçümü sırasında kullanılan uyarım kaynağından yayılan ışık miktarı, örnekten yayılan lüminesans ışığından ~ 1018 mertebesinde daha büyüktür. Bu sebeple, yayımlanan lüminesansın ölçülebilmesi için, örnekten yansıyan uyarım ışığının doğrudan PMT' ye ulaşması önlenmelidir. Bu amaçla

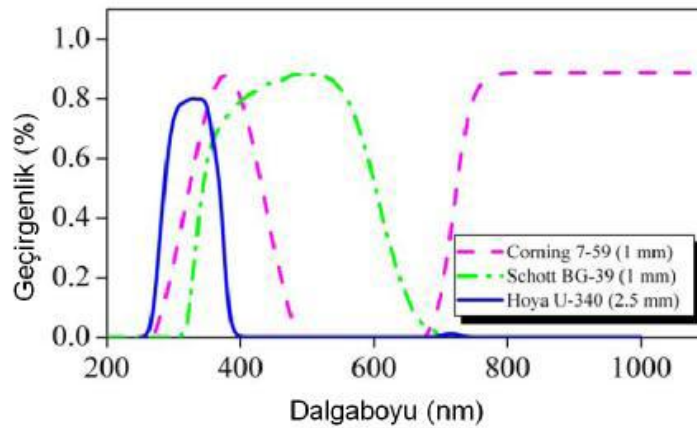
uygun filtreler kullanılmalı ve böylece spektral uyarım ile algılama penceresi birbirinden iyi bir şekilde ayrılmış olmalıdır (Nur 2010).

Risø TL/OSL okuyucusunda standart olarak 3 farklı algılama filtresi bulunmaktadır:

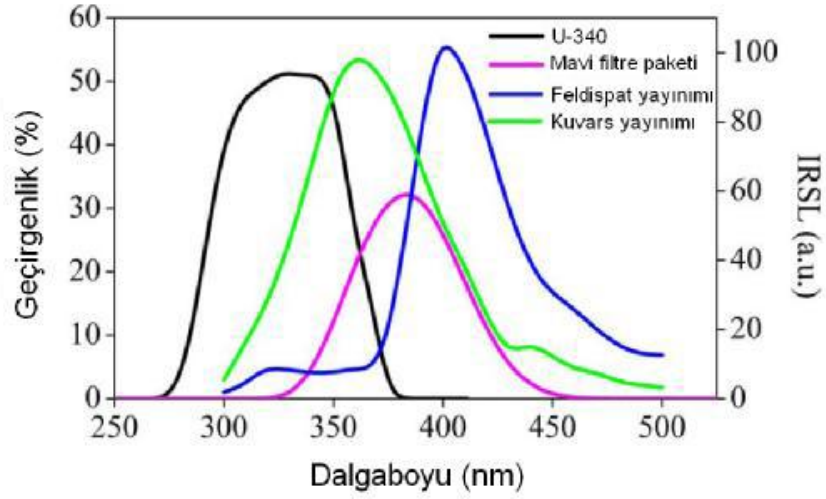
1. Hoya U-340 (7,5 mm kalınlık  $\text{Ø} = 45 \text{ mm}$ )
2. Schott BG 39 (2 mm kalınlık  $\text{Ø} = 45 \text{ mm}$ )
3. Corning 7-59 (4 mm kalınlık  $\text{Ø} = 45 \text{ mm}$ )

Biz deneyimiz boyunca Hoya U-340 (7,5 mm kalınlık  $\text{Ø} = 45 \text{ mm}$ ) filtresini kullandık.

Bu filtrelerin geçirgenlik karakteristikleri Şekil 3.5' te verilmiştir. Kuvars kristalinin OSL yöntemi ile okunması sırasında genellikle Hoya U-340 kullanılmaktadır. Buna karşılık feldispat kristalleri ise genellikle mavi filtre paketi olarak adlandırılan ve Schott BG-39 ile Corning 7-59 filtrelerinin birlikte kullanılması ile oluşturulan filtre kombinasyonu ile okunur. Bu mavi filtre paketinin geçirgenlik eğrisi ve kuvars ile feldispatın yayınım spektrumu Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Risø TL/OSL cihazında bulunan üç algılama filtresinin geçirgenlik karakteristikleri (Anonymous 2015)



Şekil 3.6 Hoya U-340 ve mavi filtre paketinin geçirgenlik karakteristikleri ile kuvars ve feldispatın yayınım spektrumları (Anonymous 2015)

Örnek tipine ve kullanılacak lüminesans metoduna göre hangi filtrenin seçileceği Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Örnek tipine ve kullanılan lüminesans metoduna göre filtrelerin sınıflandırılması (Anonymous 2015)

Örnek	Metod	Filtreler	Açıklama
Kuvars	TL	BG39 veya U-340	-
	OSL	U340	-
	Tek Tanecik Yöntemi	U340	-
Feldispat	TL	BG39 & 7-59	-
	IRSL	BG39 & 7-59	Mavi ışık seçeneği kontrol biriminden ayrılmalıdır.
	Tek Tanecik	BG39 & 7-59	
İnce Tanecik	TL	BG39 veya U-340	-
	OSL	Sadece IRSL : BG39 & 7-59	Mavi ışık seçeneği kontrol biriminden ayrılmalıdır. (Yalnızca IRSL)
		IR+Mavi : U-340	-

### 3.1.5 Beta ışın kaynağı

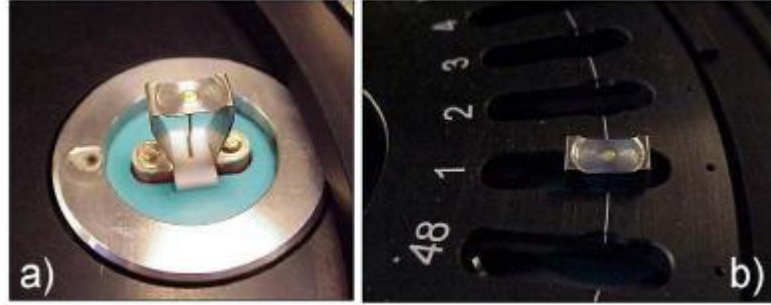
Bu çalışmada TL/OSL cihazındaki beta kaynağı kullandık. TL/ OSL cihazında bulunan Beta ( $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ) radyasyon kaynağı pnömomatik bir kapağa sahip özel bir kurşun blok içerisine yerleştirilmiştir. Radyasyon kaynak modülünün içerisinde maksimum yarılanma ömrü 30 yıl olan, maksimum, 2,27 MeV' lik enerjiye sahip  $\beta$  parçacıkları yayan ve 1,48 GBq' lik (40 mCi) aktiviteye sahip  $^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$   $\beta$  kaynağı bulundurur. Kuvars için örnek pozisyonundaki doz soğurma oranı 6,689 Gy / dak' dır. Kaynak basınçlı havayla kontrol edilen dönen bir paslanmaz çelik tekerlek içerisine monte edilmektedir. Bu sistem ile örnek en az 1 saniye süresince ışınlanabilmektedir. Bu düzenek aracılığı ile kaynağı kapalı pozisyondan açık pozisyona getirmek 0,11 s sürmektedir (Markey vd. 1997). Bu açma kapama süresi bütün radyasyona tutma işlemleri için aynıdır ve uzun ışınlamalarda ihmal edilebilecek seviyededir. Kaynak ile örnek arası mesafe 7 mm' dir. Şekil 3.7' de beta kaynağının şematik bir görüntüsü yer almaktadır. Kaynak kapalı pozisyonda (varsayılan pozisyon) iken yukarıya, karbon soğurucuya doğru bakacak şekilde ayarlanmıştır. Kaynak açık pozisyonuna getirildiğinde ise (ışınlama pozisyonu) aşağı doğru yönlendirilmektedir. 0,125 mm' lik bir Berilyum (Be) pencere ışınlayıcı ile ölçüm odası arasına yerleştirilmiştir. Bu pencere vakum ara yüzeyi olarak işlev görmektedir.

48 örneklilik numune tablasındaki iki komşu örneğin merkezleri arasındaki mesafe 17 mm' dir. Bu yakın konumlanma, bir örneğin ışınlanması sırasında komşu örneklerin de belli bir miktar doz soğurmalarına yol açmaktadır. Bu olay ışınlama çapraz-etkisi olarak adlandırılır. Thomsen vd. (2006) bu ışınlama çapraz-etkisini komşu iki örnek için  $\%0,250 \pm \%0,003$ , bir sonraki örnek için ise  $\%0,014 \pm \%0,002$  olacak şekilde ölçmüşlerdir. Bu değer hassas uygulamalar için göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sebeple bu çalışmada örneklerin yan yana yerleştirilmemesine dikkat edilmiştir. Bir örnek ile diğeri arasında en az iki boşluk verilmiştir.





içerisine difüzyon yolu ile nüfuz ederek örneklerin hassasiyetinde değişikliklere yol açabilmektedir (Aitken 1985).



Şekil 3.8 Isıtma biriminin a) ölçüme hazır pozisyonundaki b) örnek tablası yerinde iken görüntüsü (Anonymous 2015)

### 3.1.7 Agat havan

Cam örneklerinin toz haline getirilmesi için agat havan kullanılmıştır. Bu havan çok sert bir malzemeden yapıldığı için örneklerin kırılması aşamasında örneklere malzemenin bulaşma ihtimali söz konusu değildir. Agat havanın görüntüsü Şekil 3.9’ da verilmektedir.



Şekil 3.9 Cam örneklerinin toz haline getirilmesinde kullanılan agat havan

### 3.1.8 Elekler

Örnekler agat havanda kırıldıktan sonra aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere elekler kullanılarak 90-140 mikron arasından elenerek ölçüme hazır hale getirilmişlerdir. Eleme işlemi örneklerin tanecik boyutuna gruplandırılmalarına ve böylece homojen bir dağılım elde etmemize olanak tanımıştır. Eleklerin görüntüsü Şekil 3.10' da görülmektedir.



Şekil 3.10 Cam örneklerinin ayrıştırılmalarında kullanılan elekler

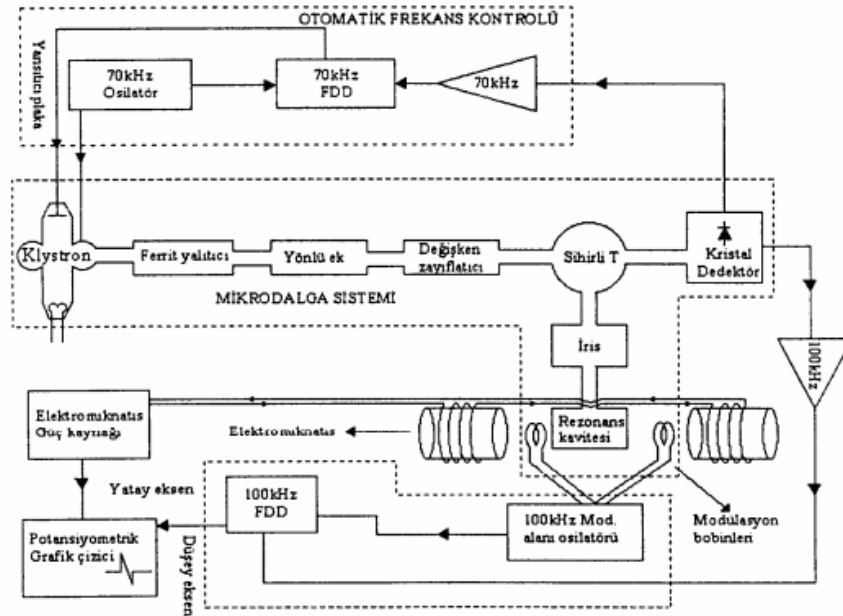
### 3.1.9 EPR spektrometresinin yapısı

Deneysel işlemlerimizi yapabilmek amacıyla kullanacağımız EPR spektrometresi  $h\nu_0 = g\beta H_0$  rezonans şartını sağlamalıdır. Bu şartın değişkenleri mikrodalga frekansı ve manyetik alandır. Manyetik alan hassasiyetle değiştirilirken buna karşılık gelen mikrodalga kaynağının frekansını ise düzgün olarak değiştirmek oldukça güçtür. Dolayısı ile EPR spektrometreleri belirli bir frekans aralığında sabit frekansta mikrodalga yayınlayan bir mikrodalga kaynağı ve değişken bir manyetik alan kaynağına sahiptirler (Kartal 1996). EPR spektrometreleri belirli mikrodalga bantlarında yapılırlar. Bu bantlardan bazıları Çizelge 3.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 EPR spektrometresinde kullanılan bantlar ve bölgeleri (Kartal 1996)

Bant Adı	Frekans Bölgesi (GHz)	EPR Manyetik Alan Bölgesi (G)
L	1,5	540
S	3	1100
C	6	2200
X	9,5	3400
K	23	8200
Q	36	13000
V	50	18000
E	70	25000
W	95	34000

EPR absorpsiyonunun gözlenebilmesi için durgun bir manyetik alan içeren bir spektrometreye ihtiyaç vardır. Tipik bir EPR spektrometresinin blok diyagramı Şekil 3.11’ te gösterilmiştir. Ayrıca bir EPR spektrometresinin dış görünüşü de Şekil 3.12’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Tipik bir EPR spektrometresi blok diyagramı (Apaydın 1990)



Şekil 3.12 EPR spektrometresinin dış görünüşü (Apaydın 1990)

EPR spektrometresinde sabit bir mikrodalga frekansı kullanılır ve durgun manyetik alan değiştirilerek spektrum kaydedilir. Spektrumdaki absorpsiyon çizgileri, iki enerji düzeyi farkına karşılık gelen mikrodalga fotonunun enerjisine eşit olduğu zaman meydana gelir. EPR spektrometresi dört temel öğeden oluşur.

- a) Değişmez frekanslı ve değişebilen genlikli mikrodalga kaynağı;
- b) Mikrodalga enerjisini incelenecek örneğe uygulamaya yarayan alet;
- c) Mikrodalga alanından soğurulan enerjiyi ölçebilecek düzenek;
- d) Homojen ancak değişebilen bir dış manyetik alan oluşturacak elektromıknatıs.

EPR spektrometrelerinde uygulanan mikrodalga frekansı 9 GHz civarında seçilmiştir. Bu özelliği taşıyan spektrometrelere X-Band EPR Spektrometresi denir ve mikrodalga kaynağı olarak klaystron kullanılır (Apaydın 1990).

## 3.2 Kullanılan Analiz Yöntemleri

### 3.2.1 Bilgisayarlı ışıma eğrisi ayrıştırma (dekonvolüsyon) analiz yöntemi

Işıma Eğrisi Ayrıştırma Yöntemi TL ışıma eğrilerinin tuzak parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan en önemli yöntemlerden biridir. Bu yöntem sayesinde üst üste gelmiş karmaşık tepelerin ısıtılma ihtiyacı duymadan ayrışması sağlanmaktadır. Bu çalışmada Glowfit adı verilen bilgisayar programı kullanılmıştır ve 1. dereceden tepelerin ayrıştırılıp incelenmesi sağlanmıştır.

Dekonvolüsyon için ilk olarak örneklerimiz arasında radyasyona en iyi tepkiler veren sıradan cam, satina cam, zeytin-dalı buzlu cam, buzlu cam, yeşil bardak camı, a ve b numaralı cam şişe örnekleri seçilmiştir ve 7 örnek için ana pik altında yer alan piklere ayrıştırma yöntemini kullanarak her pikin enerjileri bulunmuştur. Yeşil bardak cam örneğine 75 Gy doz uygulanmıştır. Diğer örneklere ise 150 Gy doz verilmiş ve 500 °C'ye kadar ısıtılmıştır, 500 veri noktası, ısıtma hızı 1 °C/s olacak şekilde elde edilmiştir. Yeşil bardak camı hariç diğer örneklere 150 Gy doz verilmesinin nedeni 75 Gy doz verildiğinde şiddet değerlerinin düşük olmasıdır.

### 3.2.2 Kesikli artış (fractional glow technique) analiz yöntemi

Kesikli artış yöntemi bilgisayarlı ışıma eğrisi ayrıştırma yöntemi (deconvolution) ile benzer sonuçları ortaya koyan bir yöntemdir. Kesikli artış yönteminin uygulandığı örnekler sıradan cam, satina cam, zeytin-dalı buzlu cam, buzlu cam, yeşil bardak camı, a numaralı cam şişe ve b numaralı cam şişedir. Örneklerin 75 Gy ışılandıktan sonra 50 °C' den 500 °C' ye kadar her 10 °C' de bir alınan şiddet değerlerini, o sıcaklıktaki şiddet değerlerinin  $\ln'$  ine karşı  $1/kT$  grafiği çizilip (Şekil 4.11), elde edilen grafiklerin eğimleri belirlenir ve bu eğim değerleri o sıcaklıktaki tuzakların aktivasyon enerjilerini verir.

Sıcaklığın kelvin değerine karşılık hesaplanan tüm eğim değerlerinin eğim - sıcaklık (K) grafikleri örneklerin aktivasyon enerjileri hakkında bilgi vermektedir.

### **3.2.3 Sönümlenme (fading) analiz yöntemi**

Sönümlenme analiz işleminde 11 cam örnekten, her bir örnekten 4 disk hazırlanıp (her bir örnek 7,5 mg) toplamda 44 disk karosel üzerine yerleştirilmiştir. Risø TL / OSL cihazı kullanılarak önce tuzaklar boşaltıldı. Daha sonra 75 Gy doz verip 500 °C' ye kadar ısıtıldıktan sonra (500 veri noktası, 1 °C/s), karanlık ortamda karosel Risø TL / OSL cihazından çıkarılıp mevcut olan disklerin yarısını hiç ışık alamayacak şekilde kapalı bir ortama yerleştirdik. Geriye kalan 22 diskin ilk okumasını o gün gerçekleştirdik, bir sonraki okuma ise diskler 1 ay karanlıkta saklandıktan sonra gerçekleştirildi ve dozun zamanla azalması incelendi.

### **3.2.4 Tekrarlanabilirlik analiz yöntemi**

Tekrarlanabilirlik, aynı şartlar altında belli zaman aralıklarında yapılan ölçüm sonuçlarının yakınlığının ölçüsüdür.

Örneklerimiz sıradan cam, satina cam, zeytin-dalı buzlu cam, buzlu cam, yeşil bardak camı, a ve b numaralı cam şişe örneklerinin her birinden 7,5 mg alındı ve karosele koymak üzere hazırladığımız disklerimize konulup ölçüm için Risø TL / OSL cihazına yerleştirildi, 150 Gy doz verilip 500 °C' ye kadar ısıtma gerçekleştirildi (500 veri noktası, 1 °C/s) ve 10 'ar kez tekrar ölçüme alınarak değişimler incelendi. Her örneği 1 kere kullandık. Örneklerimiz için 1., 5. ve 10. ölçümlerin ışıma eğrileri çizildi.

### 3.2.5 TL ve OSL için doz cevap analiz yöntemi

İyi bir dozimetrik malzemenin farklı doz miktarlarına karşı aynı hassasiyetle cevap vermesi beklenir. Doz cevabı  $F(D)$ , TL şiddetinin soğurulan doza bağımlılığını fonksiyonel olarak ifade eden bir terimdir. Bir dozimetrik malzemenin lineer doz cevap eğrisine sahip olduğu doz aralığının belirlenmesi, o malzemenin hangi alanlarda kullanılabileceğinin belirlenmesine yardımcı olur. Örneğin 10 Gy doz verildikten sonra doyuma ulaşan bir malzeme yüksek dozlar için kullanılamaz. Aynı şekilde düşük dozlar için lineer olmayan bir doz cevap eğrisine sahip bir malzemenin kişisel dozimetre malzemesi olarak kullanımı mümkün değildir.

Örneklerimize TL doz cevap analizi için 0,25 Gy' den başlayarak 512 Gy' e kadar 13 farklı doz uygulanmıştır (0,25, 0,5, 0,75, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 Gy) ve 500 °C' ye kadar ısıtılmıştır (500 veri noktası, 1 °C/s). OSL doz cevap analizi için TL çalışmasında yaptığımız aşamaları aynen gerçekleştirdik. TL çalışmamızdan tek farkı 300 °C' ye kadar ısıtma gerçekleştirdik (300 veri noktası, 1 °C/s). Tüm örneklerimizin (her numune iki defa ölçüldü) ölçüm sonrasında her örnek için elde edilen ışıma eğrisinin altında kalan alanların ortalaması alınıp doza karşılık çizilen şiddet eğrisinin eğimi bize o örneğin doza karşılık cevap verip veremeyeceği dozimetre olarak kullanılıp kullanılmayacağı hakkında gerekli bilgileri verdi.

### 3.2.6 Elektron paramanyetik rezonans analiz yöntemi

Maddenin manyetik özellikleri, maddeyi oluşturan atomik birimlerin manyetizmasına ve bu atomik birimlerin kendi aralarındaki etkileşmesine bağlıdır. Manyetik momentleri sıfırdan farklı ve aralarındaki etkileşmenin zayıf olduğu yapı taşlarının meydana getirdiği maddelere “paramanyetik madde” denir.

Manyetik rezonans; statik manyetik alan uygulayarak bu manyetik momentlerle bağlantılı enerji düzeyleri yaratıp bunlar arasında geçişler oluşturma esasına dayanır.

Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR), elektronik manyetik momentlere ilişkin enerji düzeyleri arasındaki geçişleri inceler.

Örneklerimiz yeşil bardak camı ve b numaralı cam şişesidir. Bu örnekler üzerinde güç çalışması ve modülasyon genliği ve doz cevap analizleri yaptık. EPR analizi, daha önce literatürde kullanılan başka malzemeler için yapılan çalışmalara dayanarak güç değeri 2 mW, modülasyon genliği ise 3G olarak seçilmiştir.

### 3.2.7 OSL ağartma (bleaching) bulguları

OSL ağartma (bleaching) analizi iki protokol üzerinden değerlendirildi. Birinci protokolde bir önceki araştırmalarımız sonucu elde ettiğimiz doz cevap eğrilerinde doza karşı cevabı en orantılı veren örnekler (sıradan cam, satina cam, buzlu cam, yeşil bardak camı, b numaralı cam şişe) ile doz cevap eğrilerine cevap vermeyen c numaralı cam şişe örneği seçildi ve Risø TL / OSL cihazında deneyler gerçekleştirildi. Sonuçlar dekonvolüsyon yöntemiyle analiz edilip birinci protokol bittikten sonra ikinci protokolde CW-OSL analizi yapılarak tüm sonuçlar karşılaştırılıp tartışıldı.

1. protokolde mavi led ışık altında çalışmamızı gerçekleştirdik. Mavi ledlerle yaptığımız deney sonuçlarını hem 1. mertebeden kinetikle hem de 2. mertebeden kinetikle analiz ettik. Bu çalışmamızda bize bu zamana kadar yaptığımız çalışmalarda en iyi sonuçları veren 5 örnekle (sıradan cam, satina cam, buzlu cam, yeşil bardak camı, b numaralı cam şişe) ve her analizde kötü sonucu veren c numaralı cam şişe örneğiyle çalıştık.

