

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI GÜNLÜK KULLANILAN MALZEMELERİN DOZİMETRİK
ÖZELLİKLERİNİN LÜMİNESANS TEKNİKLERLE İNCELENEREK
RETROSPEKTİF DOZİMETRİ SAHASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI VE YAPAY BİR RADYASYON KAZASI SENARYOSUNDA
ETKİN ORGAN DOZLARININ TAYİNİ**

Sasan GERANMAYEH

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

ANKARA

2018

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Sasan GERANMAYEH tarafından hazırlanan “FARKLI GÜNLÜK KULLANILAN MALZEMELERİN DOZİMETRİK ÖZELLİKLERİNİN LÜMİNESANS TEKNİKLERLE İNCELENEREK RETROSPEKTİF DOZİMETRİ SAHASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE YAPAY BİR RADYASYON KAZASI SENARYOSUNDA ETKİN ORGAN DOZLARININ TAYİNİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Medikal Fizik Ana Bilim Dalı / Sağlık Fiziği **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Niyazi MERİÇ

Jüri Üyeleri:

Prof. Dr. Niyazi MERİÇ
Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü



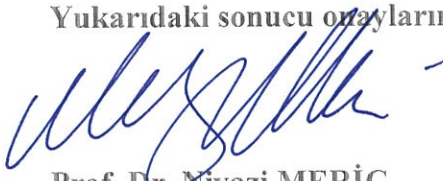
Prof. Dr. Haluk YÜCEL
Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü



Doç. Dr. Mustafa Hicabi BÖLÜKDEMİR
Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü



Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Niyazi MERİÇ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI GÜNLÜK KULLANILAN MALZEMELERİN DOZİMETRİK ÖZELLİKLERİNİN LÜMİNESANS TEKNİKLERLE İNCELENEREK RETROSPEKTİF DOZİMETRİ SAHASINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE YAPAY BİR RADYASYON KAZASI SENARYOSUNDA ETKİN ORGAN DOZLARININ TAYİNİ

Sasan GERANMAYEH

Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

Medikal Fizik Anabilim Dalı

Sağlık Fiziği Yüksek Lisans Programı

Danışman: Prof. Dr. Niyazi MERİÇ

Retrospektif (geriye dönük) dozimetre doz ölçümünün planlanmadığı durumlarda doz hesabı için kaza dozimetresinin önemli araçlarından biridir. Kaza bölgesindeki herhangi bir obje doğal dozimetre olarak değerlendirilebilmektedir. Şimdiye kadar seramik ya da porselen ürünleri, yapı malzemeleri, elektronik bileşenler (IC parçaları, sim kart, transistörler), saat camı ve telefon ekranı gibi birçok malzeme bu amaçla incelenmiştir. Bu tez çalışmasında çevrede yaygın şekilde bulunan çeşitli porselen ve kil bazlı malzemelerin (şekerlik, kül tablası, sigorta porseleni, cila maddesi içerikli ve içeriksiz yapay diş porseleni, seramik tırnak törpüsü, namaz mühürü ve kumbara) retrospektif dozimetri çalışmalarında kullanılabilirliği lüminesans yöntemler aracılığı ile araştırılmıştır. İlk olarak, bütün malzemeler Termolüminesans (TL) ve Optik uyarmalı lüminesans (OSL) yöntemleri kullanılarak tekrarlanabilirlik, doz-cevap eğrileri, kinetik parametreler ve lineerlik özellikleri incelenerek malzemelerin dozimetrik özellikleri araştırılmıştır. Ardından gerçekleştirilen kaza senaryosu sonucunda 25 gün boyunca radyasyona maruz kalan malzemelerden belirlenen kaza dozları malzemenin yanına koyulan TLD-100'lerden elde edilen doz değerleri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca kaza bölgesine konulan erkek ve bayan Rando fantomların cilt, akciğer ve kalın bağırsak bölgelerine TLD-100'ler yerleştirilerek etkin organ dozları hesaplanmıştır. Son olarak, kullanılan malzemeler aracılığı ile etkin dozların hesaplanabilmesi için TLD-100'lerin yardımı ile doz dönüşüm faktörleri (f) hesaplanmıştır. İncelenen numunelerin hepsi ile hata sınırları içerisinde kaza dozunun hesaplanabileceği görülmüş olup içeriklerinden cila maddesi içerikli yapay diş porseleni hem TL hem de OSL tekniğinde en uygun doz değerlerini verdiği görülmüştür.

2018, 94 sayfa

Anahtar Kelimeler: Termolüminesans (TL), optik uyarmalı lüminesans (OSL), geriye dönük dozimetri, kaza dozimetresi

ABSTRACT

Master's Thesis

INVESTIGATING DOSIMETRY PROPERTIES OF VARIOUS DAILY MATERIALS USING WITH LUMINESCENCE TECHNIQUES ON RETROSPECTIVE DOSIMETRY RESEARCH FIELDS AS WELL AS ESTIMATION OF EFFECTIVE ORGAN DOSES IN CASE OF AN ARTIFICIAL RADIATION ACCIDENT SCENARIO

Sasan GERANMAYEH

Ankara University Institute of Nuclear Sciences

Department of Medical Physics

Health Physics Master Program

Supervisor: Prof. Dr. Niyazi MERİÇ

Retrospective dosimetry is one of the important tools of radiation or nuclear accident dosimetry in the circumstances when active dosimetry is not planned. Any object in accident area could be use as natural dosimeter. Until now; many materials such as ceramic or porcelain products, construction materials, electronic components (IC parts, sim card, transistors), watch glass and phone screens are examined in accordance with this purpose. In this thesis study; the usability of various porcelain-based and ceramic-based materials which are commonly found around a house is investigated via luminescence methods; the list includes a sugar bowl, an ashtray, a braker porcelain, lacquer wheicle-content, an artifical dental porcelain, a ceramic nail file and the seal of prayer and penny bank. Firstly; dosimetric features of these materials were investigated by examining their repeability, dose response curves, kinetic parameters and linearity features while using thermoluminescence and optically stimulated luminescence. Then, based on an accident scenario directed, accident doses were measured from all these materials which had been exposed to radiation for 25 days; these doses were compared to the dose values obtained using TLD-100 dosimeters. Besides, effective organ doses of random male and female phantoms were calculated by placing TLD-100 in their skin, lung and rectum position. Finally through the materials used, dose transformation factors were calculated with the help of TLD-100 to calculate effective doses. It was concluded that accident doses could be calculated by all the aforementioned samples examined within limit errors and that artificial dental porcelain including lacquer vehicle showed the best optimum values in both TL method and OSL method.

2018, 94 pages

Key Words: Thermoluminescence (TL) , optical stimulated luminescence (OSL), retrospective dosimetry, accidental dosimetry

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimi boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerlerini örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş oldukları hoşgörü, sabır ve özgün çalışma konusu önerilerinden dolayı değerli danışman Hocam Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Müdürü Sayın Prof. Dr. Niyazi MERİÇ'e,

Tez kapsamında ölçümlerin uygulanmasında yardımcı olan, değerli tecrübelerini bana esirgemeyen her zaman doğru yolu gösteren Sayın Dr. Eren ŞAHİNER Hocam'a

Tez yazımı ve düzeltmeleri boyunca her zaman sabırla yardımcı olan araştırma görevlisi Sayın Engin AŞLAR'a

Çalışmada desteklerini gördüğüm Sayın Dr. George S. POLYMERS'e, XRD analizlerini yapan Sayın Prof. Dr. Yusuf Kaan KADIOĞLU'na ve Dr. Kıymet DENİZ'e,

Radyasyon kazası senaryosunun planlanmasında ve kontrolünde yardımlarından dolayı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) personeli Fizik Mühendisi Levent AKSU' ya,

Dr. Abdurrahman Yurtaslan Ankara Onkoloji Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde bulunduğum süre boyunca yardım ve desteklerinden dolayı Uzman Fizik Müh. Dinçer YEĞEN'e,

Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nün akademik ve idari personeline,

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan ve sabır gösteren aileme, hayatımın anlamı annem Roohangiz VESALİ ve babam Mohammad GERANMAYEH'e,

bütün yaşamım boyu minnettar olacağımı ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sasan GERANMAYEH

Ankara, Ocak 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	ix
SİMGELER DİZİNİ	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1 Geriye Dönük Dozimetre (Retrospektif dozimetre).....	3
2.2 Kaza Dozimetresi	4
2.3 Retrospektif Dozimetride Mevcut Yöntemler	4
2.4 Kaza Dozimetrisi Çalışmalarında Lüminesans Tekniklerinin Kullanılması	7
2.5 Lüminesans Mekanizması	9
2.5.1 Lüminesans mekanizması bant modeli yaklaşımı.....	10
2.5.2 Termolüminesans (TL)	12
2.5.3 Birinci, ikinci ve genel mertebeden TL kinetiği	13
2.5.4 Kinetik parametrelerin analiz yöntemleri	14
2.5.4.1 Farklı ısıtma hızları yöntemi.....	15
2.5.4.2 Dekonvolüsyon	15
2.6 Termal Sönümlenme.....	15
2.7 Optik Uyarımalı Lüminesans (OSL) Mekanizması	16
2.7.1 Uyarma modları	17
2.7.2 OSL modeli	17
2.7.3 Sürekli dalga (CW) OSL Bozunum Eğrisi	20
2.8 Eşdeğer Doz Belirleme Yöntemleri.....	21
2.8.1 Çoklu tablet yöntemi (ÇTY).....	21
2.8.2 Tek tablet yöntemi (TTY)	21
2.9 Dozimetrik Kavram Ve Birimler	22
2.9.1 Aktivite birimleri	22
2.9.2 Soğurulan doz birimleri.....	22
2.9.3 Eşdeğer doz birimleri (H).....	22
2.9.4 Işınlama Birimi (X)	23

3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1 Cihazlar	24
3.1.1 Risø TL/OSL sistemi	24
3.1.2 Thermo Scientific Harshaw TLD 3500 sistemi.....	25
3.1.3 Elsec 9010 OSL cihazı	26
3.1.4 2210 Thermo Electron ⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y beta ışınlayıcı	26
3.1.5 Freiburg Ofen Typ 1321 fırını	27
3.1.6 Thermo Scientific LiF:Mg, Ti (TLD-100) dozimetre.....	28
3.1.7 Dozimetrik özellikleri incelenen malzemeler	28
3.2 Uygulanan Protokoller	30
3.2.1 Termolüminesans (TL)	30
3.2.1.1 Kullanılan yöntemler	31
3.2.1.1.1 Tek tablet yöntemi (TTY).....	31
3.2.1.1.2 Çoklu tablet yöntemi (ÇTY).....	31
3.2.1.2 Sönüm (Fading)	32
3.2.1.3 Termal sönümlenme	32
3.2.1.4 Lineerlik	32
3.2.1.5 Örnek hazırlama sürecinde yapılan müdahalenin (ezme ve eleme) etkisi ...	32
3.2.2 Optik uyarmalı lüminesans (OSL)	33
3.3 Kaza Senaryosu	35
4. BULGULAR	38
4.1 Numunelerin Dozimetrik Özelliklerinin Termolüminesans (TL) Tek Tablet Yöntemi ile İncelenmesi	38
4.1.1 Tekrarlanabilirlik	38
4.1.2 Doz cevap grafiği	45
4.1.3 Sönüm.....	48
4.2 Çoklu Tablet Yöntemi (ÇTY) İle Doz-cevap Grafiklerinin Oluşturulması	50
4.2.1 Doz cevap grafikleri	50
4.3 Termal Sönümlenme	53
4.4 Yapılan İşlemin (ezme, eleme) Etkisi	56
4.5 Dekonvolüsyon (Kitis vd. 1998'e göre)	58
4.6 TL Kinetik Parametrelerinin Hesaplanması	59
4.7 Numunelerin Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) Tekniğine Göre İncelenmesi	60
4.7.1 Lüminesans şekilleri	60
4.7.2 Tekrarlanabilirlik	62

4.7.3 Doz cevap grafiği	69
4.7.4 Sönüm	72
4.7.5 Sıcaklığın OSL sinyaline etkisi.....	74
4.8 Lineerlik	78
4.9 Kaza Dozunun Hesaplanması	79
4.10 Etkin Organ Dozlarının Hesaplanması	81
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	84
KAYNAKLAR.....	87
EKLER.....	92
EK 1. Numunelerin XRD Analiz Sonuçları.....	92
ÖZGEÇMİŞ.....	94



SİMGELER DİZİNİ

IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
Gy	Gray
EPR	Elektron Paramanyetik Rezonans
TL	Termolüminesans
OSL	Optik Uyarımlı Lüminesans
eV	Elektron Volt
k	Boltzmann sabiti
T	Mutlak sıcaklık
s	Frekans faktörü
RBP	Hızla ağartılan tepe noktası
SBP	Yavaşça ağartılan tepe noktası
β	Isıtma hızı
b	Kinetik mertebe
T_M	Tepe noktalarının sıcaklığı
$\eta(T)$	Lüminesans verimi
R	Işımalı rekombinasyon merkezi
ÇTY	Çoklu Tablet Yöntemi
TTY	Tek Tablet Yöntemi
R	Röntgen
IR	Kızılötesi (Infrared)
PMT	Fotoçoğaltıcı Tüp
TLD	Termolüminesans Dozimetre
LiF	Lityum Florit
PKT	Porselen Kül Tablası

PŞ	Porselen Şekerlik
STT	Seramik Tırnak Törpüsü
KU	Kumbara
SP	Sigorta Porseleni
NM	Namaz Mühürü
CDP	Cila maddesi içerikli yapay Diş Porseleni
CDSZP	Cila maddesi içeriksiz yapay Diş Porseleni



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Retrospektif doz belirlenmesinde Kullanılan çeşitli seramik malzemelerin şematik gösterimi	8
Şekil 2.2 Bir enerji düzeyinin şematik diyagramı.....	9
Şekil 2.3 Yarı iletken veya yalıtıkandaki lüminesans sürecinin şematik diyagramı.....	11
Şekil 2.4 Üç farklı optik uyarım tipi ve bunlara karşılık gelen OSL bozunum eğrileri..	17
Şekil 2.5 Basit Genel Bir-Tuzak (GOT) modelinin enerji seviyesi diyagramı.....	18
Şekil 2.6 Çoklu Tablet-İlave Doz Yöntemi.....	21
Şekil 2.7 Tek Tablet Yenileme Tekniği	22
Şekil 3.1 Risø TL/OSL Okuyucu Sistemi.....	24
Şekil 3.2 Risø TL / OSL lüminesans okuyucusunun şematik çizimi	25
Şekil 3.3 Harshaw, 3500 TLD okuyucu.....	25
Şekil 3.4 a) Elsec 9010 okuma sistemi, b) ışınlama ünitesi.....	26
Şekil 3.5 2210 Thermo Electron ⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y beta ışınlayıcı	27
Şekil 3.6 TLDO fırın 1321 cihazı	27
Şekil 3.7 LiF:Mg, Ti (TLD-100) dozimetreler.....	28
Şekil 3.8 Tez boyunca retrospektif dozimetri amaçlı incelenmiş malzemeler.....	29
Şekil 3.9 numunelerin hazırlanmasından kullanılan teçhizatlar	30
Şekil 3.10 a; Randø fantomlar (i; dişi, ii; erkek), b; sintilasyon dedektör	35
Şekil 3.11 kaza senaryosunun şematik gösterimi.....	36
Şekil 3.12 kaza senaryosunun görüntüsü	37
Şekil 4.1 Seramik tırnak törpüsü (STT) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi,	39
Şekil 4.2 Porselen şekerlik (PŞ) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi	39
Şekil 4.3 Sigorta porseleni (SP) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi	39
Şekil 4.4 Cilalı dış porseleni (CDP) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi	40
Şekil 4.5 Cilasız dış porseleni (CSZDP) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi	40
Şekil 4.6 Porselen kül tablası (PKT) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi	40
Şekil 4.7 Kumbara (KU) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi,	41
Şekil 4.8 Namaz mührü (MN) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi	41

Şekil 4.9 Seramik tırnak törpüsü (STT) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	45
Şekil 4.10 Porselen şekerlik (PŞ) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	45
Şekil 4.11 Sigorta porseleni (SP) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	46
Şekil 4.12 Cilalı maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	46
Şekil 4.13 Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi.....	46
Şekil 4.14 Porselen kül tablası (PKT) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	47
Şekil 4.15 Kumbara (KU) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	47
Şekil 4.16 Namaz mührü (NM) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	47
Şekil 4.17 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı pikler altında kalan TL şiddetinin zamanla değişimi. (a)); seramik tırnak törpüsü (STT), (b)); porselen şekerlik (PŞ)	48
Şekil 4.18 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı pikler altında kalan TL şiddetinin zamanla değişimi.(a); sigorta porseleni , (b);cila maddesi içerikli yapay diş porseleni	48
Şekil 4.19 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı pikler altında kalan TL şiddetinin zamanla değişimi. (a); cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni, (b);porselen kül tablası	49
Şekil 4.20 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı pikler altında kalan TL şiddetinin zamanla değişimi. (a)); kumbara (KU), (b)); namaz mührü (MN).....	49
Şekil 4.21 Seramik tırnak törpüsü (STT) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	50
Şekil 4.22 porselen şekerlik (PŞ) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	50
Şekil 4.23 Sigorta porseleni (SP) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	51
Şekil 4.24 Cilalı maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	51
Şekil 4.25 Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi.....	51
Şekil 4.26 Porselen kül tablası (PKT) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	52
Şekil 4.27 Kumbara (KU) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	52
Şekil 4.28 Namaz mührü (NM) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi	52

Şekil 4.29 Seramik tırnak törpüsü (STT) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışına eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi	53
Şekil 4.30 Porselen şekerlik (PŞ) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışına eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi	53
Şekil 4.31 Sigorta porseleni numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışına eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi	54
Şekil 4.32 Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışına eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi	54
Şekil 4.33 Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışına eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi	54
Şekil 4.34 Porselen kül tablası (PKT) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışına eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi	55
Şekil 4.35 Kumbara (KU) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışına eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi	55
Şekil 4.36 Namaz mührü (MN) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışına eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi	55
Şekil 4.37 Numunelerin üzerinde yapılmış işlemin TL sinyal şiddetine etkisi a) Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP), b) Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP)	56
Şekil 4.38 Numunelerin üzerinde yapılmış işlemin TL sinyal şiddetine etkisi a) Namaz mührü (NM), b) Sigorta porseleni (SP).....	57
Şekil 4.39 Numunelerin üzerinde yapılmış işlemin TL sinyal şiddetine etkisi a) Seramik tırnak törpüsü (STT), b) Porselen şekerlik (PŞ)	57
Şekil 4.40 Numunelerin üzerinde yapılmış işlemin TL sinyal şiddetine etkisi a) Porselen kül tablası (PKT), b) Kumbara (KU)	57
Şekil 4.41 TL ışına eğrilerinin (ısıtma hızı; 2°C/s) dekonvolüsyonu: yuvarlak simgeler deneysel verileri gösterirken çizgiler dekonvolüsyon analizinden elde edilen bileşenleri (pikler) göstermektedir, a) Seramik tırnak törpüsü (STT), b) Porselen şekerlik (PŞ)	58
Şekil 4.42 TL ışına eğrilerinin (ısıtma hızı; 2°C/s) dekonvolüsyonu: yuvarlak simgeler deneysel verileri gösterirken çizgiler dekonvolüsyon analizinden elde edilen bileşenleri (pikler) göstermektedir, a) Sigorta porseleni (SP), b) Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni	58
Şekil 4.43 TL ışına eğrilerinin (ısıtma hızı; 2°C/s) dekonvolüsyonu: yuvarlak simgeler deneysel verileri gösterirken çizgiler dekonvolüsyon analizinden elde edilen	

bileşenleri (pikler) göstermektedir, a) Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP), b) Porselen kül tablası (PKT)	59
Şekil 4.44 TL ışımaya eğrilerinin (ısıtma hızı; 2°C/s) dekonvolüsyonu: yuvarlak simgeler deneysel verileri gösterirken çizgiler dekonvolüsyon analizinden elde edilen bileşenleri (pikler) göstermektedir, a) Kumbara (KU), b) Namaz mührü (NM).....	59
Şekil 4.45 Numunelerin farklı uyarma sistemi ile OSL sinyalin değişimi: a) Seramik tırnak törpüsü, b) Porselen şekerlik	60
Şekil 4.46 Numunelerin farklı uyarma sistemi ile OSL sinyalin değişimi: a) Sigorta porseleni, b) Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni	61
Şekil 4.47 Numunelerin farklı uyarma sistemi ile OSL sinyalin değişimi: a) Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni, b) Porselen kül tablası	61
Şekil 4.48 Numunelerin farklı uyarma sistemi ile OSL sinyalin değişimi: a) Kumbara, b) Namaz mührü	61
Şekil 4.49 Seramik tırnak törpüsü (STT) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi	62
Şekil 4.50 Porselen şekerlik (PŞ) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi	63
Şekil 4.51 Sigorta porseleni (SP) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi	63
Şekil 4.52 Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi	63
Şekil 4.53 Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi	64
Şekil 4.54 Porselen kül tablası (PKT) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi	64
Şekil 4.55 Kumbara (KU) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi	64
Şekil 4.56 Namaz mührü (MN) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi	65
Şekil 4.57 Seramik tırnak törpüsü (STT) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi.....	70
Şekil 4.58 Porselen şekerlik (PŞ) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi.....	70
Şekil 4.59 Sigorta porseleni (SP) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi.....	70
Şekil 4.60 Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi	71
Şekil 4.61 Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi	71
Şekil 4.62 Porselen kül tablası (PKT) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi.....	71

Şekil 4.63 Kumbara (KU) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi (a); OSL ışımaya eğrileri	72
Şekil 4.64 Namaz mührü (NM) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi	72
Şekil 4.65 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı sinyal bölgeleri altında kalan OSL şiddetinin zamanla değişimi. (a); Seramik tırnak törpüsü, (b); Porselen şekerlik	73
Şekil 4.66 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı sinyal bölgeleri altında kalan OSL şiddetinin zamanla değişimi. (a); Sigorta porseleni , (b); Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni.....	73
Şekil 4.67 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı sinyal bölgeleri altında kalan OSL şiddetinin zamanla değişimi. (a); Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni, (b); Kül tablası	73
Şekil 4.68 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı sinyal bölgeleri altında kalan OSL şiddetinin zamanla değişimi. (a); Kumbara, (b); Namaz mührü	74
Şekil 4.69 Sıcaklığın OSL sinyaline etkisi a) Seramik tırnak törpüsü b) Porselen şekerlik	75
Şekil 4.70 Sıcaklığın OSL sinyaline etkisi a) Sigorta porseleni b) Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni	75
Şekil 4.71 Sıcaklığın OSL sinyaline etkisi a) Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni b) Porselen kül tablası	75
Şekil 4.72 Sıcaklığın OSL sinyaline etkisi a) Kumbara b) Namaz mührü	76
Şekil 4.73 Farklı sıcaklıklarda OSL sinyali a) Seramik tırnak törpüsü b) Porselen şekerlik	76
Şekil 4.74 Farklı sıcaklıklarda OSL sinyali a) Sigorta porseleni b) Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni	77
Şekil 4.75 Farklı sıcaklıklarda OSL sinyali a) Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni b) Porselen kül tablası	77
Şekil 4.76 Farklı sıcaklıklarda OSL sinyali a) Kumbara b) Namaz mührü	77
Şekil 4.77 OSL (i) ve TL (ii) sinyallerinin f(D) supra-linerlik indeksi,.....	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Doz yeniden yapılandırma yöntemlerinin uygulanabilirlik alanları. ICRU68 (2002).....	6
Çizelge 4.1 STT numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları	42
Çizelge 4.2 PŞ numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları	42
Çizelge 4.3 SP numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları	42
Çizelge 4. 4 CDP numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları	43
Çizelge 4.5 CSZDP numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları	43
Çizelge 4.6 PKT numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları	43
Çizelge 4.7 KU numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları	44
Çizelge 4.8 NM numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları	44
Çizelge 4.9 Dozimetrik piklerin kinetik parametreleri	60
Çizelge 4.10 STT numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları	65
Çizelge 4.11 PŞ numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları	66
Çizelge 4.12 SP numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları	66
Çizelge 4.13 CDP numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları	67
Çizelge 4.14 CDSZP numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları	67
Çizelge 4.15 PKT numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları	68
Çizelge 4.16 KU numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları	68
Çizelge 4.17 NM numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları	69
Çizelge 4.18 incelenen örneklerin lineer, sublineer ve supralineer olduğu bölgeler	78
Çizelge 4.19 Tek tablet yöntemine göre kaza dozunun hesaplanmasında kullanılan sıcaklık bölgeleri ve fit bölgesi	80
Çizelge 4.20 Çoklu tablet yenileme yöntemine göre kaza dozunun hesaplanmasında kullanılan sıcaklık bölgeleri ve fit bölgesi	80
Çizelge 4.21 OSL yöntemine göre kaza dozunun hesaplanmasında kullanılan sinyal bölgeleri ve fit bölgesi	80
Çizelge 4.22 Doz dönüşüm faktörleri	81
Çizelge 4.23 Etkin organ doz değerleri	81

1. GİRİŞ

Bir radyasyon kazası durumunda, maruz kalınan radyasyon işçilerinin ve toplumun aldığı doz seviyelerinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Radyasyon kazaları beklenmedik olduğundan dolayı rutin ölçümler toplumun aldığı dozların tahmininde yetersiz kalmaktadır. Kaza anında insanların maruz kaldığı dozun belirlenemediği durumlarda retrospektif (geriye dönük) yöntemler önem kazanmaktadır. Kaza yerinden elde edilen numunelerin çeşitli yöntemler kullanılarak geriye dönük doz hesaplamasının yapılması ile ilgili çalışmalar, özellikle Çernobil kazasıyla beraber büyük önem kazanmıştır (Hütt vd. 1993). Kaza durumlarında geriye dönük doz tayini için kullanılan uzun süre maruz kaldığı doz bilgisini depolayabilen tuğlalar, kiremitler, fayanslar vb. gibi yapı malzemeleri olmuştur. Tarihlendirme çalışmalarında yapıldığı gibi bu malzemelerin üretim tarihinden itibaren doğadan almış olduğu dozun kazadan sonra elde edilen doz değerinden çıkartılması ile kaza dozu hesaplanır. Yapı malzemelerinin yanı sıra kaza yerinden elde edilen porselen yapıdaki çaydanlık, şekerlik, kül tablası ve lavabo taşı gibi malzemelerde geriye dönük doz hesaplamalarında incelenmiştir (Hütt vd. 1996). Son zamanlarda yaygın olarak kullanılan cep telefonlarının ekranı ve silikon tabanlı elektronik parçaları incelenerek geriye dönük doz hesaplanmasında kullanılmıştır (Discher ve Woda 2013). Bu malzemelerin çoğunluğu belirli bir kristal yapısına sahipken bir kısmı amorf özellik göstermektedir. Aydaş vd. (2016) ve Şahiner (2017) ticari olarak kullanılan farklı amorf cam örneklerinin retrospektif dozimetri çalışmalarında kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada ise literatürdeki çalışmalara benzer şekilde farklı malzemeler TL ve OSL teknikleri ile incelenerek kaza dozimetresi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında çevrede gündelik hayatta yaygın olarak kullanılan porselen bazlı şekerlik, kül tablası, cila maddesi içerikli ve cila maddesi içeriksiz yapay diş, kil bazlı kumbara ve namaz mühürü ile seramik tırnak törpüsü materyallerinin bir kaza durumunda kaza dozimetresi olarak kullanıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Seçilen materyaller TL metodunda, tek tablet yenileme yöntemi (TTY) ve çok tablet yenileme (ÇTY) yöntemlerine göre tekrarlanabilirlik, doz-cevap grafikleri, zamana karşı sönümü, termal sönüm ve TL kinetik parametreleri incelenmiş, OSL metodunda ise tek tablet yenileme yöntemine (TTY) göre tekrarlanabilirlik, doz-cevap grafikleri ve zamana karşı sönümü

özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağı kullanılarak bir kaza senaryosu gerçekleştirilmiş ve kaza senaryosunda maruz kalınan doz miktarı tez kapsamında araştırılan materyaller aracılığıyla tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bulunan sonuçlar aynı mesafelere yerleştirilen TLD-100 dozimetreler ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla örnekler radyoaktif kaynaktan 12,5 ve 100 cm uzakta olacak şekilde kaza mahalline yerleştirilerek tahmini ölçülebilecek makul bir doz seviyesine gelene kadar 25 gün boyunca beklenmiştir. Etkin organ dozlarının hesaplanabilmesi için kaza mahalline bayan ve erkek Rando fantomlar yerleştirilmiştir. Fantomların farklı bölgelerinde (cilt, akciğer ve kalın bağırsak) soğurulan doz değerleri hesaplanmıştır. Olası bir kaza durumunda tezde incelenen malzemelerin, yapay bir dozimetre olmadığı durumda, retrospektif doz değerlerinin hesaplanabileceği gösterilmiştir.

Bu tezin ikinci bölümünde retrospektif dozimetre, kaza dozimetresi, retrospektif dozimetrideki mevcut yöntemler, kaza dozimetresi çalışmalarında lüminesans tekniklerinin kullanılması hakkında genel bilgiler ve ardından lüminesans olayı açıklandıktan sonra termolüminesans (TL) ve optik uyarmalı lüminesans (OSL) olayları detaylı olarak ele alınmıştır. Üçüncü bölümde tezde kullanılan materyal ve yöntem hakkında bilgi verilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde elde edilen bulgular verildikten sonra beşinci bölümde tartışmalar ve sonuç kısmı verilmiştir.