Bu protokolde örneklerimize 50, 75, 100, 125, 150 °C' de uyarma sıcaklığı + mavi led ışık verdik. Dekonvolüsyon sonuçlarını bu sıcaklık değerleri için inceledik. Bu analizimizi 1. mertebeden kinetikle yaptık ve OSL için hızlı, orta ve yavaş (fast, medium, slow) parametrelerini kullanarak  $\tau$  değerlerini inceledik. Örneklerimiz 7,5 mg alındı ve 25 Gy doz verildi (TL, 500 °C, 500 veri noktası, 1 °C/s). İkinci adımda OSL, 300 s, 300 veri noktası olacak şekilde verilerimizi topladık ve aynı işlemi 50, 75, 100, 125, 150 °C uyarma sıcaklıkları için tekrarladık.



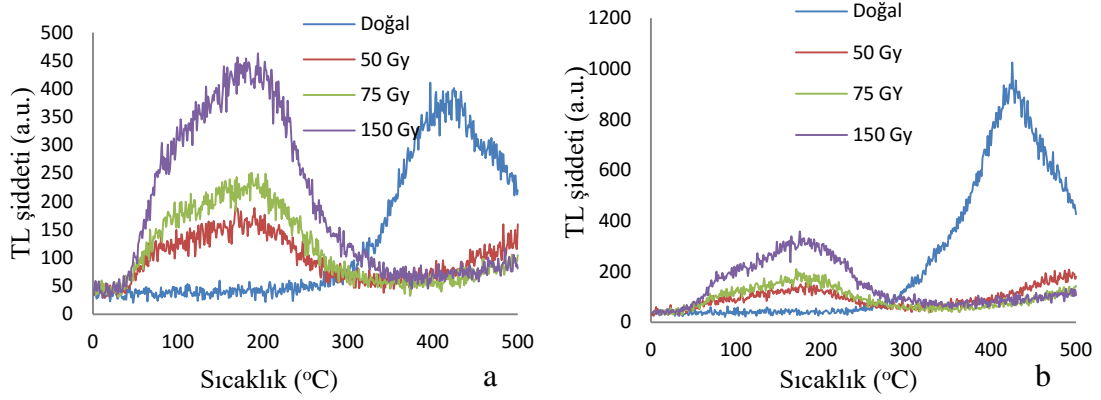
2. protokol olan ağartma, normalde güneş ışını kullanarak tuzakların sıfırlanması yöntemidir. Biz bu çalışmada tuzak sıfırlanmasını güneş ışığıyla değil mavi led ışıkla gerçekleştirdik. Bu metodu yeşil bardak, b numaralı cam şişesi ve c numaralı cam şişe örneklerinde inceledik.

Bu protokoldeki adımlarımız, ilk olarak 100 Gy doz verdik (TL, 500 °C, 500 veri noktası, 1 °C/s). Sonraki adımlarımızı sırayla aynı doz değerinde 2 s, 200 veri noktası - 4 s, 400 veri noktası - 8 s, 800 veri noktası - 16 s, 160 veri noktası - 32 s, 320 veri noktası - 64 s, 640 veri noktası - 128 s, 128 veri noktası - 256 s, 256 veri noktası - 512 s, 512 veri noktası - 1024 s, 1024 veri noktası - 2048 s, 2048 veri noktası - 4096 s, 4096 veri noktası elde edecek şekilde tek tek verileri elde ettik ve grafiklerle açıkladık.

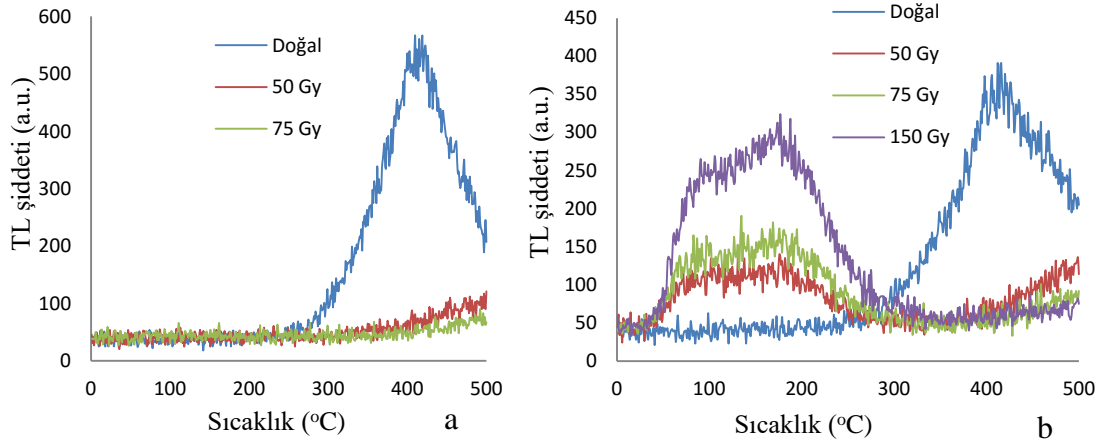
## 4. BULGULAR

### 4.1 Örneklerin Radyasyonla Değişimleri

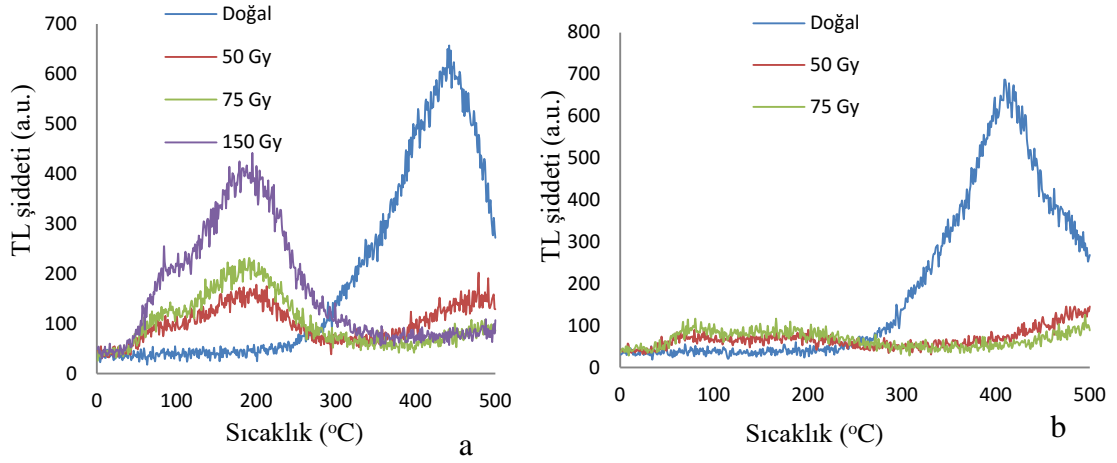
Örneklerimizin ilk olarak doğal şiddetlerini, daha sonra radyasyona karşı verdikleri tepkileri incelemek için 50, 75, 150 Gy doz uyguladık. 0 °C' den başlayıp 500 °C' ye kadar 500 veri noktasını, ısıtma hızı 1 °C/s olacak şekilde ayarladık ve deneyimizi gerçekleştirdik. Grafiklerin detaylı açıklamaları Şekil 4.6' nın altındaki paragrafta yer almaktadır.



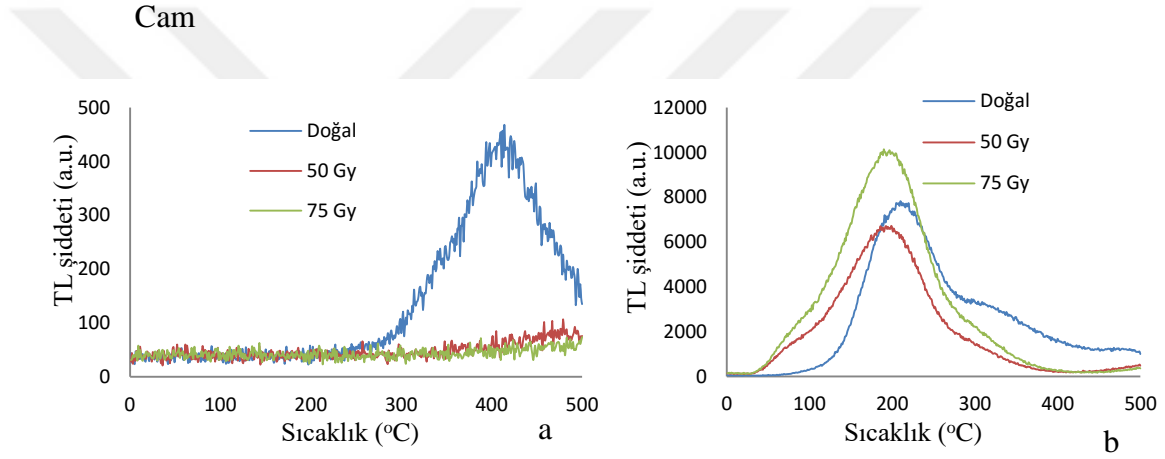
Şekil 4.1 Cam örneklerinin radyasyona verdikleri tepkileri a) Sıradan cam b) Satina Cam



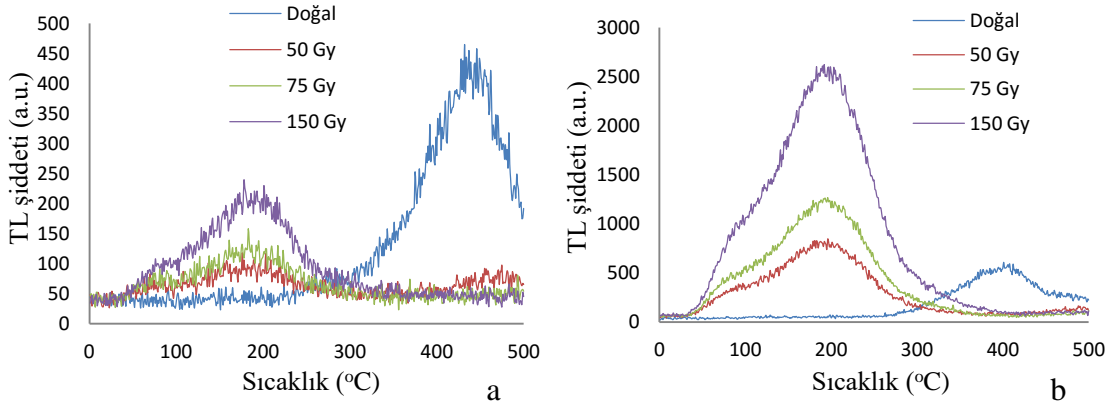
Şekil 4.2 Cam örneklerinin radyasyona verdikleri tepkileri a) Renkli Bronz cam b) Zeytin-dalı Buzlu



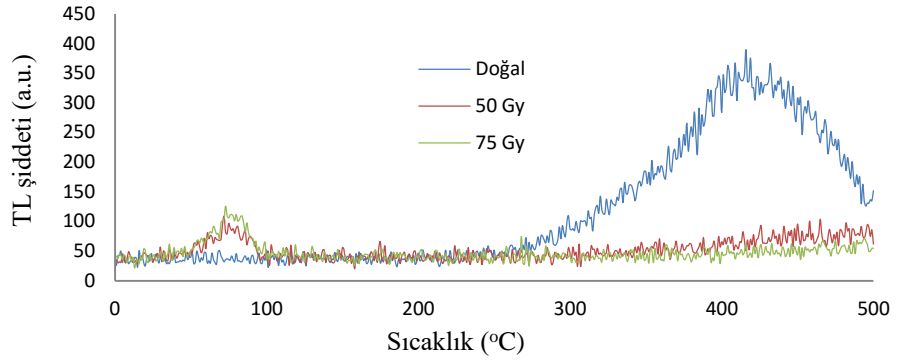
Şekil 4.3 Cam örneklerinin radyasyona verdikleri tepkiler a) Buzlu cam b) Matobel



Şekil 4.4 Cam örneklerinin radyasyona verdikleri tepkiler a) Füme Buzlu cam b) Yeşil bardak



Şekil 4.5 Cam şişe örneklerinin radyasyona verdikleri tepkiler a) A numaralı b) B numaralı

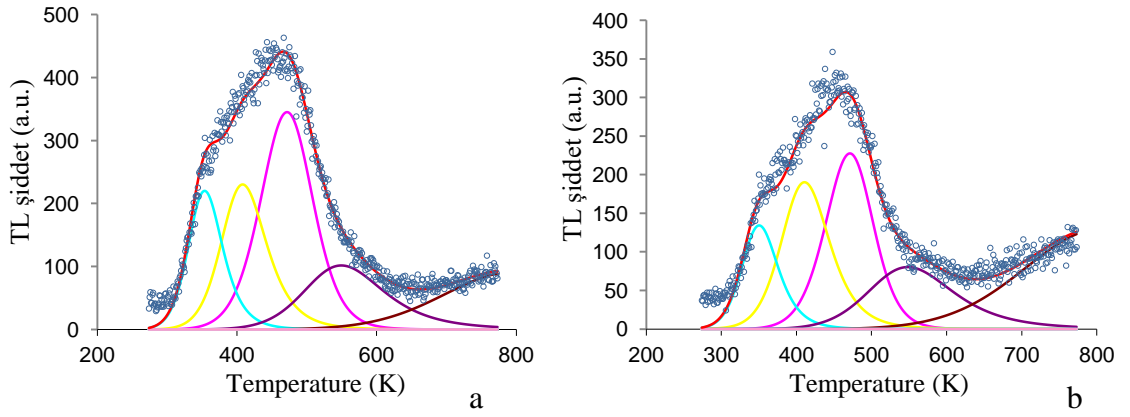


Şekil 4.6 C numaralı cam şişe örneğinin radyasyona verdiği tepki

Yukarıdaki grafikleri inceleyip sonuçlarına bakacak olursak, tüm örneklerimize 50-75 Gy dozlar verdik. Sıradan cam, satina cam, zeytin-dalı buzlu cam, buzlu cam, a ve b numaralı cam şişelerine 50 ve 75 Gy' lik doz vermemize rağmen düşük şiddet değerinde olmalarından dolayı bu 6 örneğe 150 Gy doz doz verdik. İlk incelemelerimizde yeşil bardağın diğer cam malzemelere göre 50-75 Gy dozlarda yüksek şiddet değeri vermesi sebebiyle 150 Gy doz uygulamaya gerek duymadık. Bu sonuçlar bizim bu 2 örnek için bütün çalışmalarımızda daha detaylı incelememize neden oldu. Renkli bronz cam, matobel cam, füme buzlu cam ve c numaralı cam şişe örneklerinin 50 ve 75 Gy' lik dozlarda tepki vermemesinden dolayı 150 Gy doz uygulamadık.

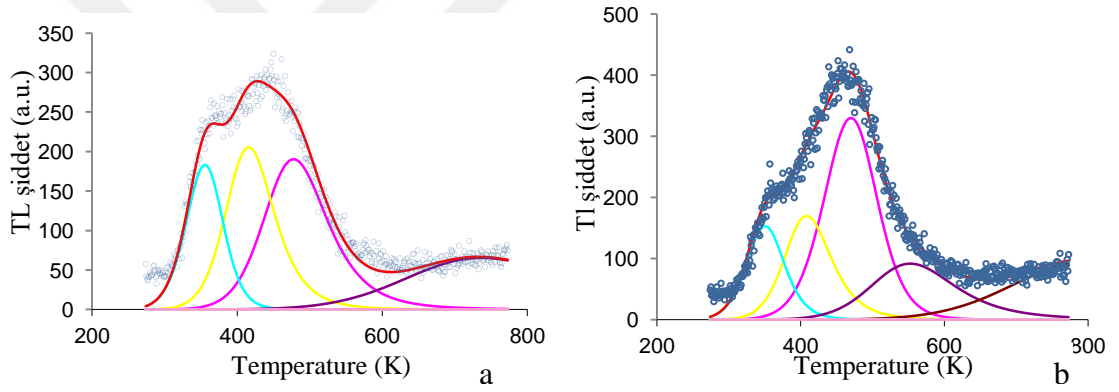
#### 4.2 Bilgisayarlı Işıma Eğrisi Ayırıştırma Eğrisi Yöntemi (Dekonvolüsyon Bulguları)

Örneklerimizin radyasyonla değişimlerini incelediğimizde sıradan cam, satina cam, zeytin-dalı buzlu cam, buzlu cam, yeşil bardak camı, a ve b numaralı cam şişe örnekleri bir önceki çalışmada verdiğimiz doz değerlerine tepkiler vermiştir. Bu çalışmamızda radyasyon dozuna en iyi tepki veren bu 7 örneği inceledik. Bilgisayarlı ışım eğrisi ayırıştırma yönteminin detayları Bölüm 3.2.1' de anlatılmıştır. Dekonvolüsyon grafikleri aşağıdadır.



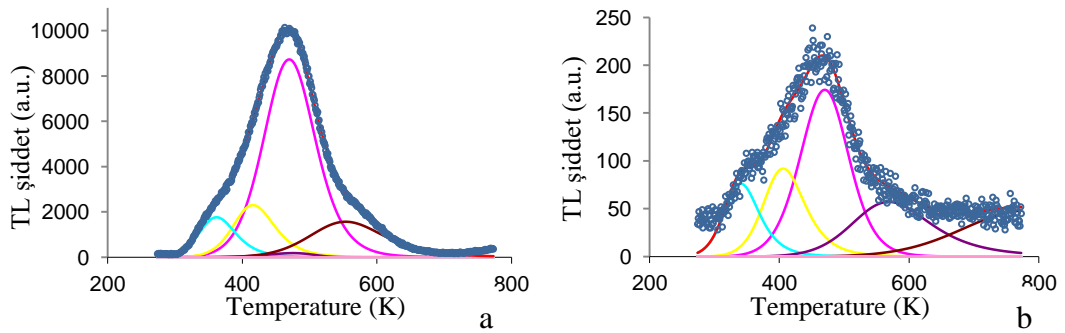
Şekil 4.7 Cam örneğinin dekonvolüsyon grafiği a) Sıradan cam b) Satina Cam

Sıradan cam örneğinin FOM (%) değeri 7,027022' dir. Satina cam örneğinin FOM (%) değeri 9,446940' dir.



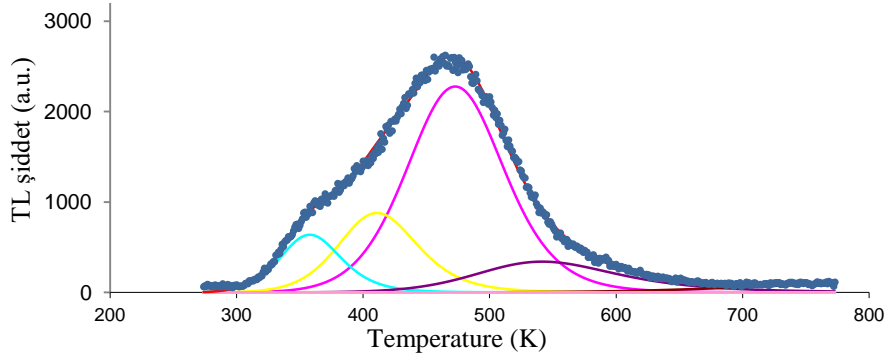
Şekil 4.8 Cam örneğinin dekonvolüsyon grafiği a) Zeytin-dalı buzlu cam b) Buzlu Cam

Zeytin-dalı buzlu cam örneğinin FOM (%) değeri 9,276011' dir. Buzlu cam örneğinin FOM (%) değeri 7,567431' dir.



Şekil 4.9 Cam örneklerinin dekonvolüsyon grafiği a) Yeşil bardak b) A numaralı cam şişe

Yeşil bardak cam örneğinin FOM (%) değeri 3,076461' dir. A numaralı cam şişe örneğinin FOM (%) değeri 10,238251' dir.



Şekil 4.10 B numaralı cam şişesinin dekonvolüsyon grafiği

B numaralı cam şişe örneğinin FOM (%) değeri 3,473105' dir.

Çizelge 4.1 7 farklı cam şişe örneklerinin kinetik parametre değerleri

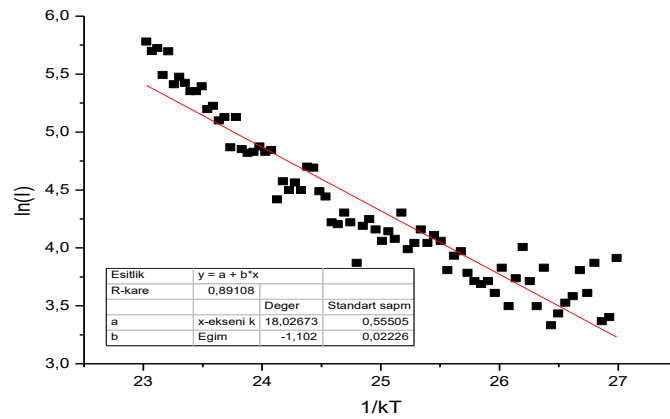
Örnek Adı	Sıcaklık (K)	Enerji (eV)	b	s (s <sup>-1</sup> )
<b>Sıradan Cam</b>	353	0,60	2,00	1,84x10 <sup>7</sup>
	409	0,60	1,99	9,97x10 <sup>5</sup>
	471	0,60	1,51	7,97x10 <sup>4</sup>
	552	0,60	2,00	6,82x10 <sup>3</sup>
<b>Satına Cam</b>	350	0,60	2,00	2,25x10 <sup>7</sup>
	412	0,60	1,90	8,89x10 <sup>5</sup>
	469	0,71	1,50	1,41x10 <sup>6</sup>
	549	0,60	2,00	6,97x10 <sup>3</sup>
<b>Zeytin-dalı Buzlu Cam</b>	353	0,50	1,50	5,44x10 <sup>5</sup>
	417	0,60	2,00	6,99x10 <sup>5</sup>
	478	0,60	2,00	6,01x10 <sup>4</sup>
<b>Buzlu Cam</b>	342	0,50	1,70	6,92x10 <sup>5</sup>
	409	0,60	2,00	9,84x10 <sup>5</sup>
	471	0,60	1,50	8,32x10 <sup>4</sup>
	552	0,59	2,00	4,97x10 <sup>3</sup>
<b>Yeşil Bardak</b>	358	0,56	2,00	2,96x10 <sup>6</sup>
	414	0,65	1,97	3,10x10 <sup>6</sup>
	470	0,60	1,62	8,33x10 <sup>4</sup>
	549	0,53	1,50	1,10x10 <sup>4</sup>
<b>A Numaralı Cam Şişe</b>	340	0,50	2,00	1,16x10 <sup>6</sup>
	407	0,60	2,00	1,11x10 <sup>6</sup>
	469	0,59	1,50	6,38x10 <sup>4</sup>
	574	0,60	2,00	4,11x10 <sup>3</sup>

<b>B Numaralı Cam Şişe</b>	357	0,60	1,84	$1,47 \times 10^7$
	411	0,60	1,79	$8,88 \times 10^5$
	472	0,60	1,59	$7,45 \times 10^4$
	541	0,60	2,00	$8,37 \times 10^5$

Dekonvolüsyon analizini inceleyecek olursak, toplam TL ışına piki yeşil bardak camı dışında 4 ayrı pikten ve arka plan (background) pikinden oluştuğu gözlenmiştir. Zeytin-dalı buzlu cam örneği 3 ayrı pikten ve arka plan pikinden meydana gelmiştir. Bu piklerin enerjilerinin yaklaşık 0,5 - 0,71 eV olduğu gözlenmiştir. FOM değerlerinin % 3' ün altında olması gerekirken örneklerimiz % 3-9 arasında değişim göstermektedir. Fakat buna rağmen örneklerin kinetik parametrelerini gözlemlemek istedik.

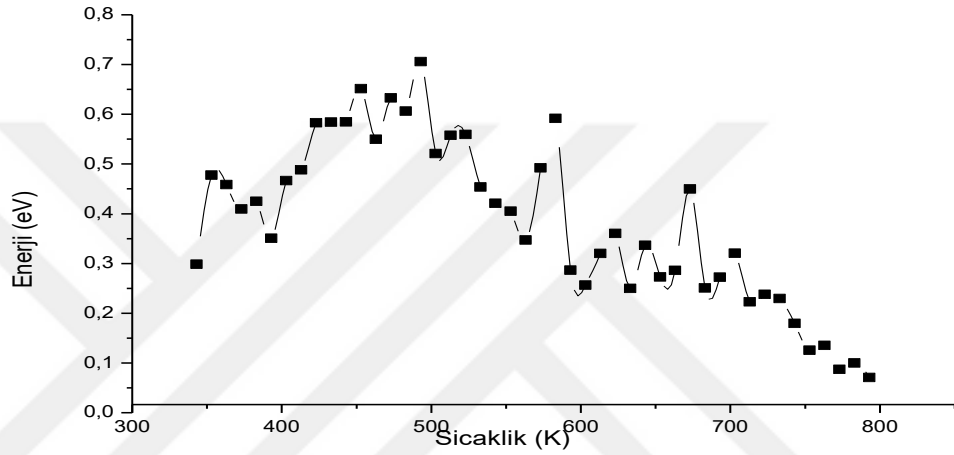
#### 4.3 Kesikli Artış Yöntemi (Fractional Glow Teknik) Bulguları

Kesikli artış yöntemi için örneklerimiz sıradan cam, satina cam, zeytin-dalı buzlu cam, buzlu cam, yeşil bardak camı, a numaralı cam şişe ve b numaralı cam şişe camıdır. Örneklerimiz 75 Gy ışınlanmıştır. Kesikli artış yönteminin detayları Bölüm 3.2.2' de anlatılmıştır. Şekil 4.11' de verilen grafik yeşil bardak cam örneğinin 300 °C' de ki  $\ln(I) - 1/kT$  grafiğidir.

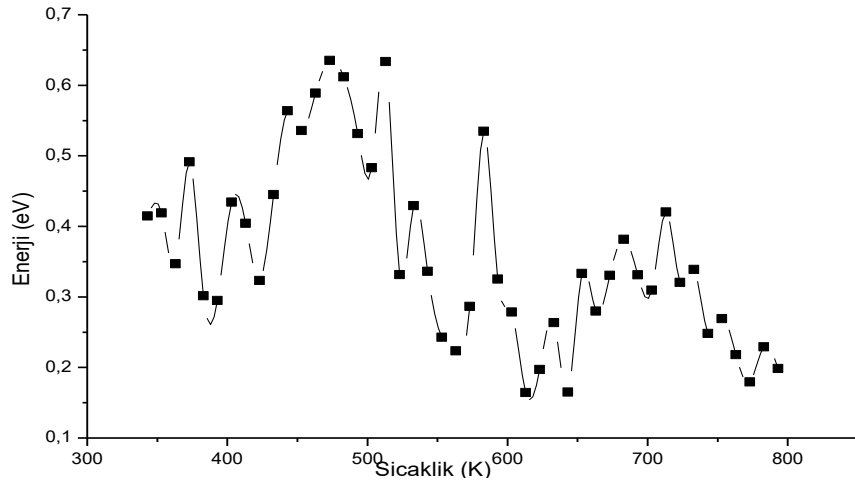


Şekil 4.11 Yeşil bardak cam örneğinin 300 °C' de ki  $\ln(I) - 1/kT$  grafiği

Şekil 4.11' de elde ettiğimiz grafik sonucunda örneğimizin 300 °C' de ki eğim değeri sıcaklığın kelvin değerine karşılık çizildiğinde tuzakların aktivasyon enerjilerinin bulunması amaçlanmaktadır. İlk olarak verdiğimiz doza karşılık tepkiyi en iyi şekilde veren sıradan cam, satina cam, zeytin-dalı buzlu cam, buzlu cam, yeşil bardak camı, a numaralı cam şişe ve b numaralı cam şişe örneklerine bu teknik uygulandı. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

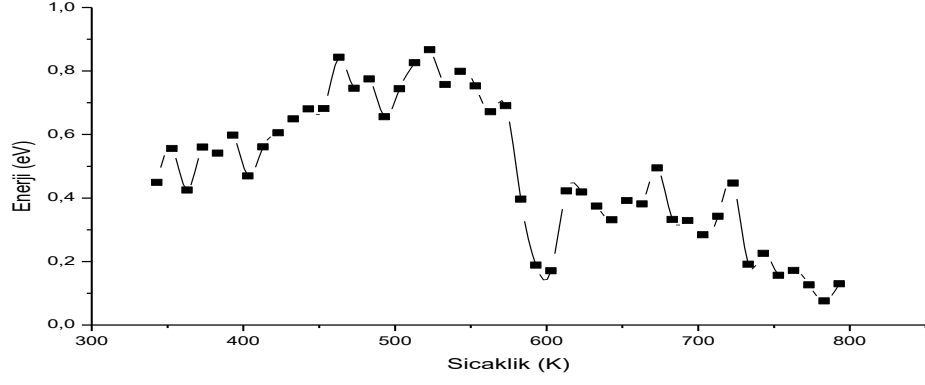


Şekil 4.12 Sıradan cam örneğinin tuzak parametre grafiği

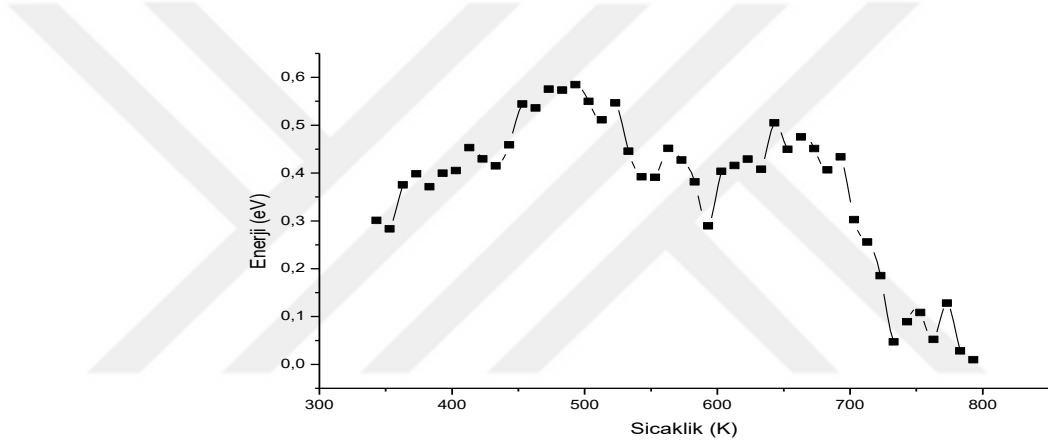


Şekil 4.13 Satina cam örneğinin tuzak parametre grafiği

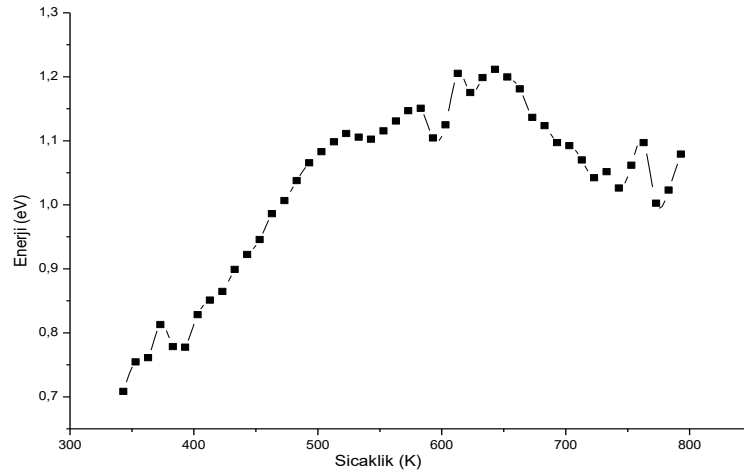




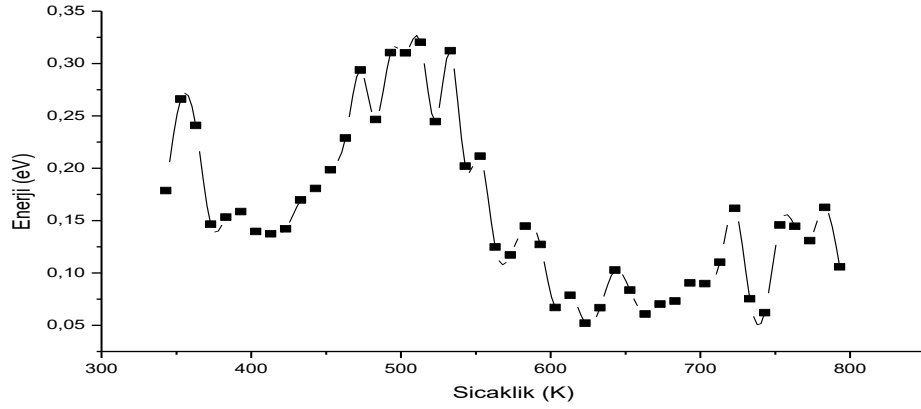
Şekil 4.14 Zeytin-dalı buzlu cam örneğinin tuzak parametre grafiği



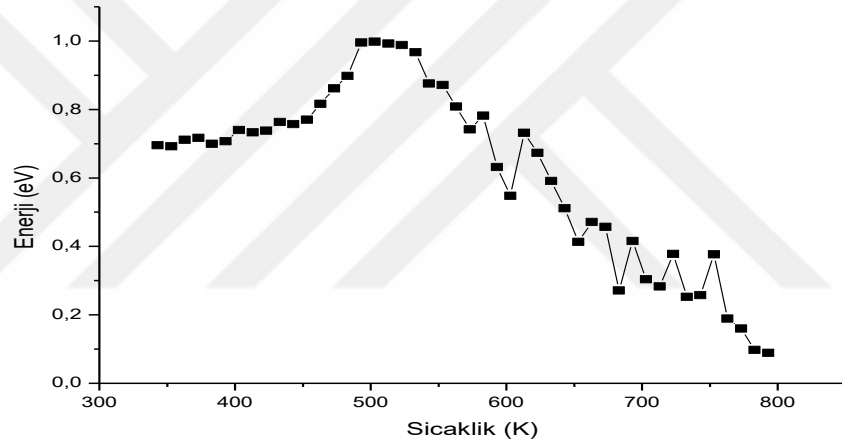
Şekil 4.15 Buzlu cam örneğinin tuzak parametre grafiği



Şekil 4.16 Yeşil bardak örneğinin tuzak parametre grafiği



Şekil 4.17 A numaralı cam şişe örneğinin tuzak parametre grafiği

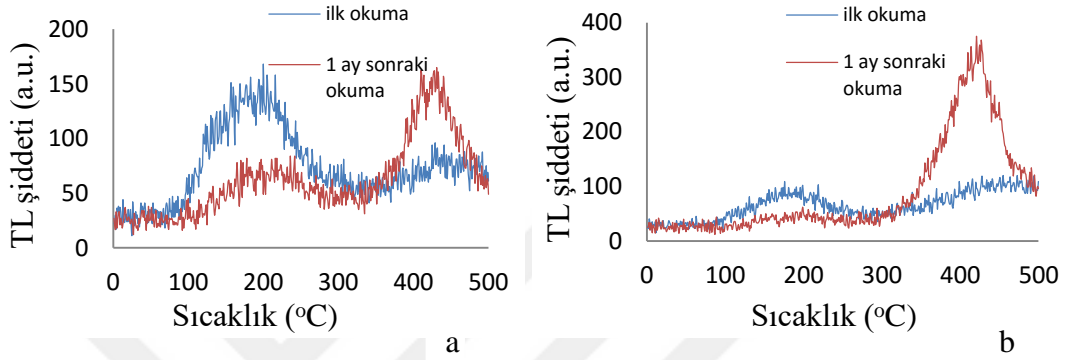


Şekil 4.18 B numaralı cam şişe örneğinin tuzak parametre grafiği

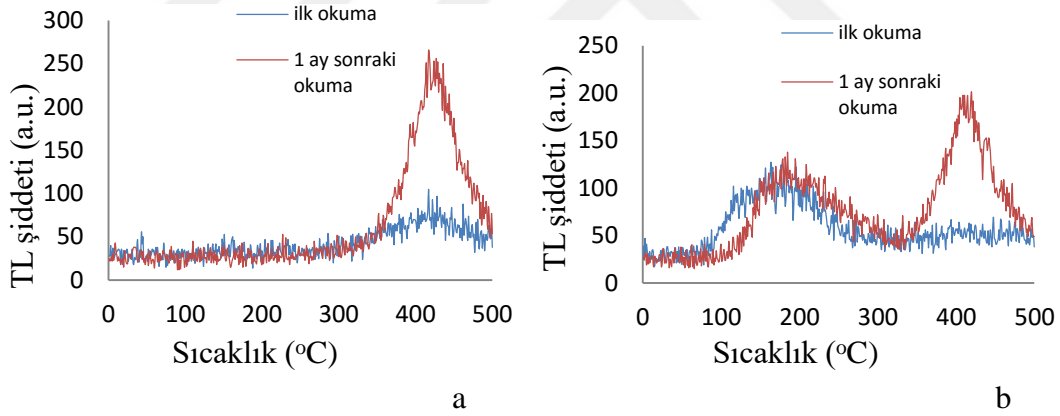
Kesikli ayrıştırma yöntemi (fractional glow technique) kullanarak elde edilen bulgulara göre, bu analiz yönteminin amorf malzemelere uygun olmadığı, platoların ve malzemelerin aktivasyon enerji değerlerinin gözlenmediği görülmektedir. Bu sonuçlar teorik beklentilerle uyumlu çıkmıştır. Kristal malzemelerin belirli sıcaklık değerlerinde görülen piklerin enerjilerini araştırılmasını sağlayan bu yöntem, cam malzemeler üzerinde ilk defa uygulanmıştır.

#### 4.4 Sönümlenme (Fading) Bulguları

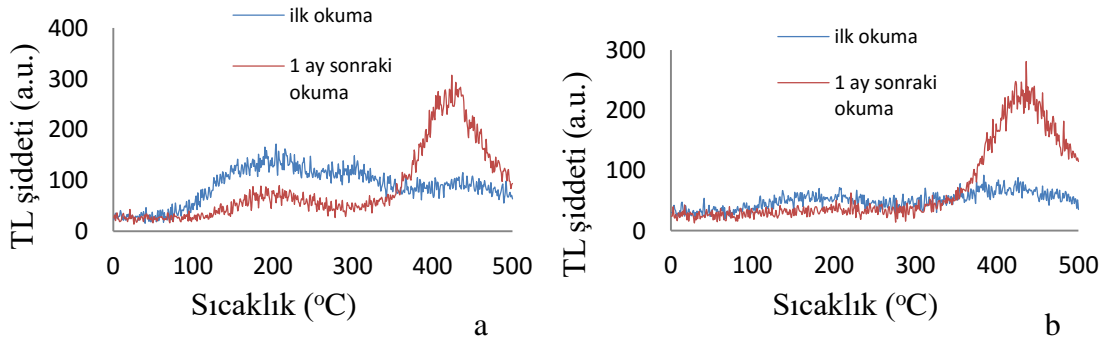
Sönümlenme çalışmamızı tüm örneklerimiz için inceledik. İkinci okuma ilk okumadan 1 ay sonra gerçekleşmiştir. Sönümlenme çalışmamızın deneysel süreci Bölüm 3.2.3' de yer almaktadır.



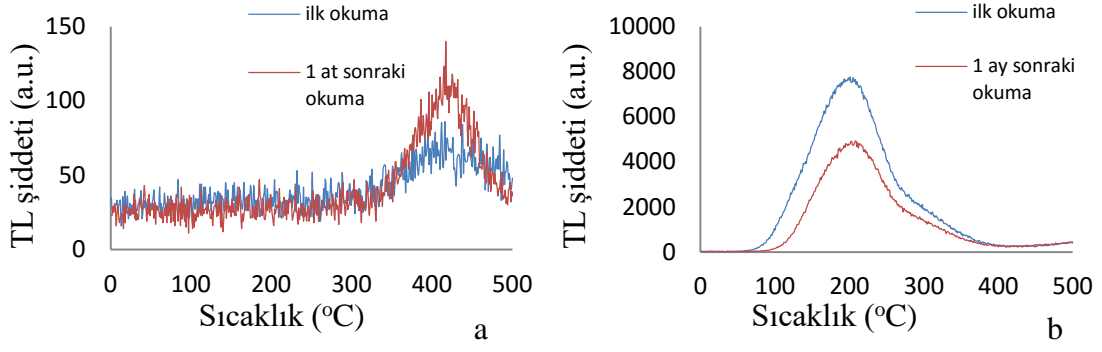
Şekil 4.19 Cam örneklerinin sönümlenme grafiği a) Sıradan cam b) Satina Cam



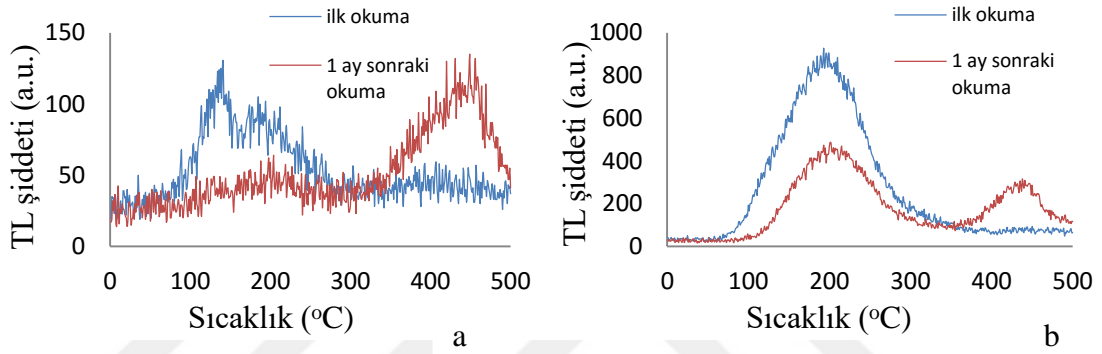
Şekil 4.20 Cam örneğinin sönümlenme grafiği a) Renkli bronz cam b) Zeytin-dalı buzlu cam



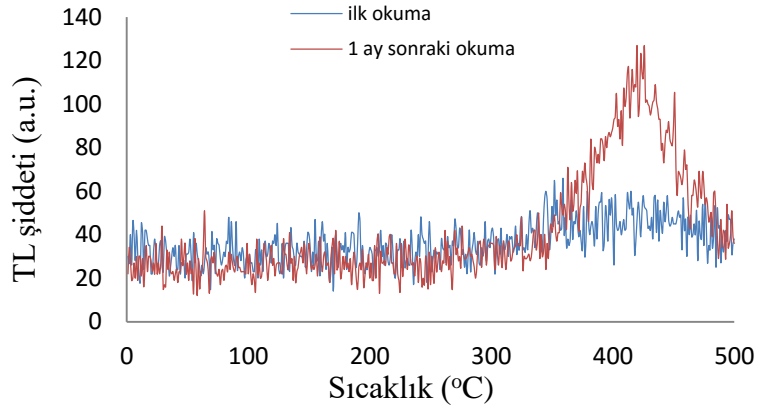
Şekil 4.21 Cam örneklerinin sönümlenme grafiği a) Buzlu cam b) Matobel Cam



Şekil 4.22 Cam örneklerinin sönümlene grafiği a) Füme buzlu cam b) Yeşil bardak camı



Şekil 4.23 Cam şişe örneklerinin sönümlene grafiği a) A numaralı cam şişe b) B numaralı cam şişe



Şekil 4.24 C numaralı cam şişe örneğinin sönümlene grafiği

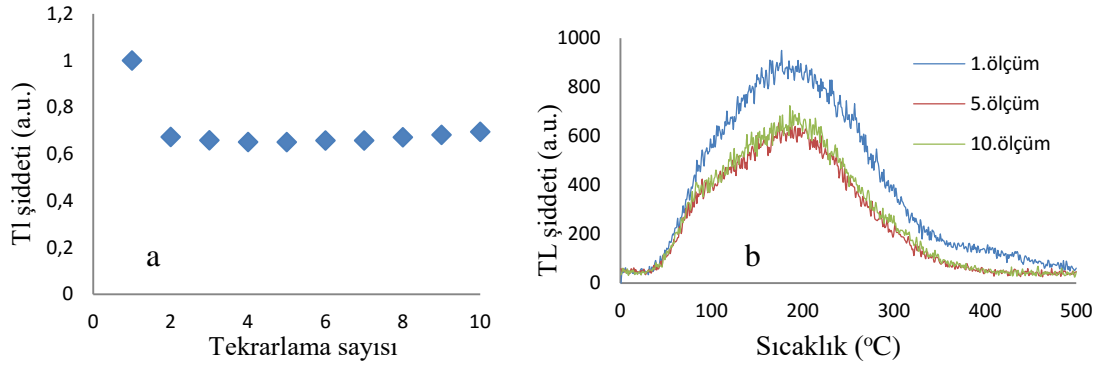
Sönümlenme (fading) analiz sonuçlarını tek tek inceleyecek olursak, sıradan cam, satina cam, buzlu cam, matobel cam örneklerinde 200 °C' de bulunan pik için 1 ay sonunda yaklaşık %50 oranında sönüm meydana gelmiştir. Yeşil bardak cam örneğinde, a numaralı cam şişe örneğinde ve b numaralı cam şişe örneğinde 200 °C' de meydana gelen pikin 1 ay sonunda sırasıyla, %36 - %30 - %47 oranında sönümlendiği görülmektedir. Zeytin-dalı buzlu cam örneğinde 200 °C' de bulunan pikin ilk okuma ile 1 ay sonraki okuma arasında bir sönümlenme gözlenmemiştir. Renkli bronz cam, füme buzlu cam ve c numaralı cam şişe örneklerinin 200 °C' de ilk okumada sinyal vermemesi dolayısıyla, sönümlenme meydana gelmediği görülmektedir.

Sönümlenme (fading) grafiklerinin 420 °C' de gözlenen sinyalleri inceleyecek olursak, yeşil bardak cam örneği dışında bütün örneklerimizin sinyal şiddetinin arttığı görülmektedir. Sıradan cam ve füme buzlu cam örneklerinin 420 °C' de meydana gelen sinyal şiddetinde sırasıyla %80 - %70 artış görülmektedir. Satina cam, buzlu cam, matobel cam ve b numaralı cam şişe örneklerinde 420 °C' de sinyal şiddetlerinde yaklaşık 3 kat artma görülmüştür. Renkli bronz cam, zeytin-dalı buzlu cam ve a numaralı cam şişe örneklerinde 420 °C' de sinyal şiddetlerinde 2,5 kat artış görülmektedir. C numaralı cam şişe örneğinde 420 °C' de sinyal şiddetinin 2 katına çıktığı gözlenmiştir. Yeşil bardak cam örneğinde 420 °C' de herhangi bir değişme meydana gelmemiştir. Bu artışın sebebinin, örneklerin 1 aylık karanlık ortamda bekleme sırasında verdiğimiz 75 Gy dozun zamanla ortamdaki uzaklaşması ve örneklerin zamanla doğal şiddet değerlerine dönmelerinden kaynaklandığını düşünüyoruz. Örneklerimizin doğal doz grafikleri Bölüm 4.1' de yer almaktadır.