Bu çalışmada çevrede bulunması muhtemel olan birçok farklı malzemenin bir arada incelenmesi ve aynı zamanda bu malzemelerin TL ve OSL yöntemlerinin her ikisinin kullanılması sayesinde literatüre kaza dozimetrisi alanında önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, bu tez çalışması gerçekleştirilen kaza senaryosunda kaza mahallindeki TLD-100'ler aracılığı ile hesaplanan etkin organ dozlarının incelenen materyaller aracılığı ile belirlenebileceğinin gösterilmesi açısından önem arz etmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Geriye Dönük Dozimetre (Retrospektif dozimetre)

Lüminesans yöntemlerinde kullanılan retrospektif dozimetre çalışmaları, iki ana kategoriye ayrılabilir. Bunlar, arkeolojik ve jeolojik tarihlendirme ile kaza dozimetrisidir (Bøtter-Jensen vd. 2003; Şahiner 2015). Lüminesans tarihlendirmede amaç, materyalin soğurduğu toplam dozun, çevresinde bulunan doğal radyonüklidler ve uzay merkezli kaynaklı kozmik radyasyon nedeniyle maruz kaldığı yıllık radyasyon dozuna oranlanmasıdır (Aitken 1998). İyonlaştırıcı radyasyonun kaynağı, materyalin içerdiği bazı elementlerin (Toryum, Uranyum serileri ve Potasyum-40) radyoaktif bozunumundan kaynaklanmaktadır. Ortamdaki doz hızı biliniyorsa (veya ayrı olarak belirlenebilirse) ve soğurulan dozun zaman boyunca sabit olduğu kabul edilirse, soğurulan doz ile örneğin yaşı arasında ilişki kurulabilir. Kaza dozimetresinde ise amaç, bir radyasyon kazası sonucunda soğurulan dozların belirlenmesidir. Kaza dozu tarihlendirme yöntemine benzer olarak belirlenecek olan doz değeri doğal fon (background) dozunun üstüne eklenir. Kaza dozimetresi ve tarihlendirme uygulamalarında kullanılan teknikler aynıdır. Lüminesans malzemeler iyonize radyasyonu ile etkileşim sayesinde enerji depolama yeteneğine sahiptirler. Kuvars ve feldspat gibi mineraller lüminesans tekniklerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. İyonize radyasyon yalıtkan bir kristalle (örneğin kuvars) etkileştiğinde, kristal içerisindeki elektronların yeniden dağılımı gerçekleşir (Bøtter-Jensen vd. 2003). Yeniden dağılıma uğrayan elektronların bir kısmı kristal örgü içerisindeki kusurlarda tuzaklanır. Yeniden elektron dağılımı, radyasyona maruz kalma süresi boyunca sürer ve tuzaklanan yük miktarı, satürasyon etkilerinin önemsiz olduğu sürece malzemenin maruz kaldığı toplam radyasyon ile orantılıdır. Tuzaklanmış olan elektronlar, kristalin ışığa ya da ısıya maruz kaldığında tuzaklardan kurtulabilir. Tuzaktan kurtulan elektronların yeniden birleşme merkezlerinde deşiklerle birleşmesi sonucu ışık yayımına sebep olurlar bu olay lüminesans olarak bilinir (Bøtter-Jensen vd. 2003). Eğer tuzaklanmış olan elektronlar ısı kullanılarak tuzaklardan serbest kalması durumunda lüminesans termolüminesans (TL) adını, ışık uygulanırsa optik uyarımlı lüminesans (OSL) adını alır.

Doğadaki radyonüklitler ve kozmik ışıklardan kaynaklı lüminesans sinyalinin şiddeti, aynı zamanda doğal lüminesans olarak adlandırılır ve tuzaklanmış yük miktarı ile

orantılıdır bu yüzden soğurulmuş doz ile orantılıdır. Doğal lüminesans sinyali laboratuvarında örneğin kalibre edilmesi ile soğurulmuş doz cinsinden ifade edilebilir. Bu kalibrasyon işlemi örneğe bilinen radyasyon dozlarının verilmesi ve elde edilen sinyalin ölçülmesi ile gerçekleştirilir.

2.2 Kaza Dozimetresi

Radyasyon kazası, iyonize radyasyon içeren bir uygulama esnasında ya da bir radyasyon kaynağının istenmeyen veya beklenilmedik bir şekilde yanlış kullanımı ile ortaya çıkan durumlardır. Radyasyon kazası önemli ölçüde insanların ve/veya materyallerin iyonize radyasyona maruz kalmasına yol açar (IAEA ve WHO (1998), IAEA (1999)). Radyasyon kazası durumunda (nükleer kaza veya diğer radyolojik acil durumlar) , toplum ve radyasyon çalışanlarının aldığı doz seviyelerinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Bu tür radyasyon kazaları, askeri faaliyetler ve endüstriyel tesislerden radyoaktif materyallerin açığa çıkmasına ya da radyasyon kaynaklarının yanlış kullanımı ve imhası yüzünden bireylerin aşırı doz almasına sebep olabilir (ICRU Raporu 68 (2002)). 1944-2000 yılları arasında, 417 radyasyon kazası içerisinde en az bir kişi aşırı doza maruz kalmıştır ve soğurulan doz tüm vücut için, 0,25 Gy ya da cilt için 6 Gy değerlerini aşmıştır (Turai ve Veress 2001). Bu radyasyon kazalarında yaklaşık 3000 kişi aşırı doza maruz kalmış ve toplam 57 yıl boyunca 127 kişinin öldüğü kayıt altına alınmıştır (Orise 2000). Bu sayı, Hiroşima ve Nagazaki üzerinde nükleer silahların patlaması sonucu ve Çernobil kazası esnasında temizlik işçileri tarafından alınan aşırı dozları kapsamamaktadır. (Pierce vd.1996, Karaoglou ve Chadwick 1998). İyonlaştırıcı radyasyonun veya radyoaktif materyallerin bir kaza durumunda açığa çıkması sonucunda oluşan radyoaktif kirlilik ve soğurulan doz gibi niceliklerin ölçülmesi zordur ve tatmin edici bilgileri elde etmek yetersizdir. Fakat, radyasyon maruziyetinin retrospektif (geriye dönük) olarak değerlendirilmesi radyasyon risk analizi için önemli bir temeldir ve radyo-epidemiyolojik çalışmalarının önemli bir parçasıdır. Retrospektif doz değerlendirmesinin özel bir alt sınıfına doz rekonstrüksiyonu denir ve bu yöntem geleneksel dozimetrik verilerin mevcut olmadığı ya da yetersiz kaldığı durumlarda insanın geçmişte maruz kaldığı dozun geriye dönük olarak değerlendirilmesini içerir.

2.3 Retrospektif Dozimetric Mevcut Yöntemler

Geçmişe dönük radyasyon dozunun belirlenmesi için fiziksel ve biyolojik yöntemler mevcuttur. Kullanılan yöntem belirlenecek olan dozları bireylere veya topluma göre değerlendirilip değerlendirilmeyeceğine bağlı olarak değişir. Bireyler için uygulanacak olan doz ölçümlerine dayalı doz rekonstrüksiyon işlemi, kandaki radyonüklit aktivitesinin incelenmesi ile soğurulan dozun belirlenmesini içerir. En uygun yöntem, kişinin maruz kaldığı ışınlanma şekiline (iç ve dış) ve mevcut olan veri kayıtlarına bağlıdır. Dış ışınlanma sonucu soğurulan dozun tespitinde kullanılacak en uygun yöntemler (TL, OSL ve EPR), minerallerdeki kusur bölgelerinde tuzaklanan elektronlar, serbest radikaller, nötron aktivasyon ürünleri veya kan bileşenlerindeki değişimlerin incelenmesi ile belirlenir. İçeriden ışınlanmaya maruz kalma durumunda ise insan vücudundaki radyonüklit aktivitelerinin ölçümleri kullanılabilir (Thomsen 2004).

Radyasyon dozunun yeniden yapılandırma işlemi için sık kullanılan yöntemler aşağıda özet olarak verilmiştir.

a. *Biyolojik yöntemler:*

Kromozom aberasyonları: İnsan lenfositlerinden hazırlanan meta fazlardaki disentrik kromozom aberasyonlarının işaretlenmesini kullanan biyolojik bir metottur (Edwards 1997). Akut üniform tüm vücut ışınlanmasından bir kaç hafta sonra doz rekonstrüksiyon işleminde tercih edilen bir yöntemdir. Disentrik aberasyonlar kararsızdır ve böylece periferik kandan ayırt edilebilirler. Radyasyon olayından bu yana uzun süre geçmişse hibridleşme esnasında floresans (FISH) olarak adlandırılan bir metot uygulanabilir. FISH yönteminde (kromozom boyama olarak da bilinir) kararlı aberasyonlar olarak sınıflandırılan DNA'daki karşılıklı translokasyonları ve eklemeleri belirlemek için kompozit kromozoma özgü DNA araştırmaları kullanılır (Bauchinger 1998). Fakat 500 mGy'den düşük dozlar için bu yöntemin kullanılması henüz belirli değildir (Thomsen 2004).

Mikroçekirdek: Mikroçekirdeklerin periferik lenfositlerde işaretlendiği biyolojik yöntemdir. Bu yöntemin en büyük avantajı soğurulan dozun hızlı bir şekilde tahmin edilebilmesidir (Nakamura ve Miyazawa 1997).

İnsan vücudundaki radyonüklidler: Çevrenin radyoaktivite kontaminasyonu, kontamine olmuş içme suyu, gıda maddeleri ve hava ile radyonüklidlerin sindirilmesi ve teneffüs edilmesine neden olacaktır. Vücuttaki radyonüklid aktiviteleri, insan vücudundan çıkan gama, x-ışınları ve frenlenme (bremsstrahlung) ışınlarının şiddetinin ölçülmesi ya da solunan hava, idrar, dışkıdaki aktivitelerin ölçülmesi ile bulunabilir.

b. Fiziksel yöntemler:

- EPR yöntemi: Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR), insan vücudundaki dış minesinde (veya diğer kireçlenmiş dokuda) iyonize radyasyonla indüklenen radikallerin ölçülmesine dayanan fiziksel bir yöntemdir (Wieser vd. 2000).
- Seramiklerin Lüminesansı: Termolüminesans (TL) (Bailif 1995) ve Optik Uyarmalı Lüminesansa (OSL) (Bøtter-Jensen vd. 1996) dayalı fiziksel bir yöntemdir. Bu yöntemler, kuvars ve feldspat gibi minerallerden yayınlanan lüminesansın ölçümüne dayanmaktadır. Bu yöntemler çok uzun süre önce soğurulan radyasyon dozlarının ölçülmesini sağlar. Yöntemler tez kapsamında detaylı tartışılmıştır.
- Çevrede bulunan radyonüklidler: Çevrenin radyoaktif kontaminasyonunun ölçülmesidir. Kaza anında aktif doz hızı ölçen Geiger Muller (GM) cihazlardan elde edilen ölçümlere dayalı doz modelleri (Monte Carlo simülasyonları) yapılarak değerlendirilir (Meckbach ve Chumak 1996).

Her bir yöntemin uygulanabilirliği Çizelge 2.1'de verilmektedir (ICRU 68 (2002)).

Çizelge 2.1 Doz yeniden yapılandırma yöntemlerinin uygulanabilirlik alanları. 1: 100 mGy ve aşağısı dozlara uzun süre boyunca maruz kalmış bireylerin almış olduğu dozların belirlenmesi olasılığı. 2: Sınırlamalar, ör. büyük belirsizlikler, ışınlamalar ya da yüksek dedeksiyon limitlerinden sonraki uzun süreli problemler. 3: Toplum tarafından alınan dozların belirleme imkanı. İlk dört yöntem, ışınlama olayı sonrasında dedekte edilebilecek radyoaktivite miktarı olmasa bile uygulanır. (ICRU 68 (2002)).

Yöntem	Işınlama türü			
	Dış	İç		
	Gama	Alfa	Beta	Gama
EPR	1	-	2	1
Kromozom aberasyonları	2	-	-	2

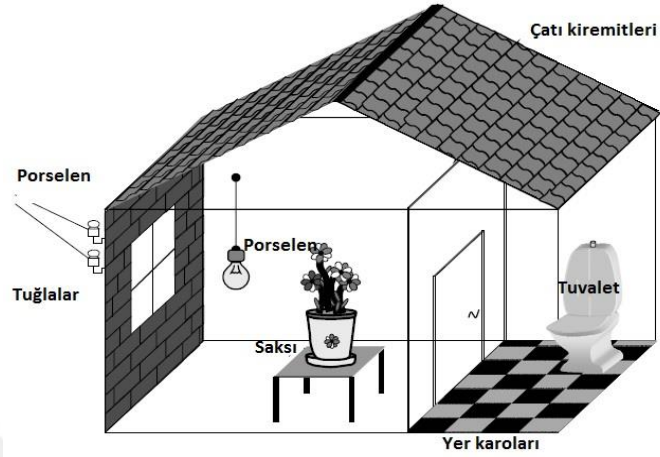
Mikro çekirdekler	3	-	-	3
Seramiklerin lüminesansı	3	-	-	-
İnsan vücudundaki radyonüklidler	-	1	1	1
Çevredeki radyonüklidler	3	3	3	3

2.4 Kaza Dozimetrisi Çalışmalarında Lüminesans Tekniklerinin Kullanılması

Katıhal lüminesans dozimetri teknikleri, eğer ortamda ulaşılabilecek sentetik bir doz ölçer yok ise çevrede bulunan malzemelerde (örneğin; yapı malzemeleri) birikmiş soğurulan dozları belirlemek için kullanılabilir. Lüminesans yöntemler, dış ışınlama neden ile (Çizelge 2.1) toplumun almış olduğu dozların belirlenmesinde özellikle uygundur. Lüminesans yöntemlerle (TL, OSL) ölçülen soğurulan dozun bireylerin ya da toplumun maruz kaldığı toplam doz miktarının tespitinde kullanılması için ek modeller gereklidir. Termoluminesans yöntemi kaza dozimetri çalışmasında ilk defa Hiroşimada atom bombası patlamasından sonra gama radyasyonun neden olduğu birikmiş soğurulan dozun hesaplanmasında kullanılmıştır (Higashimura vd. 1963).

Lüminesans teknikleri, Nevada Test bölgesi civarındaki alanlarda (Haskell vd. 1994), Çernobil reaktöründe ve Çernobil reaktörünün çevresinde bulunan alanda, Hiroşima ve Nagazaki'de (Roesch 1987, Haskell vd. 1994), Kazakistan'daki Semipalatinsk nükleer deneme alanı yakınında (Takada vd. 1997), Rusya'daki Mayak Tesisi tarafından kirletilen Techa nehri vadisi (Bougrov vd.1998) nüfusun yoğun olduğu bölgelerde doz hesaplamalarında retrospektif dozimetri çalışmalarında uygulanmıştır. Lüminesans teknikleri, radyasyondan etkilenen bölgeden alınmış tuğlalar (Banerjee vd. 1999, 2000), sırlı ve sırsız fayanslar, kiremit, zemin fayansları, saksılar ve porselen teçhizatları gibi ve dış teçhizatları (lambda tutucuları ve elektrik güç hattı yalıtkan malzemeleri) gibi kil bazlı seramik malzemelerine uygulanmıştır (Thomsen 2004) (Şekil 2.1). Radyasyon kaza dozlarının geriye dönük olarak değerlendirilmesinde ev tuğlalarını kullanılması, tuğla malzemeleri içerisinde doz derinliği profillerinin ölçümünü mümkün kıldığı için çok değerlidir. Kuvars içerikli malzemelerin üzerinde uygulanan lüminesans doz ölçümleri, 10 mGy'den daha düşük dozların doğru bir şekilde belirlenebildiğini göstermiştir (Bøtter-Jensen 2000). Şahiner ve Meriç (2012) paslanmış alüminyum oksit örneğinin kaza dozu

çalışmaları için uygun olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca Meriç vd. (2015) ticari renkli kurşun kalemlerin TL özellikleri detaylı olarak incelemiş ve bunun sonucunda kaza dozunun tespit edilebileceği görülmüştür.



Şekil 2.1 Retrospektif doz belirlenmesinde Kullanılan çeşitli seramik malzemelerin şematik gösterimi (Thomsen 2004).

Bir radyasyon kazasından sonra minerallerde soğurulan doz D_e iki bileşenden oluşmaktadır:

1. Malzemenin üretiminden itibaren çevredeki ortamda doğal olarak bulunan radyoaktif nüklitler tarafından ve kozmik radyasyondan kaynaklı bir doğal fon bileşeni, B.
2. Radyasyon kazasından kaynaklanan doz bileşeni, D_e doğal fonun üzerine eklenir.

Kaza dozimetresinde amaç bu dozun belirlenmesidir; $D_a = D_e - B$. D_a 'nın belirlenmesindeki hassaslık genellikle doğal fonun tahminindeki belirsizlikle sınırlıdır (Thomsen 2004). . Doğal fon hızları, yüksek çözünürlüğe sahip gama veya Alfa spektrometresi veya çevresel doz hesaplamalarında kullanılan yapay dozimetreler ($Al_2O_3:C$, $CaF_2:Mn,...$) kullanılarak tahmin edilebilir. (Bøtter-Jensen ve Murray 1999). B'nin değerlendirilmesinde madde içinde radyasyon soğurma katsayılarının homojen olduğu varsayılır. Ayrıca doz hızı son sıfırlanma olayından bu zamana kadar sabit kaldığı varsayılır. kalın tanecikli örnekler için ($63\mu m < \text{tanecik boyutu} < 300\mu m$) yıllık doz hızı Eşitlik (2.1) ile verilir (Aitken 1998).

$$D_R = kD_\beta + D_\gamma + D_c \quad (2.1)$$

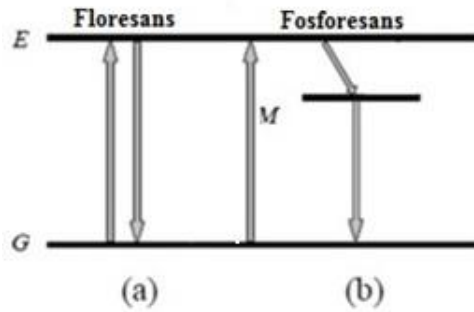
Burada D_β , D_γ ve D_c , beta, gama ve kozmik ışınlarının yıllık doz hızlarıdır ve k beta katkısının zayıflatılması ile ilişkili sayısal bir faktördür. Kalın tanecikli örnekler için, alfa radyasyonundan gelen dış katkı, taneciklerin dış yüzeyinin kimyasal olarak uzaklaştırılmasıyla önemsiz hale getirilir (Aitken 1998).

2.5 Lüminesans Mekanizması

Lüminesans, atomların veya moleküllerin uyarılmış durumdan taban durumuna geçerken görünür bölgede yayımlanan elektromanyetik radyasyondur. Termal olmayan uyarılma sonucunda da ortaya çıkar. Bu nedenle, lüminesans ışığı bir malzemenin ısınması sonucunda ortaya çıkan akkor ışık yayılımından ayırt etmek için soğuk ışık olarak da tanımlanır. Lüminesans malzemeler soğurdukları enerjinin bir kısmını depolayabilir sonra ışık şeklinde salabilir, Bu materyaller çoğunlukla kristal yapıdadırlar. Lüminesans olayı flüoresans veya fosforesans olarak kategorize edilebilir (Şekil 2.2).

Floresans: Bir elektronun uyarılan bir halden taban durumuna geçişinden kaynaklanan ışık salınımıdır. Enerji soğurulmasının neden olduğu uyarılan elektron durumu ile ışık fotonu salınımı ile taban duruma geçer. Bu aradaki süre uyarılma durumunun ömrü olarak bilinir. Ömrü 10^{-8} saniyeden küçüktür (Şekil 2.2a) (McKeever 1985).

Fosforesans: Taban durumuna geçiş, uyarılan durumdan yarı kararlı bir duruma geçişle gecikmektedir; burada, direkt taban durumuna geçiş gerçekleşmez. Bu yarı kararlı durumlar elektron tuzakları olarak işlev görürler. Işıma 10^{-8} saniyeden daha büyük sürelerde gerçekleşmektedir (Şekil 2.2b) (McKeever 1985).



Şekil 2.2 Bir enerji düzeyinin şematik diyagramı, (a) bir elektronun uyarılması ve taban durumuna geçişi (floresans) ve (b) elektronun uyarılması, tuzaklanması, tuzaktan kurtulması ve taban durumuna geçişi (fosforesans) göstermektedir. G taban seviyesini, E uyarılmış seviyesini ve M yarı kararlı seviyesini göstermektedir.

Fosforesans sırasında, uyarılmış durum ile yarı kararlı durumu arasındaki fark çok küçüktür ve ortam sıcaklığında kafes titreşimleri ile elektronlar tuzaklardan kurtarabilirler yani bir dış kaynağın enerjisine gerek yoktur. Bununla birlikte, TL ve OSL'de uyarılmış durum ile yarı kararlı durum arasındaki enerji fark o kadar büyüktür ki elektronların tuzaktan kurtarabilmesi için dışarıdan enerji uygulanması gerekmektedir. TL'de lüminesans ışık salınımı malzemenin ısı ile uyarılmasıyla gerçekleşir, OSL'de lüminesans ışık salınımı optik uyarımla ortaya çıkar.

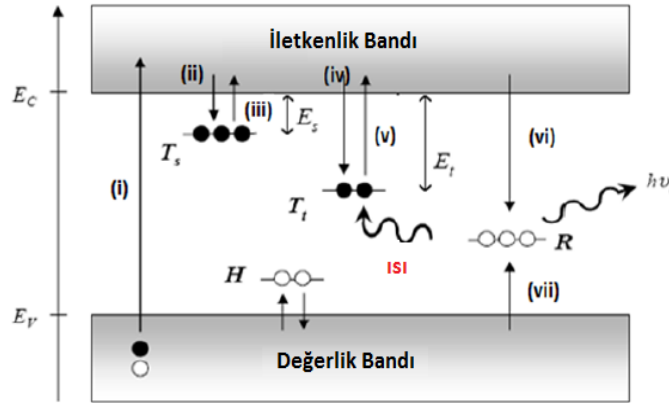
2.5.1 Lüminesans mekanizması bant modeli yaklaşımı

Kuantum mekaniğine göre bir atomun etrafındaki bir elektronun, belirli enerji seviyelerinde var olmasına izinlidir. Atomdaki serbest bir elektron için izinli seviyeler dışındaki enerji değerleri yasaktır. Bir katı madde içinde birbirine bağlı olan atomlar birbirlerini etkilerler. Atomları birbirine bağlayan kuvvetler diğer elektronların davranışını büyük ölçüde değiştirirler. Katı malzemede atomların bir birine yakın olması bireysel enerji seviyelerinin ayrılması ve izinli enerji bantlarını oluşturur. Bir katıdaki en dıştaki iki banda değerlik bandı ve iletim bandı denir ve izin verilen iki enerji durumu arasındaki aralığa yasaklanmış enerji aralığı denir (Şekil 2.3). Değerlik bant izin verilen bantların altındadır. Değerlik bandı içindeki en yüksek enerji seviyesini temsil eden seviye E_v olarak etiketlenir. İletim bandı, izin verilen durumların en üst bandıdır. İletim bandındaki olası en düşük enerji durumu E_c ile verilmektedir. İletim bandındaki elektronlar tek bir atoma bağlı değildir ve bu nedenle herhangi bir harici elektrik alanının etkisi altında kristalde hareket edebilirler.

$E_g(E_c - E_v)$ değerlik bandından iletkenlik bandına geçiş için gereken enerji miktarıdır. Bir bağ kırıldığında, elektron, değerlik bandından ayrılarak iletim bandına yükseltmek için yeterli enerjiyi soğurmuş olur demektir. Kristal malzemeler bant aralığının genişliğine göre sınıflandırılabilir. Bant aralığının genişliği büyükse (3 ile 10 eV arasında) malzeme yalıtkan olarak sınıflandırılır, eğer genişlik ihmal edilebilir veya mevcut değilse (değerlik ve iletim bantları çakışırsa), malzeme iletken olarak sınıflandırılır. Yarı iletken malzemeler ise yalıtkanlar ve iletkenler arasında yer almaktadırlar. Böylece, bir yalıtkan malzemede iletim bandı çok az elektron içerecektir çünkü tek bir elektronun değerlik bandından iletim bandına geçişi için gereken termal

enerji büyüktür. Lüminesans malzemeler yalıtkan olarak sınıflandırılır. Mükemmel bir yalıtkan kristal kafesinde, dış kuvvetler olmadan değerlik bandından iletim bandına geçiş yapan bir elektron için olasılık önemsizdir. İyonlaştırıcı radyasyon madde ile etkileşime girdiğinde enerji depolanır. Bu enerji birikimi, bir elektronun, değerlik bandından iletim bandına geçiş yapmak için yeterli enerjiyi kazanmasına yol açabilir. Elektron yükseltildiğinde değerlik bandında bir deşik oluşturulur. Değerlik bandındaki elektronlar, ilerletilen elektronun bıraktığı alana karıştırarak hareket edebiliyorlar. Böylece, bir elektron değerlik bandından iletim bandına yükseldiği zaman, bir elektron-deşik çifti oluşturulur. Rekombinasyon sürecinde enerji ışık (ışıklı geçişler) veya ısı (ışısız geçişler) olarak salınır.

Değerlik elektronları tarafından soğrulan enerji miktarı, yasak enerji aralığından daha büyük olduğunda, elektronlar Şekil 2.3 'te gösterildiği gibi kristal içinde özgürce hareket edebilen iletim bandına uyarılırlar (Şekil 2.3 geçiş (i) vasıtasıyla). Serbest elektronlar, aşırı enerjilerini kafes titreşimlerine (fononlar) aktararak ışısız olarak dağıtabilirler. Ayrıca, eğer materyal radyasyon rekombinasyon merkezleri içeriyorsa, elektronlar rekombinasyon merkezleri tarafından yakalanabilir ve aldığı enerjisi (veya bunun bir kısmı) ışıklı olarak yayılabilir .



Şekil 2.3 Yarı iletken veya yalıtkanındaki lüminesans sürecinin şematik diyagramı, olası elektronik geçişler ok ile gösterilmektedir. Yük taşıyıcılarının yakalanması ve rekombinasyonuna karşılık gelen elektronik geçişler hem sürekli bantlar hem de lokalize enerji seviyeleri içerir (Thomsen 2004).

Elektronlar ve deşikler için olası geçişler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- i. Bantlar arası doğrudan geçiş,

- ii. Bant- tuzak geçişi,
- iii. Tuzaktan banda geçişi,
- iv. Bant - rekombinasyon merkezi geçişi,
- v. Rekombinasyon merkezinden- bant geçişi,
- vi. İletim bandından rekombinasyon merkezine geçişi
- vii. Deşiklerin değerlik bandından rekombinasyon merkezine geçişi.

Bununla birlikte, tuzaktan rekombinasyon merkezine geçişi yapmak da mümkündür (Şekil 2.3de gösterilmemiştir). Doğrudan rekombinasyonlar yalnızca sürekli bantları içerirken, dolaylı rekombinasyonlar lokalize durumlarda yer alır.

2.5.2 Termolüminesans (TL)

İdeal dozlarda (bu doz aralığı her malzeme için karakteristiktir) tuzaklanmış elektronların sayısı soğurulan doz ile orantılıdır. Dolayısıyla, eğer tuzaklanmış yk tuzaktan kurtulduğunda rekombinasyon sonucunda salınan ışık dedekte edilebilirse, soğurulan dozun değerlendirilmesi mümkün olur. Kristal sıcaklığını arttırarak tahliye olasılığı artar. Belli sıcaklık aralığında, tuzaklanmış elektronlar tuzak potansiyel bariyerini aşmak için yeterli enerjiyi kazanır ve elektronlar iletim bandına geçerler. Tuzaktan kurtulmuş elektronlar kristal boyu dağılır ve elektronların bir kısmı, deşiklerle rekombinasyonun gerçekleşeceği rekombinasyon merkezlerine doğru yol alacaktır (Şekil 2.3). Difüzyon süresi çok kısadır ve rekombinasyon anlık olarak kabul edilebilir (Aitken 1998). Tüm elektron-deşik rekombinasyon olaylarının bir kısmı herhangi bir ışık emisyonu olmadan (ışımasız geçişler) gerçekleşir. Bu kesir boyutu, kristal sıcaklığı ve safsızlık tipi gibi faktörlere bağlı olarak 0 ile 1 arasında değişebilir (Horowitz 1984). Yayılan lüminesansın yoğunluğu (rekombinasyon ışığı) llr ve sıcaklığa karşı çizilirse sonuç bir ışıma eğrisi olarak adlandırılır. Sıcaklık arttıa, tuzaktan kurtarma olasılığı artar. Başlangıçta yoğunluk artar, daha sonra tepeler dağılım oranı olarak maksimum bir değere ulaşır ve sonra tekrar sıfıra düşer. Lüminesans yoğunluğundaki düşüş, tuzaklanmış elektronların tükenmesinden kaynaklanır. Herhangi bir gerçek malzeme çeşitli enerji düzeylerinde bulunan bir dizi farklı tuzak türü içereceğinden, ışıma eğrisi her biri farklı sıcaklık

seviyelerine karşılık gelen çok sayıda ışımaya tepesinden oluşabilir. Derin tuzaklardaki elektronların ömrü, sığ tuzaklardaki elektronların ömründen daha uzundur. 200°C sıcaklıkların altında maksimum şiddette ışımaya tepelerini oluşturan tuzaklar genellikle çevre sıcaklıklarında kararsız olarak kabul edilir ve bu nedenle dozimetrik olarak kullanılmazlar (Thomsen 2004) . Dozimetrik uygulamaları için faydalı olan ışımaya tepeleri genellikle 200°C veya yüksek sıcaklıklarda bulunmaktadır. Örnek olarak kuvars minerali için ışımaya eğrisinde görülen pikler 110°C, 160°C, 220°C, 325°C ve 375°C'de gerçekleşmektedir (Thomsen 2004) .

325°C pikinin optik uyarımı ile 375°C'deki pikten daha hızlı ağartıldığından, 325°C ve 375°C'deki tepeler, sırasıyla hızla ağartılan tepes noktası (RBP) ve yavaşça ağartılan tepes noktası (SBP) olarak bilinirler (Franklin ve Hornyak 1990) . TL ölçümlerinde bir zorluk termal sönümlenmenin varlığıdır. (Wintle 1975). Numunenin sıcaklığı arttıkça, lüminesansın verimi azalır (Thomsen 2004). Örneğin Kuvarsda lüminesans verimindeki bu düşüş, sıcaklık arttıkça artan ışımaya geçişlerin olasılığının artması ile açıklanabilir (Mott ve Gurney 1948).

2.5.3 Birinci, ikinci ve genel mertebeden TL kinetiği

Termolüminesans sürecini belirleyen birinci, ikinci ve genel mertebeden denklemler için sırasıyla Randall-Wilkins, Garlic-Gibson ve May-Patridge tarafından Eşitlik(2.2-2.4) 'de verilmiştir. (Randall ve Wilkins 1945, Garlic ve Gibson 1948, May ve Patridge 1964).