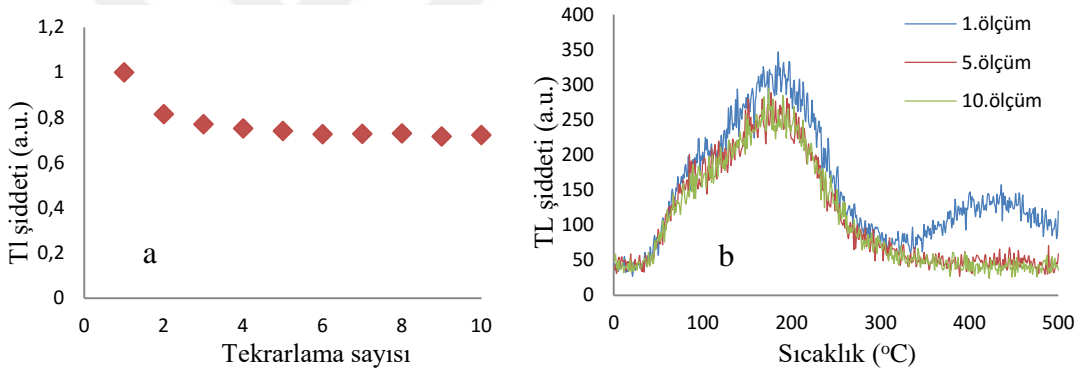
#### **4.5 Tekrarlanabilirlik**

Tekrarlanabilirlik çalışmasında sıradan cam, satina cam, zeytin-dalı buzlu cam, buzlu cam, yeşil bardak, a ve b numaralı cam şişe örnekleri kullanılmıştır. 500 °C' ye kadar ısıtılma gerçekleşmiş 150 Gy doz uygulanmıştır. TL şiddeti değeri olarak ışıma eğrisinin altında kalan alanın normalize hali kullanılmıştır. Örneklerimiz için 1., 5. ve

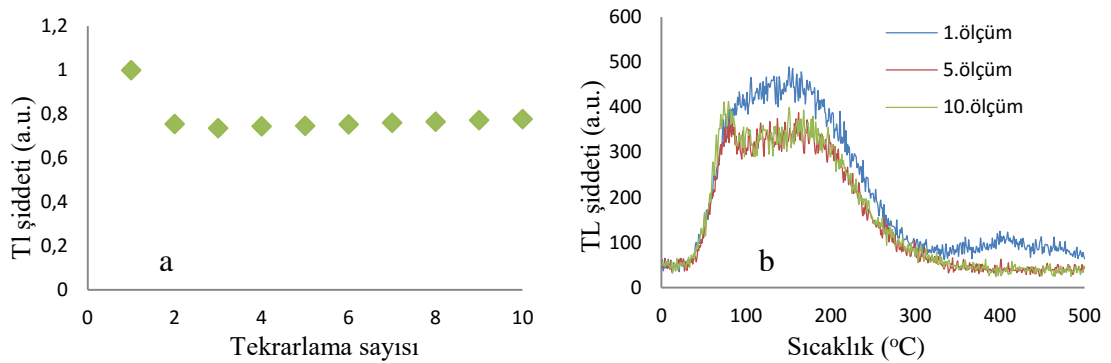
10 ölçümlerin ışına eğrileri çizilmiştir. Tekrarlanabilirlik çalışmasının deneysel süreci Bölüm 3.2.4' te yer almaktadır.



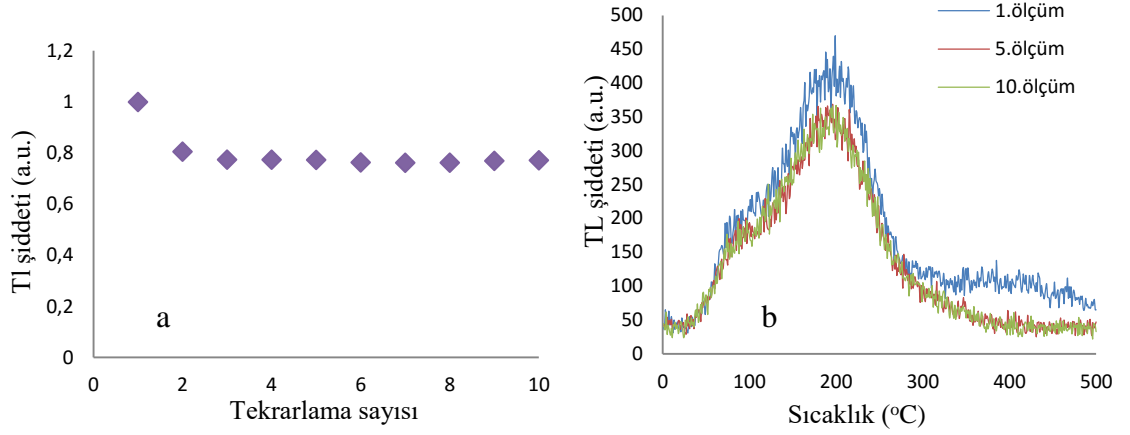
Şekil 4.25 Sıradan cam örneğine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi



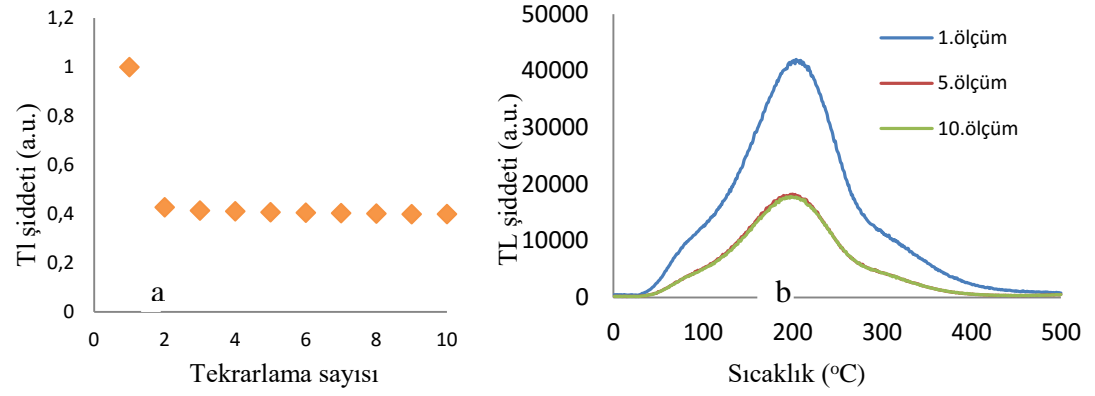
Şekil 4.26 Satına cam örneğine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi



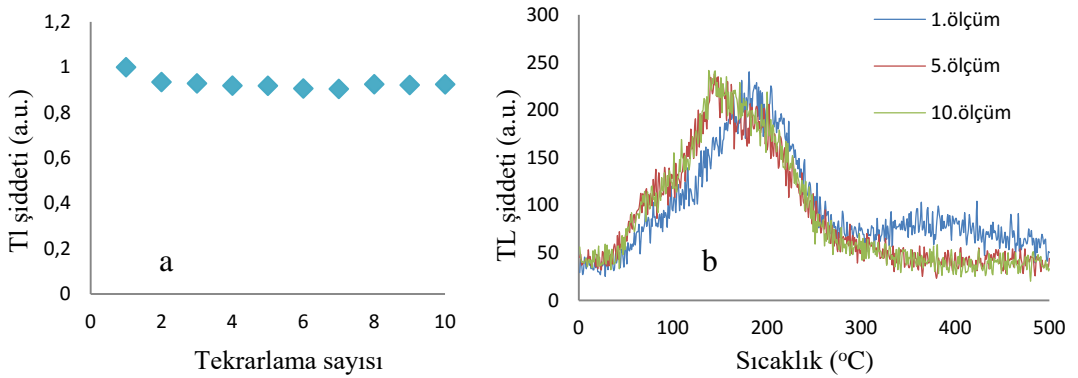
Şekil 4.27 Zeytin-dalı buzlu cam örneğine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi



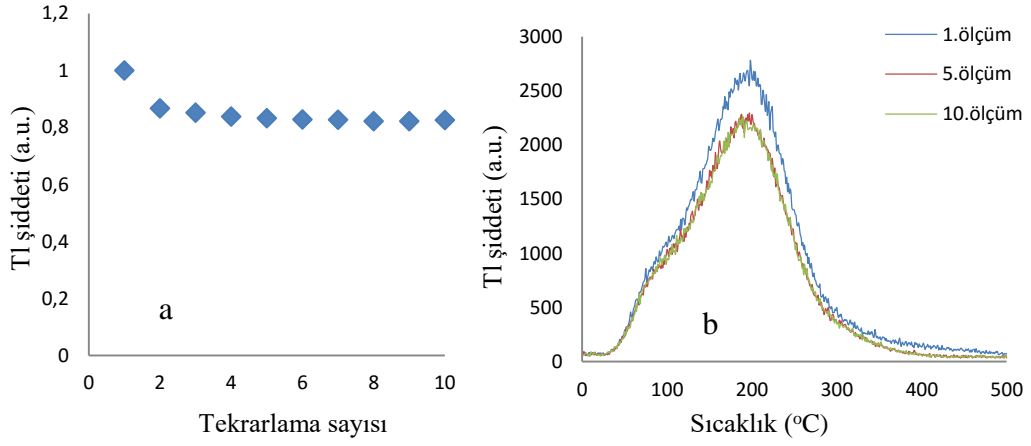
Şekil 4.28 Buzlu cam örneğine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi



Şekil 4.29 Yeşil bardak örneğine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi



Şekil 4.30 A numaralı cam şişesine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi



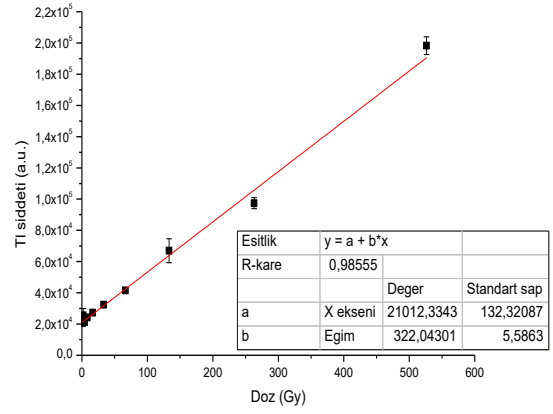
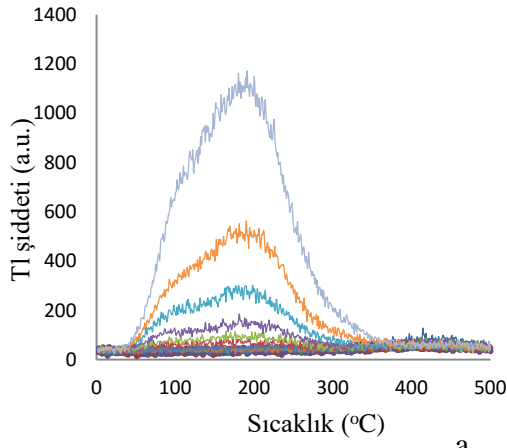
Şekil 4.31 B numaralı cam şişesine ait a) TL hassasiyetindeki değişim miktarı b) Işıma eğrisi

Tekrarlanabilirlik testinin bulgularına göre, örneklerin 10 tekrar dozu ölçümü sonucunda birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir. İlk okumanın diğerlerine göre daha fazla, geri kalan 9 tekrar okumanın birbirine denk olmasının nedeninin, Şekil 4.1-4.6 grafiklerinde de görüldüğü gibi 420 °C' de meydana gelen pikin doğal doz şiddetlerinin yüksek olmasından kaynaklandığını düşünüyoruz. Geri kalan 9 okumada ise verdiğimiz 150 Gy dozun da etkisiyle 420 °C' de meydana gelen pikin ortadan kalkması, geri kalan tekrar okumalar için eğri altında kalan alanların değişmemesi sonucunda örneklerimizin tekrarlanabilir olduğunu göstermektedir.

#### 4.6 TL İçin Doz Cevap Bulguları

Örneklerimize 0,25 Gy' den başlayarak 512 Gy' e kadar 13 farklı doz uyguladık. 500 °C' ye kadar ısıtma gerçekleştirildi. TL ışına eğrisi ve doz cevap grafikleri aşağıdadır. TL doz cevap çalışmasının deneysel süreci Bölüm 3.2.5' te yer almaktadır.

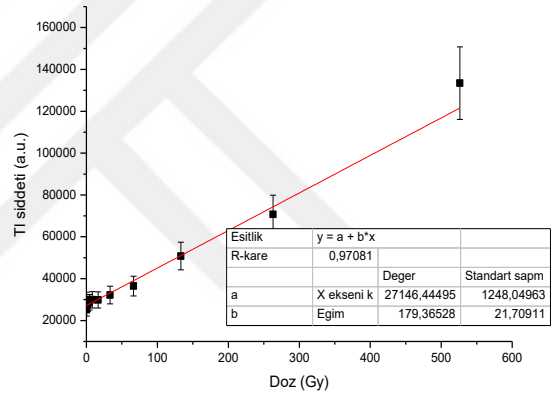
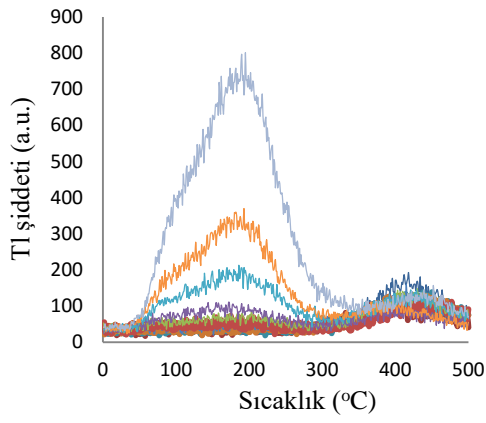




a

b

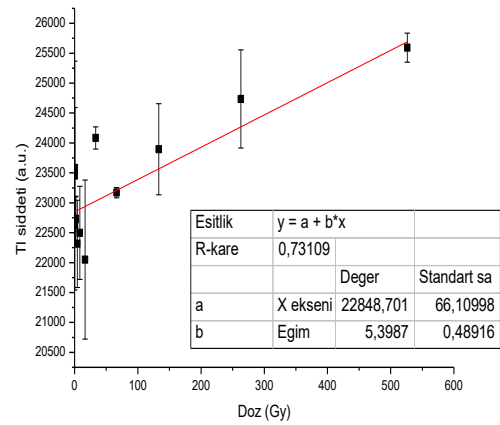
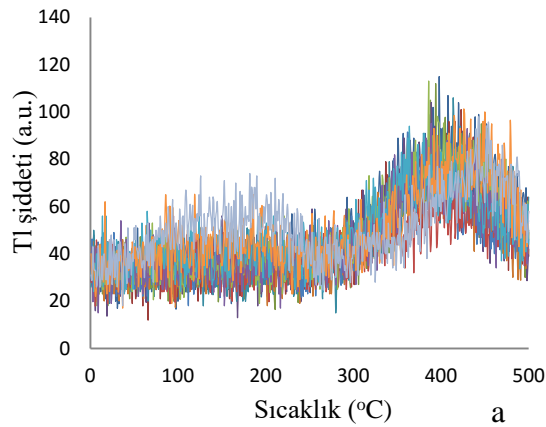
Şekil 4.32 Sıradan cam örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi



a

b

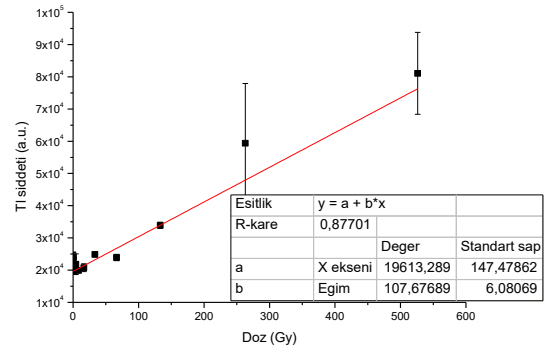
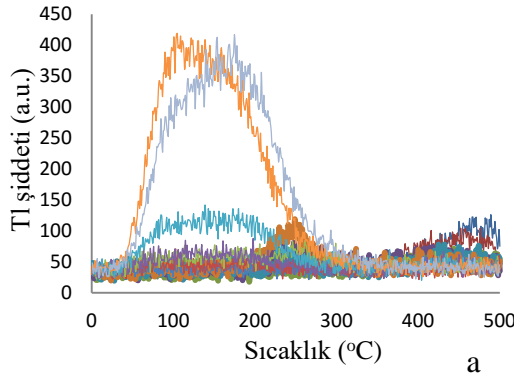
Şekil 4.33 Satına cam örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi



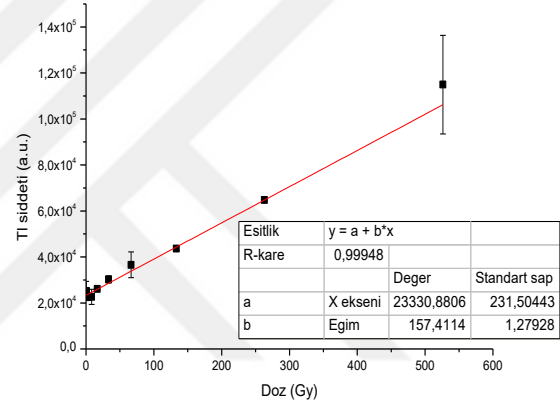
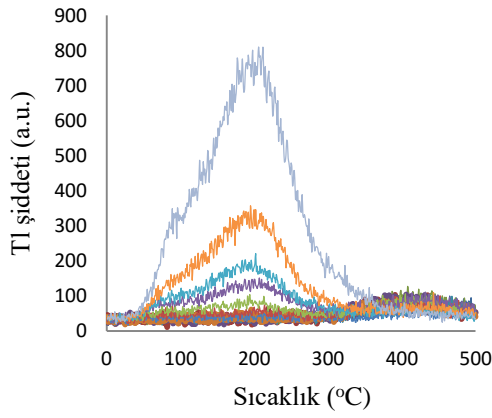
a

b

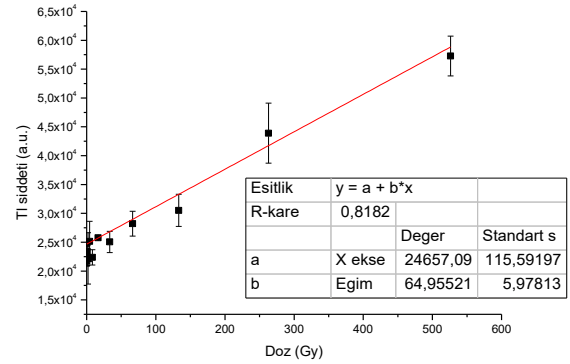
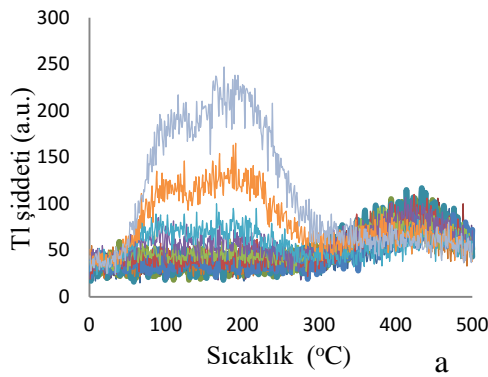
Şekil 4.34 Renkli bronz cam örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi



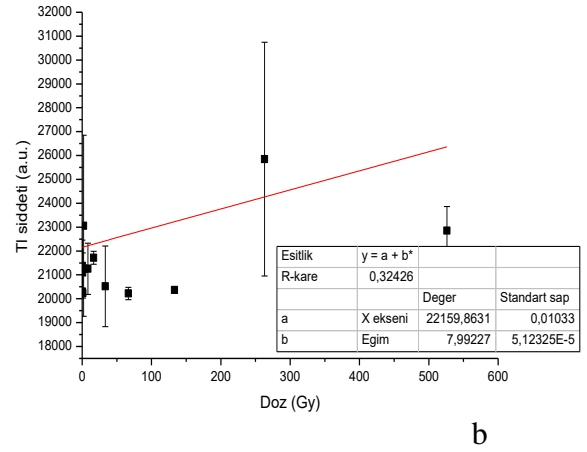
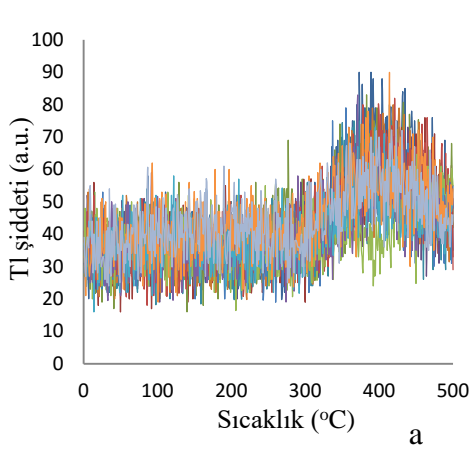
Şekil 4.35 Zeytin-dalı buzlu cam örneğinin a) Işıma Eğrisi b) Doz cevap eğrisi



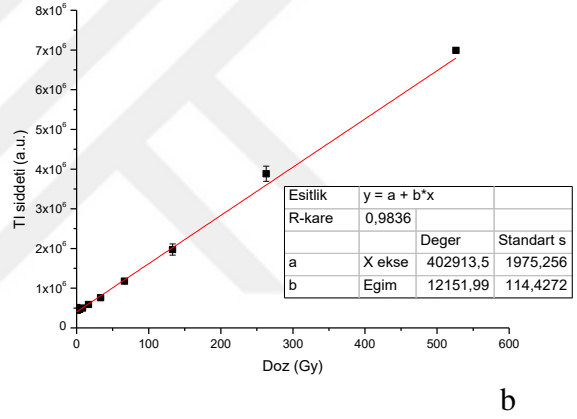
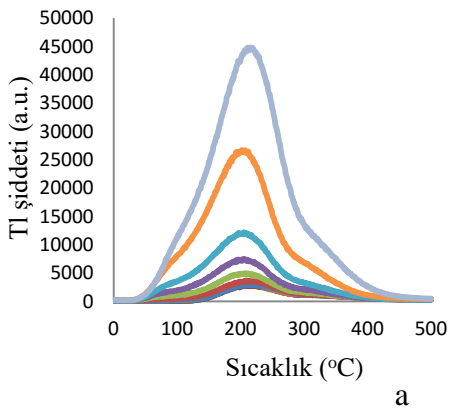
Şekil 4.36 Buzlu cam örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi



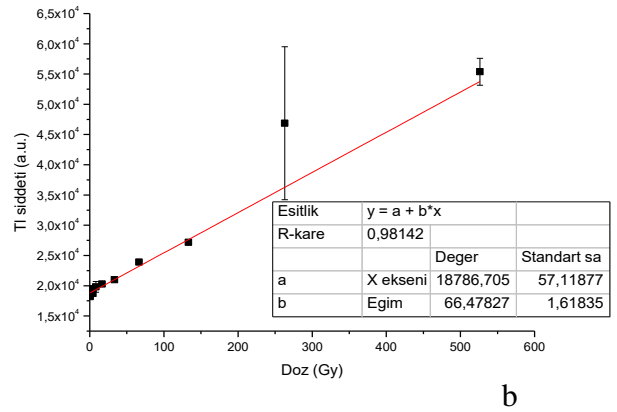
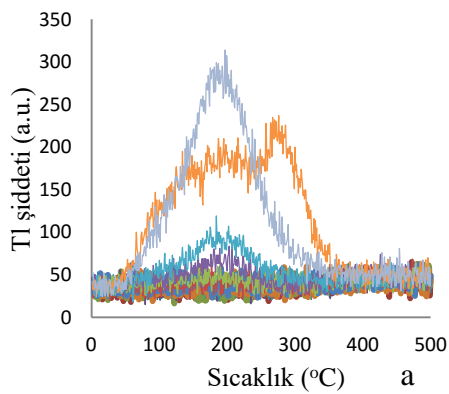
Şekil 4.37 Matobel cam örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi



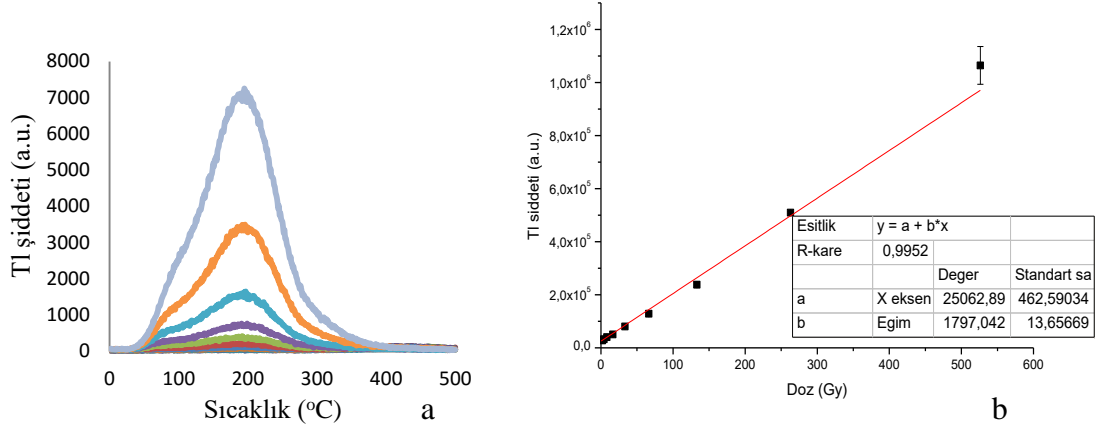
Şekil 4.38 Füme buzlu cam örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi



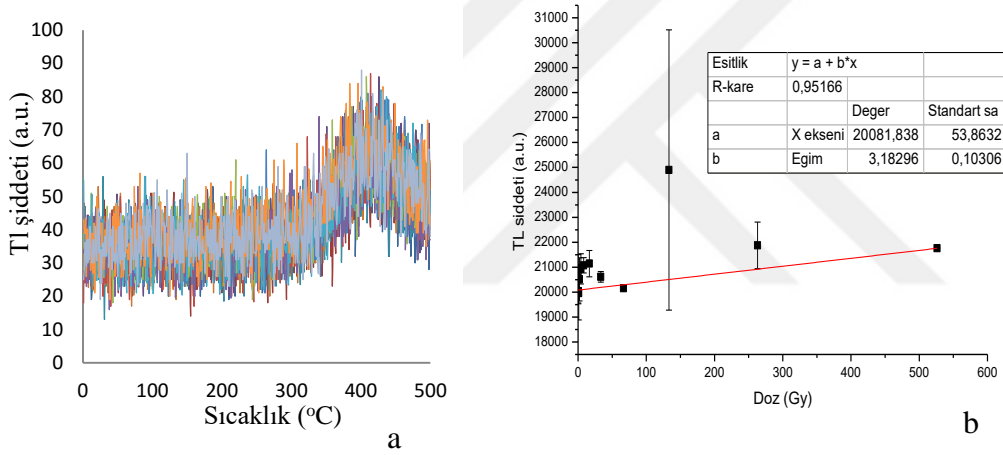
Şekil 4.39 Yeşil bardak örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi



Şekil 4.40 A numaralı cam şişe örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi



Şekil 4.41 B numaralı cam şişe örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi



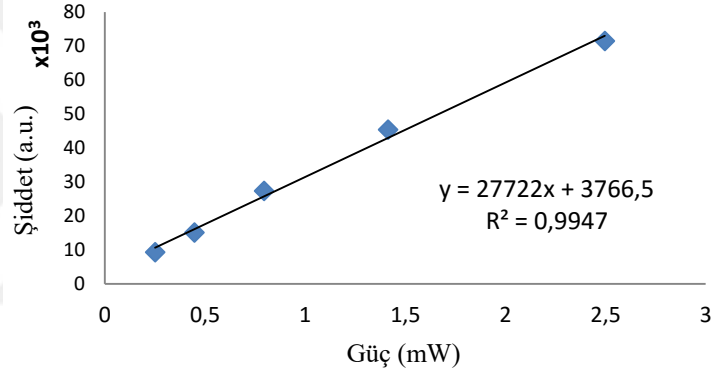
Şekil 4.42 C numaralı cam şişe örneğinin a) Işıma eğrisi b) Doz cevap eğrisi

Sonuçlar dozimetrik özellikler açısından incelenecek olursa, verilen 0,25 - 512 Gy doza karşı sıradan cam, satina cam, zeytin-dalı buzlu cam, buzlu cam, matobel cam yeşil bardak camı, a numaralı şişe cam, b numaralı şişe cam örnekleri lineer olarak cevap vermiştir. Kalan 3 örnek (renkli bronz cam, füme buzlu cam, c numaralı cam şişe) bu doz aralığında lüminesans salınımı göstermemiştir. Düşük dozlar için (0,25 - 8 Gy) cam malzemelerimizin doza karşı lineer olmadığı görülmektedir, bu yüzden doza karşı cevap veren örneklerimizin ortak özelliği düşük dozlarda kesinlikle dozimetre olarak kullanılamayacak olmalarıdır. 16 Gy ve daha yüksek dozlarda ise verilen cevabın lineer

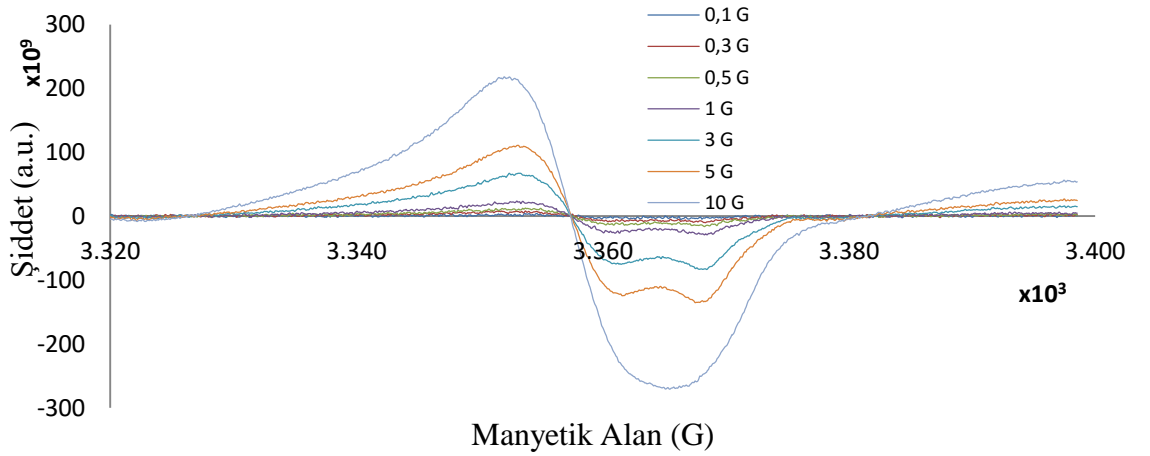
olması ve 500 Gy' de dahi doyuma ulaşamaması, bu örneklerin yüksek doz dozimetresi olarak kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

#### 4.7 Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) Bulguları

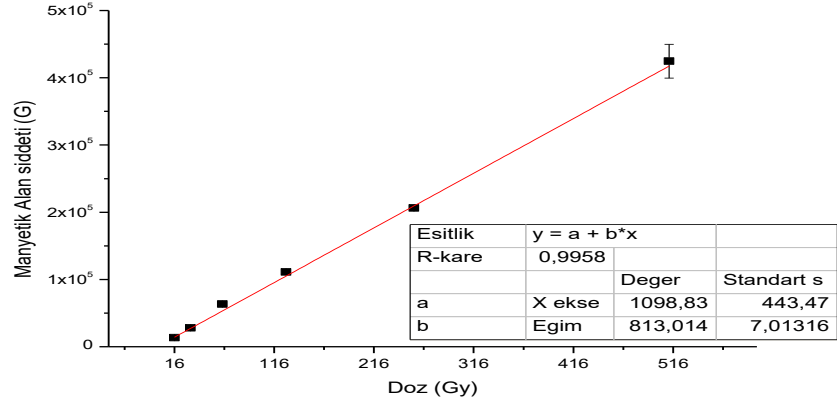
EPR cihazını kullanarak daha önce çalışmalar yaptığımız örnekler içerisinde sinyal şiddeti yüksek olan 2 örneği seçtik. Bu örnekler amorf yeşil bardak camı ve b numaralı cam şişedir. Elektron paramanyetik rezonans çalışması ile ilgili bilgi Bölüm 3.2.6' te yer almaktadır. Çalışmaların bulguları aşağıdaki gibidir.



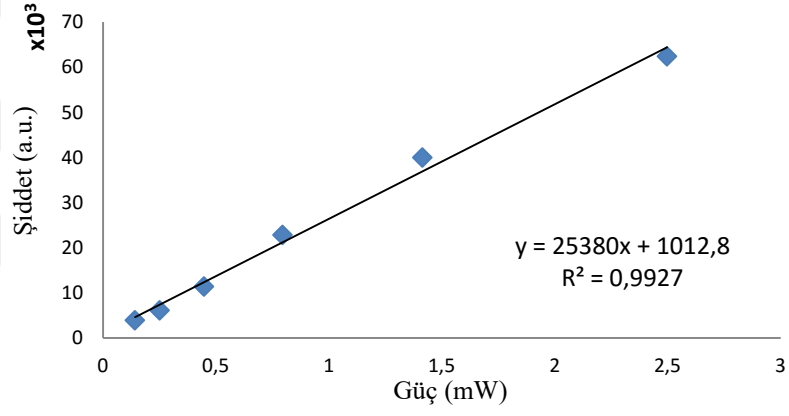
Şekil 4.43 Yeşil bardak cam örneğinin güç çalışması



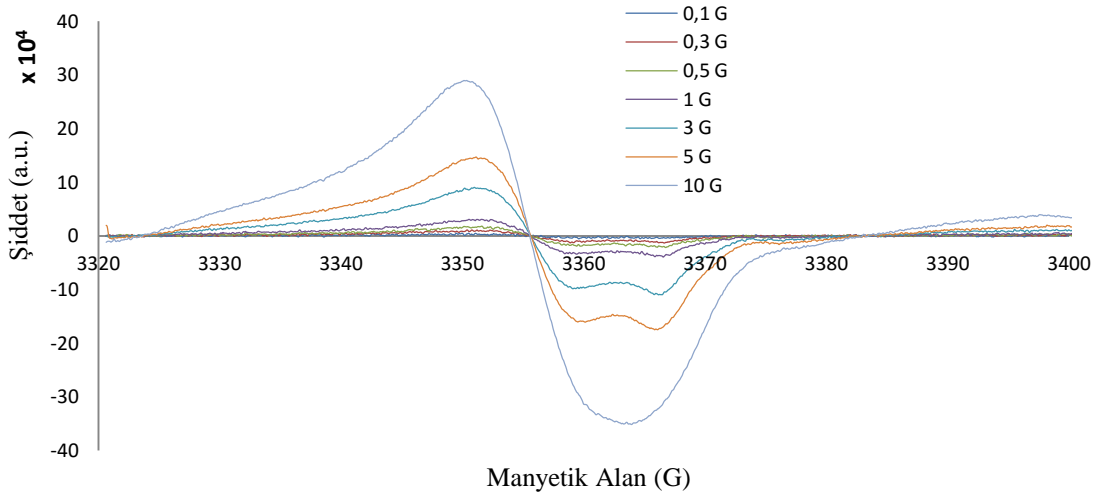
Şekil 4.44 Yeşil bardak cam örneğinin modülasyon genliği



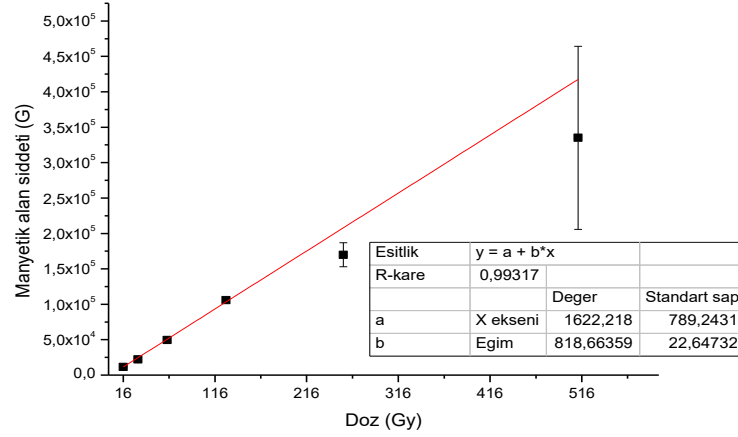
Şekil 4.45 Yeşil bardak cam örneğinin doz cevap eğrisi



Şekil 4.46 B numaralı cam şişe örneğinin güç çalışması



Şekil 4.47 B numaralı cam şişe örneğinin modülasyon genliği



Şekil 4.48 B numaralı cam şişe örneğinin doz cevap eğrisi

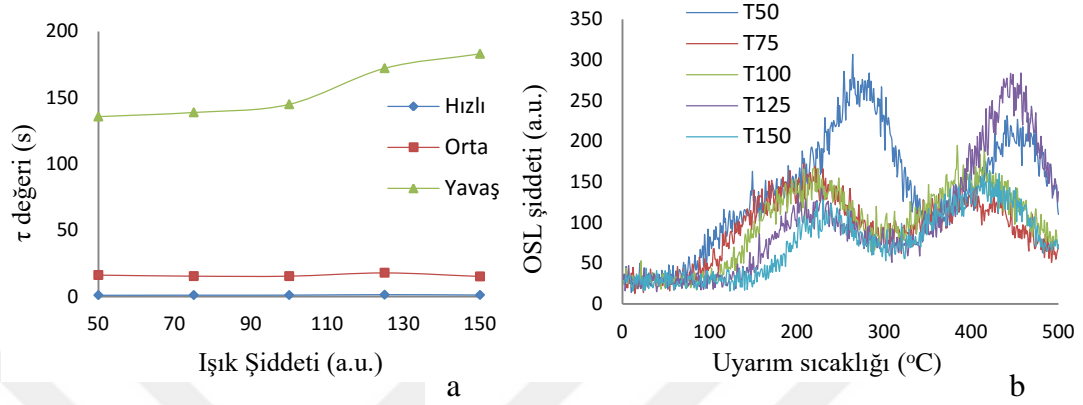
EPR ölçüm sonuçları incelenecek olursa güç değeri 2 mW, modülasyon genliği ise 3 G olarak seçilmiştir. EPR sonuçları, TL ve OSL çalışmalarımıza destek niteliğinde artan doz şiddetine karşı artan sinyal şiddeti elde edecek şekilde çıkmıştır. Elde edilen bulgular ışığında, yeşil bardak camı ve b numaralı cam şişesi üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, elde edilen doz cevap eğrileri 16 Gy' den yüksek dozlarda ki şiddet değerlerini kapsıyor. 16 Gy' den yüksek dozları almamızın sebebi TL doz cevap eğrilerinde görülen düşük dozlarda meydana gelen dalgalanmadır (Bölüm 4.6). Şekil 4.45 ve Şekil.4.48, 16 Gy ve yüksek dozlarda, yeşil bardak camı ve b numaralı cam şişe örneklerimizin yüksek doz dozimetresi olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

## 4.8 Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) Bulguları

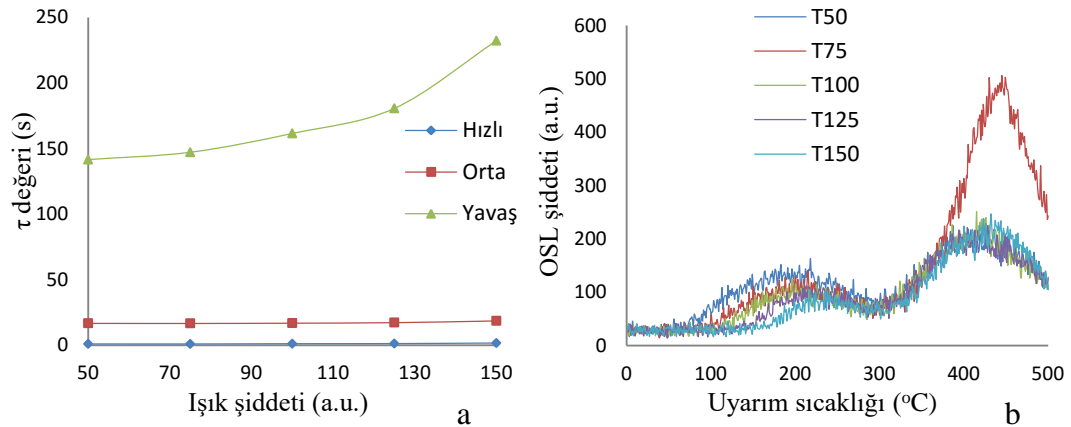
### 4.8.1 Ağartma işlemi 1. protokol (Mavi led kullanarak 1.mertebeden kinetik sonuçları)

Ağartma işlemi 1. protokol çalışmamızda mavi led kullandık. OSL eğrileri dekonvolüsyon edildi ve 1.mertebeden kinetiğe göre yapıldı. OSL eğrileri 3 bileşenden oluşuyor (hızlı, orta, yavaş). Biz örneklerimizi hem 1. mertebeden hem de 2.mertebeden

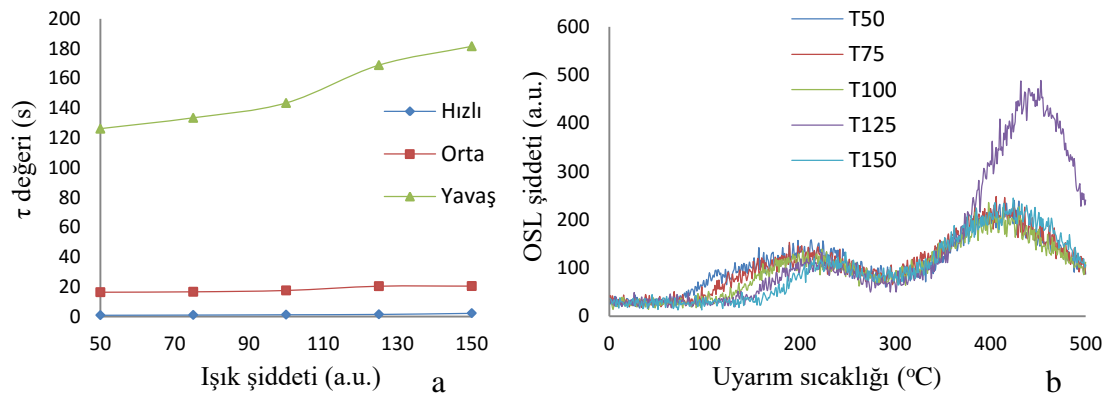
kinetiğe göre analiz ettik. Ağartma işlemi 1. protokol çalışması ile ilgili bilgi Bölüm 3.2.7' te yer almaktadır. Grafikler aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.49 Sıradan cam örneğinin a) OSL  $\tau$  bileşenleri b) Işıma eğrisi

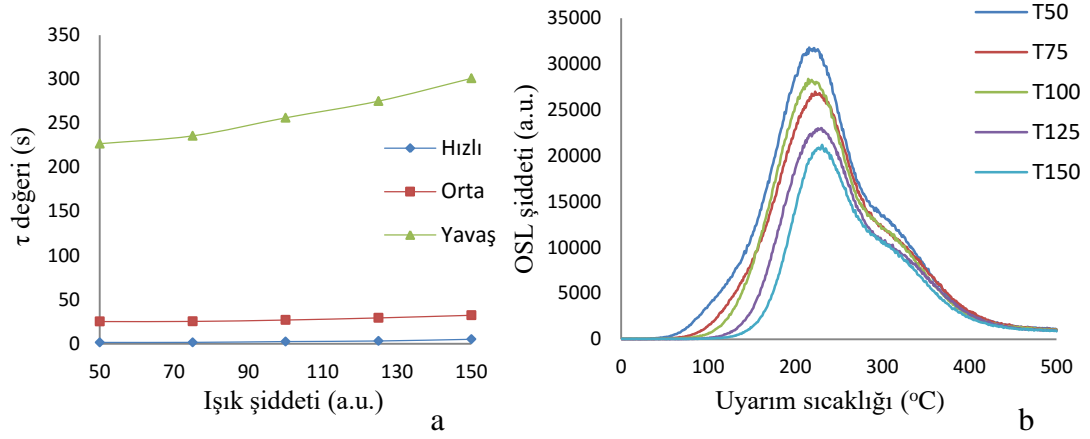


Şekil 4.50 Satına cam örneğinin a) OSL  $\tau$  bileşenleri b) Işıma eğrisi

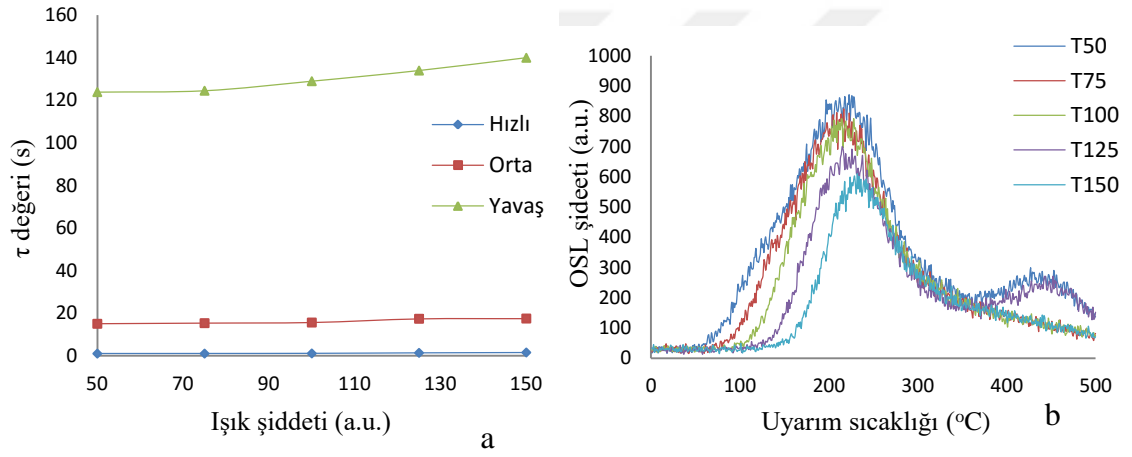


Şekil 4.51 Buzlu cam örneğinin a) OSL  $\tau$  bileşenleri b) Işıma eğrisi

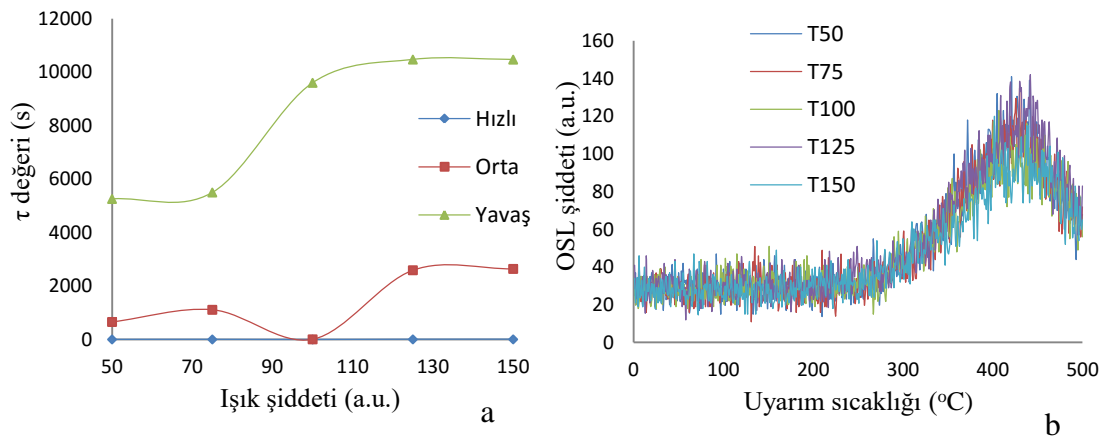




Şekil 4.52 Yeşil bardak örneğinin a) OSL  $\tau$  bileşenleri b) Işıma eğrisi



Şekil 4.53 B numaralı cam şişe örneğinin a) OSL  $\tau$  bileşenleri b) Işıma eğrisi