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = nse^{\frac{-E}{kT}} \quad (2.2)$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = \frac{n^2}{N} se^{\frac{-E}{kT}} \quad (2.3)$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = n^b s' e^{\frac{-E}{kT}} \quad (2.4)$$

Burada,

E = aktivasyon enerjisi veya tuzak derinliği (eV)

k = Boltzmann sabiti : 8,617343E-5 (eV K⁻¹)

t = zaman (s)

T = mutlak sıcaklık (K)

T_0 = başlangıç andaki sıcaklık (K)

Tipik bir deney sırasında örnek $\beta(Ks^{-1})$ ısıtma hızı ile ısıtır ve farklı zamanlardaki sıcaklık: $(T = T_0 + \beta t)$

s = frekans faktörü olarak tanımlanmaktadır ve tuzağın karakteristiğini gösteren bir sabittir (s^{-1}).

Bu parametre örgü fononlarıyla elektronların çarpışma frekansı ile orantılıdır. Genellikle s 'nin $10^{14} s^{-1}$ değerleri arasında değişmektedir (Thomsen 2004).

N = toplam tuzak konsantrasyonu (m^{-3})

n = belli bir t zamandaki tuzaklanan elektronların konsantrasyonu (m^{-3})

b = kinetik merteye, genellikle 1 ile 2 arasındadır.

s' = genel merteye kinetiği için söylenen etkin ön-eksponansiyel faktörü ($m^{3(b-1)}s^{-1}$)

Yukarıda verilmiş eşitliklerin lineer ısıtma hızı uygulandığını düşünülerek integrali alınır, sırasıyla Eşitlik (2.5), (2.6) ve (2.7) elde edilir.

$$I(T) = n_0 s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left(\frac{-s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(\frac{-E}{kT'}\right) \partial T'\right) \quad (2.5)$$

$$I(T) = n^2 \frac{s}{N} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \frac{n_0 s}{\beta N} \int_{T_0}^T \exp\left(\frac{-E}{kT'}\right) \partial T'\right]^{-2} \quad (2.6)$$

$$I(T) = n_0 s'' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \frac{s''(b-1)}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(\frac{-E}{kT'}\right) \partial T'\right]^{-\frac{b}{b-1}} \quad (2.7)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde,

n_0 , $t=0$ anında tuzaklanan elektronların sayısı (m^{-3})

$s'' = s' n_0^{(b-1)}$: genel merteye kinetiği için etkin frekans faktörünü temsil eden deneysel parametre (s^{-1})

2.5.4 Kinetik parametrelerin analiz yöntemleri

Termoluminesans mekanizmasının anlaşılmasını sağlayan parametreler kinetik parametre olarak adlandırılır. Bu parametreler aktivasyon enerjisi, kinetik merteye ve frekans faktörünü içerir. Elde edilen ışıma eğrisinin farklı yöntemlerle analiz edilmesi

sonucu kinetik parametreler elde edilir. Bu analiz yöntemleri, farklı ısıtma hızları yöntemi, dekonvolüsyon yöntemi, başlangıçtaki artış yöntemi, izotermal azalım yöntemi, kesikli ışımaya eğrisi yöntemi, pik şekline dayanan yöntem ve T_m - T_{stop} yönteminden oluşmaktadır.

2.5.4.1 Farklı ısıtma hızları yöntemi

Bu yöntemde, TL ışımaya eğrisi çeşitli ısıtma hızları kullanılarak ölçülür. Tuzak parametreleri, artan ısıtma hızları ile tepe maksimum sıcaklığının (T_m) kayması yoluyla tespit edilebilir. Tepe noktalarının sıcaklığı (T_m) Eşitlik (2.8) ile ısıtma hızına bağlıdır.

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

burada β ; K / s cinsinden ısıtma hızı, s ; frekans faktörünü ifade etmektedir. Birkaç ardışık artan farklı ısıtma hızları için, $\ln((T_m^2) / \beta)$, $1 / T_m$ 'e karşı grafiğinin doğru bölgesinin eğiminden E / k elde edilir, (Hoogenstraaten 1958). Hata hesabı bu grafiğin eğiminden hesaplanabilir (Pagonis ve Kitis 2008).

2.5.4.2 Dekonvolüsyon

TL ışımaya eğrilerinin piklerine ayrıştırılması işlemi (Kitis vd.1998), verilen Eşitlik (2.9)'a göre yapılacaktır:

$$I(T) = I_m b^{\frac{b}{b-1}} \exp\left(\frac{E}{kT} \frac{T-T_m}{T_m}\right) [(b-1)(1-\Delta) \frac{T^2}{T_m^2} \exp\left(\frac{E}{kT} \frac{T-T_m}{T_m}\right) + Z_m]^{\frac{-b}{b-1}}, b \neq 1 \quad (2.9)$$

Burada, I_m , maksimum şiddet; T_m , maksimum sıcaklık, b , 1 ile 2 arasında değişen kinetik merteye terimi; $\Delta = \frac{2kT}{E}$; $\Delta_m = \frac{2kT_m}{E}$ ve $Z_m = 1 + (b-1)\Delta_m$ olarak verilir. Dekonvolüsyon işlemi sonucunda yapılan fitlerin deneysel sonuçlarla olan farkı, Eşitlik (2.10)'da verilen FOM değeri ile kontrol edilmiştir (Balian ve Eddy 1977) :

$$FOM = \sum_i \frac{|Y_{den} - Y_{fit}|}{A} \quad (2.10)$$

Burada, Y_{den} deneysel TL ışımaya eğrisindeki sayım değerlerini, Y_{fit} ise fit eğrisindeki sayım değerlerini, A ise fit eğrisi altında kalan alanı göstermektedir.

2.6 Termal Sönümlenme

Lüminesans veriminin artan sıcaklık ile azalması ışımsız geçişlerin olasılığının artmasından dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu olay termal sönümlenme (thermal quenching) olarak adlandırılır (Curie 1963).

Termal sönümlenme etkisinin varlığı farklı ısıtma hızlarında elde edilen termolüminesans piklerinin altında kalan alan değerlerinin değişiminin değerlendirilmesi ile anlaşılabilir. Termal sönümlenmeye uğrayan bir malzemede bu alan değerlerinin azaldığı ve aynı zamanda termolüminesans kinetik parametrelerinin özellikle aktivasyon enerjisi (E) ve kinetik merteye (b) faktörlerinin değişebileceği gösterilmiştir. Termal sönümlenme Mott-Seitz modeline göre sıcaklığa karşı lüminesans verimi $\eta(T)$, Eşitlik (2.11) ile verilir.

$$\eta(T) = \frac{1}{1 + Ce^{-\frac{W}{kT}}} \quad (2.11)$$

Burada W termal sönümlenme parametresi olarak bilinir. C, ışımsız geçişlerin olasılığının ışıklı geçişlerin olasılığına oranıdır (Pagonis ve Kitis 2008). k, Boltzman sabiti. T, Kelvin cinsinden mutlak sıcaklıktır. W ise Mott-Seitz modeline göre eV biriminde, uyarılmış durumunda bulunan elektronun fononlar aracılığı ile ışımsız olarak taban durumuna geçmesi için gerekli potansiyel bariyeri enerjisidir (Bøtter Jensen vd.2003). Bu katsayılar literatürde farklı malzemeler için hesaplanmıştır. Örneğin Akselrod vd. (1998) Al_2O_3 için $w \approx 1,08$ eV ve $C \approx 10^{12}$, Aşlar vd. (2017) BeO için $w \approx 0,54-0,66$ eV ve $C \approx 10^5-10^6$ olarak hesaplamıştır.

Tez boyunca incelenen malzemelere aynı doz verilerek farklı ısıtma hızları ile TL okuması sonucunda elde edilen dozimetrik pikin altında kalan alan değerleri dikkate alınarak termal sönümlenmenin varlığı araştırılmıştır (Bölüm 4.3).

2.7 Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL) Mekanizması

Optik uyarımlı lüminesans (OSL), TL ile temel olarak benzerdir; fakat TL olayında uyarma ısı ile yapılırken OSL'de uyarma enerjisi fotonlar tarafından sağlanır. Bu yüzden OSL'nin temel prensipleri TL'ninki ile yakından ilişkilidir. Fakat herhangi bir materyalde aynı kusur merkezlerinin her iki süreci de kapsadığı açık değildir (McKeever 2001). OSL ve TL Teknikleri birbirine göre birçok avantaja ve dezavantaja sahiptir. Isıtılmamış

malzemelerde (ışığa maruz kaldığında tuzaklanmış elektronları sıfırlanan malzemelerle) sadece ışığa karşı çok hassas olan OSL tuzak seviyeleri incelenebilir. OSL'nin TL'ye göre elde edilen bir diğer avantajı, oda sıcaklığında uyarım yapılabilmesidir, bu da termal sönümlenmenin ısıtma ile artmadığı anlamına gelir.

OSL dozimetri yöntemi (TL'dekine benzer olarak) üç ana alanda uygulanmaktadır:

- 1) Bireysel dozimetre
- 2) Çevresel dozimetre
- 3) Geriye dönük (retrospektif) dozimetre

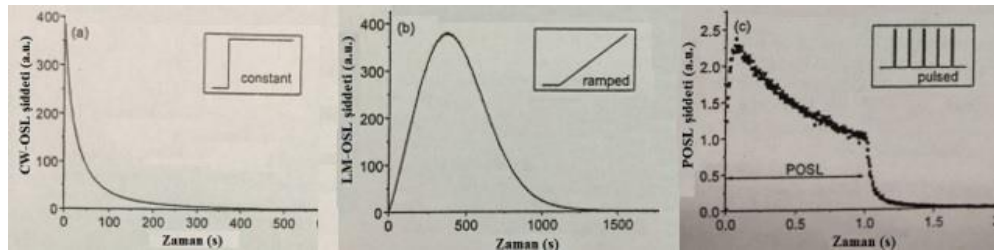
Bunlara ek olarak OSL, ışınlanmış gıda maddelerinin dedeksiyonunda kullanılmaktadır (Sanderson vd.1998). ayrıca günümüzde radyasyon tedavisinde (radyoterapi) ya da diyagnostik radyoloji sırasında hastanın aldığı dozlar optik fiber OSL dozimetresi ile ölçülebilmektedir (Huston vd. 2002, Polf 2002, Andersen vd. 2003).

2.7.1 Uyarma modları

OSL'de numune belirli bir dalga boyuna sahip ışık ile uyarılırken, lüminesans emisyonu farklı dalga boyunda (genellikle daha kısa) ölçülür.

Birçok farklı uyarma modları mevcuttur (Şekil 2.4).

- a) Sürekli dalga OSL (CW-OSL): Işığın şiddeti uyarma süresi boyunca sabit tutulur.
- b) Lineer uyarımlı OSL (LM-OSL): Işığın şiddeti uyarım süresi boyunca lineer olarak artırılır.
- c) Pulsu OSL: Uyarma süresi boyunca uyarım ışığı pulslar halinde gönderilir ve OSL bu pulslar arasında ölçülür.



Şekil 2.4 Üç farklı optik uyarım tipi ve bunlara karşılık gelen OSL bozunum eğrileri (Botter-jensen vd.2003)

2.7.2 OSL modeli

Bir örnek, sabit ışık şiddeti (CW modu) ile uyarıldığında, tuzaklanan elektronların tuzaktan kurtulması ve daha sonra rekombinasyon merkezlerinde deşiklerle birleşerek ışımalı geçişler sonucunda açığa çıkan lüminesans sinyalinin uyarılma süresi ile azalması beklenmektedir. OSL modeli Genel Bir-Tuzak (GOT), (Levy 1985) modeli ile açıklanabilmektedir. Bu modelde tek bir elektron tuzağı T, tek bir ışımalı rekombinasyon merkezi R ve iletim bandı içerir (Şekil 2.5). Tuzaklanma ve rekombinasyon süreçlerinde sadece elektronlar dikkate alınır ve tüm yük geçişleri iletim bandı vasıtasıyla gerçekleşir. Rekombinasyon merkezine, R'ye her geçişin ışımalı rekombinasyona sebep olduğu kabul edilmektedir.

Bir elektronun tuzaktan birim zamanda çıkma olasılığı, uygulanan uyarma ışığının foton akısı ϕ (foton. $m^{-2}s^{-1}$) ile orantılıdır (Eşitlik (2.12)).

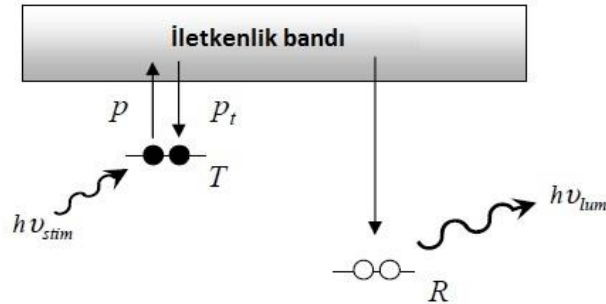
$$p = \sigma(\lambda)\phi \quad (2.12)$$

Burada $\sigma(\lambda)$ bir elektronun tuzaktan çıkması için foto iyonizasyon tesir kesitidir (m^2).

$\sigma(\lambda)$, uyarma ışığının dalga boyuna önemli ölçüde bağlıdır fakat basitlik için uyarma ışığının tek renkli olduğu varsayılmaktadır. Böylece harici ışık uyarımı sırasında elektronların tuzaktan çıkma oranı Eşitlik (2.13) ile verilir,

$$\frac{dn_u}{dt} = -pn \quad (2.13)$$

Burada n, tuzaklanmış elektronların konsantrasyonudur.



Şekil 2.5 Basit Genel Bir-Tuzak (GOT) modelinin enerji seviyesi diyagramı. T tuzağında tuzaklanan bir elektron, iletim bandına optik olarak uyarılmıştır. Salınan elektron, ya T'de

yeniden tekrar tuzaklanır ya da bir foton yayarak ışımali rekombinasyon merkezi, R'de birleşir (Thomsen 2004).

Elektronların T'de tekrar tuzaklanma oranı iletim bandındaki elektronların ve T tuzakındaki mümkün tuzaklanma bölgelerinin konsantrasyonu Eşitlik (2.14) ile orantılıdır.

$$\frac{dn_d}{dt} = p_t n_c (N-n) \quad (2.14)$$

Burada p_t , tuzaklanma olasılığı, n_c , iletkenlik bandındaki elektronların konsantrasyonudur, N elektron tuzaklarının konsantrasyonu ve n tuzaklanan elektronların konsantrasyonudur.

Rekombinasyon oranı (elektronların iletkenlik bandından rekombinasyon merkezi R'ye geçiş oranı) iletkenlik bandındaki elektronların konsantrasyonu (n_c) ve rekombinasyon merkezindeki, R hollerin (deşik) konsantrasyonu, h ile orantılıdır (Eşitlik 2.15).

$$\frac{dh}{dt} = -p_r n_c h \quad (2.15)$$

Burada p_r rekombinasyon olasılığıdır.

Eşitlik (2.16), (2.17) ve (2.18) diferansiyel denklemleri, iletkenlik bandı ve merkezler arasındaki elektronların hareketini açıklamaktadır:

$$\frac{dn_c}{dt} = -\frac{dn_u}{dt} - \frac{dn_d}{dt} - \frac{dh}{dt} = pn - p_t n_c (N - n) - p_r n_c h \quad (2.16)$$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{dn_u}{dt} + \frac{dn_d}{dt} = -pn + p_t n_c (N - n) \quad (2.17)$$

$$\frac{dh}{dt} = -p_r n_c h \quad (2.18)$$

Ayrıca, ilk iyonizasyon işleminde yaratılan tüm deşiklerin rekombinasyon merkezlerinde tuzaklandığını varsayılırsa, Eşitlik (2.19), yük dengesi durumu olarak bilinir.

$$n + n_c = h \text{ ise } \left| \frac{dn_c}{dt} \right| = - \left| \frac{dn}{dt} \right| + \left| \frac{dh}{dt} \right| \quad (2.19)$$

Bu modelde OSL sinyalinin şiddeti I_{OSL} (foton / s) rekombinasyon olma olayı Eşitlik (2.20) ile orantılıdır:

$$I_{OSL}(t) = -\frac{dh}{dt} = -\frac{dn_c}{dt} - \frac{dn}{dt} \approx -\frac{dn}{dt} \quad (2.20)$$

Burada yarı denge durumu varsayılmıştır, yani $n_c \ll n$ (iletkenlik bandındaki elektronların konsantrasyonu tuzaklanmış elektronların konsantrasyonundan çok daha küçüktür) ve $|\frac{dn_c}{dt}| \ll |\frac{dn}{dt}|$ (iletim bandındaki elektronların konsantrasyonunun değişim oranı, tuzaklanmış elektronların konsantrasyonunun değişim oranından çok daha küçüktür)

$\frac{dn_c}{dt} \approx 0$ varsayımı yapılırsa ve Eşitlik (3.20)'da n_c ifadesinde yerine koyulması ile OSL şiddeti Eşitlik (2.21)deki gibi bulunur,

$$I_{OSL}(t) = pn \left(1 - \frac{p_t (N-n)}{p_r h + p_t (N-n)} \right) \quad (2.21)$$

Bu denklem OSL için, Genel Bir Tuzak (GOT) eşitliği olarak adlandırılır. Benzer yaklaşım TL mekanizması için de geçerlidir.

2.7.3 Sürekli dalga (CW) OSL Bozunum Eğrisi

Tekrar tuzaklanma olayının ihmal edildiği varsayılırsa, $p_r h \gg p_t (N-n)$ GOT Eşitliği (2.22) birinci mertebeden diferansiyel denklemine indirgenir.

$$I_{OSL}(t) = -\frac{dn}{dt} = pn \quad (2.22)$$

Eşitlik (2.22) integralinin birinci derece çözümü Eşitlik (2.23) ile ifade edilir:

$$I_{OSL}(t) = I_0 \exp(-t/\tau) \quad (2.23)$$

Burada I_0 , $t = 0$ 'da OSL sinyalinin başlangıç şiddetidir ve τ karakteristik bozulma süresi, $(\sigma(\lambda)\varphi)^{-1}$ ile verilir. Burada φ uyarma ışığının foton akısı olarak bilinir.

Bir malzeme optik uyarıma duyarlı tuzakların ($\sigma > 0$) dağılımını içerdiğinde doğal olarak bu tuzaklar sadece bir tuzak tipinden oluşmamaktadır ve örnekteki tüm tuzaklar aynı anda uyarıldığı için OSL sinyali üstel bozunum serilerin toplamı (birinci mertebede çözüm varsa) olarak Eşitlik (2.24) ile verilir:

$$I_{OSL}(t) = \sum_{i=1}^m I_{i0} \exp(-t/\tau_i) \quad (2.24)$$

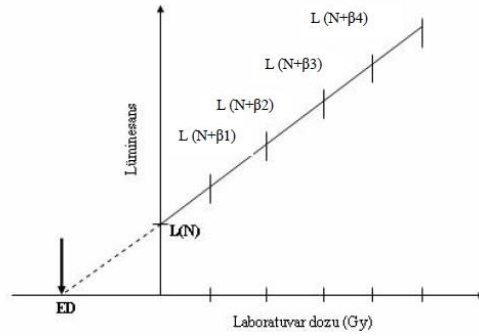
Burada m , farklı tesir kesitlerine sahip optik tuzak tiplerinin sayısıdır ($I=1,2,\dots,m$).

2.8 Eşdeğer Doz Belirleme Yöntemleri

TL ve OSL yöntemleri ile bir örnekte belli bir zaman içerisinde biriken doza, “paleodoz”, “eşdeğer doz”, veya “toplam soğurulan doz” denilir. Bu dozun hesaplanması yaş tayini ve kaza dozimetresinde önemli bir yere sahiptir.

2.8.1 Çoklu tablet yöntemi (ÇTY)

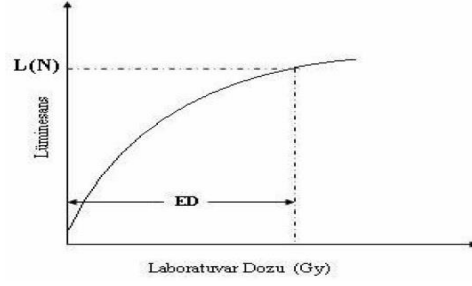
Bu yöntemde eşdeğer doz hesabı için numuneler eşit kütlede birkaç gruba (her grup 5-6 tablettten az olmamak üzere) ayrılır. İlk grup doğal sinyalin belirlenmesi için okunur. Üzerinde doğal sinyali bulunan diğer gruplara ise artan laboratuvar dozları verildikten sonra okuma yapılır. Son aşamada elde edilen doz-cevap grafiğinin dış değer kestirimi ile eşdeğer doz bulunmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Çoklu Tablet-İlave Doz Yöntemi (ED= eşdeğer doz)

2.8.2 Tek tablet yöntemi (TTY)

Bu yöntemde örnekten hazırlanan tek tablet hem doğal sinyali hem laboratuvar dozlarının ölçülmesi amacı ile kullanılmaktadır. Doğal doz okuması yapıldıktan sonra örneğe bilinen bir doz verilir tekrar okuma yapılır. Bu işlem örneğe artan laboratuvar dozları verilip ardından okunması ile tekrar edilir. Verilen dozlara karşılık gelen sinyallerin doz-cevap grafiğine ara değer kestirme yapılarak eş değer doz bulunur (Şekil 2.7). Bu yöntemde tek tablettten ayrı ayrı doz hesabı yapıldığı için kütle normalizasyonu yapılmaz.



Şekil 2.7 Tek Tablet Yenileme Tekniği

2.9 Dozimetrik Kavram Ve Birimler

2.9.1 Aktivite birimleri

SI birimler sisteminde aktivite birimi Becquereldir (Bq)'dir, saniyede bir bozulma gösteren radyoaktif maddenin aktivitesidir. Ayrıca özel olarak Curie (Ci) de kullanılır. Ci, saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunma gösteren radyoaktif maddenin aktivitesi Eşitlik (2.25) ile verilir.

$$1\text{Ci}=3,7 \times 10^{10}\text{Bq} \quad (2.25)$$

2.9.2 Soğurulan doz birimleri

SI birimler sisteminde Gray (Gy) kullanılır. Radyasyon alanında bir maddenin bir kilogramına, bir Joule (J) enerji veren radyasyon miktarına Gray denir (Eşitlik (2.26)). Özel birim olarak rad kullanılır. Radyasyon alanında maddenin 1 gramına 100 erglik enerji veren radyasyon miktarına denir (Eşitlik 2.27).

$$1\text{Gy}= 1\text{J/Kg} \quad 1\text{rad}= 100 \text{ erg} \quad (2.26)$$

$$1\text{Gy}= 100 \text{ rad /g} \quad (2.27)$$

2.9.3 Eşdeğer doz birimleri (H)

Farklı türdeki radyoaktif ışımının eşit dozlardaki biyolojik etkisi farklı olabilir. Bu durum yeni bir birimin tanımını gerektirmiştir. Bu tanım soğurulan dozu, biyolojik etkiyi de hesaba katacak bir faktöre çarparak elde edilir (Eşitlik 2.28). SI birim sisteminde Sievert (Sv), özel birim olarak Rem kullanılır ($1\text{Sv}= 100 \text{ Rem}$)

Eşdeğer doz birimi (Sv / Rem)= soğurulan doz birimi (Gy/rad)x Kalite faktörü

$$H=D \times Q \quad (2.28)$$

2.9.4 Işınlama Birimi (X)

SI birim sisteminde ışınlama birimi Coulomb/kilogram (C/kg)'dır. 0 derece sıcaklıkta ve 760 mm- Hg basıncında havanın bir kilogramında bir Coulombluk elektrik yükü değerinde, pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x ve gama ışınlarının miktarıdır.

Özel birim olarak Röntgen kullanılır (R). Sıfır derecede 760mm- Hg basınçta havanın 1 kg'da $2,58 \times 10^{-4} \text{C}$ 'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar meydana getiren X ve Gama ışınının radyasyonun miktarına Röntgen (R) denir, $1 \text{C/kg} = 3,876 \times 10^3 \text{ R}$.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

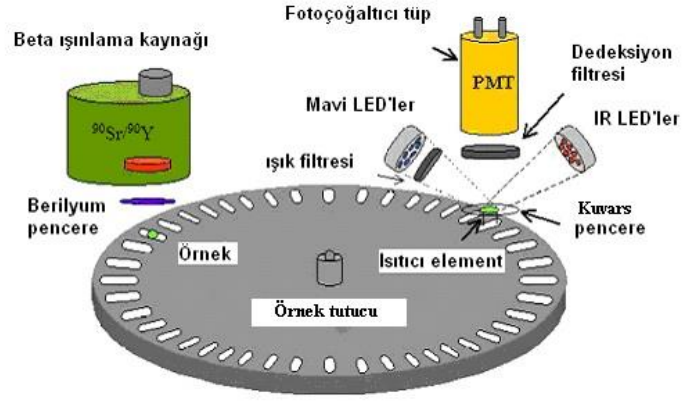
3.1 Cihazlar

3.1.1 Risø TL/OSL sistemi

Bu çalışmada TL/OSL ölçümleri ve ışınlama işlemleri Risø TL/OSL (model DA-20) cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.1). Bu cihaz ayrı ayrı TL ve OSL yapabildiği gibi aynı anda hem TL hem de OSL ölçümleri yapabilmektedir. Cihazda sunulacak olan bütün işler Sequence programı ile ayarlanmaktadır. Kullanılacak olan Örnekler 9,7 mm çapında alüminyum veya paslanmaz çelik üzerine yerleştirilmektedir. Cihazda bulunan örnek tepsisi (karosel) toplamda 48 örnek almaktadır. Bu cihazda TL işlemleri, oda sıcaklığından 700°C kadar örnekler ısıtılabilir. 200°C sıcaklığın üstünde yapılacak olan ölçümler için azot gazı kullanılmaktadır. Azot gazının kullanılması ile oksidasyonun azaltılması ve soğutma işleminin daha hızlı yapılmasını sağlamaktadır. OSL ölçümleri iki modda; Sürekli dalga modu uyarımı (CW-OSL) ve lineer modüle uyarım modu (LM-OSL) ile gerçekleştirilmektedir. Numuneler Mavi Led (Dalga boyu 470 nm) ve Kıızılötesi Ledler (IR) (Dalga boyu 870 nm) aracılığı ile uyarılabilmektedir. Cihazda dahili olarak bulunan ışınlama ünitesi $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağı (Maksimum enerji: 2,27 MeV; Başlangıç aktivitesi: 1,48 GBq, doz hızı 0,120 Gy/s), sayesinde materyaller ışınlanmaktadır. Uyarılma sonucunda numunelerden açığa çıkan lüminesans ışığının filtrasyonu Hoya U-340 (270-380 nm, YYTG 80 nm, 7,5 mm kalınlık) filtresi ve mavi filtre paketi (2 mm Schott BG 39 ve 4 mm Corning 7-59'in birleşimi) ile yapılmaktadır. Açığa çıkan ışık 200 ve 400 nm dalga boyunda maksimum verime sahip Bialkali EMI 9235QB Foto çoğaltıcı tüp (PMT) ile dedekte edilmektedir. Yukarıda bahsedilen Risø TL/OSL sisteminin bileşenleri Şekil 3.2'de verilmiştir.



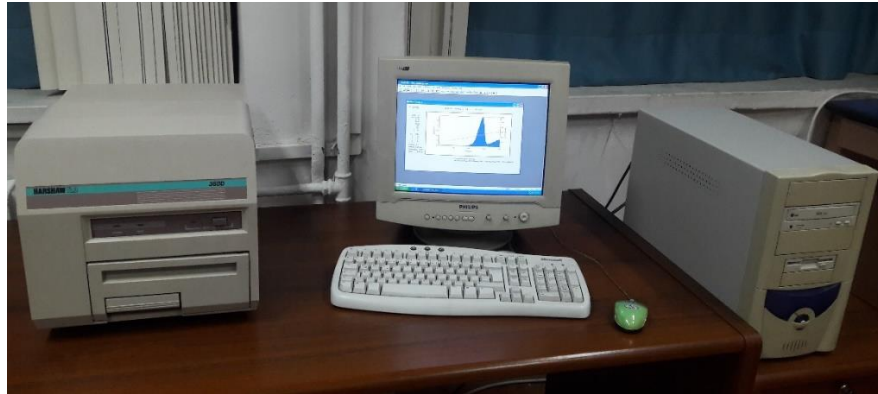
Şekil 3.1 Risø TL/OSL Okuyucu Sistemi



Şekil 3.2 Risø TL / OSL lüminesans okuyucusunun şematik çizimi (Risø DTU Guide to the Risø TL/OSL, 2008)

3.1.2 Thermo Scientific Harshaw TLD 3500 sistemi

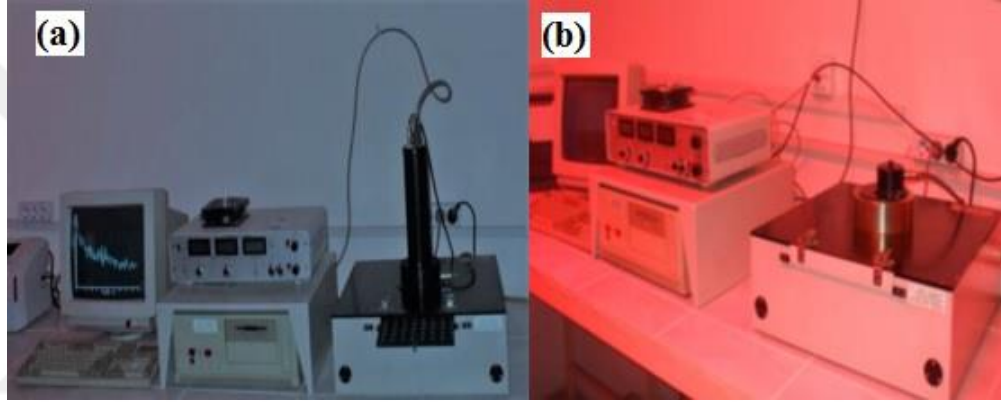
Harshaw 3500 TLD cihazı örneklerin yerleştirildiği çekmece, ısıtma bölgesi, filtre ve fotoçoğaltıcı tüpten (PMT) oluşmaktadır. Örneklerin koyulduğu bölmede bulunan ısıtma şeridi sayesinde örnekler ısıtılır, ısıtılma sonucu açığa çıkan ışığın foto çoğaltıcı tüpte bulunan fotokatod yüzeyine çarpması ile oluşan elektronlar foto çoğaltıcı tüp (PMT) içerisindeki dinotlar aracılığı ile çoğaltılıp akım değerine dönüştürülmesi ile materyalin soğurmuş olduğu doz hakkında bilgi elde edilir. Cihazda, ölçüm parametreleri (maksimum sıcaklık, ısıtma hızı vb.) WinREMS programı ile kontrol edilmektedir. Bu cihaz dozimetreler (çip, yuvarlak, çubuk vb. biçimlerde) ve toz numunelerin TL ölçümlerinde kullanılmaktadır. Cihazın ısıtma hızı 1 ile 50°C/s arasında olup ulaşabildiği maksimum sıcaklık ise 600°C'dir . Şekil 3.3'de Harshaw TLD 3500 cihazı verilmektedir.



Şekil 3.3 Harshaw 3500 TLD okuyucu

3.1.3 Elsec 9010 OSL cihazı

Elsec 9010, OSL modunda okuma ünitesi ve dahili $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağı ışınlama ünitesine sahiptir. Örnek tepsisi ile 10 mm çaplı, 0,5 mm bölmelerde toplan 64 disk (numune) alabilmektedir. Cihaz, kuantum verimi yaklaşık olarak 200 ve 400nm dalga boyunda maksimum verime sahip Thorn EMI 9235 QA fotoçoğaltıcı tüp (PMT) içermektedir. Cihazda bulunan filtre olarak Hoya U-340 filtre (270-380 nm, YYTG 80 nm) ve $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağının ve başlangıç aktivitesi 100 mCi olup alüminyum üzerindeki doz hızı $0,027\pm 0,003$ Gy/s'dir. Şekil 3.4a'da Elsec 9010 okuma sistemi Şekil 3.4 b' de ise ışınlama ünitesi görülmektedir (Atlıhan 2008).



Şekil 3.4 a) Elsec 9010 okuma sistemi, b) ışınlama ünitesi (Atlıhan 2008)

3.1.4 2210 Thermo Electron $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta ışınlayıcı

2210 Thermo $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ışınlayıcı, kompakt boyutları sayesinde laboratuvarında çip şeklindeki dozimetrelerin ışınlanması için tasarlanmış düşük doz değerlendirmelerinde kullanılan bir ünedir. $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ kaynağın aktivitesi 33 MBq'dir (Referans Tarihi: 11.02.2009) ve Şekil 3.5'de ışınlayıcı görülmektedir. Dozimetreler, dönen bir disk tabla içerisine yerleştirilir, diskin dönmesi ile örnekler ışınlanır. Ön kısımda bulunan panel aracılığı ile devir sayısının girilmesi sayesinde numunelerin alacağı doz belirlenir. Cihazın TLD-100 için 1 turda verdiği doz değeri $0,055\pm 0,002$ mGy'dir. (<https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/HARSHAWTLD2210?SID=srch-srp-HARSHAWTLD2210>, 2017).



Şekil 3.5 2210 Thermo Electron $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta ışınlayıcı

3.1.5 Freiburg Ofen Typ 1321 fırını

PTW Freiburg Typ 1321 fırın dozimetrelerin tavlama ve ön ısıtma işlemlerinde kullanılmaktadır. Cihaz yazılımında bulunan Theldo bilgisayar programı aracılığı ile ayarlanabilir sıcaklık programının yanı sıra TLD-100 için ön ısıtma ve tavlama içeren standart iki program bulunmaktadır. Cihazın ulaşılmış olduğu maksimum sıcaklık: 400°C ; iç kısmında bulunan raflar paslanmaz çelik ve yalıtım malzemesi olarak seramik elyaf malzeme içermektedir. Standart paslanmaz çelik kaplar sayesinde toplamda 360 adet dozimetre aynı anda fırınlanabilmektedir (PTW Instruction Manual). Bu cihaz TLD-100 dozimetrelerin tavlama işlemleri için kullanılacaktır (Şekil 3.6).

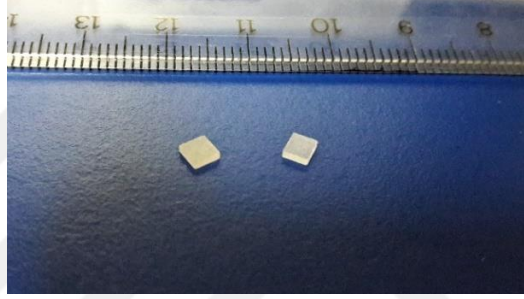


Şekil 3.6 Freiburg Ofen Typ 1321 fırını

3.1.6 Thermo Scientific LiF:Mg, Ti (TLD-100) dozimetre

LiF:Mg, Ti (TLD-100) dozimetreler, yüksek ışık şiddeti, etkin atom numarasının dokununki ile yakın olması sebebiyle, geniş bir aralık boyunca lineer doz cevap aralığı (10 μ Gy mertebesinden 1 Gy'e kadar, iyi bir tekrarlanabilirliğe sahip olması sayesinde bireysel dozimetrede tüm vücut ile cilt dozunun belirlenmesinde ve medikal alanda (radyoterapi, radyoloji) canlı içi (in vivo) ölçümlerde maruz kalınan dozları belirlemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Dozimetreler, kare, yuvarlak, çip, çubuk şekillerinde bulunabilmektedir. Şekil 3.7'de 3,2 x 3,2 x 0,9 mm boyutlarındaki çip LiF:Mg, Ti (TLD-100)'ler görülmektedir

(<https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/SNO10106>, 2017).



Şekil 3.7 LiF:Mg, Ti (TLD-100) dozimetreler

3.1.7 Dozimetrik özellikleri incelenen malzemeler

Tez çalışmasında çevremizde yaygın şekilde bulunmakta olan porselen kül tablası, Porselen şekerlik, seramik tırnak törpüsü, sigorta porseleni, namaz mührü, kumbara ve iki çeşit cila maddesi içerikli ve cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni numunelerin retrospektif dozimetri amaçlı özellikleri incelenmiştir. Numunelerin görüntüsü Şekil 3.8'de verilmiştir. Tezin bundan sonraki bölümlerinde tüm örnekler aşağıdaki şekilde kodlanarak kullanılmıştır;

Porselen kül tablası =PKT, Porselen şekerlik = PŞ, Seramik tırnak törpüsü = STT, Kumbara = KU, Sigorta porseleni = SP, Namaz mührü = NM, Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni = CDP, Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni = CSZDP

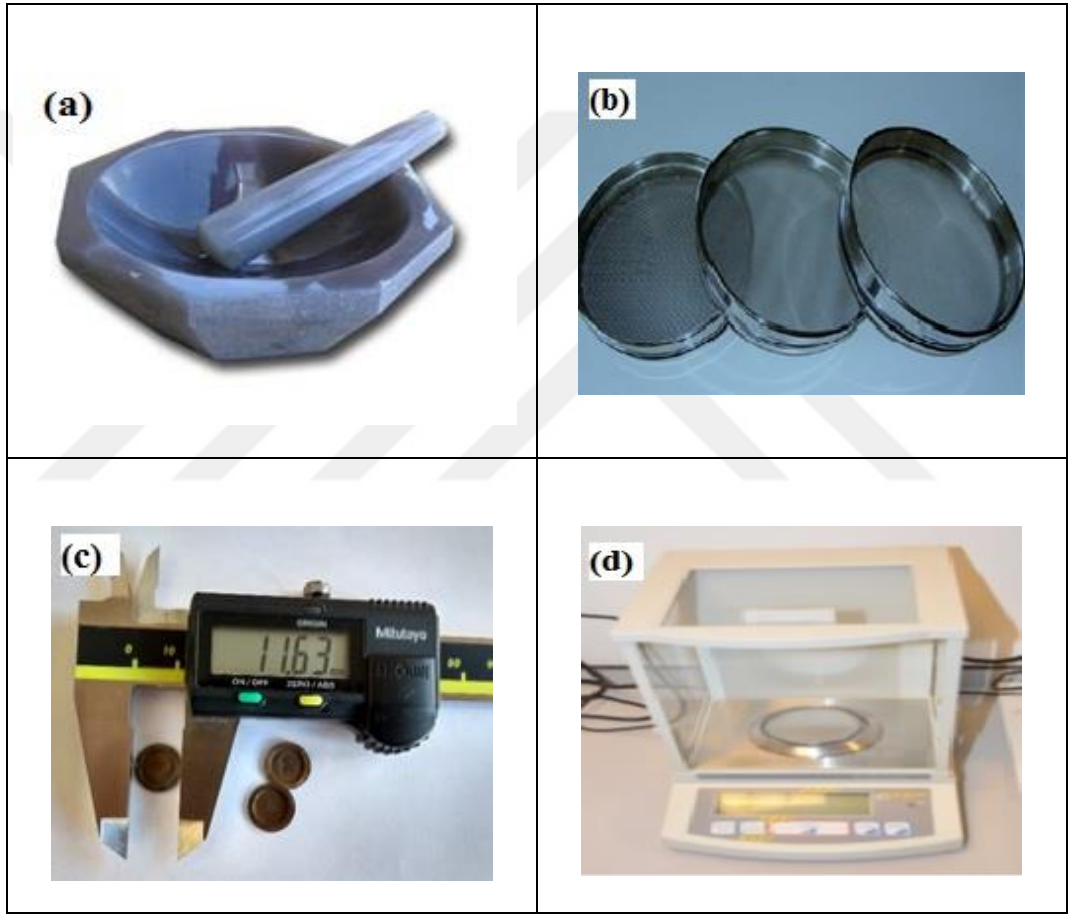


Şekil 3.8 Tez boyunca retrospektif dozimetri amaçlı incelenmiş malzemeler. a) porselen kül tablası; b) porselen şekerlik; c) seramik tırnak törpüsü; d) kumbara; e) sigorta porseleni; f) namaz mühürü; g) cila maddesi içerikli yapay diş porseleni ; h) cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni.

3.2 Uygulanan Protokoller

3.2.1 Termolüminesans (TL)

Termolüminesans ölçümleri için malzemeler agat havanda nazikçe ezilerek tanecik haline getirilir ve özel eleklerde elenerek 125 µm boyutunun altındaki tanecikleri ayırdıktan sonra ölçüm için hazır hale getirilir. Deney aşamasında bütün örnekler çelik kaplar içinde hassas terazide tartılarak $5,0 \pm 0,1$ mg kütlelerinde ayarlanmıştır. Kullanılan teçhizatların görüntüsü Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9 Numunelerin hazırlanmasında kullanılan teçhizatlar; a) Agat havan; b) Elekler; c) Çelik kaplar; d) Hassas terazi

3.2.1.1 Kullanılan yöntemler

3.2.1.1.1 Tek tablet yöntemi (TTY)

Numunelerin tek tablet yenileme yöntemi ile tekrarlanabilirlik özellikleri ve doz-cevap grafikleri incelenmiştir.

i) Tekrarlanabilirlik:

Bütün malzemelerden aynı kütlede ($5,0\pm 0,1$ mg) birer kap hazırlanarak örneklere ELSEC 9010 cihazı ile on defa 10 Gy beta dozu verildikten hemen sonra Harshaw 3500 TLD cihazında okuma yapılmıştır (ısıtma hızı $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$). Bazı örneklerin üzerinde doğal fonun fazla olmasından ve aynı doz karşı TL sinyalinin artışından dolayı bu özellik tek kaplı yöntemi ile yapılan deneyde incelenmesi çok önemlidir. Burada TL sinyallerin değişimine göre düzeltme katsayıları (tekrarlanabilirlik katsayısı) hesaplanmıştır. Bu katsayılar doz-cevap grafiği oluşturulmasında kullanılmıştır.

ii) Doz-cevap grafiği:

Malzemelere $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağı ile 27 mGy'den başlayarak 54 Gy'ye kadar artan dozlar verilmiştir. Işınlama işleminin hemen ardından Harshaw 3500 TLD cihazı ile $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ısıtma hızı ile 500°C sıcaklığına ısıtılarak TL okuması yapılmıştır. Her okumadan elde edilen TL sinyalinin belirli sıcaklık aralıklarında toplam şiddetleri bir önceki aşamada hesaplanan tekrarlanabilirlik katsayıları ile çarpılarak doz-cevap grafiği oluşturulmuştur.

3.2.1.1.2 Çoklu tablet yöntemi (ÇTY)

Bu yöntemde bütün malzemeler eşit kütlede ($5,0\pm 0,1$ mg) toplamda 8 kap olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan her bir malzemenin birinci kaptaki örneğe hiç bir doz verilmeden $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ısıtma hızı ile 500°C sıcaklığına ısıtılarak TL okuması yapılmıştır. Böylece numunenin üzerindeki doğal fon birinci kap üzerinden tespit edilmiştir. Aynı numunenin ikinci kap üzerindeki örnekten başlayarak yedinci kapa kadar sırayla 1,2; 2,4; 4,8; 9,6; 18; 36; 72 Gy beta dozu verildikten sonra hemen ardından 500°C kadar $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ısıtma hızı ile TL okuması yapılmıştır. Farklı dozlarda sıcaklığa karşı lüminesans şiddetinin eğrisi dekonvülsiyon tekniği ile piklerine ayrılmıştır ve bütün pik bölgelerinin altında kalan alan dikkate alınarak doz-cevap grafiği çizilmiştir. Doz –cevap grafiği

yardımı ile artan dozlara karşı lineer artış gösteren pikler dozimetrik pik olarak seçilmiştir.

3.2.1.2 Sönüm (Fading)

Tezde kullanılan bütün malzemelerden 13 kap hazırlanmış olup hepsine 10 Gy beta dozu verildikten sonra farklı sürelerde (0, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 300, 600, 1440, 2880, 5760 ve 10080 dakika) bekletildikten sonra her birinin 2°C/s ısıtma hızı ile 500°C kadar TL okuması yapılmıştır. Numunelerden elde edilen ışımaya eğrilerindeki belirli sıcaklık bölgeleri altında kalan alanlar ve tüm ışımaya eğrisi altında kalan alan değerleri belirlenerek TL şiddetinin sönüm zamanına göre değişimi Bölüm 6.1.3 Şekil 6.3’de verilmiştir.

3.2.1.3 Termal sönümlenme

Bütün örneklerden 5 tane hazırlanarak her birine 30 Gy beta dozu verildikten sonra farklı ısıtma hızlarında (2, 4, 6, 8, 10°C /s) 500°C kadar ısıtılarak TL okuması yapılmıştır. Bunun sonucunda elde edilen ışımaya eğrilerinden dozimetrik pik altında kalan alanın farklı ısıtma hızlarındaki değişimi Bölüm 6.3 Şekil 6.5’de verilerek termal sönümlenmenin varlığı incelenmiştir.

3.2.1.4 Lineerlik

Dozimetrik malzemelerde artan doza karşılık elde edilen sinyal şiddetlerinin orantılı olması aranır. Malzeme artan dozlara karşılık *sublineer*, *lineer*, *supralineer* davranış göstermektedir. Bir malzemenin lineerliğinin ölçüsü $f(D)$ (supralineerlik indeksi) ile verilir (Eşitlik 3.1). $f(D)<1$ sublineer, $f(D)=1$ ise lineer ve $f(D)>1$ supralineerdir (McKeever 1985).

$$f(D)=\frac{\frac{y(D)}{D}}{\frac{y(D_1)}{D_1}} \quad (3.1)$$

burada; D_1 ; kalibrasyon dozu, $y(D_1)$; kalibrasyon dozuna karşılık lüminesans şiddeti, D ; kalibrasyon dozundan sonraki doz değeri, $y(D)$; D ’ye karşılık gelen lüminesans şiddeti.

3.2.1.5 Örnek hazırlama sürecinde yapılan müdahalenin (ezme ve eleme) etkisi

Genellikle kaza dozimetrisi olarak kullanılan malzemeler kaza anında katı halindedirler ve belirli geometriye sahiptirler, kazadan sonra maruz kalınan dozu belirleyebilmek için

ezme, eleme gibi işlemler uygulanmaktadır. Bu etkilerin anlaşılabilmesi için kullanılan malzemeler ilk önce ELSEC 9010 cihazında bulunan çapı 6 mm olan numune tepsisine tek bir bütün halinde (ezme, eleme işlemi olmadan) 30 Gy beta dozunda ışınlanıp TL okuması yapılmıştır. İkinci olarak malzemelere ezme işlemi yapıp özel eleklerle 125 µm boyutunun altındaki numuneler yine aynı kütlede aynı dozda olacak şekilde ışınlanıp TL okuması yapıldıktan sonra elde edilen TL sinyalleri üst üste çizdirilerek malzemelere yapılan müdahalenin (ezme, eleme) etkisi incelenmiştir.

3.2.2 Optik uyarmalı lüminesans (OSL)

Malzemeler TL kısmında yapılan örnek hazırlama işlemi ve aynı kütlede ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. OSL tekniğinde sadece tek tablet yenileme yöntemi uygulanmıştır. Malzemeler retrospektif dozimetri amaçlı uygulanabilirliği optik uyarmalı lüminesans tekniği ile incelenmiştir. Bu kapsamda farklı uyarma kaynakları (mavi led, kızıl ötesi (IR) led) ile OSL sinyalinin değişimi incelenmiş, ardından tekrarlanabilirlik, doz-cevap grafiği, OSL sinyalinin sıcaklıkla olan ilişkisi ve sönüm özellikleri incelenmiştir.

Farklı dalga boyunda uyarımla OSL sinyalinin değişimi :

Bütün numunelerden birer kap hazırlanarak Risø TL/OSL cihazı ile 24 Gy beta doz verildikten sonra mavi ışık altında 200 saniye uyarılarak OSL okuması yapılmıştır. Aynı örnek aynı kütlede ve aynı dozda ışınlandıktan sonra kızıl ötesi (IR) ledler ile 200 saniye okunarak lüminesans ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu iki durum zamana karşı lüminesans şiddet sinyalinin değişimleri üst üste çizilerek incelenmiştir ve malzemeler için uygun olan uyarma işlemine karar verilmiştir.

Tekrarlanabilirlik :

Bütün malzemelerden birer kap hazırlanarak numunelerin kütlesi hassas terazi yardımı ile $5,0 \pm 0,1$ mg olarak ayarlanmıştır. Bütün ölçümler numunelerin kütleleri aynı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan örneklere Risø TL/OSL okuma cihazında 10 defa 24 Gy doz verildikten, hemen ardından mavi ışıkla 200 saniye uyarılarak OSL okuması yapılmıştır. Zamana karşı OSL sinyal şiddetleri üst üste çizilerek malzemenin tekrarlanabilirlik özelliği incelenmiştir. Aynı doza karşı sinyal şiddetlerinin değişim gösterdiği (tekrarlanabilirlik özelliği göstermediği) numunelerde OSL sinyali üç bölgeye

(0-5 saniye, 6-50 saniye, 51-200 saniye ve 0-200 saniye aralıklar) ayrılarak bu üç bölgenin OSL eğrisi altında kalan alan değerlerinin değişimi ve tüm OSL eğrisi altında kalan alan değerleri 10 ölçüm sonucunda elde edilen alan değerlerinin sabit olduğu döngüden itibaren son döngüye kadar alan değerlerinin ortalaması alınarak bütün alan değerlerine bölünerek tekrarlanabilirlik katsayıları hesaplanmıştır.

Doz-cevap grafiği:

Bütün malzemelerden birer kap hazırlandıktan sonra Risø TL/OSL cihazı ile 0.12 Gy'den başlayarak 72 Gy'ye kadar beta dozu verildikten sonra hemen ardından mavi ışıkla uyarak 200 saniye OSL okuması yapılmıştır. Önceki aşamada hesaplanan tekrarlanabilirlik katsayılarını kullanarak OSL sinyalin üç bölgesinin (0-5 saniye, 6-50 saniye, 51-200 saniye aralıkları) altında kalan alan ve tüm OSL sinyalinin altında kalan alan değerlerinin artan dozlara karşı doz-cevap grafikleri oluşturulmuştur.

OSL eğrilerinin sıcaklıkla olan ilişkisi :

Bütün numunelerden birer kap hazırlandıktan sonra Risø TL/OSL cihazı ile 24 Gy beta doz verilmiştir ve hemen ardından mavi ışık ile 200 saniye OSL okuması yapılmıştır. Aynı örneği ikinci defa 500°C kadar ısıtıttıktan sonra oda sıcaklığına kadar soğutularak 24Gy beta dozu verilip tekrar mavi ışık ile 200 saniye OSL okuması yapılmıştır. Her iki okumanın zamana karşı OSL sinyal şiddeti üst üste çizilerek sıcaklığın malzemenin OSL eğrisine olan etkisi incelenmiştir.

Bütün numunelerden birer kap hazırlandıktan sonra Risø TL/OSL cihazı ile 24 Gy beta dozu verilerek oda sıcaklığında mavi ışıkla OSL okuması yapılmıştır. Numuneler tekrar aynı dozda ışınlanarak sıcaklık 50°C'den başlanarak 250°C'ye kadar 50°C aralıklarla aynı şartlarda OSL okuması yapılmıştır. OSL sinyal şiddetleri farklı sıcaklıklarda üst üste çizilerek sinyal şiddetlerindeki değişim incelenmiştir.

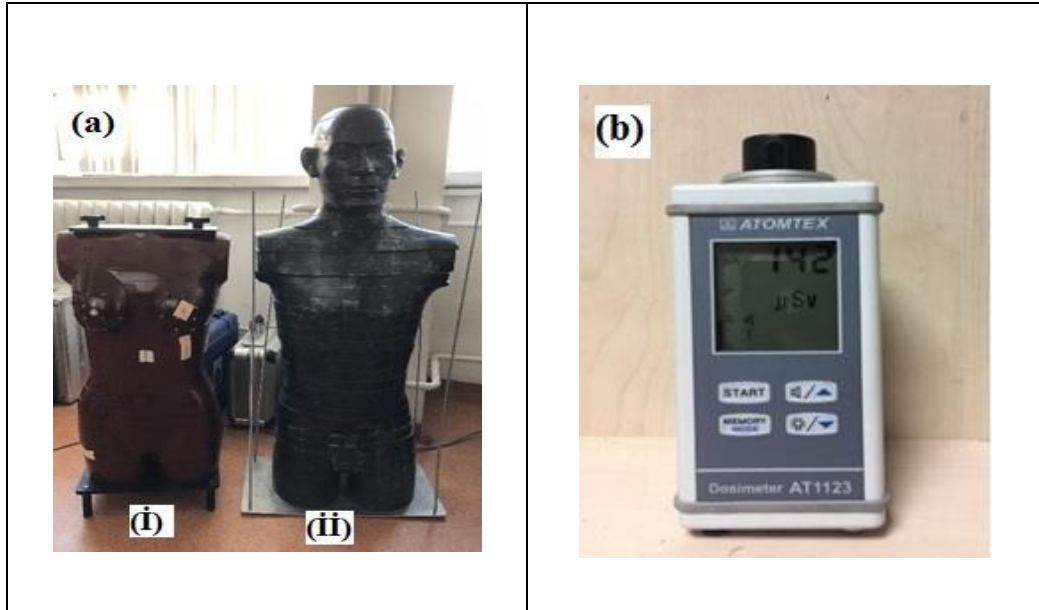
Sönüm :

Numunelerden altışar kap hazırlanarak Risø TL/OSL cihazı ile 48 Gy beta doz verildikten sonra farklı bekleme sürelerinde (süreler) örnekler bekletildikten sonra mavi ışık altında OSL okuması yapılmıştır. Bu okuma sonucunda elde edilen sinyal şiddetlerinin üç bölge ve tüm bölge olmak üzere alan değerleri farklı bekleme sürelerinde belirlenerek tüm

ölçümler bir grafikte verilerek örneklerin OSL şiddetinin zamanla değişimi incelenmiştir. Kaza senaryosunun bitimi ile OSL okumaları arası 10 saat sürdüğünden dolayı başlangıçtaki şiddet değerleri 10 saat sonraki şiddet değerlerine bölünerek sönüm katsayıları hesaplanarak kaza dozu belirlenirken dikkate alınmıştır.

3.3 Kaza Senaryosu

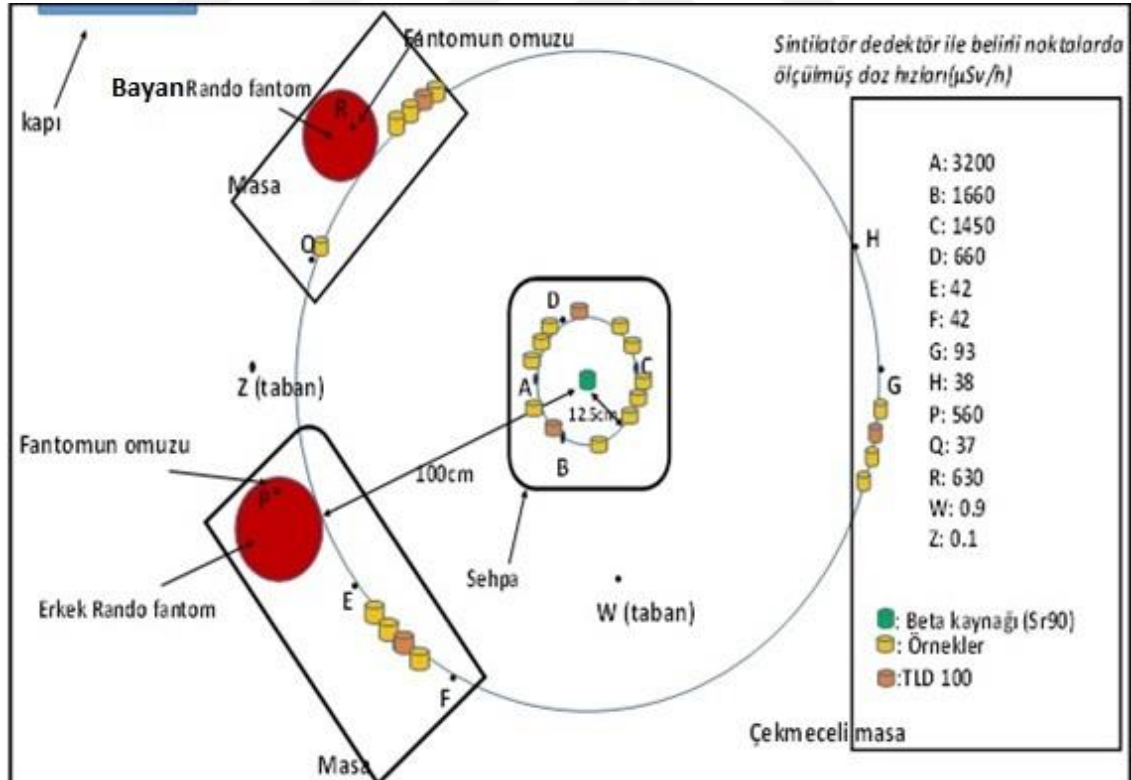
Kaza senaryosu Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsünün alt katında bulunan kullanım dışı bir odada gerçekleştirilmiştir (senaryo bitimine kadar oda kilitli tutulmuştur). Oda içerisine silindirik $^{90}\text{Sr}/\text{Y}^{90}$ beta kaynağı kazanın merkezi tayin edildikten sonra kaynağın 12,5 cm ve 100 cm uzağına çember biçiminde tez boyunca kullanılan numuneler ışık geçirmez kağıtlara sarılarak birer parça hazırlanarak yerleştirilmiştir. Kaynak merkezinden belirlenmiş olan mesafelerde numunelerin hemen yanına 3 adet TLD100 konulmuştur. Ayrıca akciğer ve kalın bağırsak etkin dozlarını belirlenmesi için kaynak merkezinden 100 cm uzağına erkek ve bayan Rando fantomları yerleştirilmiştir. Fantomların cilt, akciğer ve kalın bağırsak bölgelerini temsil eden kesitlerinde 3 adet TLD 100 dozimetre konulmuştur (Şekil 3.10a) . Senaryo başında sintilasyon dedektörü (Şekil 3.10b) ile kaynaktan çeşitli mesafelerde doz hızı ölçülmüştür. Kaynak toplam 25 gün boyunca açık bırakılmıştır.



Şekil 3.10 a; Rando fantomlar (i: bayan, ii; erkek), b: Sintilasyon dedektör

Kaza süresi sona erdikten sonra hemen ardından ışık geçirmez kağıtlara sarılmış malzemeler karanlık odada ezilip elenerek alüminyum kaplara koyularak toplamda üç adet örnek hazırlanmıştır. Birinci kaptan Risø TL/OSL cihazı ile mavi ışıkla 200 saniye OSL okuması ve ikinci kaptan ise aynı cihazda 2°C/s ısıtma hızı ile 500°C'ye kadar ısıtılarak TL okuması yapılmıştır. Üçüncü kaptaki örnek Harshaw 3500 TLD cihazında 2°C/s ısıtma hızı ile 500°C'ye kadar ısıtılarak TL okuması gerçekleştirilmiştir. İki farklı cihazda TL okuması yapılmasının sebebi daha önceden çoklu tablet yenileme yönteminin Risø TL/OSL cihazında ve tek tablet yenileme yönteminin ise Harshaw 3500 TLD cihazında yapılmış olmasından dolayıdır. Böylece analiz sonuçlarının daha dikkatli incelenmesi sağlanmıştır.

Risø TL/OSL cihazındaki yapılmış deney kaza bitimi ve okumalar arası 10 saat sürmüştür. Harshaw 3500 TLD cihazı ile yapılmış okumalar ise kaza bitiminden 36 saat sonra gerçekleştirilmiştir. Kaza senaryosunun krokisi ve görüntüsü sıra ile Şekil 3.11-3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.11 Kaza senaryosunun şematik gösterimi



Şekil 3.12 Kaza senaryosunun görüntüsü : (a): kaynağın konumu, (b): malzemelerden elde edilmiş parçalar kaynaktan 12.5 cm mesafede sabitlenmiştir. (c): bayan Rando fantom, (d): erkek Rando fantom. (e) ve (f): konumları kaynaktan 100cm mesafede numune parçaların sabitlenmiş noktaları göstermektedir.