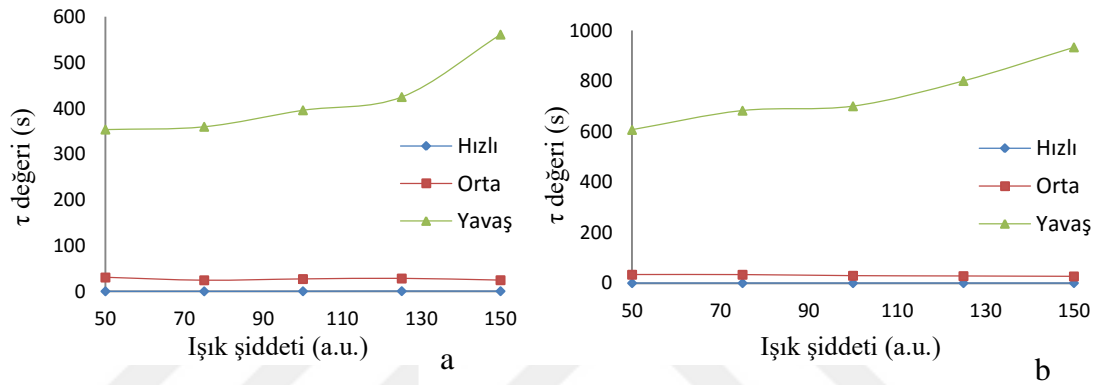


Şekil 4.54 C numaralı cam şişe örneğinin a) OSL  $\tau$  bileşenleri b) Işıma eğrisi

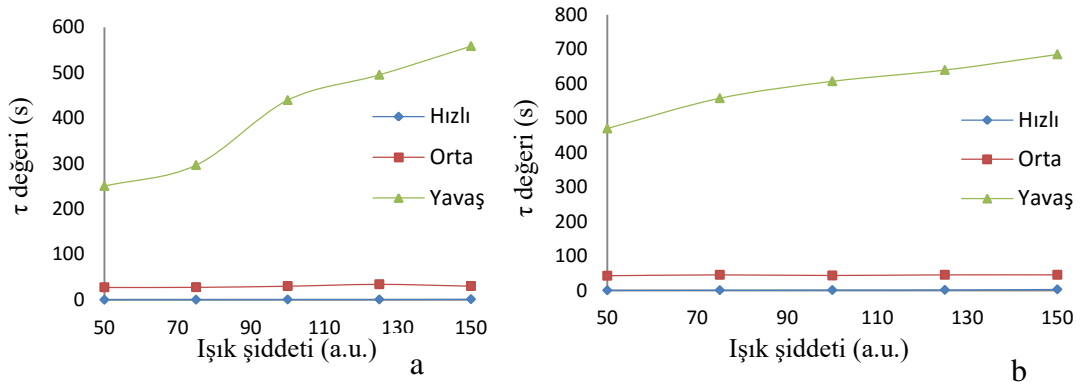
Işıma eğrilerinde görülen T50 - T75 - T100 - T125 - T150 uyarım sıcaklıklarıdır. Uyarım sıcaklığı arttıkça OSL şiddetinde azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni, uyarım sıcaklığının artmasının bazı tuzakları bozmasından kaynaklanmaktadır. OSL  $\tau$  bileşenleri için detaylı yorum Bölüm 4.7.2' da yer almaktadır.

#### 4.8.2 Mavi led' i kullanarak 2.mertebeden kinetik sonuçları

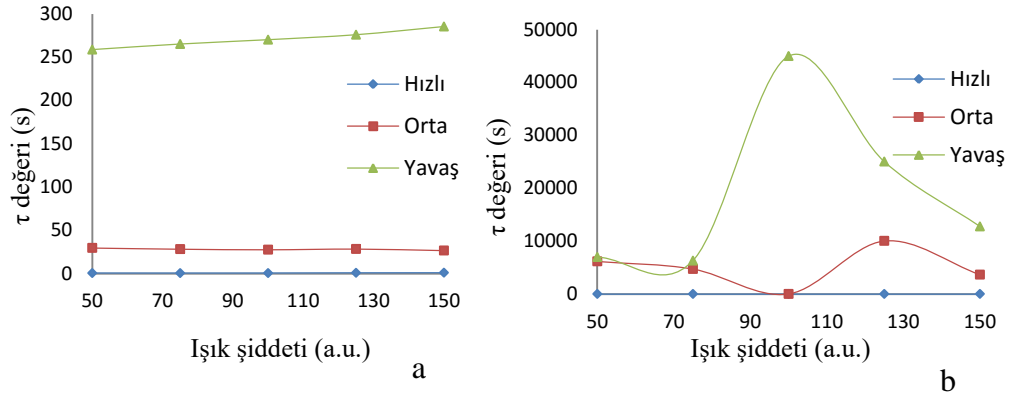
2 mertebeye göre elde ettiğimiz bulgular aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.55 Cam örneklerinin 2. mertebeden OSL  $\tau$  bileşenleri a) Sıradan cam b) Satina cam



Şekil 4.56 Cam örneklerinin 2.mertebeden OSL  $\tau$  bileşenleri a) Buzlu cam b) Yeşil bardak



Şekil 4.57 Cam şişe örneğinin 2.mertebeden OSL  $\tau$  bileşenleri a) B numaralı cam şişe b) C numaralı cam şişe

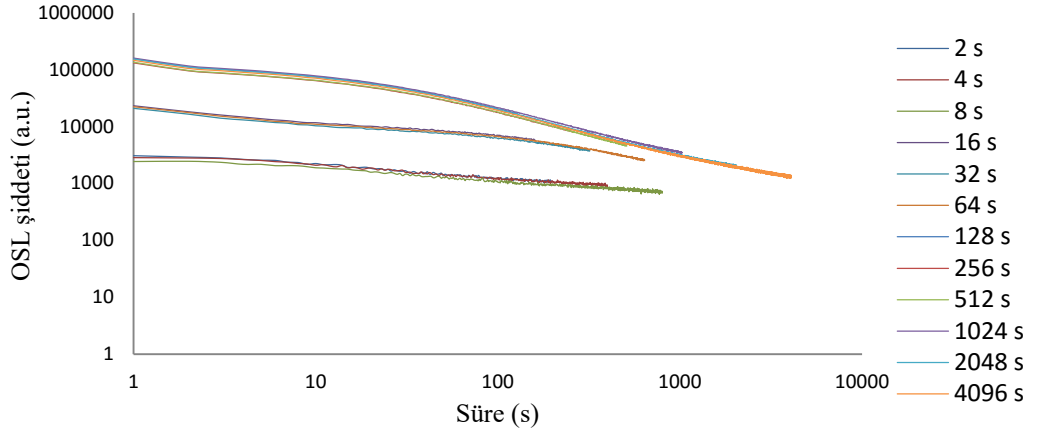
Örneklere uyguladığımız uyarım sıcaklığı + mavi led ışıktır. Mavi led kullanarak yapmış olduğumuz bu çalışmada sıcaklığının artması tuzaklarda bulunan elektronların tuzaklardan kurtulması anlamına geldiğinden, şiddette sıcaklık arttıkça azalma olmasını bekliyorduk, bu şiddet azalımının bizde  $\tau$ ' nun yavaş komponentinin grafiklerde de görüldüğü gibi artmasına neden oldu. Sıradan cam, satına cam, buzlu cam, yeşil bardak ve b numaralı cam şişe örnekleri bu deneysel yöntemin bu örneklere uygulanacağını göstermiştir. C numaralı cam şişe örneği ise  $\tau$ ' nun komponentleri arasındaki salınımları dolayısıyla bu yöntem için kullanılamaz.

#### 4.8.3 Ağartma işlemi 2. protokol

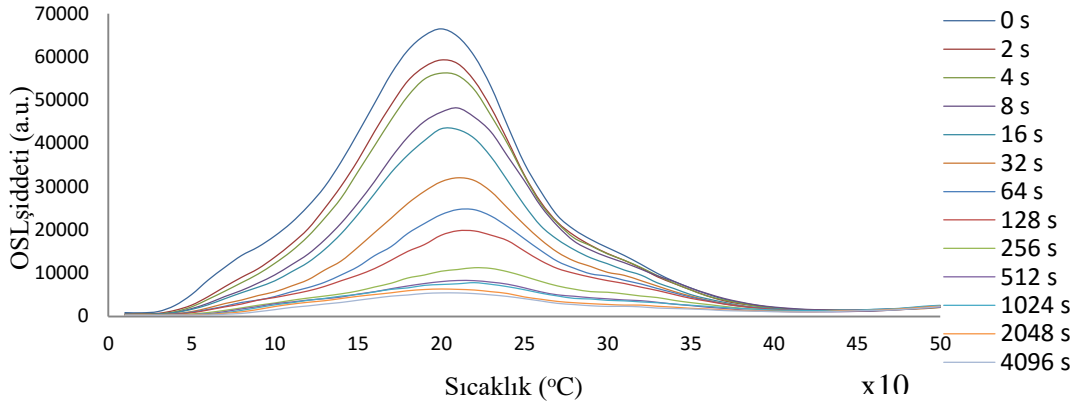
Bu protokolda sürekli dalga uyarımı metodunu (cw\_osl) kullandık. Çalışmamızı yeşil bardak camı, b numaralı cam şişe ve c numaralı cam şişe örnekleri için inceledik. Ağartma işlemi 2. protokol ile ilgili deneysel bilgiler Bölüm 3.2.7' da yer almaktadır.

Bulgular aşağıdadır.

Yeşil bardak örneğinin sürekli dalga uyarımlı OSL ve TL diyagramları aşağıdaki gibidir.

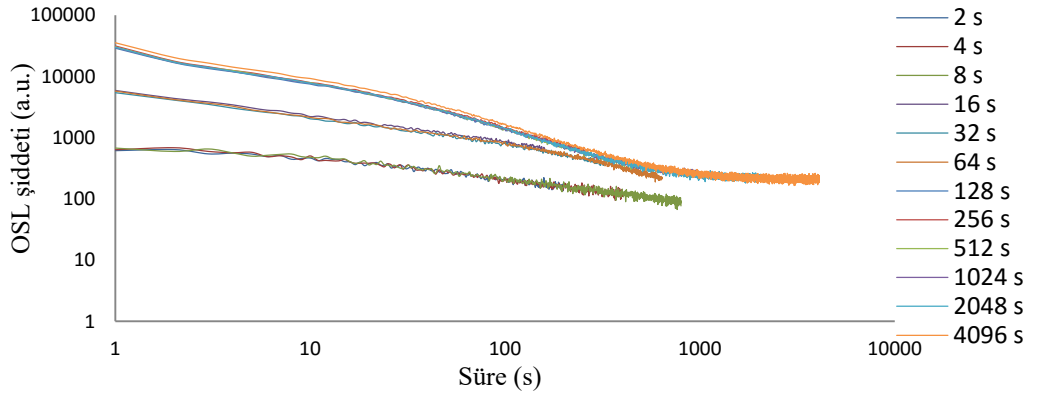


Şekil 4.58 Yeşil bardak cam örneğinin sürekli dalga uyarımlı OSL azalım eğrisi

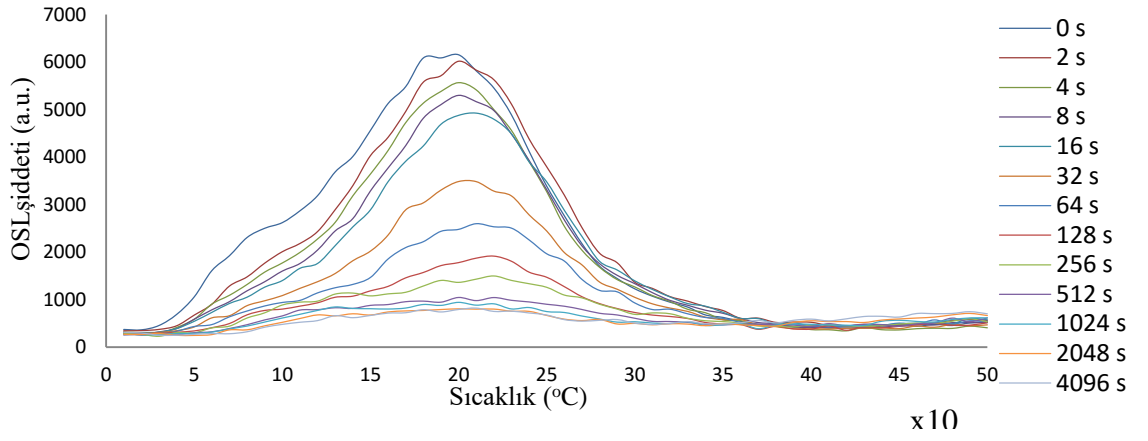


Şekil 4.59 Yeşil bardak cam örneğinin OSL analizi

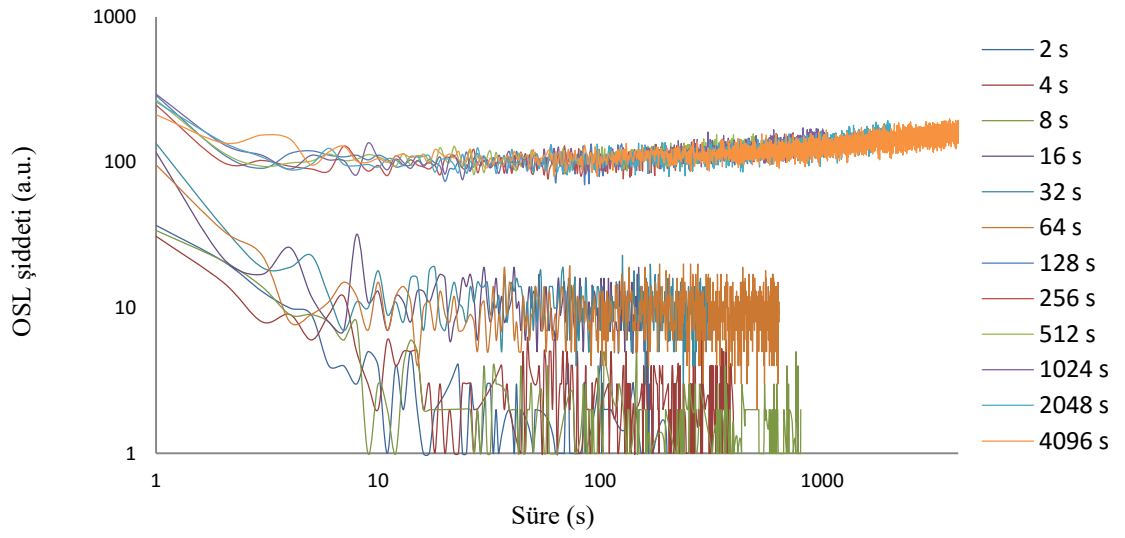
B numaralı cam şişe örneğinin sürekli dalga uyarımlı OSL ve TL diyagramları aşağıdaki gibidir.



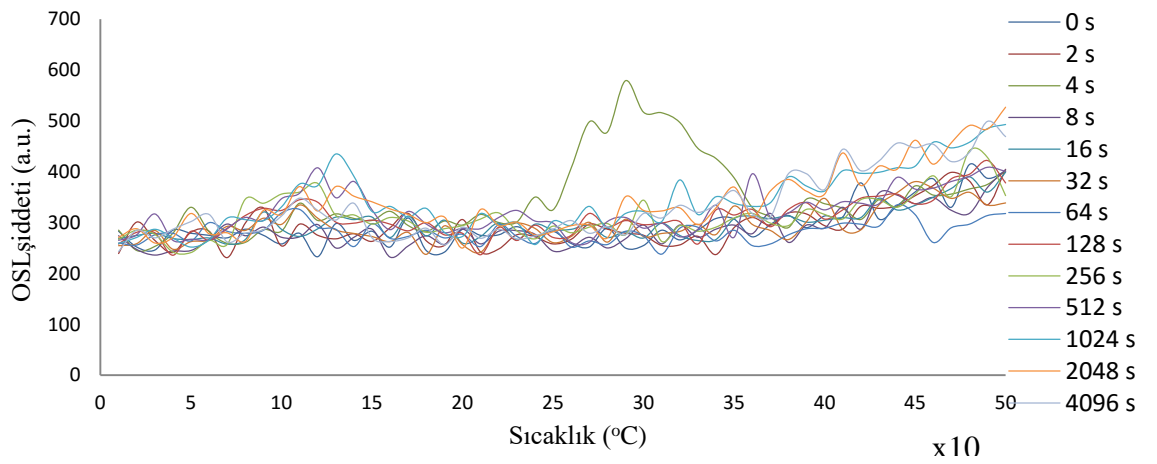
Şekil 4.60 B numaralı cam şişe örneğinin sürekli dalga uyarımlı OSL azalım eğrisi



Şekil 4.61 B numaralı cam şişe örneğinin OSL analizi



Şekil 4.62 C numaralı cam şişe örneğinin sürekli dalga uyarımlı OSL azalım eğrisi



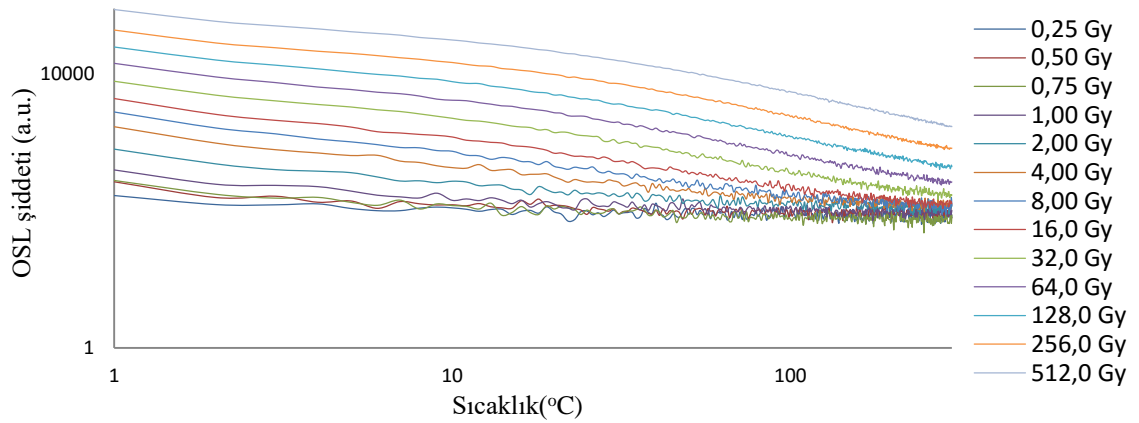
Şekil 4.63 C numaralı cam şişe örneğinin OSL analizi

Yapılan ağartma (bleaching) deneyi için 3 örnek ele alınmıştır. Bu örnekler yeşil bardak camı, b numaralı cam şişe ve c numaralı cam şişe örnekleridir. Bu örneklerin analiz edilmesinin nedeni, yeşil bardak ve b numaralı cam şişe örneklerinin doza karşı cevaplarının yüksek olması, c numaralı cam şişe örneğinin ise doza karşı cevap verememesidir. Yeşil bardak ve b numaralı cam şişe örneklerinin 1,5 saat sonunda mevcut OSL sinyalinin arka plan seviyesine düştüğü gözlemlenmiştir. C numaralı cam şişe örneği çalışmamıza hiç bir tepki vermemiştir. Ağartma (bleaching) çalışması şimdiye kadar cam malzemeler için literatür de ilk defa uygulanmıştır.

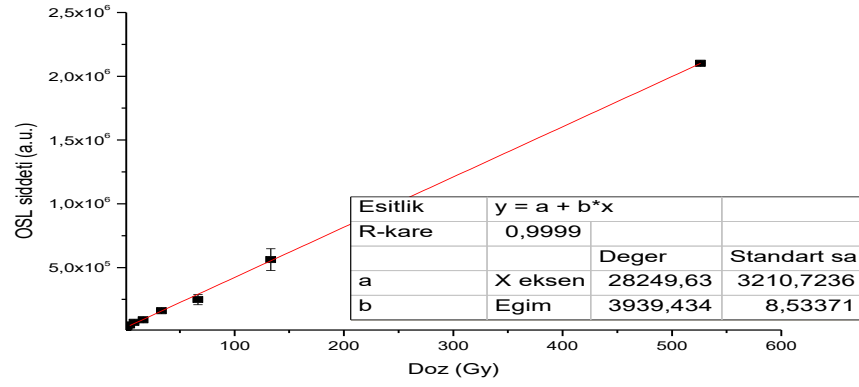
#### 4.8.4 Mavi led kullanılarak gerçekleştirilen OSL doz cevap bulguları

Tüm örneklerimize 0,25 - 512 Gy arasında 13 farklı doz vererek mavi led altında doza karşılık verdikleri tepkiler incelendi (300 °C, 300 veri noktası, 1 °C/s). OSL doz cevap analiz işlemi ile ilgili deneysel bilgi Bölüm 3.2.5' te yer almaktadır.

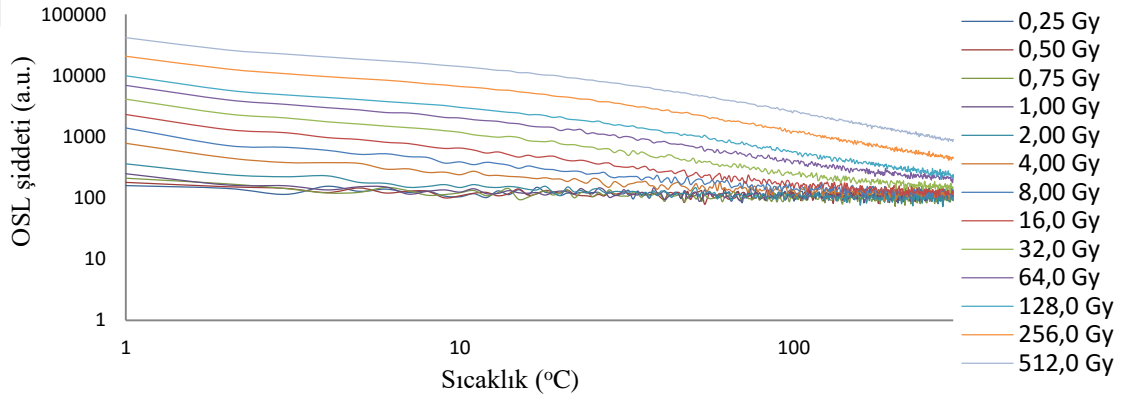
OSL doz cevap grafikler aşağıdaki gibidir.