4. BULGULAR

4.1 Numunelerin Dozimetrik Özelliklerinin Termoluminesans (TL) Tek Tablet Yöntemi ile İncelenmesi

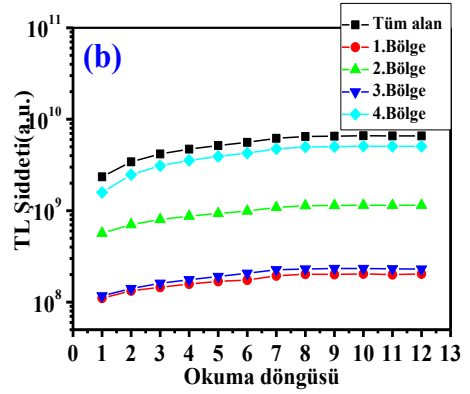
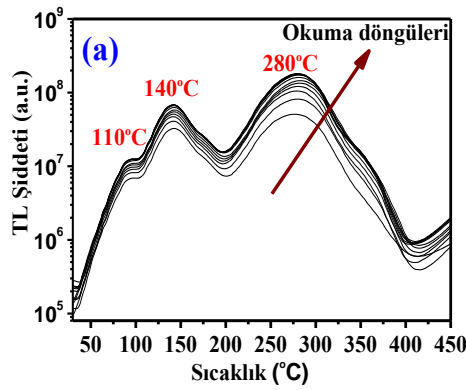
Bütün numuneler TL yöntemine göre Tek tabletli yenileme yöntemi ile tekrarlanabilirlik, doz-cevap grafikleri ve sönüm olayı bu bölümde araştırılmıştır.

4.1.1 Tekrarlanabilirlik

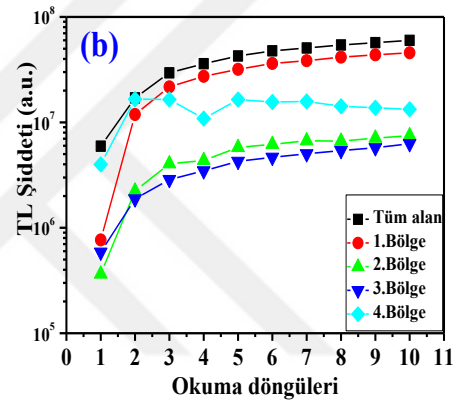
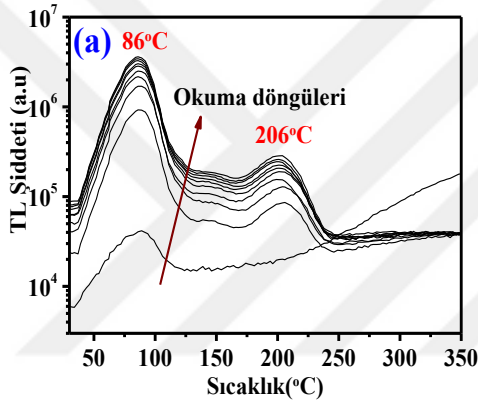
Bütün numuneler 3.2.1.1.1'de belirtildiği gibi tekrarlanabilirlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için 10 döngü (sadece STT numunesi için 12 döngü) sonucunda TL ışımaya eğrileri elde edilmiş olup elde edilen ışımaya eğrilerine göre farklı sıcaklık aralıkları ve tüm sinyal alanı dikkate alınarak TL şiddetinin okuma döngüsüne göre değişimi araştırılmıştır. Şekil 4.1a ile 4.8a arasındaki grafikler okuma döngülerine karşı TL ışımaya eğrilerinin değişimini, Şekil 4.1b ile 4.8b arasındaki grafikler ise okuma döngülerine karşı seçilen sıcaklık aralıkları ve tüm sinyal alanındaki değişimi göstermektedir.

Elde edilen grafiklere göre seçilen sıcaklık aralıkları ve tüm sinyal alan değerleri belirli bir okuma döngüsünden sonra aynı bir değerde sabit kaldığı görülmüştür. Sabit kalan değerden başlanarak en son döngüye kadar olan değerlerin ortalaması alınıp her bir döngüden elde edilen alan şiddeti değerlerine bölünmesi ile tekrarlanabilirlik katsayıları bulunmuştur.

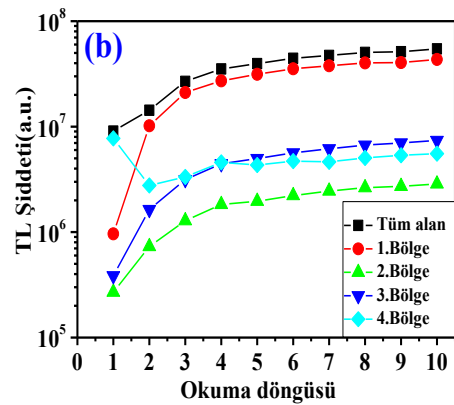
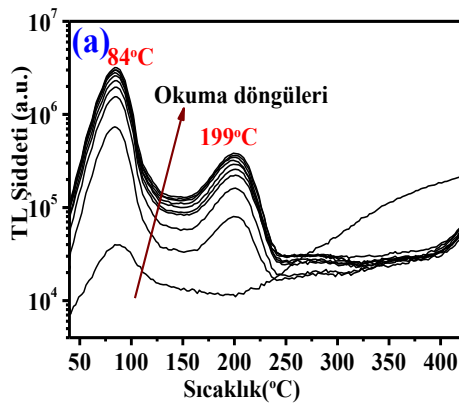
Seramik tırnak törpü numunesinin ilk üç okuma döngüsü ile şiddet değeri artarken 7. döngüden sonra belirli bir değere gelip sabitlendiği görülmektedir. Porselen şekerlik numunesinin ilk iki okuma döngülerinde şiddet değerleri artarken 3. döngüsünden sonra sabitlenmiştir, Sigorta porseleni numunesinin ilk beş okuma döngüsü esnasında şiddet değerleri artış gösterirken 6. okumadan itibaren şiddet değerleri sabit kalmıştır, porselen kül tablası numunesinin şiddet değerlerinde ilk beş okuma döngüsünde şiddet değerlerinde artışlar olurken 6. okumadan itibaren şiddet değerleri sabitlenmiştir, cila maddesi içerikli yapay diş porseleni, cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni, namaz mühürü ve kumbara numunesinin şiddet değerleri 2.okuma döngüsünden son okumaya kadar sabit kalmıştır.



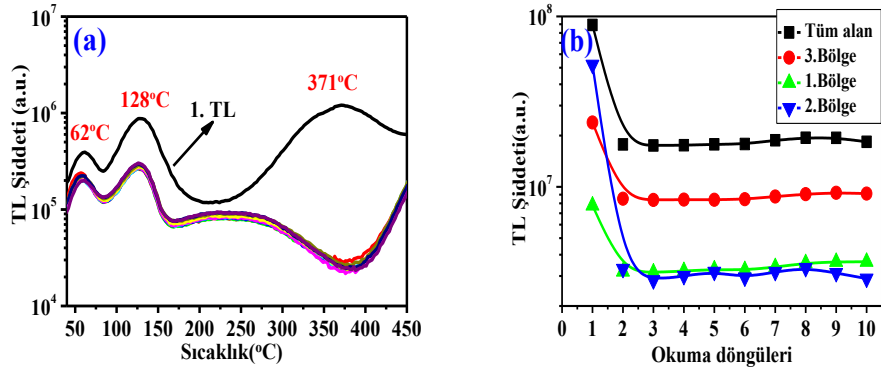
Şekil 4.1 Seramik tırnak törpüsü (STT) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi, (a) TL ışımaya eğrileri, (b) tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



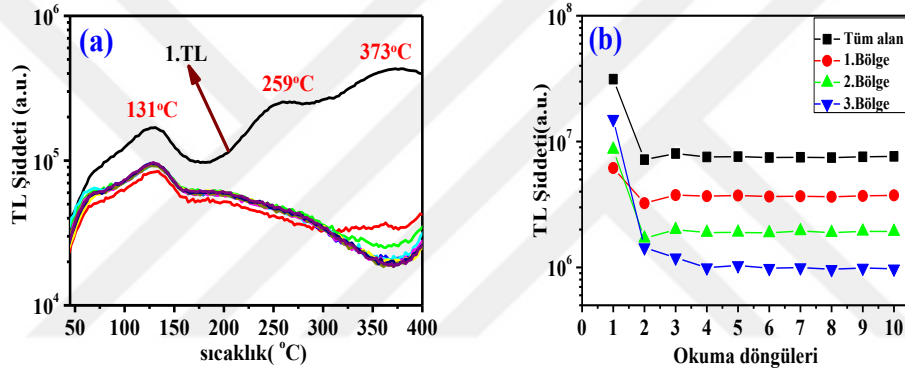
Şekil 4.2 Porselen şekerlik (PŞ) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi, (a) TL ışımaya eğrileri, (b) tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



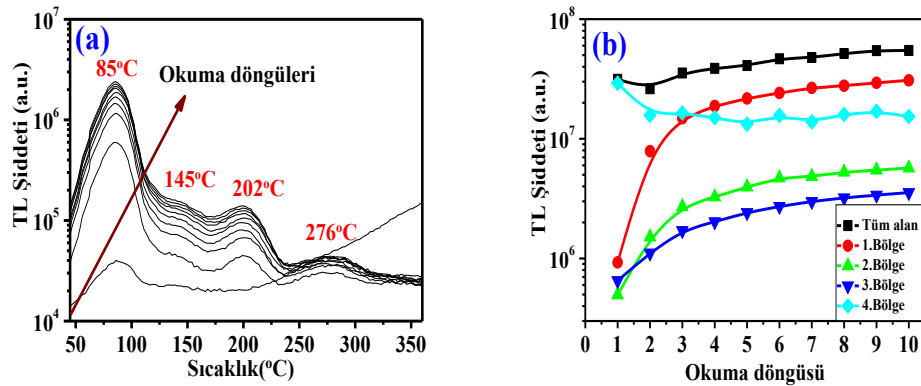
Şekil 4.3 Sigorta porseleni (SP) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi, (a) TL ışımaya eğrileri, (b) tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



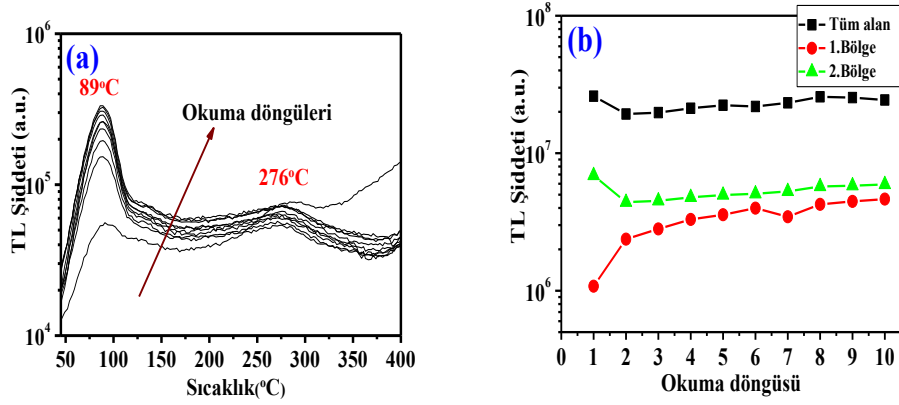
Şekil 4.4 Cilalı dış porseleni (CDP) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi, (a) TL ışıma eğrileri, (b) tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



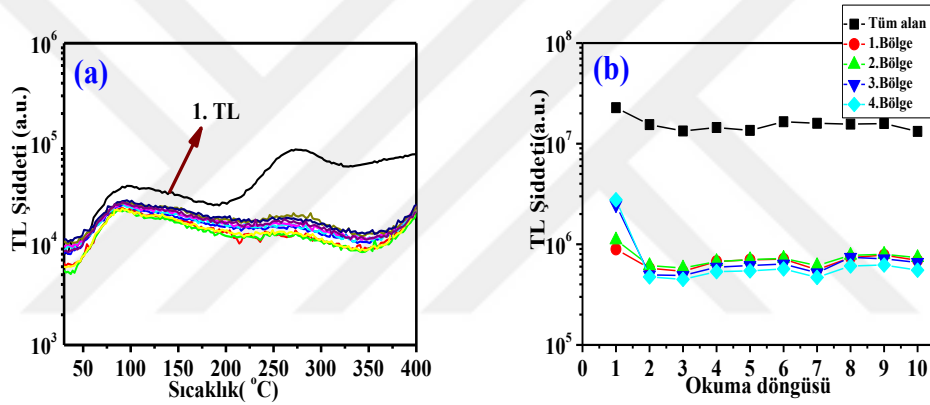
Şekil 4.5 Cilasız dış porseleni (CSZDP) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi, (a) TL ışıma eğrileri, (b) tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



Şekil 4.6 Porselen kül tablası (PKT) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi, (a) TL ışıma eğrileri, (b) tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



Şekil 4.7 Kumbara (KU) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi, (a) TL ışıma eğrileri, (b) tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



Şekil 4.8 Namaz mührü (MN) numunesinin aynı doza karşılık (10 Gy) TL sinyallerinin değişimi, (a) TL ışıma eğrileri, (b) tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi

Numunelerin tekrarlanabilirlik katsayıları Çizelgeler 4.1 ile 4.8 arasında verilmiştir. Bütün çizelgelerde K_T , K_1 , K_2 , K_3 ve K_4 sırasıyla tüm TL sinyali altında kalan alana göre, 1.bölge, 2.bölge, 3.bölge ve 4. bölge aralıklarının altında kalan alan değerlerine göre belirlenen tekrarlanabilirlik katsayılarını ifade etmektedir.

Çizelge 4.1 STT numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune	Seramik tırnak törpüsü				
Okuma döngüsü	K_T (26-350°C)	K_1 (26-120°C)	K_2 (120-175°C)	K_3 (175-200°C)	K_4 (200-350°C)
1	2,76	1,81	2,00	1,97	3,15
2	1,90	1,51	1,61	1,64	2,01
3	1,56	1,38	1,41	1,43	1,61
4	1,38	1,27	1,30	1,31	1,40
5	1,26	1,19	1,21	1,21	1,27
6	1,16	1,15	1,14	1,11	1,17
7	1,05	1,03	1,04	1,02	1,05
8	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00
9	0,99	1,00	0,99	0,99	0,99
10	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98
11	0,99	1,00	0,99	1,00	0,99
12	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99

Çizelge 4.2 PŞ numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı	Porselen şekerlik				
Okuma döngüsü	K_T (27-350°C)	K_1 (27-100°C)	K_2 (100-150°C)	K_3 (150-250°C)	K_4 (250-350°C)
1	7,38	43,18	15,39	7,49	3,70
2	2,57	2,79	2,51	2,34	0,89
3	1,49	1,53	1,39	1,54	0,90
4	1,22	1,21	1,29	1,27	1,36
5	1,03	1,04	0,97	1,03	0,90
6	0,92	0,92	0,91	0,94	0,95
7	0,86	0,86	0,84	0,87	0,94
8	0,81	0,80	0,84	0,81	1,04
9	0,77	0,76	0,79	0,77	1,07
10	0,73	0,73	0,75	0,70	1,11

Çizelge 4.3 SP numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı	Sigorta porseleni				
Okuma döngüsü	K_T (39-425°C)	K_1 (39-125°C)	K_2 (125-175°C)	K_3 (150-225°C)	K_4 (200-425°C)
1	5,47	41,00	9,56	17,08	0,63
2	3,47	3,87	3,53	4,02	1,76
3	1,85	1,87	2,01	2,09	1,46
4	1,41	1,45	1,41	1,48	1,07

5	1,25	1,26	1,32	1,32	1,13
6	1,12	1,11	1,16	1,17	1,04
7	1,05	1,04	1,05	1,07	1,05
8	0,98	0,98	0,98	0,99	0,97
9	0,97	0,97	0,95	0,94	0,91
10	0,91	0,91	0,90	0,89	0,88

Çizelge 4. 4 CDP numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı	Cila maddesi içerikli yapay dış porseleni			
Okuma döngüsü	K_T (37-455°C)	K_1 (50-180°C)	K_2 (200-300°C)	K_3 (300-450°C)
1	0,20	0,36	0,43	0,06
2	1,03	1,02	1,06	0,93
3	1,04	1,04	1,07	1,09
4	1,04	1,03	1,05	1,03
5	1,03	1,04	1,03	0,97
6	1,02	1,03	1,04	1,05
7	0,97	0,99	1,00	0,97
8	0,94	0,96	0,94	0,92
9	0,94	0,94	0,93	0,99
10	0,99	0,95	0,93	1,07

Çizelge 4.5 CSZDP numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı	Cila maddesi içeriksiz yapay dış porseleni			
Okuma döngüsü	K_T (40-400°C)	K_1 (50-180°C)	K_2 (200-300°C)	K_3 (300-400°C)
1	0,24	0,59	0,22	0,07
2	1,05	1,13	1,11	0,74
3	0,94	0,97	0,95	0,89
4	1,00	0,99	1,00	1,07
5	0,99	0,98	1,00	1,03
6	1,01	1,00	1,01	1,08
7	1,01	0,99	0,97	1,07
8	1,01	1,00	1,00	1,10
9	1,00	0,99	0,98	1,08
10	0,99	0,98	0,98	1,09

Çizelge 4.6 PKT numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı	Porselen kül tablası				
Okuma döngüsü	K_T	K_1	K_2	K_3	K_4

	(42-360°C)	(42-100°C)	(100-150°C)	(150-225°C)	(250-360°C)
1	1,71	28,87	10,49	4,86	0,53
2	2,05	3,39	3,44	2,86	0,98
3	1,51	1,80	1,92	1,85	0,93
4	1,38	1,42	1,59	1,56	1,02
5	1,31	1,23	1,31	1,31	1,16
6	1,15	1,11	1,11	1,17	0,98
7	1,12	1,00	1,07	1,06	1,11
8	1,04	0,96	0,99	0,99	0,96
9	0,98	0,91	0,95	0,94	0,91
10	0,98	0,87	0,91	0,89	1,00

Çizelge 4.7 KU numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı Okuma döngüsü	Kumbara		
	K_T (41-400°C)	K_1 (41-100°C)	K_2 (150-400°C)
1	0,88	3,56	0,77
2	1,19	1,75	1,21
3	1,16	1,48	1,18
4	1,08	1,26	1,12
5	1,03	1,16	1,07
6	1,05	1,04	1,05
7	0,99	1,20	1,01
8	0,89	0,98	0,93
9	0,90	0,93	0,92
10	0,94	0,90	0,90

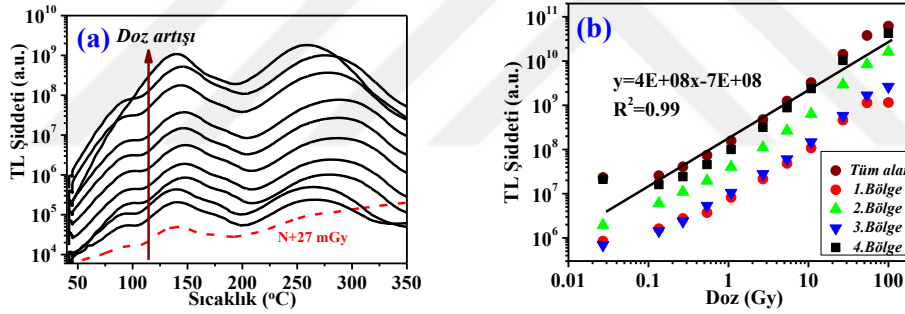
Çizelge 4.8 NM numunesinin tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı Okuma döngüsü	Namaz mührü				
	K_T (27-400°C)	K_1 (27-110°C)	K_2 (110-200°C)	K_3 (200-300°C)	K_4 (300-400°C)
1	0,65	0,74	0,63	0,25	0,19
2	0,96	1,15	1,13	1,22	1,13
3	1,11	1,23	1,19	1,24	1,19
4	1,03	0,98	1,03	1,03	1,00
5	1,10	0,95	0,98	0,99	0,99
6	0,90	0,93	0,95	0,95	0,94
7	0,93	1,19	1,13	1,17	1,14
8	0,95	0,90	0,89	0,82	0,88
9	0,94	0,85	0,87	0,85	0,86
10	1,13	0,96	0,94	0,92	0,97

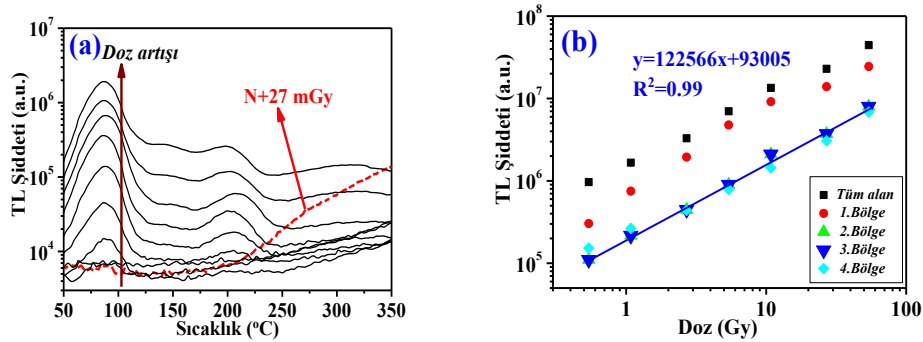
4.1.2 Doz cevap grafiği

Bütün numuneler için Bölüm 3.2.1.1.1 belirtildiği gibi artan dozlara karşı TL ışıma eğrileri oluşturulup (Şekil 4.9a - 4.16a arası), farklı sıcaklık aralıkları ve tüm sinyal altındaki alanlar bir önceki bölümde hesaplanan tekrarlanabilirlik katsayıları kullanılarak doz-cevap grafikleri elde edilmiştir (Şekil 4.9b - 4.16b arası).

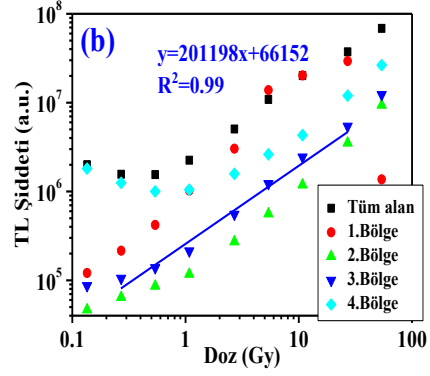
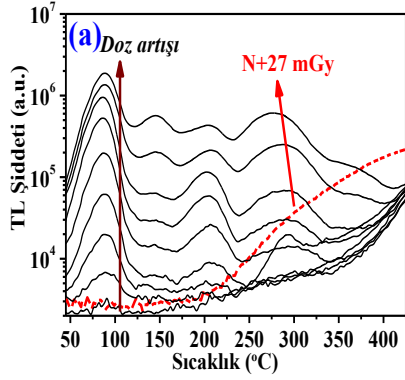
Numunelerden kaza dozu hesaplanması için “Microsoft Excel Office” programı yardımıyla farklı sıcaklık aralıkları için oluşturulmuş doz-cevap grafiğinin arasından artan dozlara karşı lineer artışlarla en iyi hassasiyet gösteren eğrilerin uygun doz aralıklarında bir doğruya fit edilmesi ile fit denklemi bulunmuştur. Bu yüzden Şekil 4.9b ile 4.16b arasındaki grafikler belirli sıcaklık aralıklarında lineerliği en iyi olan bölgenin doz-cevap denklemi verilmiştir. Ancak cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni, porselen kül tablası ve kumbara numuneleri lineerlikten çok saptığı için Şekil 4.13b, 4.14b ve 4.15b grafiklerinde doz-cevap denklemleri verilmemiştir.



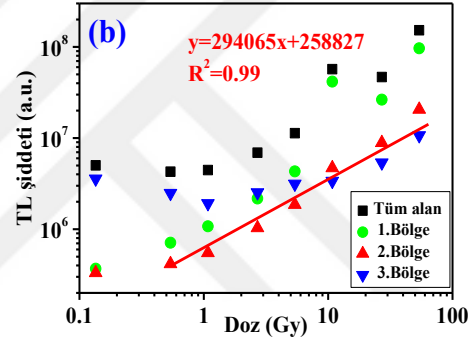
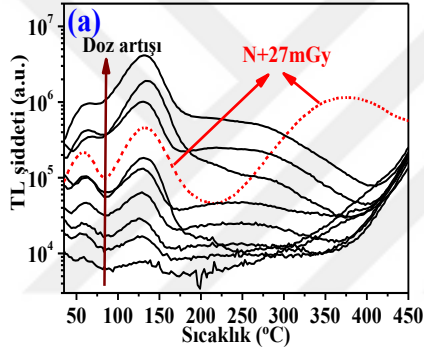
Şekil 4.9 Seramik tırnak törpüsü (STT) numunesinin artan doz (27 mGy’den 54 Gy’ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışıma eğrileri (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



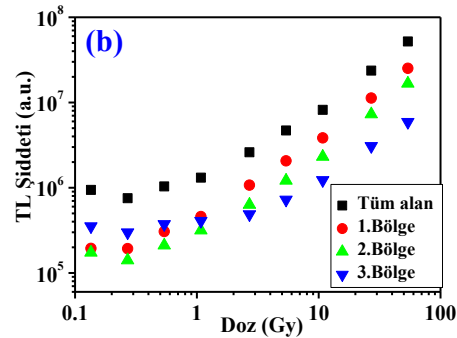
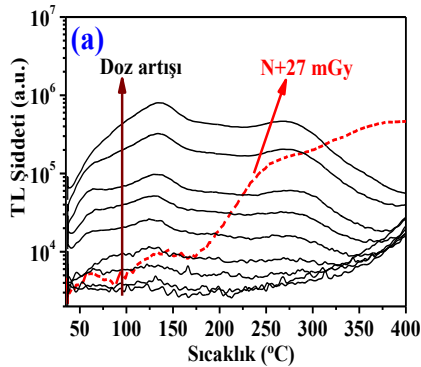
Şekil 4.10 porselen şekerlik (PŞ) numunesinin artan doz (27 mGy’den 54 Gy’ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışıma eğrileri (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



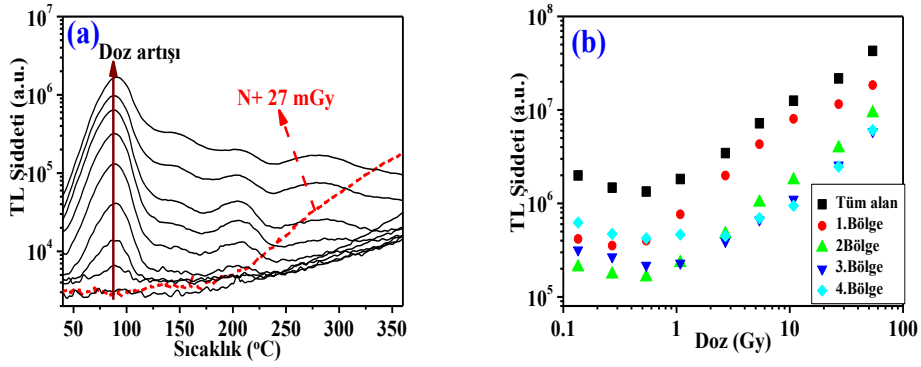
Şekil 4.11 Sigorta porseleni (SP) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışıma eğrileri (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



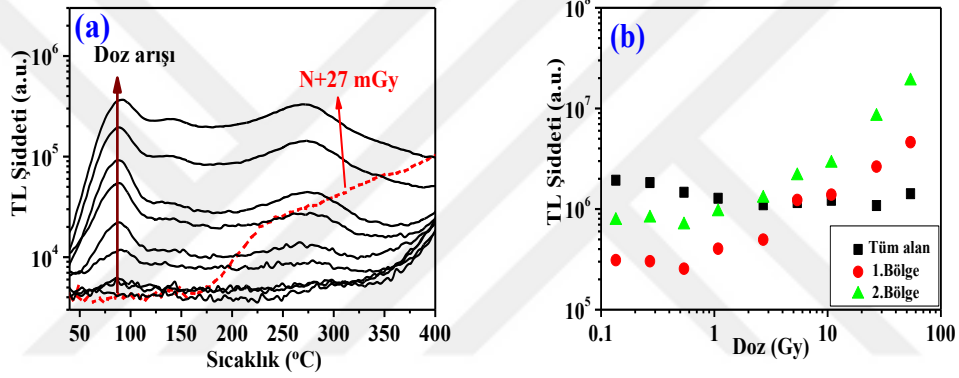
Şekil 4.12 Cilalı maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışıma eğrileri (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



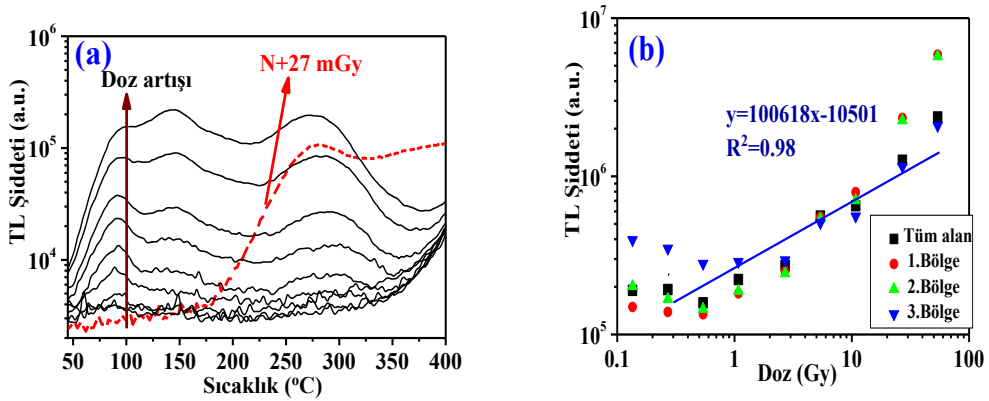
Şekil 4.13 Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışıma eğrileri (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



Şekil 4.14 Porselen kül tablası (PKT) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışınma eğrileri (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



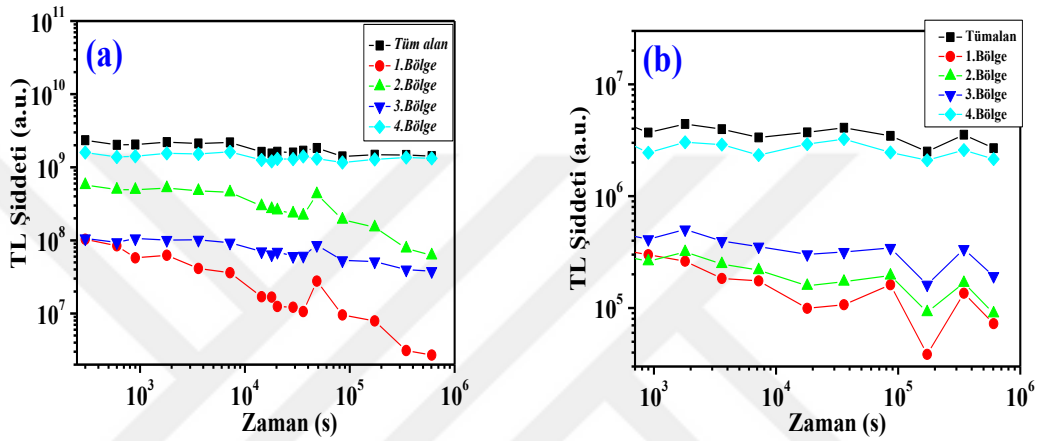
Şekil 4.15 Kumbara (KU) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışınma eğrileri (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



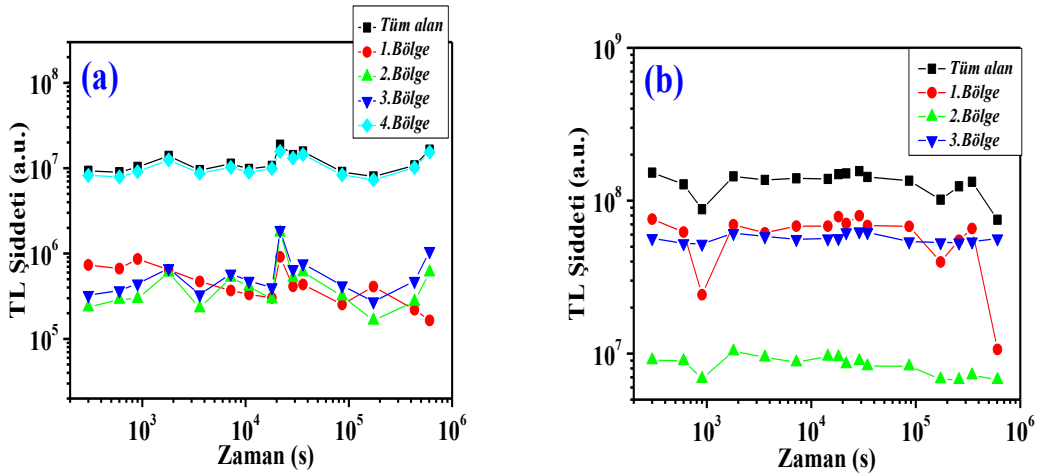
Şekil 4.16 Namaz mührü (NM) numunesinin artan doz (27 mGy'den 54 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışınma eğrileri (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği

4.1.3 Sönüm

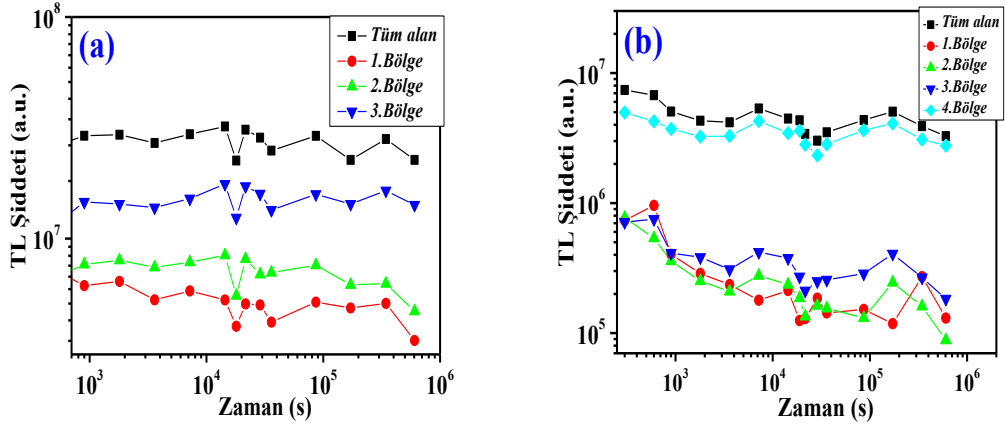
Numuneler Bölüm 3.2.1.1.1’de verilen şartlarda yapılan ölçümler sonucunda Şekil 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20 elde edilmiştir. Bu şekiller her bir numuneye göre elde edilen TL ışıma eğrilerinde farklı sıcaklık aralıkları ve tüm ışıma eğrisi altında kalan alan değerlerinin farklı sürelerde hesaplanması ile bulunmuştur. Bu grafikler aracılığı ile ileride kaza dozu belirlenirken her bir numune için sönüm olayının etkisi dikkate alınmıştır.