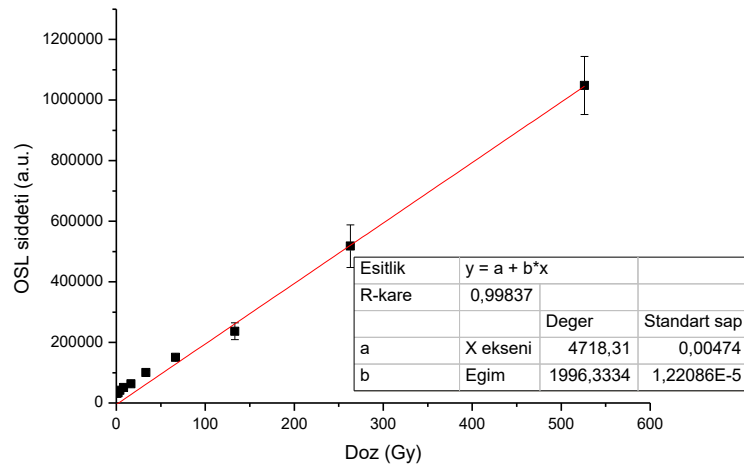
Şekil 4.64 Sıradan cam örneğinin OSL azalım eğrisi



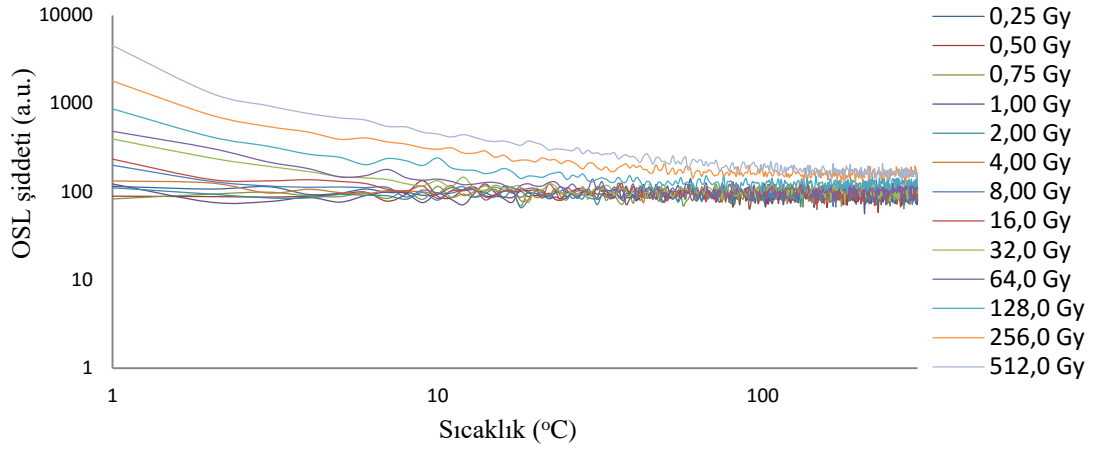
Şekil 4.65 Sıradan cam örneğinin doz cevap eğrisi



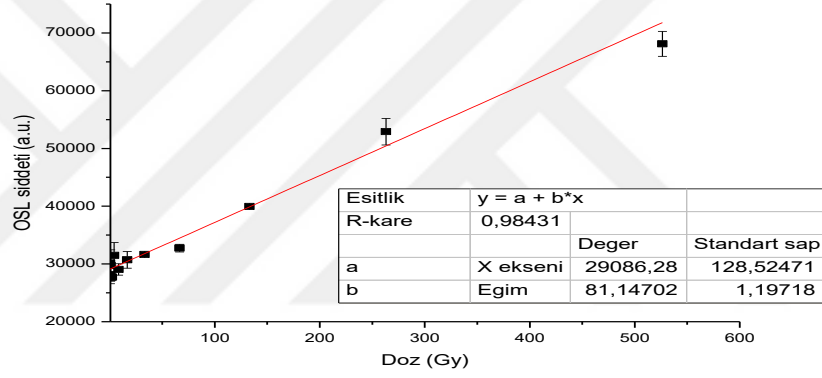
Şekil 4.66 Satina cam örneğinin OSL azalım eğrisi



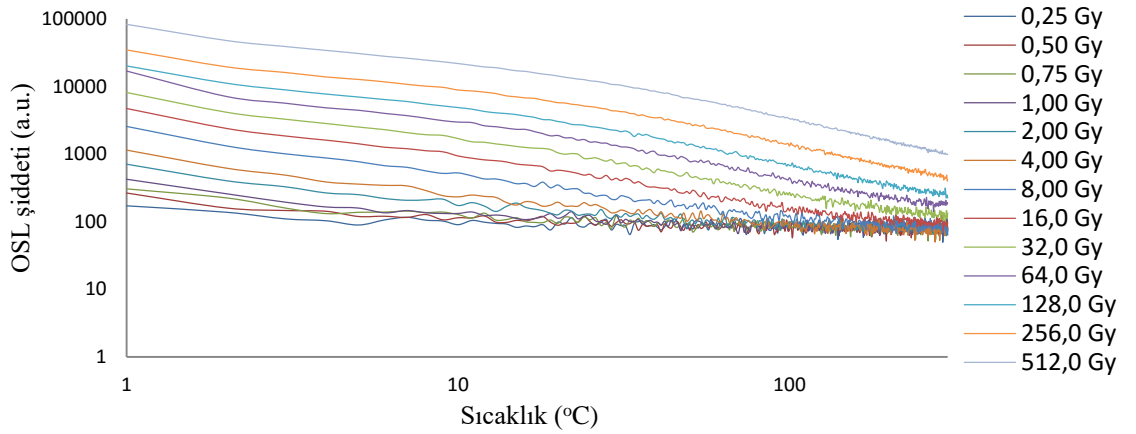
Şekil 4.67 Satina cam örneğinin doz cevap eğrisi



Şekil 4.68 Renkli bronz cam örneğinin OSL azalım eğrisi

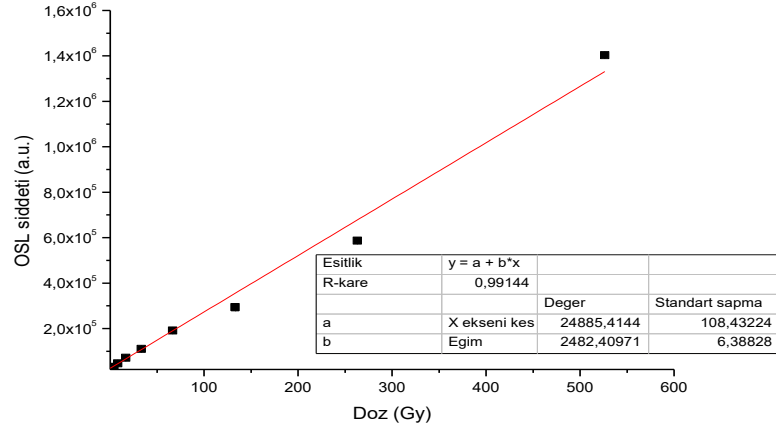


Şekil 4.69 Renkli bronz cam örneğinin doz cevap eğrisi

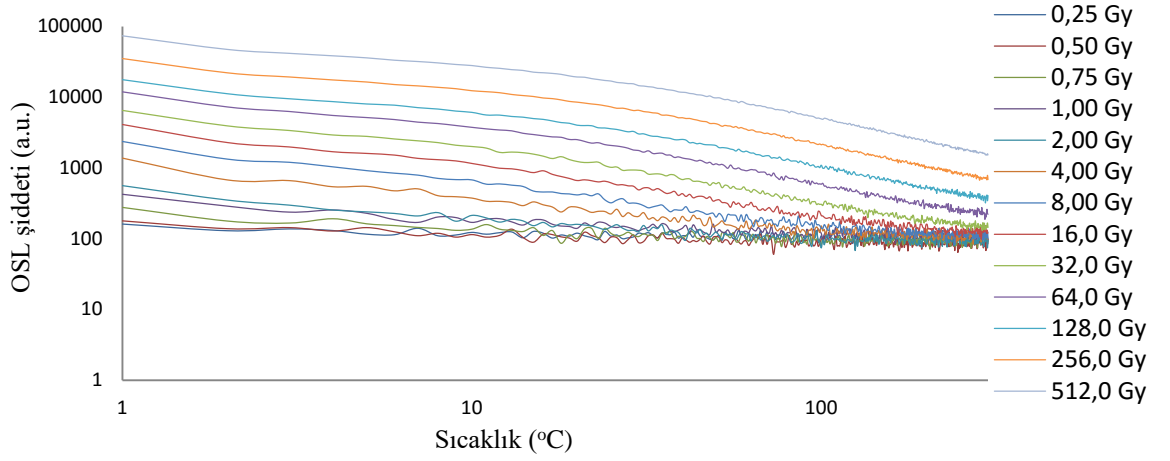


Şekil 4.70 Zeytin-dalı buzlu cam örneğinin OSL azalım eğrisi

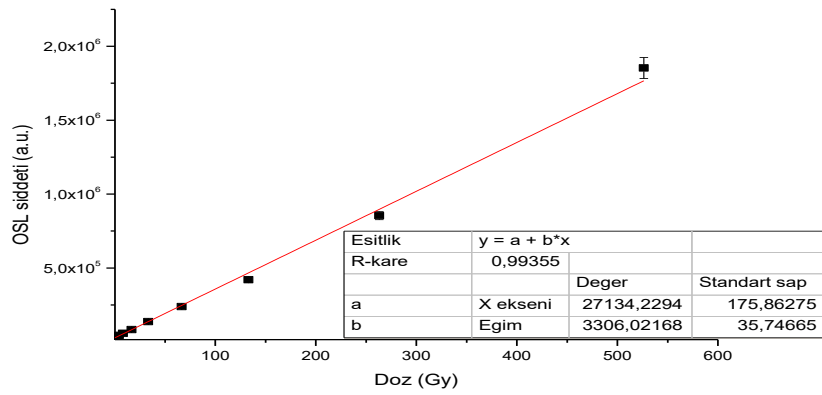




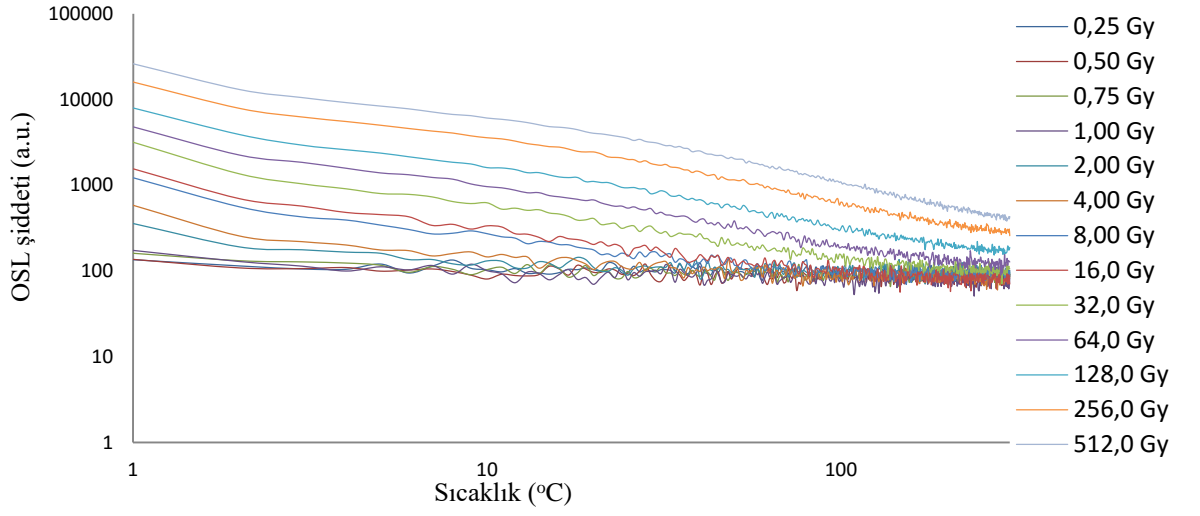
Şekil 4.71 Zeytin-dalı buzlu cam örneğinin doz cevap eğrisi



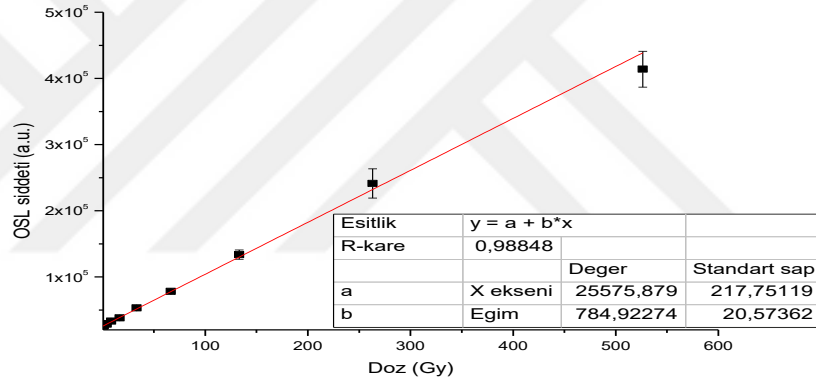
Şekil 4.72 Buzlu cam örneğinin OSL azalım eğrisi



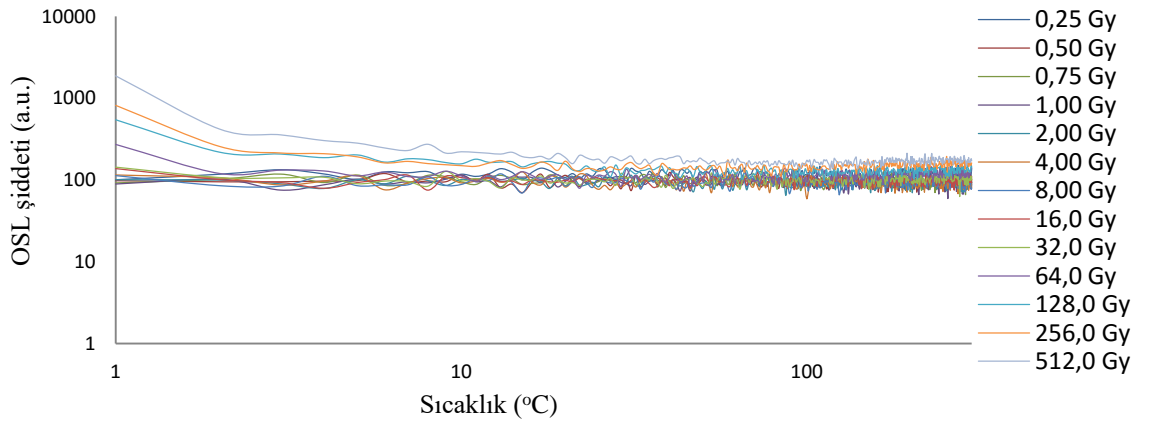
Şekil 4.73 Buzlu cam örneğinin doz cevap eğrisi



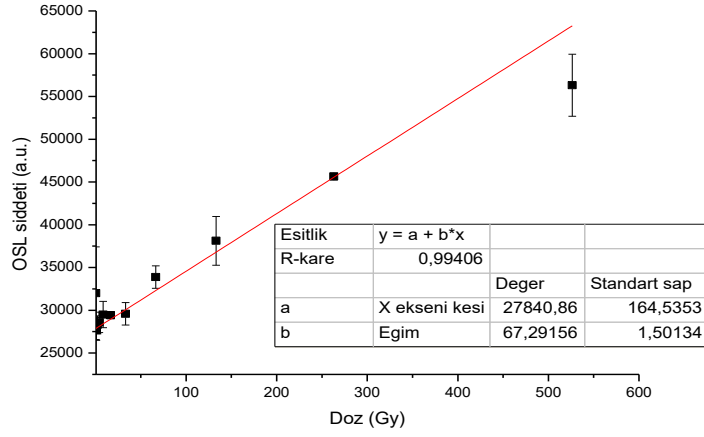
Şekil 4.74 Matobel cam örneğinin OSL azalım eğrisi



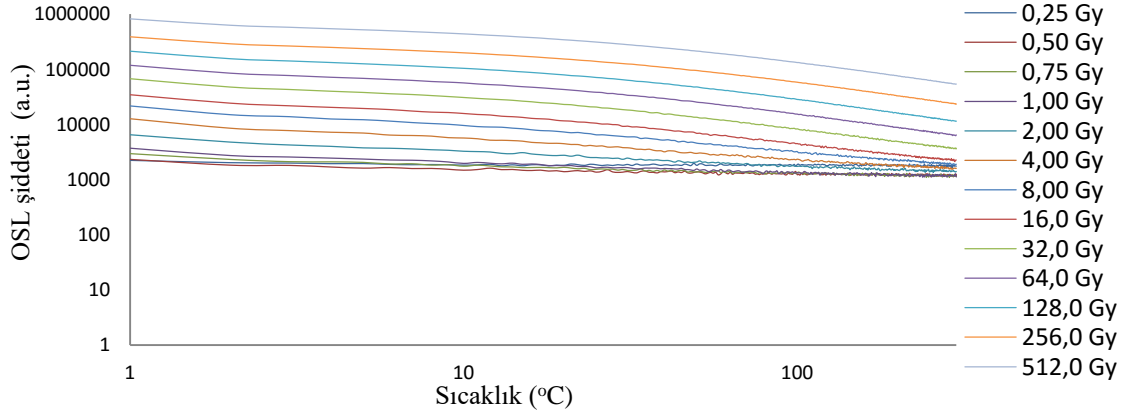
Şekil 4.75 Matobel cam örneğinin doz cevap eğrisi



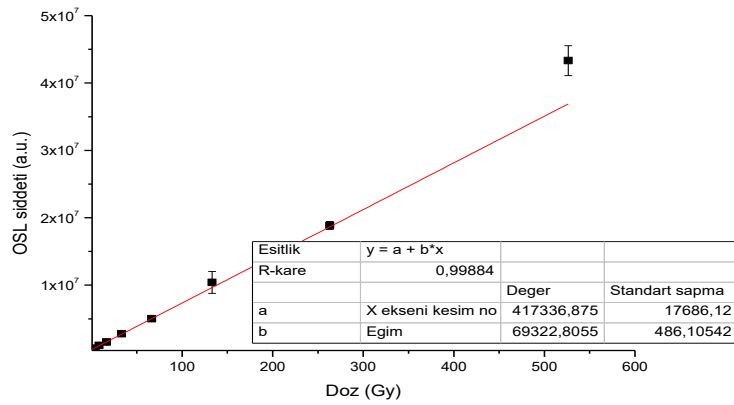
Şekil 4.76 Füme buzlu cam örneğinin OSL azalım eğrisi



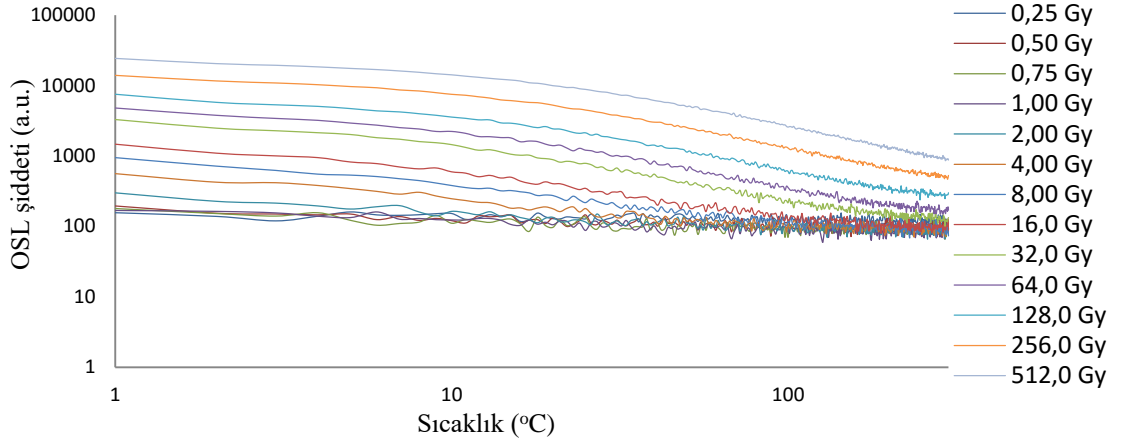
Şekil 4.77 Füme buzlu cam örneğinin doz cevap eğrisi



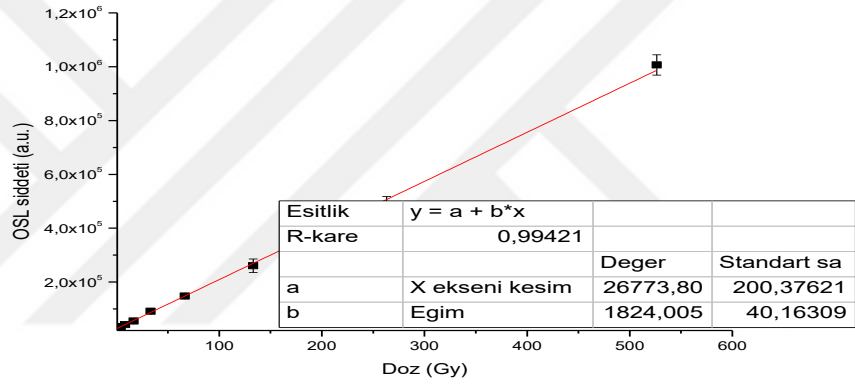
Şekil 4.78 Yeşil bardak cam örneğinin OSL azalım eğrisi



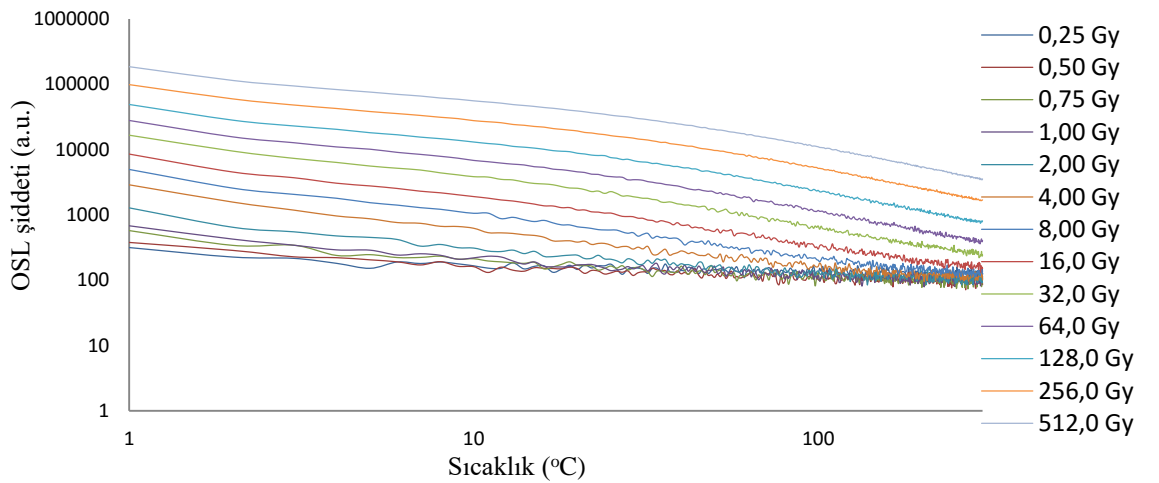
Şekil 4.79 Yeşil bardak cam örneğinin doz cevap eğrisi



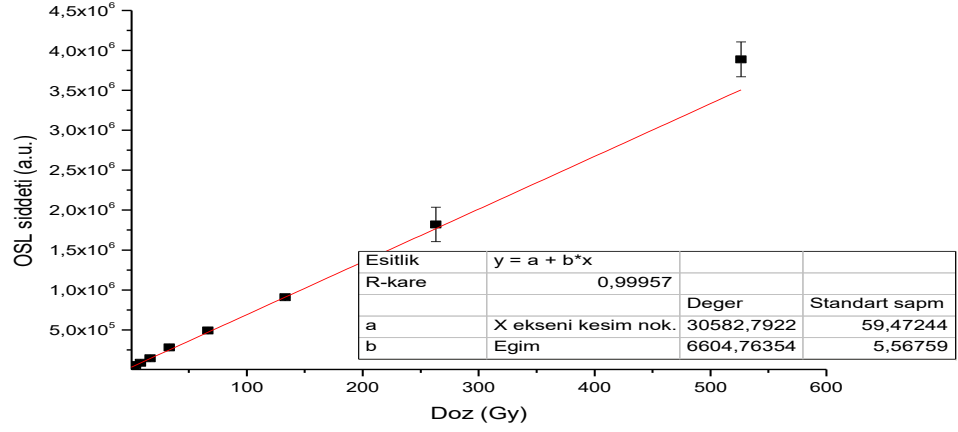
Şekil 4.80 A numaralı cam şişe örneğinin OSL azalım eğrisi



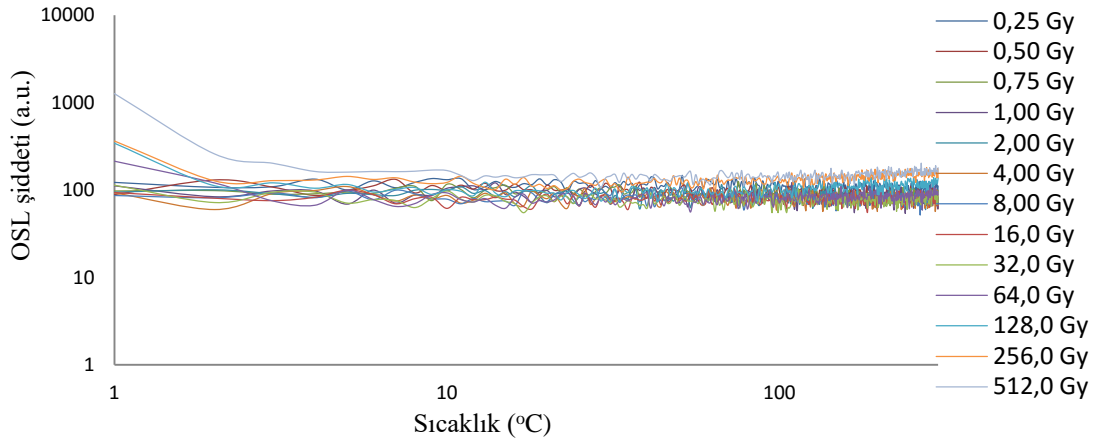
Şekil 4.81 A numaralı cam şişe örneğinin doz cevap eğrisi



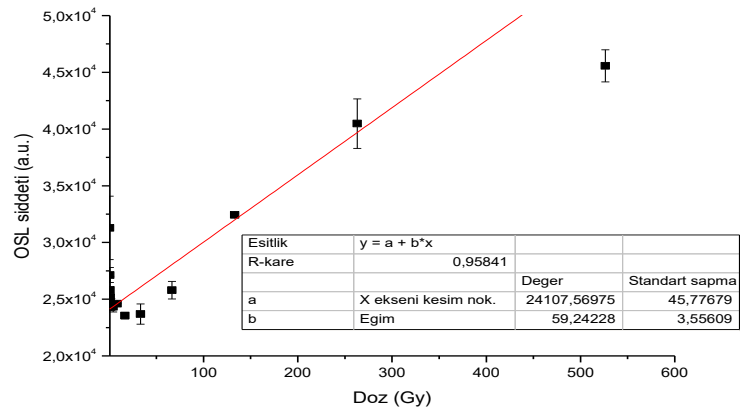
Şekil 4.82 B numaralı cam şişe örneğinin OSL azalım eğrisi



Şekil 4.83 B numaralı cam şişe örneğinin doz cevap eğrisi



Şekil 4.84 C numaralı cam şişe örneğinin OSL azalım eğrisi



Şekil 4.85 C numaralı cam şişe örneğinin doz cevap eğrisi

OSL doz cevap analizinin bulgularını inceleyecek olursak, verilen 0,25 - 512 Gy doza karşı sıradan cam, satina cam, zeytin-dalı buzlu cam, buzlu cam, matobel cam yeşil bardak, a numaralı şişe cam, b numaralı şişe cam örnekleri lineer olarak cevap vermiştir. Kalan 3 örnek renkli bronz cam, füme buzlu cam, c numaralı cam şişe) bu doz aralığında lüminesans salınımı göstermemiştir. İncelenen örneklerin düşük dozlarda (0,25 - 8 Gy) dozimetrik olarak kullanılamayacağı, yüksek dozlarda ise (16 - 512 Gy), yüksek doz dozimetresi olarak kullanılabileceği gözlemlenmiştir.



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sonuçlar dozimetrik özellikler açısından incelenecek olursa, verilen 16 - 512 Gy doza karşı a- sıradan cam, b- satina cam, c- zeytin-dalı buzlu cam, d- buzlu cam, e- matobel cam f- yeşil bardak, g- a numaralı şişe cam, h- b numaralı şişe cam örnekleri lineer olarak cevap vermiştir. Kalan 3 örnek (j- renkli bronz cam, k- füme buzlu cam, l- c numaralı cam şişe) bu doz aralığında lüminesans salınımı göstermemiştir. Düşük dozlar için (0,25 - 8 Gy) cam malzemelerimizin doza karşı lineer olmadığı görülmektedir, bu yüzden doza karşı cevap veren örneklerimizin ortak özelliği düşük dozlarda kesinlikle dozimetre olarak kullanılamayacak olmalarıdır. 16 Gy ve daha yüksek dozlarda ise verilen cevabın lineer olması, bu örneklerin yüksek doz dozimetresi olarak kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

Tekrarlanabilirlik testinin bulgularına göre, doz cevabı olan örnekler 10 tekrar dozu ölçümü sonucunda birbiriyle uyumlu olduğu ve ilk dozun lüminesans şiddetinin diğerlerine göre daha fazla, geri kalan 9 tekrar okumanın birbirine denk olduğu gözlenmiştir. İlk sinyal şiddetinin fazla olmasının sebebinin birinci okumayı gerçekleştirdiğimizde doz vermeden önce Şekil 4.1-4.6 grafiklerinde görüldüğü gibi 420 °C' den sonra meydana gelen pik şiddetinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Geri kalan 9 okumada verilen sabit doza (150 Gy) karşı 420 °C' den sonraki pik kaybolmuştur. Örneklerimizin tekrarlanabilir olduğu söylenebilir.

Sönümlenme (fading) analiz sonuçlarına göre, sıradan cam, satina cam, buzlu cam, matobel cam örneklerimizin 200 °C' deki sinyal şiddetlerinde %50 oranında sönüm meydana gelmiştir. Yeşil bardak cam örneğinde 200 °C' de %36, a numaralı cam şişe örneğinde %30 ve b numaralı cam şişe örneğinde %47 sönüm gözlenmiştir. Zeytin-dalı buzlu cam örneğinde 200 °C' de meydana gelen sinyal şiddetinde sönüm gözlenmemiştir. Renkli bronz cam, füme buzlu cam ve c numaralı cam şişe örneklerinde 200 °C' de sinyal gözlenmemiştir. Bu analizlerin yanı sıra Şekil 4.11-4.16' da bulunan grafiklerde de görüldüğü gibi 420 °C' de görülen sinyal şiddetlerini analiz edecek olursak, sıradan cam örneğin de 420 °C' de %80, füme buzlu cam örneğinde %70 artış görülmektedir. Satina cam, buzlu cam, matobel cam ve b numaralı cam şişe

örneklerinde 420 °C' de sinyal şiddetlerinin 3 katına, renkli bronz cam, zeytin-dalı buzlu cam ve a numaralı cam şişe örneklerinde 2,5 katına, c numaralı cam şişe örneğinde 2 katına çıktığı görülmektedir. Yeşil bardak camı için 420 °C' de sinyal gözlenmemiştir.

Dekonvolüsyon analizi sonuçlarına göre, ele aldığımız örnekler içinde sıradan cam, satina cam, buzlu cam, yeşil bardak, a numaralı cam şişe ve b numaralı cam şişe örnekleri 4 ayrı pikten ve arka plan (background) pikinden oluştuğu gözlenmiştir. Zeytin-dalı buzlu cam şişe örneği 3 ayrı pikten ve arka plan pikinden oluştuğu gözlenmiştir. Bu pikler incelendiğinde, 500 °C' ye kadar olan piklerin sıradan TL piki, 500 °C' üzerindeki pikin ise sürekli tuzak dağılımlı piktir. Enerjilerinin yaklaşık 0,5-0,71 eV olduğu gözlenmiştir.

Kesikli ayırıştırma yöntemi (fractional glow technique) kullanarak elde edilen bulgulara göre, bu analiz yönteminin amorf malzemelere uygun olmadığı, platoların ve malzemelerin aktivasyon enerji değerlerinin gözlenmediği görülmektedir. Kristal malzemelerin belirli sıcaklık değerlerinde görülen piklerin enerjilerini araştırılmasını sağlayan bu yöntem, cam malzemeler üzerinde ilk defa uygulanmıştır.

EPR ölçüm parametreleri, şekil 4.43-4.44, 4.46-4.47' de yapılmış olan modülasyon genliği ve güç çalışmalarına göre literatürde daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırılarak güç değeri 2 mW, modülasyon genliği ise 3 G olarak seçilmiştir. EPR sonuçları, TL ve OSL çalışmalarımıza destek niteliğinde artan doz şiddetine karşı artan sinyal şiddeti elde edecek şekilde çıkmıştır. Elde edilen bulgular ışığında, yeşil bardak ve b numaralı cam şişesi üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, elde edilen doz cevap eğrileri, TL ışımaya eğrilerindeki gibi, düşük dozlarda dozimetrik olarak kullanılamayacağını, 16 Gy ve yüksek dozlarda, yüksek doz dozimetresi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Mavi LED ile uyarılarak yapılan OSL çalışmasında, uyarım sıcaklığının artması (50, 75, 100 125, 150 °C) + mavi led ışığın da etkisiyle tuzaklarda bulunan elektronların tuzaklardan kurtulması anlamına geldiğinden şiddette sıcaklık arttıkça azalma olmasını bekliyorduk bu azalmanın  $\tau$  değerini arttırması gerekmektedir ve grafiklerde de görüldüğü gibi  $\tau$  değerlerinde hem 1. mertebe hem de 2. mertebe kinetiklerinde artma meydana gelmiştir. 1. ve 2. mertebe kinetik bulguları incelendiğinde, C numaralı cam



şişe örneği dışında geri kalan 5 örnek için (a- sıradan cam, b- satina cam, c- buzlu cam, d- yeşil bardak ve e- b numaralı cam şişe) beklenen sonuçlar gözlenmiştir. Birinci ve ikinci mertebe kinetik çözümleri OSL dekonvolüsyon için SiO<sub>2</sub> (kuvarz) tuzak yük yapılarının incelenmesi açısından oldukça önemlidir. Buna göre, amorf cam malzemeler 1. mertebe kinetiğe göre incelendiğinde literatürden farklı olarak bu teorinin çalışılan örneklerde kullanılmasının uygun olmadığı söylenebilir.

Ağartma (bleaching) özelliği malzemenin geriye dönük dozimetri olarak kullanılabilirliği açısından önemli rol oynayan bir özelliktir. Yapılan ağartma (bleaching) deneyi için 3 örnek ele alınmıştır. Bu örnekler yeşil bardak camı, b numaralı cam şişe ve c numaralı cam şişe örnekleridir. Bu örneklerin analiz edilmesinin nedeni, yeşil bardak camı ve b numaralı cam şişe örneklerinin doza karşı cevaplarının yüksek olması, c numaralı cam şişe örneğinin ise doza karşı cevap verememesidir. Mavi ışıkla uyarılan, yeşil bardak camı ve b numaralı cam şişe örnekleri yaklaşık olarak 1,5 saatlik süre içerisinde OSL sinyalinin arka plan (back-ground) seviyesine düştüğü gözlenmiştir. Ağartma (bleaching) çalışmamız cam malzemeler için bu zamana kadar literatürde ilk defa uygulanmıştır.

OSL doz cevap analizinin bulgularını inceleyecek olursak, verilen 0,25 - 512 Gy doza karşı a- sıradan cam, b- satina cam, c- zeytin-dalı buzlu cam, d- buzlu cam, e- matobel cam f- yeşil bardak camı, g- a numaralı şişe cam, h- b numaralı şişe cam örnekleri lineer olarak cevap vermiştir. Kalan 3 örnek (j- renkli bronz cam, k- füme buzlu cam, l- c numaralı cam şişe) bu doz aralığında lüminesans salınımı göstermemiştir. İncelenen örneklerin düşük dozlarda (0,25 - 8 Gy) dozimetrik olarak kullanılamayacağı, yüksek dozlarda ise (16 - 512 Gy), yüksek doz dozimetresi olarak kullanılacağı gözlenmiştir. Bu çalışmamızda da TL ve EPR' de olduğu gibi benzer sonuçlar elde edilmiştir.

TL ve EPR çalışmalarında olduğu gibi OSL analizleri için de doz-cevap çalışmaları bize, a- sıradan cam, b- satina cam, c- zeytin-dalı buzlu cam, d- buzlu cam, e- matobel cam f- yeşil bardak camı, g- a numaralı şişe cam, h- b numaralı şişe cam örneklerinin yüksek doz dozimetresi olarak kullanılabilmesi yönündedir. Yapılan çalışmaları medikal fiziğe uygulamak uygun değildir. Nedeni ise tanı ve tedavi için gereken maksimum dozun 3 Gy olmasıdır. Bizim çalışma sonuçlarımızın ise 3 Gy' in çok üzerinde olması ve dozimetrik olarak yüksek dozlarda kullanılmasıdır.

## KAYNAKLAR

- Adirovitch, E.I., 1956. *Journal de Physics Review* 117, 451.
- Aitken, M.J., Tite, M. S., Reid, J., 1964. Thermoluminescent Dating of Ancient Ceramics. *Nature*, 202: 1023-1033.
- Aitken, M.J., Fleming S.J., Reid J., Tite, M.S., 1968. In *Thermoluminescence of Geological Materials*, (ed. Mc Dougall, D.J.), Acad. Pres. London, s. 133.
- Aitken, M.J., D.W., Zimmerman S.F., Fleming S.F., Huxtable, J., 1970. Thermoluminescence dating of pottery, Radiocarbon variations and absolute chronology, edited by I.U. Olsson, New York:Wiley.
- Aitken, M.J., Bussel, G., 1980. Thermoluminescence Dosimetry at 250 °C Using Natural Fluorite, *Nuclear Instruments and Methods*, September 1980,. 211-212.
- Aitken, M.J., 1985. Thermoluminescence dating, Academic Press, London.
- Anonymous, 2015. "Guide to The Risø TL/OSL Reader" DTU Nutech, Denmark August 2015.
- Aran, H., 2006. " Camın İcadı ve Tarihçesi" <http://www.bilgiustam.com/camin-icadi-ve-tarihcesi/> " (ziyaret tarihi 15.12.2015).
- Balogun, F.A., Ogundare, F.O., M.K., 2003. Response of sodalime glass at high doses. *Nucl. Inst. Method.* 505,407-410.
- Bartolotta, A., Brain, M., Caputo, V., D'Oca, M.C., Longo, A., Marrale, M., 2011. Thermoluminescence response of sodalime glass irradiated with photon and electron beams in the 1-20 Gy range. *Radiat. Meas.* 46,975-977.
- Bassinat, C. Trompier, F., Clairand, I., 2010. Radiation accident dosimetry on glass by TL and EPR spectrometry. *Health Phys.* 98 (2), 400-405.
- Bassinat\*, C. N. Pirault, M. Baumann, I. Clairand Radiation accident dosimetry: TL properties of mobile phone screen glass 2014, 1-5.
- Birol E., Aydaş C., Hayrünisa Demirtaş 2005. ESR dosimetric properties of window glass.
- Bootjomchai, C., Laopaiboon, R., 2014. Thermoluminescence dosimetric properties and effective atomic numbers of window glass. *Nucl. Instr. Meth. B* 323, 42-48.
- Bos, A.J.J., 2007. Theory of thermoluminescence, Bos A.J.J, 2001b. On the energy conversion in thermoluminescence dosimetry materials. *Radiat. Meas.* 33 (5), 737-744.
- Bos, A.J.J., 2001. High sensitivity thermoluminescence dosimetry. *NIM B* 184, 3-28.
- Bos A.J.J, Pitors T.M, Gomez Ros J.M. and Delgado A 1993 *Radiat. Prot. Dosim.* 47-473.
- Buylaert, J.P., Nordic Laboratory for Luminescence Dating, Aarhus University, 2010.
- Bøtter-Jensen, L., Mckeever, S.W.S., Wintle, A.G., 2003. *Optically Stimulated Luminescence Dosimetry*, Elsevier Science B. V., 1-355.
- Caldas, L.V.E., Teixeira, M.I., 2002. Comercial glass fot high doses using different dosimetric techniques. *Radiat. Pror. Dosim.* 101, 149-152.
- Cameron, J.R., Suntharalingham, N., Kenney, G.N., 1968. *Thermoluminescent Dosimetry*. University of Wisconsin Press, Madison.
- Cameron, J.R., Kenney, G.N., 1963. *Radiat. Res.* 19, 199.
- Chen, R., 1969. Glow Curves with General Order Kinetics. *Journal of the Electrochemical Society*, 1254-1257.

- Chen, R., Winer, A.A., 1970. Effects of Various Heating Rates on Glow Curves. *J. Appl. Phys.* 41, 5227.
- Çetin, A., 2012. " Düzensiz Yapıdaki (Amorf) Seramikler " <http://muhendishane.org/kutuphane/temel-malzeme-bilgisi/amorf-yapıdaki-seramikler/> (ziyaret tarihi 23.11.2015).
- Daniels, F., Boyd, C.A., Saunders, D.F., 1953. *Science*, 117, 343.
- Daniels, J.M., 1953. The Effect of Interactions in a Paramagnetic on the Entropy and Susceptibility, *proc. phys. Soc.* LXVI, 8-A.
- Daniels, J.M., Scholes, G., Weiss, J., 1953. *Nature* 171, 1153.
- Doğan, T., 2010. " Optiksel Uyarılmayla Lüminesans (OSL) Tarihlendirme Yöntemini Kullanarak Doğu Anadolu Fay Sisteminin (DAPS) Paleosismolojik Analizi" (doktora tezi, adana). 15-20.
- Engin B., Aydaş C., Demirtaş H.i 2010. Study of the thermoluminescence dosimetric properties of window glass, *Radiat. Eff. Defects.* 165, 54-64.
- Furetta, C., Kitis, G., Kuo, C.H., 1999. Kinetics Parameters of Diamond by Computerized Glow-Curve Deconvolution (CGCD), *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B* 160, 65-72.
- Furetta, C., Weng, P.S., 1998. *Operational Thermoluminescence Dosimetry*, World Scientific, Singapore.
- Galli, A., Poldi G., Martini, M., Sibilia, E., Montanari, C., Panzeri, L., 2006. Study of blue colorin ancient mosaic tesserae by means of thermoluminescence and reflectance measurements. *Appl. Phys. A* 83, 675-679.
- Galli, A., Martini, M., Sibilia, E., Vandini, M., Villa, I., 2011. Dating ancient mosaic glasses by luminescence: The case study of San Pietro in Vaticano. *Eur. Phys. J Plus* 126, 121-132.
- Galli, A., Martini, M., Sibilia, E., Fuagalli, F., 2012. The role of opacifiers in the luminescence of mosaic glass: Characterization of the optical properties of cassiterite (SnO<sub>2</sub>). *Radiation Measurements* 47 814-819.
- Gobrecht H., Hofmann D., 1965. Spectroscopy of traps by fractional glow technique 27, 509-522.
- Kitis, V. Pagonis 2008. Computerized curve deconvolution analysis for LM-OSL. Use of LM-OSL technique for the detection of partial bleaching in quartz. *Radiat. Meas.* 32, 419-425.
- Kitis, G. J. M. Gomez-Ros and J W N Tuyn Thermoluminescence glow-curve deconvolution functions for first, second and general orders of kinetics 1998, G. Polymeris, G.S., G. Kitis, A.K. Liolios, N.C. Tsirliganis, K. Zioutas, (2006) *Nucl. Instr. and Meth. A* 562 207.
- Mesterhazy, D. M. Osvay, A. Kovacs, A. Kelemen 2011. Accidental and retrospective dosimetry using TL method 1525-1527.
- Meriç, N., 2013. "Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Radyasyon Fiziği Dersi Lüminesans Materyaller Ders Notu" (slayt, 13).
- Nur, N., 2010. Ametistlerin Termolüminesans Yöntemiyle Dozimetrik Karakteristiğinin Analiz Edilmesi (doktora tezi, adana), 7.
- Şahiner, E., Meriç N., Polymeris G. S., 2015. Impact of different mechanical pretreatment to the EPR signals of human fingernails toward studying dose response and fading subjected to UV exposure or beta irradiation.
- 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,  
Ankara.

Templer, R., 1986. Radiat. Prot. Dosim., 17, 493.

Thomas, B., Houston, E., 1964. Br. J. Appl. Phys. 15, 953.

F. Trompier, S. Della Monaca, P. Fattibene, I. Clairand 2011. EPR dosimetry of glass substrate of mobile phone LCDs.

Yüksel, M., 2013. " Doğal ve Katkılanmış Bor Minerallerinin Dozimetri Geliştirmek Amacıyla Termoluminesans (TL) Yöntemi Kullanılarak Çalışılması" (doktora tezi, adana), 61-62.

Zimmerman, J., (1971). Thermoluminescence Dating Using Fine Grains from Pottery. Archaeometry, 13 (1): 29-52.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fuat Server SAKUÇOĞLU

Doğum Yeri : Antakya / HATAY

Doğum Tarihi : 03.01.1990

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Lise Özel Doğu Okulları, (09.2004 – 06.2007)

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği  
Bölümü Mezunu, (Lisans 10.2008 - 07.2013)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, Sağlık Fiziği  
Bölümü, (Yüksek Lisans 2013 - 2016)