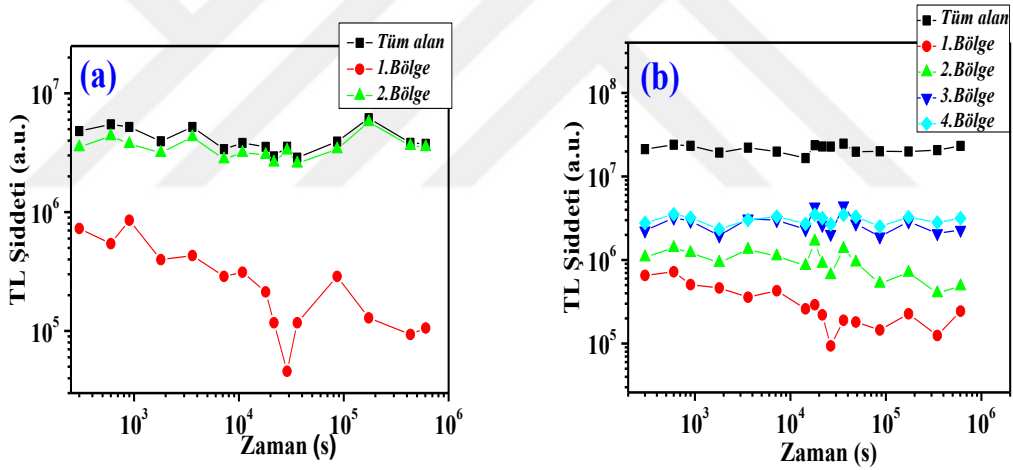
Şekil 4.17 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı pikler altında kalan TL şiddetinin zamanla değişimi. (a); seramik tırnak törpüsü (STT), (b); porselen şekerlik (PŞ)



Şekil 4.18 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı pikler altında kalan TL şiddetinin zamanla değişimi.(a); sigorta porseleni (SP), (b);cila maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP)



Şekil 4.19 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı pikler altında kalan TL şiddetinin zamanla değişimi. (a) ; cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP), (b) ; porselen kül tablası



Şekil 4.20 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı pikler altında kalan TL şiddetinin zamanla değişimi. (a) ; kumbara (KU), (b) ; namaz mührü (MN)

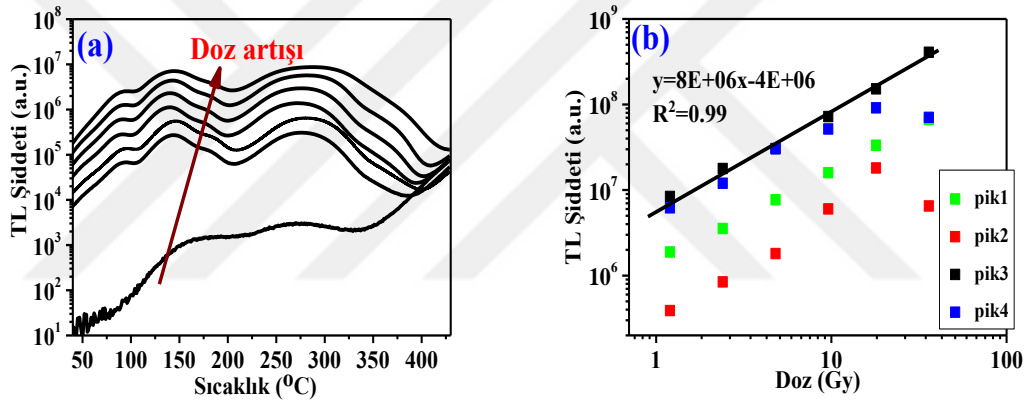
Araştırılan numunelerden seramik tırnak törpüsü, porselen şekerlik, sigorta porseleni ve namaz mührü numunelerinin dozimetrik bölgelerinin çok sönmeye uğradığı görülmüştür. fakat bütün numuneler için düşük sıcaklık bölgelerinin daha fazla sönmü olayından etkilenmektedir.

4.2 Çoklu Tablet Yöntemi (ÇTY) İle Doz-cevap Grafiklerinin Oluşturulması

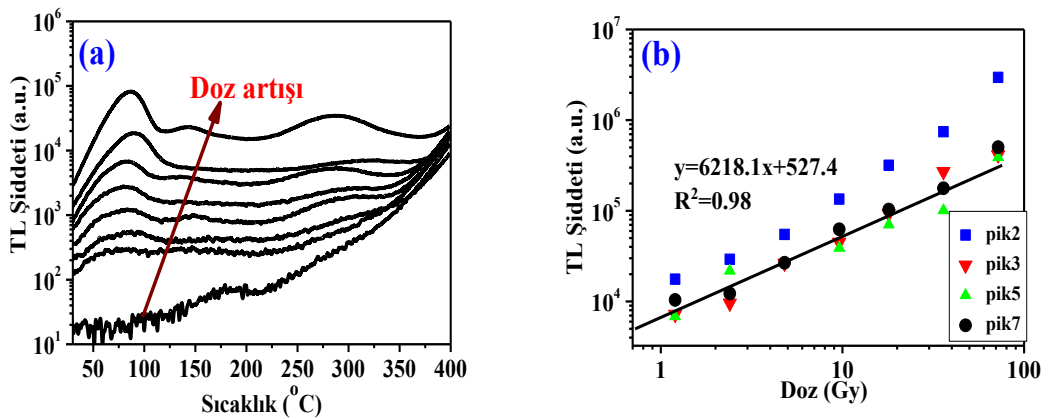
Bu bölümde bütün numuneler TL yöntemine göre çok tabletli yenileme yöntemi ile sadece doz-cevap grafikleri araştırılmıştır.

4.2.1 Doz cevap grafikleri

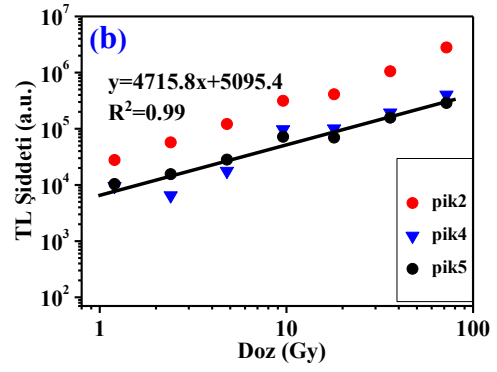
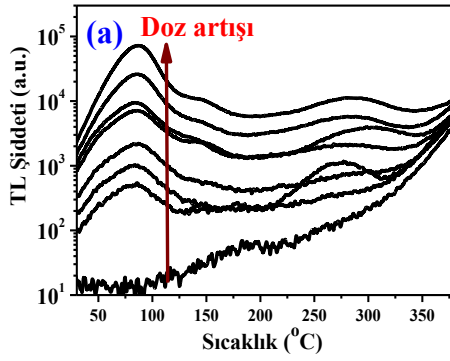
Bütün numuneler için Bölüm 3.2.1.1.2’de belirtildiği gibi artan dozlara karşı TL ışınma eğrileri oluşturulup (Şekil 4.21a - 4.28a arası), dekonvolüsyon sonucu elde edilen piklerin ve tüm ışınma eğrisi altında kalan alan değerleri kullanılarak doz-cevap grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.21b - 4.28b arası). Bu yapılırken deney verileri bir doğruya fit edilmiştir. Şekil 4.21b ile 4.28b arasındaki grafikler artan dozlara karşılık lineer artış gösteren pikler için doğru denklemi verilmiştir.



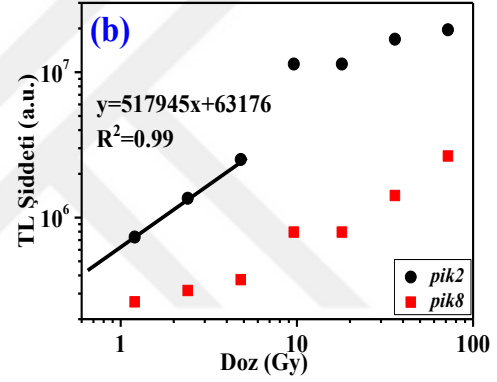
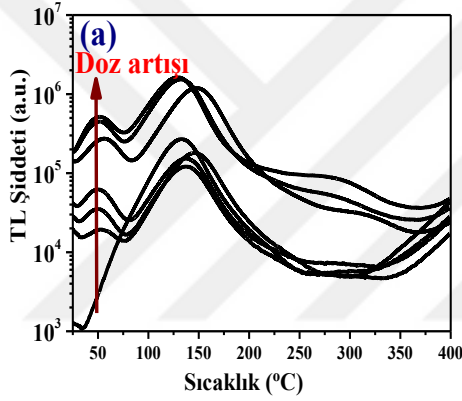
Şekil 4.21 Seramik tırnak törpüsü (STT) numunesinin artan doz (0 Gy’den 72 Gy’ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışınma eğrileri, (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



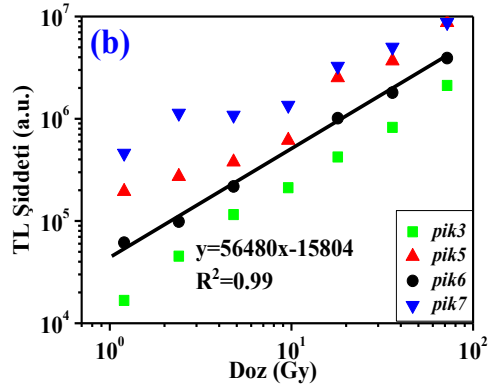
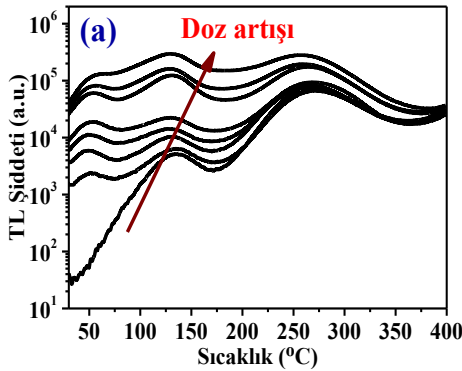
Şekil 4.22 porselen şekerlik (PŞ) numunesinin artan doz (0 Gy’den 72 Gy’ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışınma eğrileri, (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



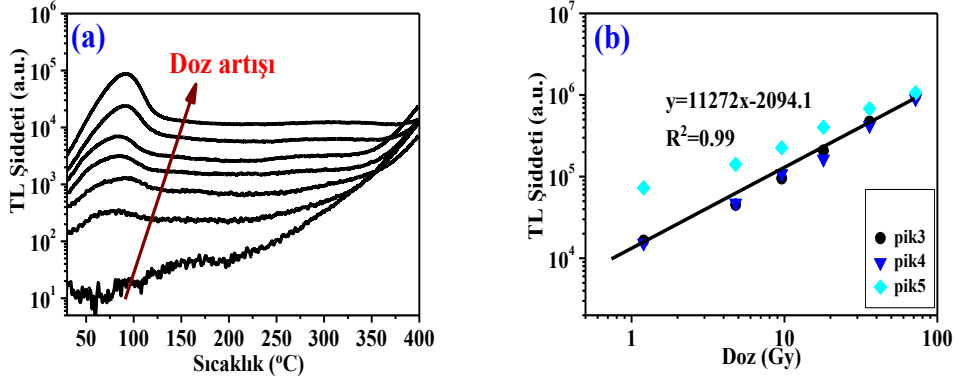
Şekil 4.23 Sigorta porseleni (SP) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışıma eğrileri, (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



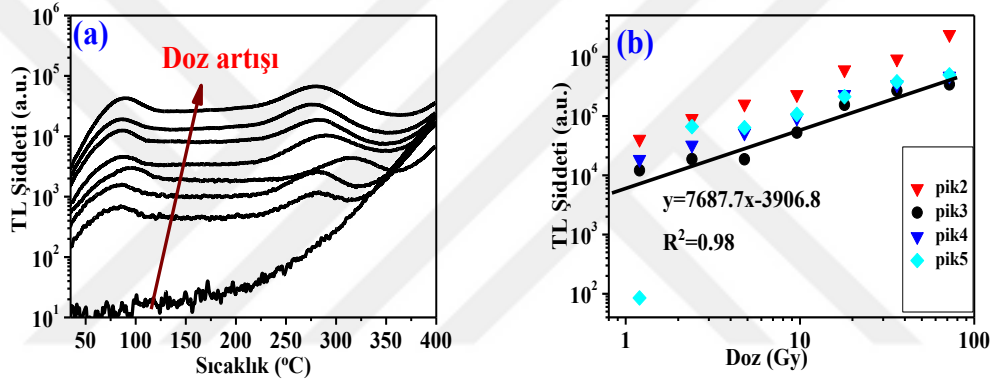
Şekil 4.24 Cilalı maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışıma eğrileri (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



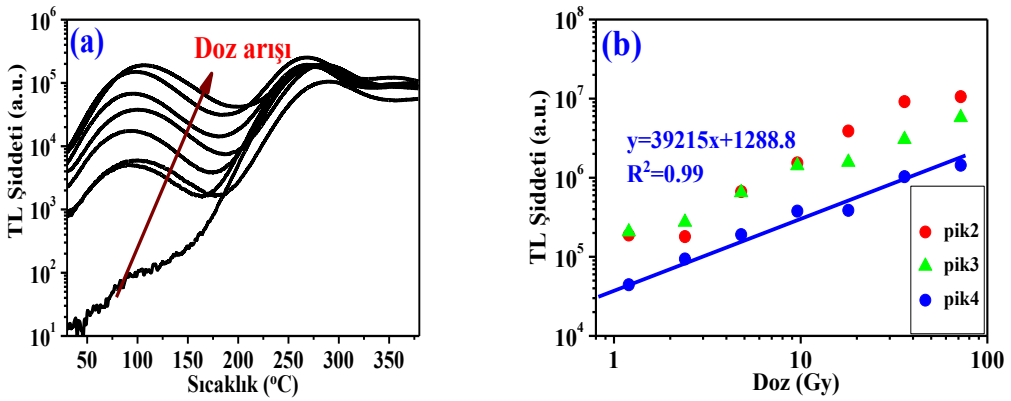
Şekil 4.25 Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışıma eğrileri, (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



Şekil 4.26 Porselen kül tablası (PKT) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışıma eğrileri, (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



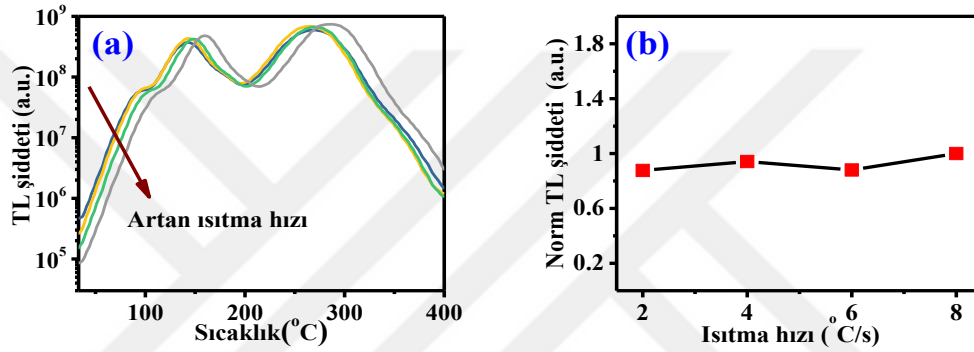
Şekil 4.27 Kumbara (KU) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışıma eğrileri, (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



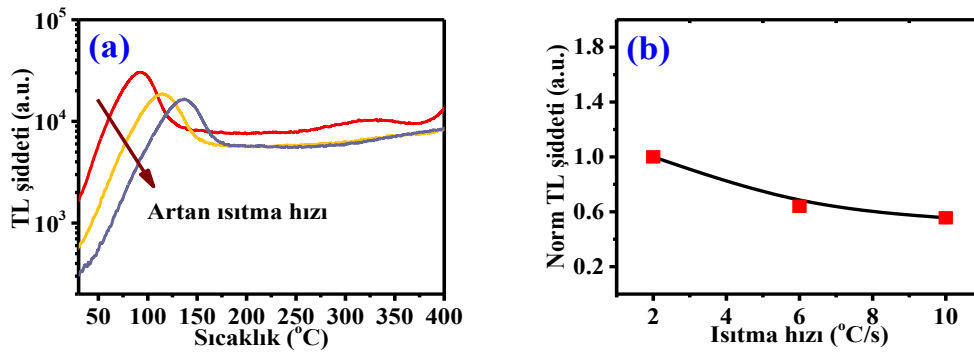
Şekil 4.28 Namaz mührü (NM) numunesinin artan doz (0 Gy'den 72 Gy'ye) ile TL sinyallerinin değişimi (a); TL ışıma eğrileri, (b); tüm TL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği

4.3 Termal Sönümlenme

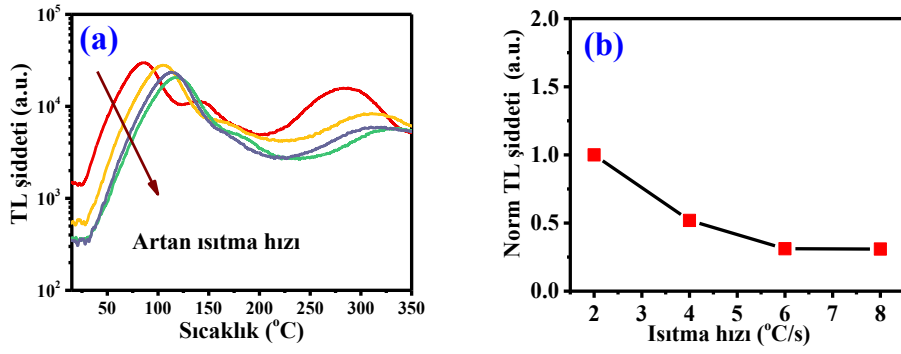
Farklı ısıtma hızlarında TL ışınma eğrileri Şekil 4.29a ile 4.35a arasındaki grafikler üst üste çizilmiştir. Şekil 4.29b ile 4.35b arasındaki grafikler ise tek tablet yenileme TL yönteminde doz hesaplaması için uygun bulunan sıcaklık aralığı alanının ısıtma hızlarına karşı TL şiddetinin değişimi gösterilmiştir. Tek tablet yenileme yöntemine göre kaza dozun hesaplanamayan numunelerde ise çok tabletlü yenileme yönteminde dekonvolüsyon tekniği ile elde edilen dozimetrik pikler dikkate alınarak Şekil 4.29b, 4.31b ve 4.32b grafikleri oluşturulmuştur.



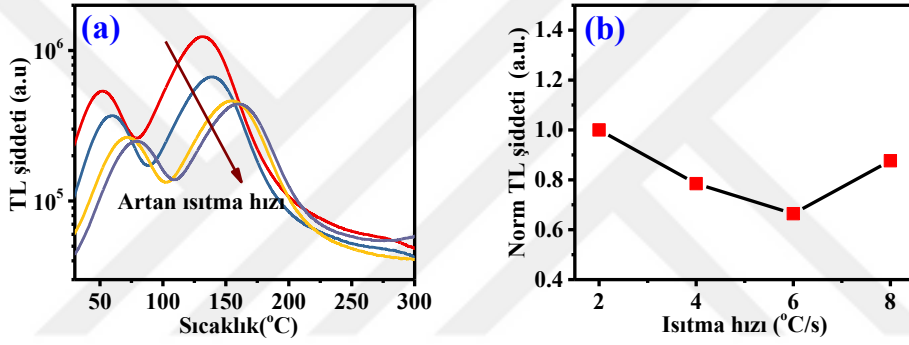
Şekil 4.29 Seramik tırnak törpüsü (STT) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışınma eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi



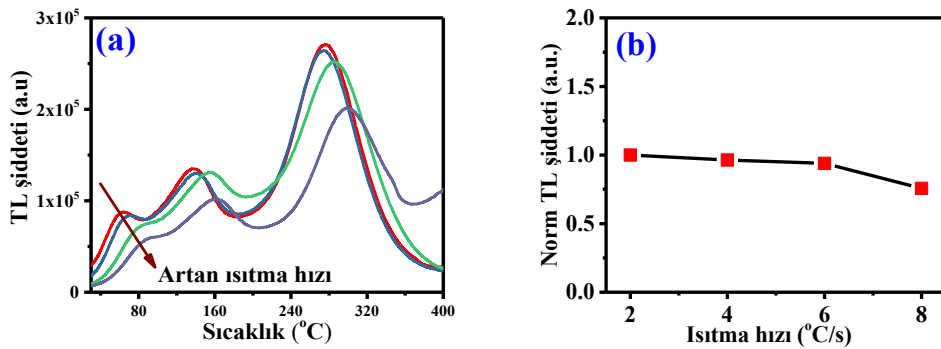
Şekil 4.30 Porselen şekerlik (PŞ) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışınma eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi



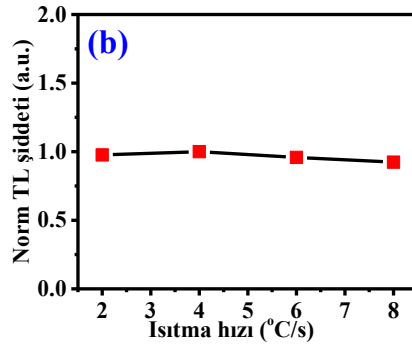
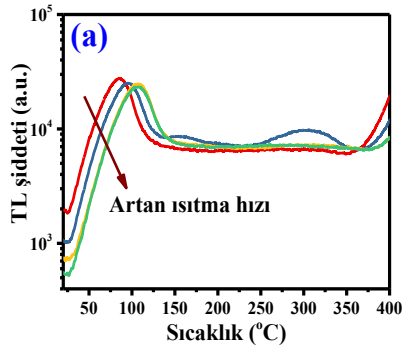
Şekil 4.31 Sigorta porseleni numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışıma eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi



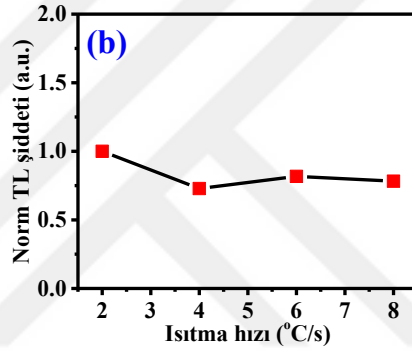
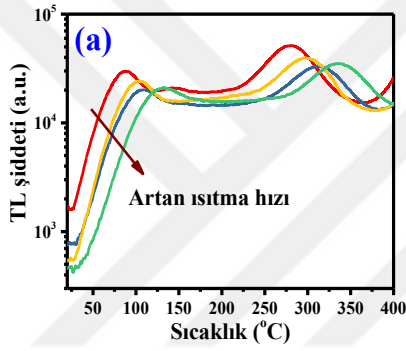
Şekil 4.32 Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışıma eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi



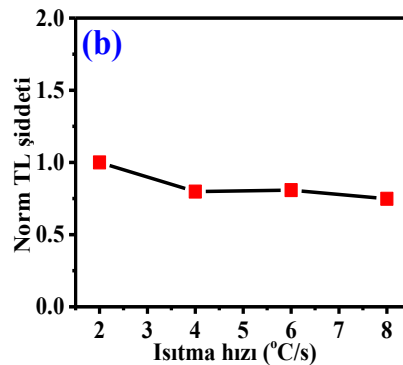
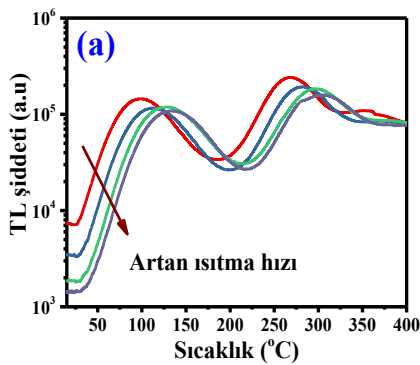
Şekil 4.33 Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışıma eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi



Şekil 4.34 Porselen kül tablası (PKT) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışıma eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi



Şekil 4.35 Kumbara (KU) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışıma eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi

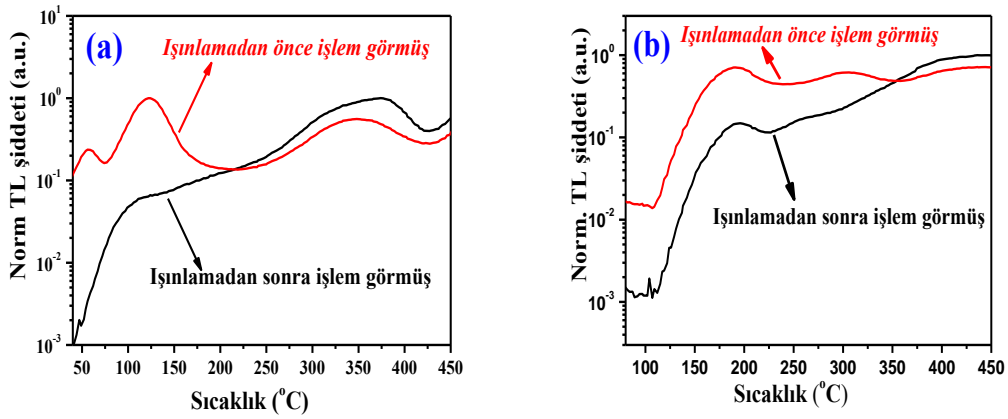


Şekil 4.36 Namaz mührü (MN) numunesinin, (a); Artan ısıtma hızlarının TL ışıma eğrisi üzerindeki etkisi, (b); Dozimetrik pik altında kalan alan değerlerinin artan ısıtma hızlarına göre değişimi

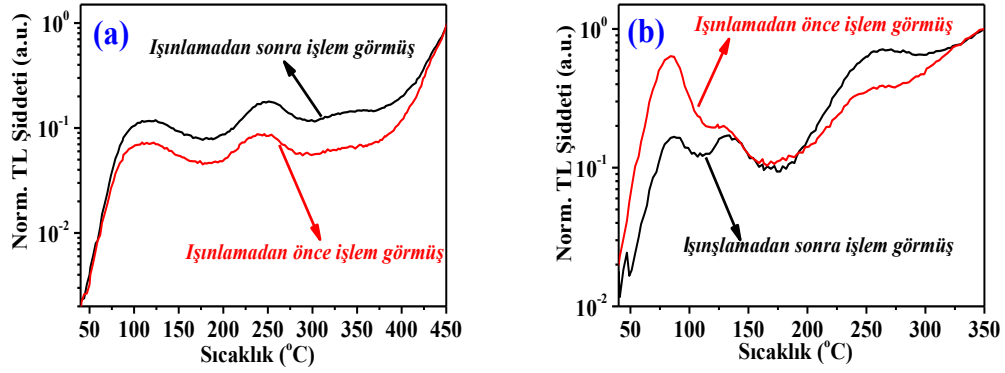
Numunelerin artan ısıtma hızlarına karşılık dozimetrik pik alanı incelendiğinde seramik tırnak törpüsü ve kül tablası örneklerinde termal sönümlenme olayı gözlenmemiştir. Diğer tüm numunelerde termal sönümlenme olayının varlığı görülürken bunlardan sigorta porseleni, porselen şekerlik ve cila maddesi içerikli yapay diş porseleni numunelerinin diğerlerine göre yüksek derecede termal sönümlenmeye uğradığı (yaklaşık %50' den fazla azalma) tespit edilmiştir. Ayrıca cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni numunesinin de çok az derecede termal sönümlenmeye uğradığı belirlenmiştir (yaklaşık %25 azalma).

4.4 Yapılan İşlemin (ezme, eleme) Etkisi

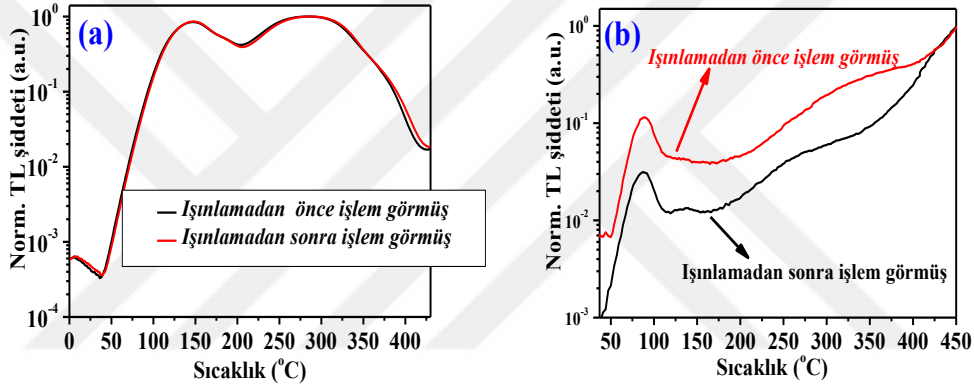
Tez boyunca kullanılan her bir numune için numune hazırlama süreçlerinden olan ezme ve eleme işlemlerinin TL sinyalin etkisi ışınlamadan önce ve ışınlamadan sonra yapılarak Şekil 4.37 ile 4.40 arasındaki grafikler verilmiştir. Grafikler incelendiğinde seramik tırnak törpüsü numunesinden elde edilen sinyal şiddetleri fark göstermemektedir. Namaz mührü numunesinin üzerinde yapılan işlem sinyal şiddetinin artışına neden olmuştur. Diğer numunelerde ise ezme ve eleme işlemlerinin sinyal kaybına neden olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin tribolüminesans olayından veya mekanik etki ile bile boşaltılabilecek sığ tuzaklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



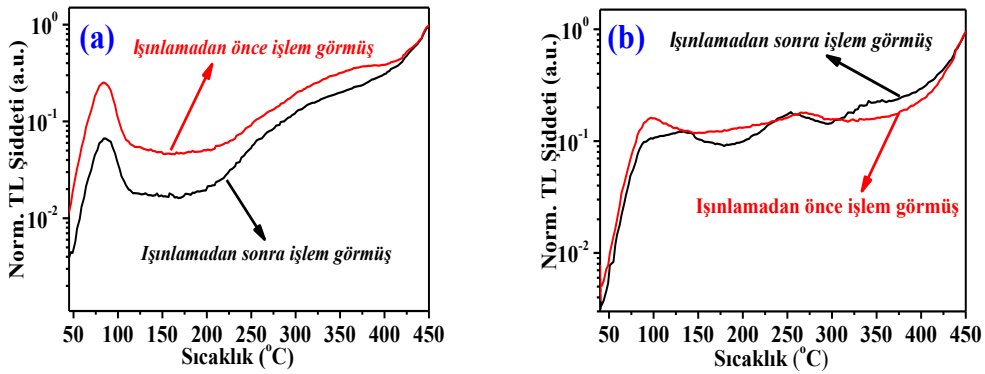
Şekil 4.37 Numunelerin üzerinde yapılmış işlemin TL sinyal şiddetine etkisi a) Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP), b) Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP)



Şekil 4.38 Numunelerin üzerinde yapılmış işlemin TL sinyal şiddetine etkisi a) Namaz mührü (NM), b) Sigorta porseleni (SP)



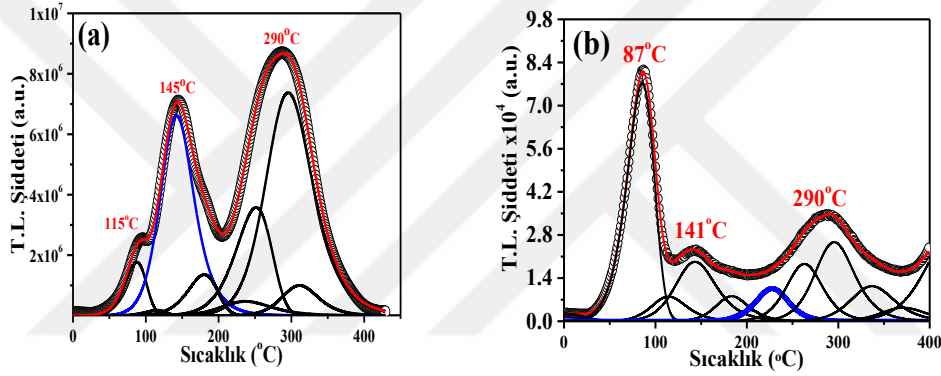
Şekil 4.39 Numunelerin üzerinde yapılmış işlemin TL sinyal şiddetine etkisi a) Seramik tırnak törpüsü (STT), b) Porselen şekerlik (PŞ)



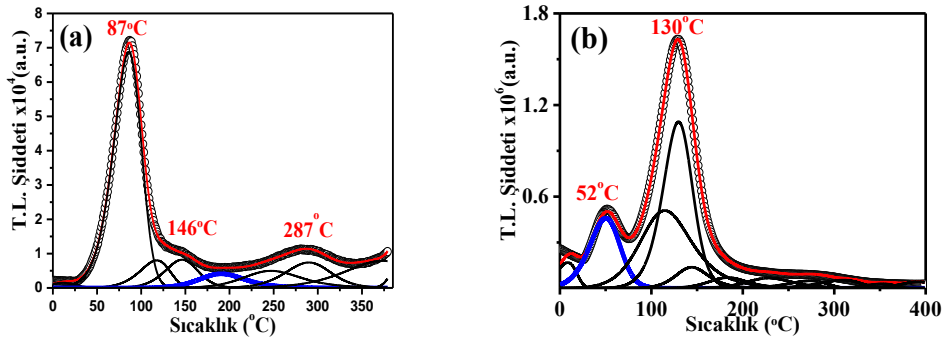
Şekil 4.40 Numunelerin üzerinde yapılmış işlemin TL sinyal şiddetine etkisi a) Porselen kül tablası (PKT), b) Kumbara (KU)

4.5 Dekonvolüsyon

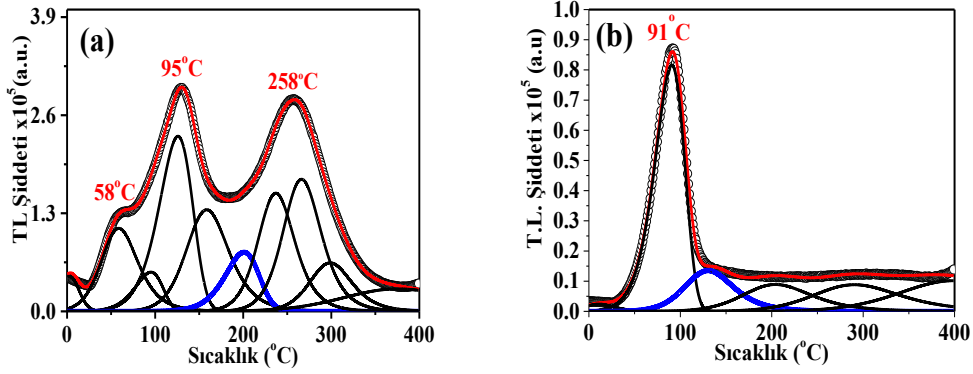
Numunelerden seramik tırnak törpüsü (36 Gy) hariç diğer tüm örnekler 72 Gy $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağı ile ışınlanmıştır. Bunun sonucunda elde edilen TL ışıma eğrileri Kitis vd. (1998) dekonvolüsyon çalışmasına göre incelenmiştir Şekil 4.41a'da STT numunesindeki ışıma eğrisi 8 pik kullanılarak dekonvole edilmiştir. Gerçekleştirilen fit işleminin FOM değeri 1,15% olup dozimetrik piki üçüncü pike (55-240°C sıcaklık bölgesi arası) karşı gelmektedir. Şekil 4.41 ile 4.44 arasındaki grafikler her bir numune için kullanılan dozimetrik pikler mavi renkle gösterilmiştir. Diğer tüm numuneler incelendiğinde dekonvolüsyon işleminde kullanılan pik sayısının 6 ile 12 pik arasında olduğu görülmüş olup FOM değerleri de 0,89 ile 2,19 arasında değişmektedir.



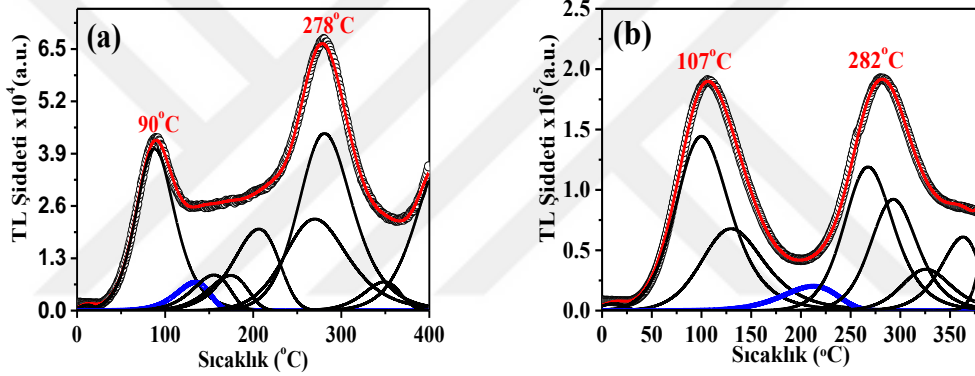
Şekil 4.41 TL ışıma eğrilerinin (ısıtma hızı; 2°C/s) dekonvolüsyonu: yuvarlak simgeler deneysel verileri gösterirken çizgiler dekonvolüsyon analizinden elde edilen bileşenleri (pikler) göstermektedir, a) Seramik tırnak törpüsü (STT), b) Porselen şekerlik (PŞ)



Şekil 4.42 TL ışıma eğrilerinin (ısıtma hızı; 2°C/s) dekonvolüsyonu: yuvarlak simgeler deneysel verileri gösterirken çizgiler dekonvolüsyon analizinden elde edilen bileşenleri (pikler) göstermektedir, a) Sigorta porseleni , b) Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni



Şekil 4.43 TL ışıma eğrilerinin (ısıtma hızı; 2°C/s) dekonvolüsyonu: yuvarlak simgeler deneysel verileri gösterirken çizgiler dekonvolüsyon analizinden elde edilen bileşenleri (pikler) göstermektedir, a) Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP), b) Porselen kül tablası (PKT)



Şekil 4.44 TL ışıma eğrilerinin (ısıtma hızı; 2°C/s) dekonvolüsyonu: yuvarlak simgeler deneysel verileri gösterirken çizgiler dekonvolüsyon analizinden elde edilen bileşenleri (pikler) göstermektedir, a) Kumbara (KU), b) Namaz mührü (NM)

4.6 TL Kinetik Parametrelerinin Hesaplanması

Herhangi bir lüminesans malzemenin kinetik parametrelerinin belirlenmesi termolüminesans mekanizmasının anlaşılabilmesi için gereklidir. Bu kinetik parametreler aktivasyon enerjisi (E), frekans faktörü (s) ve kinetik mertebeye (b) olup elde edilen ışıma eğrisi aracılığı ile belirlenmektedir (McKeever 1985).

Numunelerden elde edilen TL ışıma eğrileri Bölüm 4.5’de verilen dekonvolüsyon yöntemi ile piklerin ayrıştırılarak bunun sonucunda elde edilen dozimetrik pikler Şekil

4.41 ile 4.44 arası mavi renkle gösterilmiştir. Bu piklerin aktivasyon enerjileri dekonvolüsyon ve farklı ısıtma hızları yöntemi kullanılarak elde edilmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 Dozimetrik piklerin kinetik parametreleri

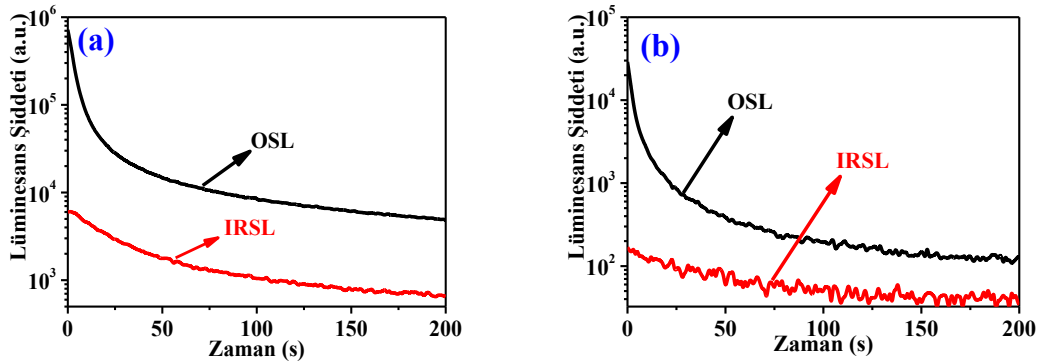
Numune adı	Pik numarası	Farklı ısıtma hızları yöntemi		Dekonvolüsyon yöntemi		
		E (eV)	s(s ⁻¹)	E (eV)	s(s ⁻¹)	b
PŞ	7	0,93±0,08	2,2x10 ⁷	1,40±0,02	1,7x10 ¹³	2,0
PKT	3	0,74±0,18	9,1x10 ⁷	0,72±0,02	2,8x10 ⁷	2,0
SP	5	0,70±0,04	3,1x10 ⁶	0,98±0,03	5,7x10 ⁵	2,0
CDP	2	0,76±0,13	7,9x10 ⁶	0,61±0,01	1,6x10 ⁸	1,5
CSZDP	6	1,20±0,15	1,3x10 ¹³	1,08±0,01	1,9x10 ¹⁰	1,0
KU	3	0,65±0,20	1,7x10 ⁷	0,68±0,01	2,7x10 ⁷	1,0
NM	4	0,81±0,10	8,9x10 ⁵	0,87±0,01	6,5x10 ⁵	1,0
STT	3	1,12±0,20	6,0x10 ⁶	0,92±0,01	4,8x10 ⁹	2,0

4.7 Numunelerin Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) Tekniğine Göre İncelenmesi

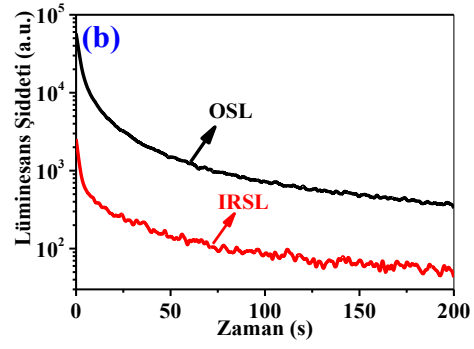
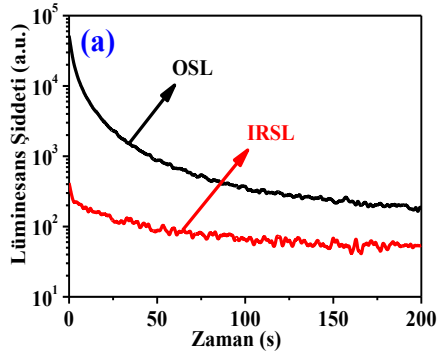
Bütün numuneler OSL yöntemine göre farklı uyarma ışığı altındaki (Mavi, kızılötesi) OSL sinyalinin değişimi, tekrarlanabilirlik, doz-cevap grafikleri, sönüm, sıcaklığın OSL sinyaline etkisi ve lineerlik olayları incelenmiştir.

4.7.1 Lüminesans şekilleri

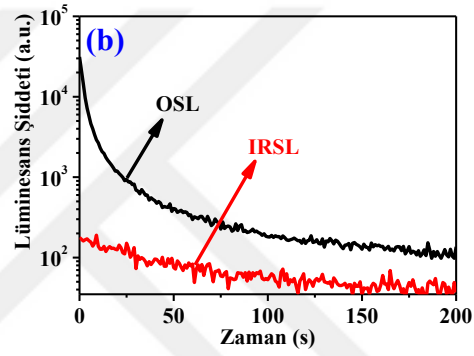
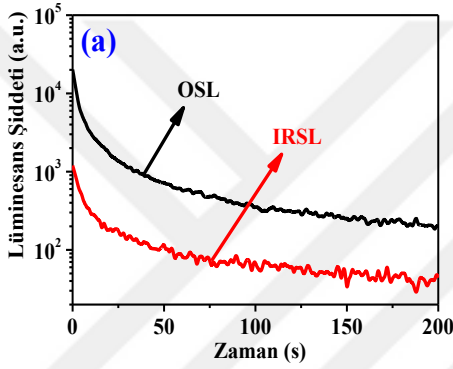
Tez kapsamı boyunca incelen numunelerin Risø TL/OSL okuyucu cihazında ⁹⁰Sr/⁹⁰Y beta kaynağı ile 12 Gy ışınıldıktan sonra eşit kütlede hazırlanan kaplardan biri kızılötesi (IR) ve diğeri mavi ışıkla 200 saniye uyarılarak OSL sinyalleri elde edilmiştir (Şekil 4.45, 4.46, 4.47 ve 4.48).



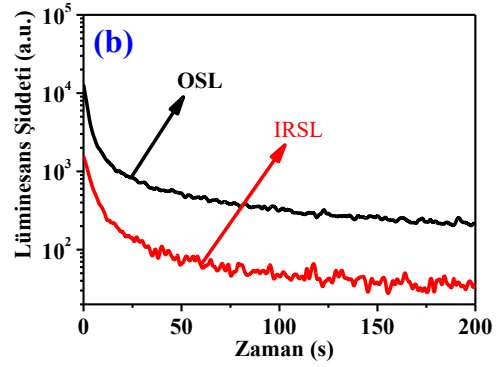
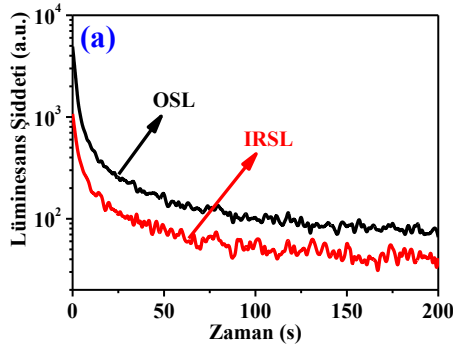
Şekil 4.45 Numunelerin farklı uyarma sistemi ile OSL sinyalinin değişimi: a) Seramik tırnak törpüsü, b) Porselen şekerlik



Şekil 4.46 Numunelerin farklı uyarma sistemi ile OSL sinyalin değişimi: a) Sigorta porseleni, b) Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni



Şekil 4.47 Numunelerin farklı uyarma sistemi ile OSL sinyalin değişimi: a) Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni, b) Porselen kül tablası



Şekil 4.48 Numunelerin farklı uyarma sistemi ile OSL sinyalin değişimi: a) Kumbara, b) Namaz mührü

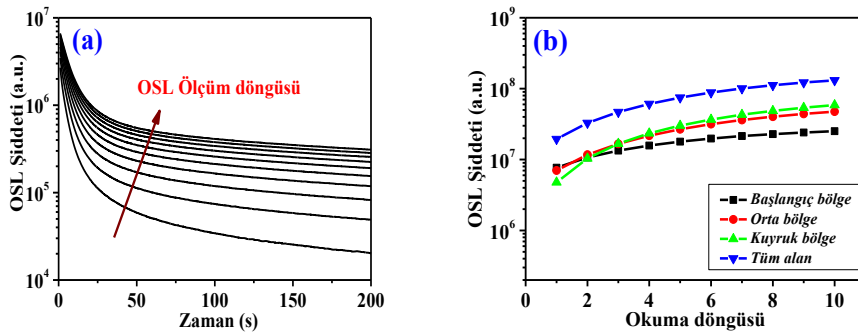
Her iki uyarma kaynağı ile elde edilen sinyalleri üst üste çizilmesi sonucunda bütün numunelerde mavi ışık uyarması ile elde edilen sinyallerin şiddeti IR uyarması ile elde edilen sinyal şiddetine göre daha yüksektir. Bu yüzden bütün tez boyunca OSL işlemlerinde numuneler mavi ışıkla uyarılmıştır.

4.7.2 Tekrarlanabilirlik

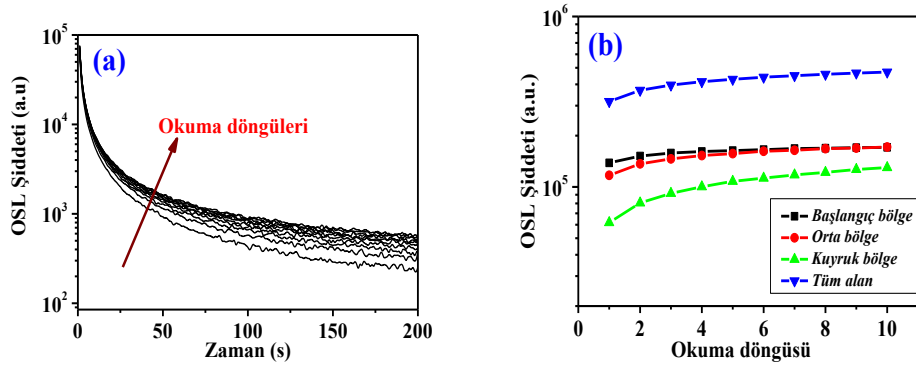
Bütün numuneler Bölüm 3.2.2’de belirtildiği gibi tekrarlanabilirlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için 10 döngü sonucunda OSL ışıma eğrileri elde edilmiş olup elde edilen ışıma eğrilerine göre farklı sinyal bölgeleri (0-5s, 6-50s ve 51-200s arası) ve tüm sinyal alanı dikkate alınarak OSL şiddetinin okuma döngüsüne göre değişimi araştırılmıştır. Şekil 4.49a ile 4.56a grafikleri arasında okuma döngülerine karşı OSL eğrilerinin değişimi, Şekil 4.49b ile 4.56b grafikleri arasında ise okuma döngülerine karşı seçilen sinyal bölgeleri ve tüm sinyal alanındaki değişimi göstermektedir.

Elde edilen grafiklere göre seçilen sinyal bölgeleri ve tüm sinyal alan değerleri belirli bir okuma döngüsünden sonra aynı bir değerde sabit kaldığı görülmüştür. Sabit kalan değerden başlanarak en son döngüye kadar olan değerlerin ortalaması alınıp her bir döngüden elde edilen alan şiddeti değerlerine bölünmesi ile OSL sinyalinin üç farklı bölgesinin ve tüm sinyal alanının tekrarlanabilirlik katsayıları bulunmuştur.

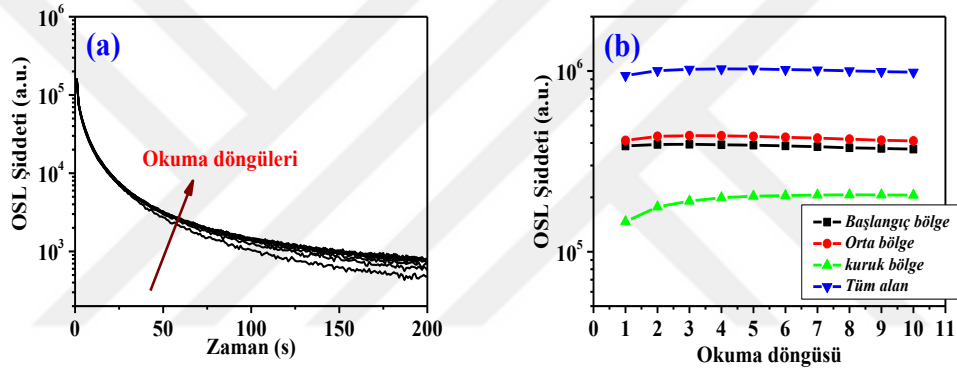
Seramik tırnak törpü ve porselen kül tablası numunelerinin ilk iki okuma ile şiddet değeri artarken 3. döngüden sonra belirli bir değere gelip sabitlendiği görülmektedir, Sigorta porseleni ve cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni numunelerinin ilk okumadan itibaren şiddet değerleri sabit kalmıştır, porselen şekerlik numunesinin ilk üç okuma döngülerinde şiddet değerleri artarken 4. okumadan sonra sinyal şiddeti sabitlenmiştir, cila maddesi içerikli yapay diş porseleni 5.okumadan, namaz mühürü numunesi 4.okuma okumadan ve kumbara numunesi 6.okumadan sonra şiddet değerleri sabit kalmıştır.



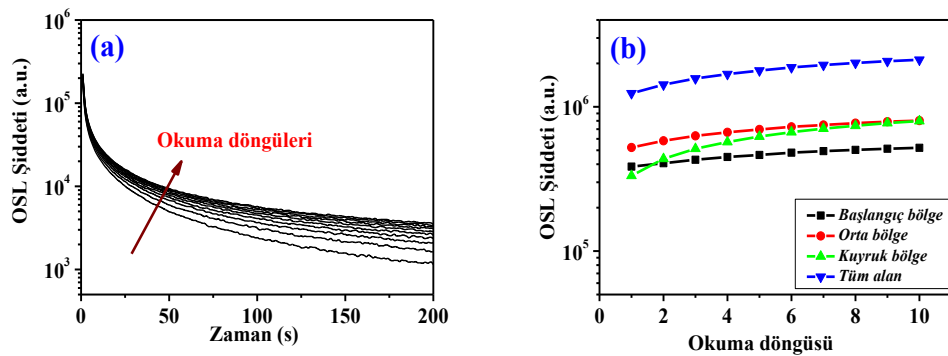
Şekil 4.49 Seramik tırnak törpüsü (STT) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi, (a) OSL ışıma eğrileri, (b) tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



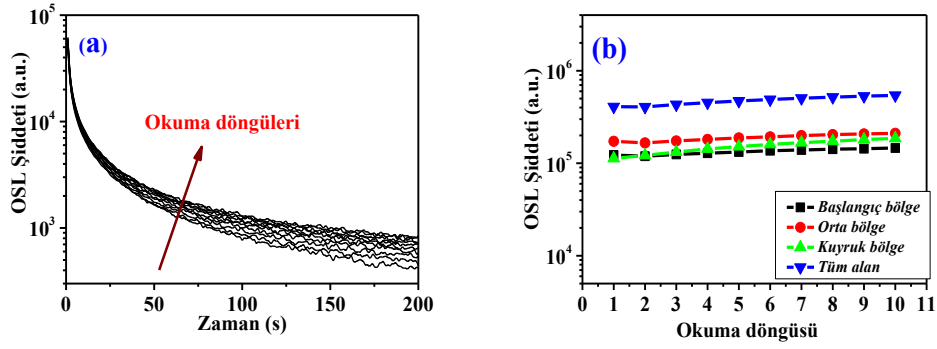
Şekil 4.50 Porselen şekerlik (PŞ) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi, (a) OSL ışıma eğrileri, (b) tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



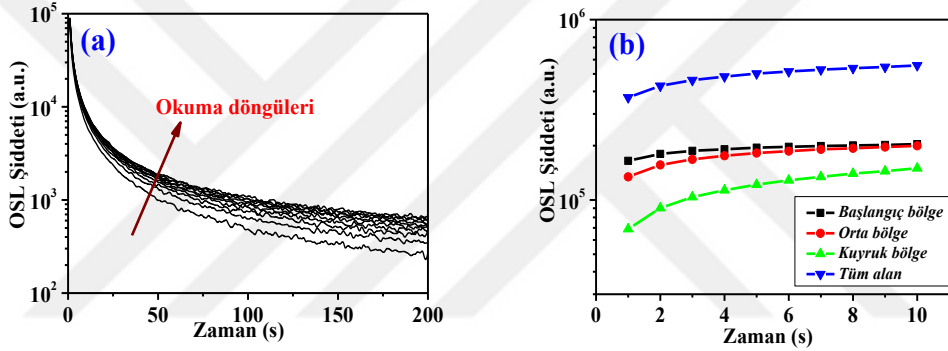
Şekil 4.51 Sigorta porseleni (SP) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi, (a) OSL ışıma eğrileri, (b) tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



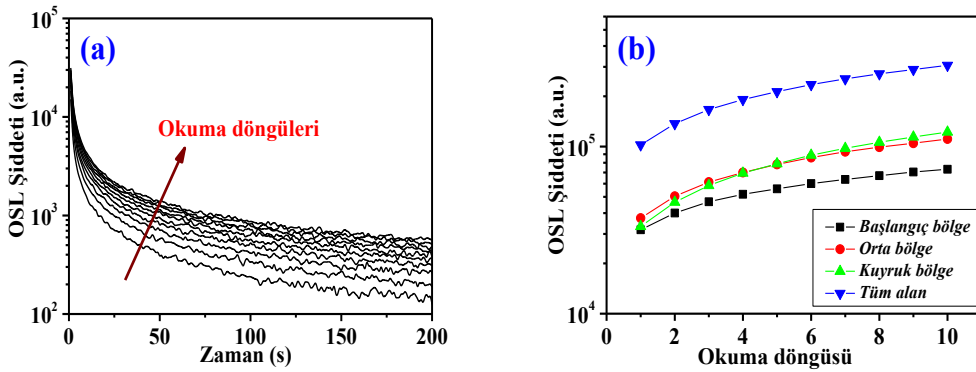
Şekil 4.52 Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi, (a) OSL ışıma eğrileri, (b) tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



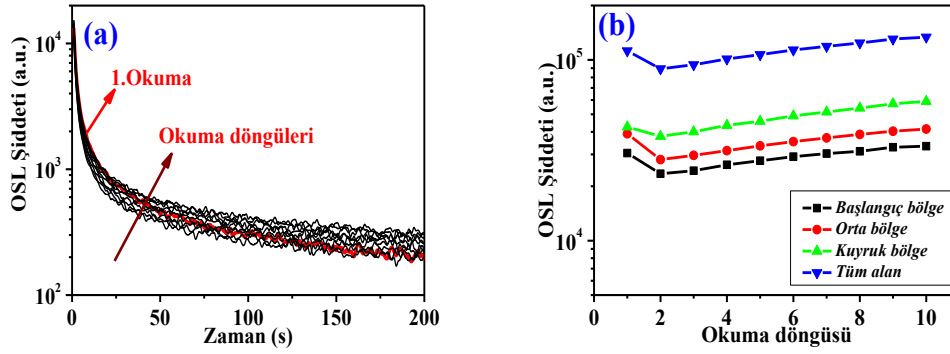
Şekil 4.53 Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi, (a) OSL ışımaya eğrileri, (b) tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



Şekil 4.54 Porselen kül tablası (PKT) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi, (a) OSL ışımaya eğrileri, (b) tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



Şekil 4.55 Kumbara (KU) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi, (a) OSL ışımaya eğrileri, (b) tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi



Şekil 4.56 Namaz mührü (MN) numunesinin aynı doza karşılık (48 Gy) OSL sinyallerinin değişimi, (a) OSL ışımaya eğrileri, (b) tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların okuma döngülerine karşılık değişimi

Numunelerin tekrarlanabilirlik katsayıları Çizelgeler 4.10 ile 4.17 arası verilmiştir. Bütün çizelgelerde K_T , K_1 , K_2 ve K_3 sırasıyla tüm OSL sinyalin altında kalan alana göre, 0-5s, 6-50 ve 51-200s aralıklarının altında kalan alan değerlerine göre belirlenen tekrarlanabilirlik katsayılarını ifade etmektedir.

Çizelge 4.10 STT numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı	Seramik tırnak törpüsü			
	K_T (1-200s)	K_1 (1-5s)	K_2 (6-50s)	K_3 (51-200s)
1	5,38	2,61	5,38	10,10
2	3,19	1,87	3,22	4,64
3	2,24	1,50	2,26	2,87
4	1,72	1,27	1,74	2,05
5	1,40	1,12	1,41	1,60
6	1,19	1,01	1,19	1,31
7	1,04	0,93	1,04	1,12
8	0,94	0,88	0,94	0,99
9	0,86	0,83	0,86	0,89
10	0,80	0,80	0,80	0,82

Çizelge 4.11 PŞ numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı	Porselen şekerlik			
	K_T (1-200s)	K_1 (1-5s)	K_2 (6-50s)	K_3 (51-200s)
1	1,44	1,17	1,40	1,84
2	1,24	1,06	1,20	1,41
3	1,15	1,02	1,12	1,24
4	1,10	1,00	1,07	1,13
5	1,07	0,99	1,04	1,05
6	1,04	0,98	1,01	1,01
7	1,02	0,96	1,00	0,97
8	1,00	0,96	0,97	0,93
9	0,98	0,95	0,97	0,90
10	0,97	0,95	0,95	0,87

Çizelge 4.12 SP numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı	Sigorta porseleni			
	K_T (1-200s)	K_1 (1-5s)	K_2 (6-50s)	K_3 (51-200s)
1	1,06	1,00	1,03	1,38
2	1,00	0,98	0,98	1,15
3	0,98	0,98	0,97	1,06
4	0,98	0,98	0,97	1,02
5	0,98	0,99	0,98	1,00
6	0,98	1,00	0,99	0,99
7	0,99	1,01	1,00	0,98
8	1,00	1,02	1,01	0,98
9	1,01	1,03	1,03	0,98
10	1,02	1,04	1,04	0,99

Çizelge 4.13 CDP numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı	Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni			
	K_T (1s-200s)	K_1 (1s-5s)	K_2 (6s-50s)	K_3 (51-200s)
1	1,59	1,27	2,27	2,26
2	1,38	1,20	1,73	1,73
3	1,25	1,14	1,47	1,47
4	1,17	1,09	1,32	1,32
5	1,10	1,05	1,21	1,21
6	1,05	1,02	1,13	1,13
7	1,01	0,99	1,07	1,07
8	0,98	0,97	1,02	1,02
9	0,95	0,95	0,98	0,98
10	0,93	0,94	0,95	0,95

Çizelge 4.14 CDSZP numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı	Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni			
	K_T (1-200s)	K_1 (1-5s)	K_2 (6-50s)	K_3 (51-200s)
1	1,25	1,09	1,10	1,56
2	1,25	1,12	1,14	1,45
3	1,18	1,07	1,09	1,33
4	1,13	1,04	1,05	1,23
5	1,08	1,01	1,01	1,17
6	1,04	0,98	0,98	1,10
7	1,01	0,96	0,95	1,06
8	0,98	0,94	0,93	1,02
9	0,96	0,93	0,91	0,98
10	0,94	0,91	0,90	0,95

Çizelge 4.15 PKT numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları

Numune adı	Porselen kül tablası			
	K_T (1-200s)	K_1 (1-5s)	K_2 (6-50s)	K_3 (51-200s)
1	1,44	1,17	1,39	1,98
2	1,24	1,07	1,19	1,51
3	1,15	1,03	1,11	1,31
4	1,10	1,01	1,06	1,20
5	1,06	0,98	1,03	1,12
6	1,03	0,97	1,00	1,06
7	1,01	0,97	0,98	1,02
8	0,99	0,96	0,96	0,97
9	0,97	0,95	0,95	0,94
10	0,95	0,94	0,93	0,91

Çizelge 4.16 KU numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları

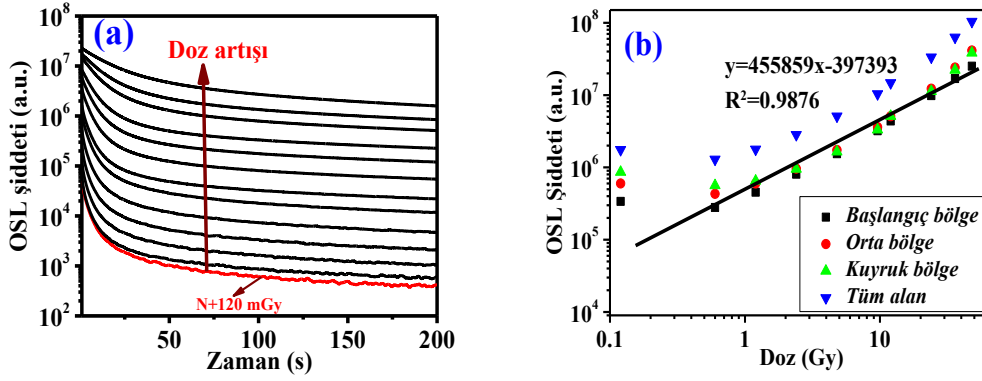
Numune adı	Kumbara			
	K_T (1-200s)	K_1 (1-5s)	K_2 (6-50s)	K_3 (51-200s)
1	2,74	2,10	2,61	3,18
2	2,05	1,67	1,96	2,28
3	1,68	1,43	1,61	1,81
4	1,47	1,29	1,41	1,51
5	1,32	1,20	1,26	1,34
6	1,19	1,11	1,15	1,19
7	1,10	1,05	1,06	1,08
8	1,03	1,00	1,00	1,00
9	0,97	0,95	0,94	0,93
10	0,92	0,91	0,89	0,97

Çizelge 4.17 NM numunesinin OSL tekrarlanabilirlik katsayıları

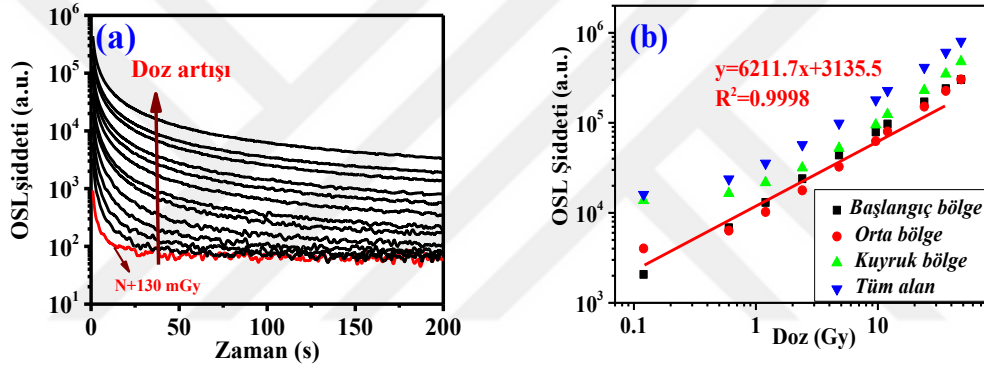
Numune adı	Namaz mührü			
	K_T (1-200s)	K_1 (1-5s)	K_2 (6-50s)	K_3 (51-200s)
1	1,00	0,99	0,90	1,13
2	1,26	1,28	1,25	1,27
3	1,20	1,24	1,18	1,20
4	1,11	1,15	1,11	1,11
5	1,05	1,09	1,05	1,05
6	0,99	1,03	0,99	0,98
7	0,95	0,99	0,95	0,93
8	0,91	0,96	0,91	0,89
9	0,86	0,92	0,87	0,84
10	0,84	0,90	0,85	0,82

4.7.3 Doz cevap grafiği

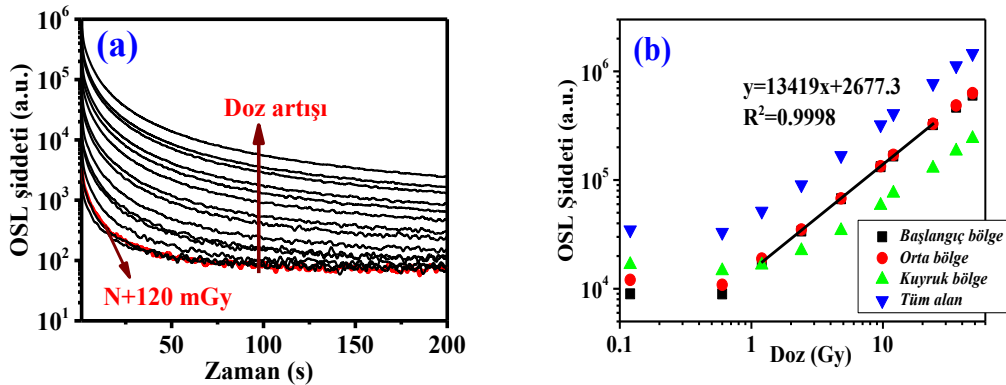
Bütün numuneler için Bölüm 3.2.2’de belirtildiği gibi artan dozlara karşı OSL eğrileri oluşturulup (Şekil 4.57a - 4.64a arasında), farklı sinyal bölgeleri (0-5s ,6-50s ve 51-200s arası) ve tüm sinyal altındaki alanlar bir önceki bölümde hesaplanan tekrarlanabilirlik katsayıları kullanılarak doz-cevap grafikleri elde edilmiştir (Şekil 4.57b -4.64b arasında). Numunelerden kaza dozu hesaplanması için “Microsoft Excel Office” programı yardımıyla farklı OSL sinyal bölgeleri için oluşturulmuş doz-cevap grafikleri arasından artan dozlara karşı en iyi hassasiyet gösteren eğrilerin uygun doz aralıklarında bir doğruya fit edilmesi ile fit denklemi bulunmuştur. Bu yüzden Şekil 4.57b ile 4.64b arasındaki grafiklerde belirli OSL sinyal bölgelerinin lineerliği en iyi olan bölgenin doz-cevap denklemi verilmiştir. Ancak namaz mührü numunesinin hiçbir OSL sinyal bölgelerinin doz-cevap grafiğinden kaza dozu hesaplanmadığından dolayı Şekil 4.64b’de verilen grafikte doz-cevap denklemi verilmemiştir.



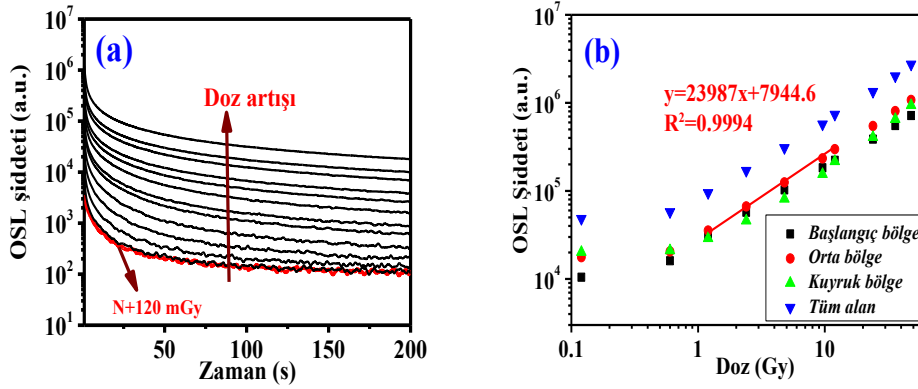
Şekil 4.57 Seramik tırnak törpüsü (STT) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi (a); OSL ışımaya eğrileri, (b); tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



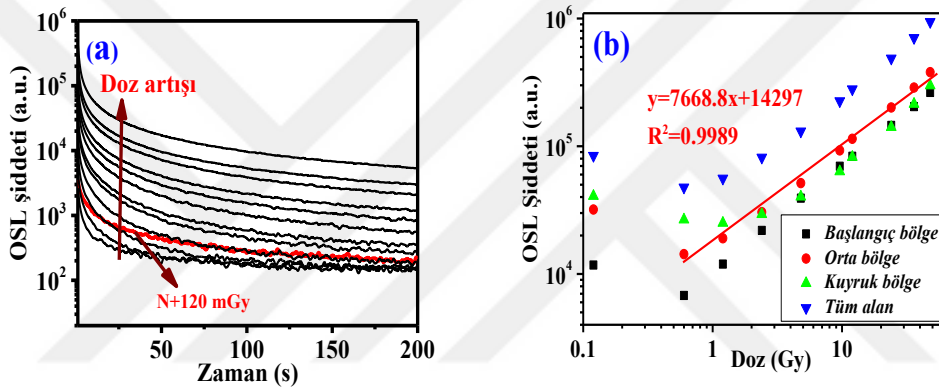
Şekil 4.58 Porselen şekerlik (PŞ) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi (a); OSL ışımaya eğrileri, (b); tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



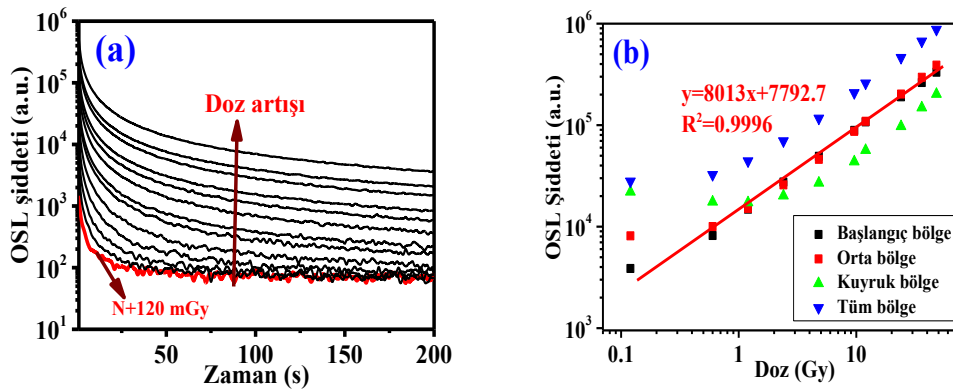
Şekil 4.59 Sigorta porseleni (SP) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi (a); OSL ışımaya eğrileri, (b); tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



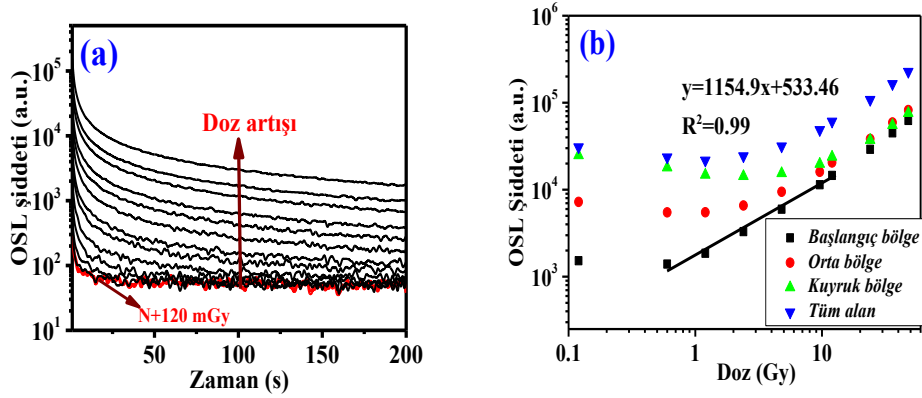
Şekil 4.60 Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni (CDP) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi (a); OSL ışımaya eğrileri, (b); tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



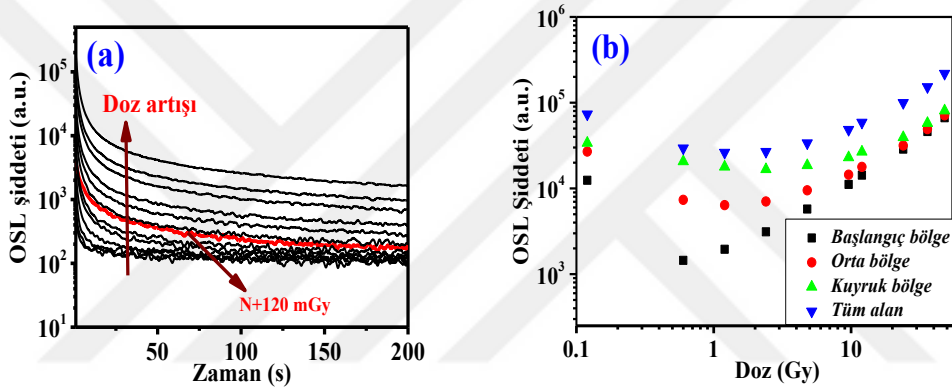
Şekil 4.61 Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni (CSZDP) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi (a); OSL ışımaya eğrileri, (b); tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



Şekil 4.62 Porselen kül tablası (PKT) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi (a); OSL ışımaya eğrileri, (b); tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



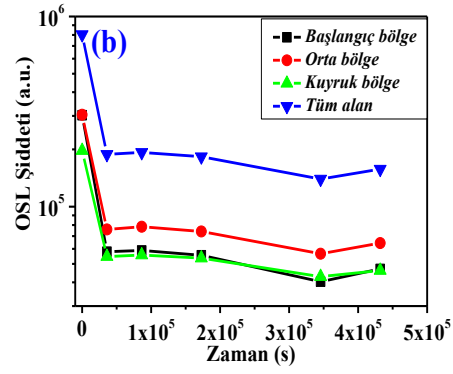
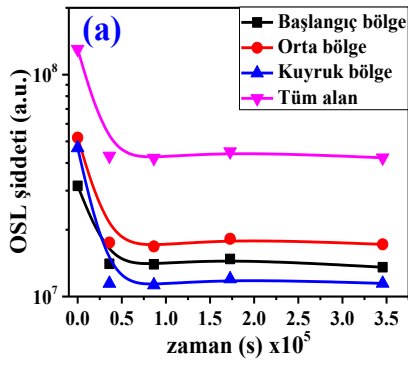
Şekil 4.63 Kumbara (KU) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi (a); OSL ışınma eğrileri, (b); tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği



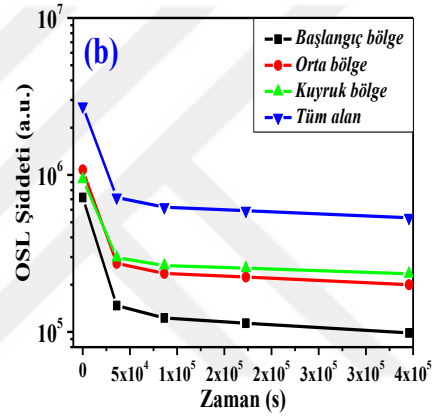
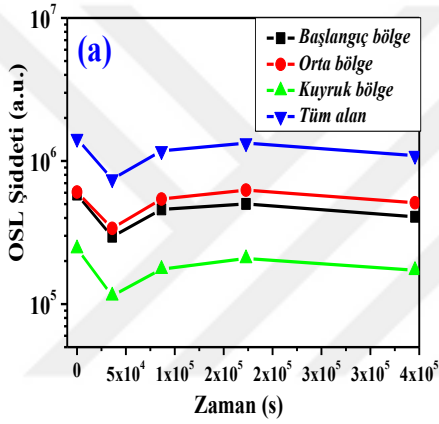
Şekil 4.64 Namaz mührü (NM) numunesinin artan doz (120 mGy'den 48 Gy'ye) ile OSL sinyallerinin değişimi (a); OSL ışınma eğrileri, (b); tüm OSL sinyalinin ve sinyalin farklı bölgelerinin altında kalan alanların doz-cevap grafiği

4.7.4 Sönüm

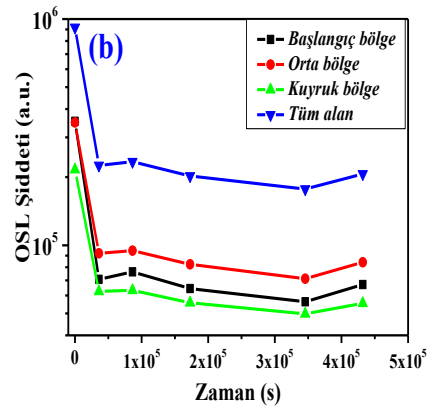
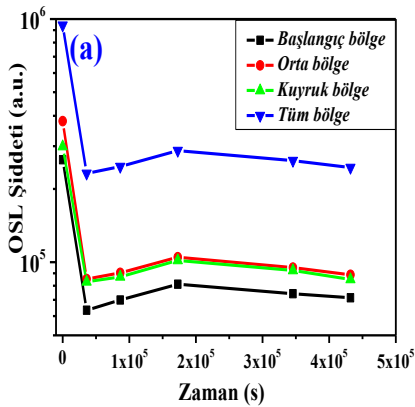
Numuneler Bölüm 3.2.2'de verilen şartlarda yapılan ölçümler sonucunda Şekil 4.65, 4.66, 4.67 ve 4.68 elde edilmiştir. Bu şekle göre her bir numune için sönüm olayının etkisi elde edilen OSL sinyal eğrilerinde farklı sinyal bölgeleri (0-5s, 6-50s ve 51-200s arası) ve tüm sinyal eğrisi altında kalan alan değerlerinin farklı sürelerde hesaplanması ile bulunmuştur. Bu grafikler aracılığı ile kaza dozu belirlenirken her bir numune için sönüm olayının etkisi dikkate alınmıştır.



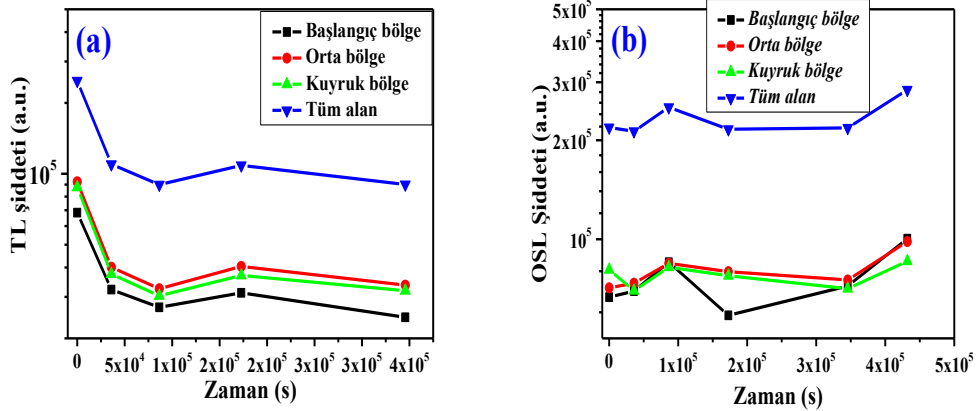
Şekil 4.65 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı sinyal bölgeleri altında kalan OSL şiddetinin zamanla değişimi. (a); Seramik tırnak törpüsü, (b); Porselen şekerlik



Şekil4.66 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı sinyal bölgeleri altında kalan OSL şiddetinin zamanla değişimi. (a); Sigorta porseleni , (b); Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni



Şekil4.67 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı sinyal bölgeleri altında kalan OSL şiddetinin zamanla değişimi. (a); Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni, (b); Kül tablası

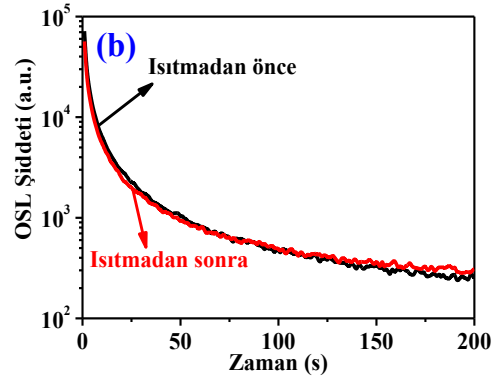
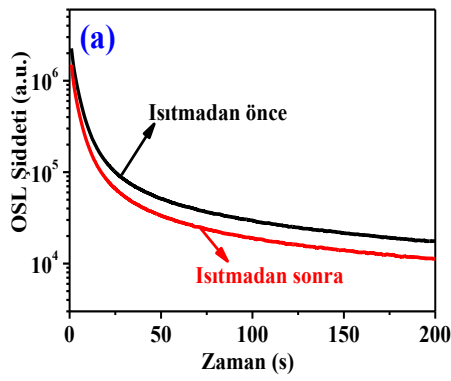


Şekil4.68 Numunelerin tüm alan ve ayrı ayrı sinyal bölgeleri altında kalan OSL şiddetinin zamanla değişimi. (a); Kumbara, (b); Namaz mührü

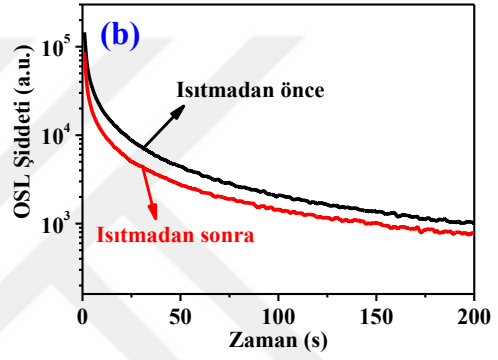
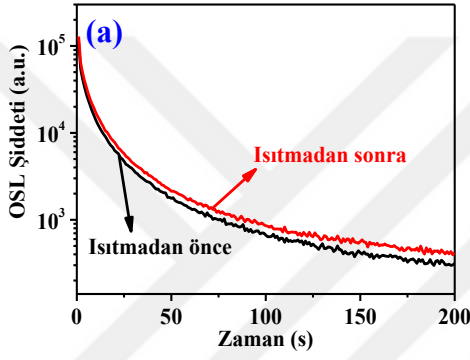
Bütün numunelerin OSL sinyalin üç farklı bölgesinin (0-5s, 6-50s ve 51-200s arası) ve tüm sinyal altında kalan alan değerlerinin zaman karşı değişimi incelendiğinde yaklaşık 10 saat sonra sinyal şiddetinin sabit bir değerde kaldığı görülmüştür. Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni numunesi 10 saat sonra başlangıçtaki sinyal şiddeti değerinden 6-50s aralığında %95 tüm OSL eğrisi altında kalan alan değerine bakıldığında %74 azalmaktadır. Kaza dozu hesaplanırken sinyal şiddetindeki bu sönüm etkisinin OSL eğrisine olan etkisini minimuma indirebilmek için sönüm katsayıları her bir numune için bulunmuş olup daha doğru doz değerlendirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca namaz mührü numunesinin sönüm özellikleri incelendiğinde yaklaşık olarak %2'lik bir sinyal kaybı görülmüştür. Bu yüzden numuneler arasında en az sönüme uğrayan malzemenin namaz mührü numunesi olduğu anlaşılmıştır.

4.7.5 Sıcaklığın OSL sinyaline etkisi

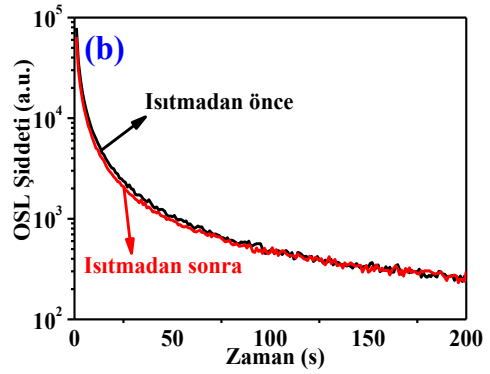
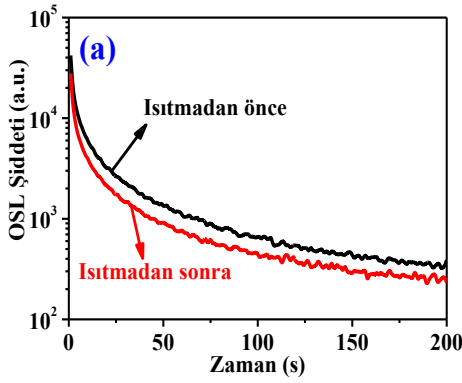
Bütün numuneler sıcaklığın OSL sinyaline etkisinin incelenmesi ile retrospektif dozimetresi için kullanılan malzemelerden radyasyon kazasından önce herhangi bir sıcaklığa (örneğin yangın kazası) maruz kalması durumunda radyasyon kazası dozunun ölçülebilmesi amacı ile araştırılmıştır. Bölüm 3.2.2'de verilen şartlarda yapılan ölçümler sonucunda ışınlanma yapılmadan önce uygulanan sıcaklığın OSL sinyaline etkisi Şekil 4.69, 4.70, 4.71 ve 4.72 ile verilmiştir.



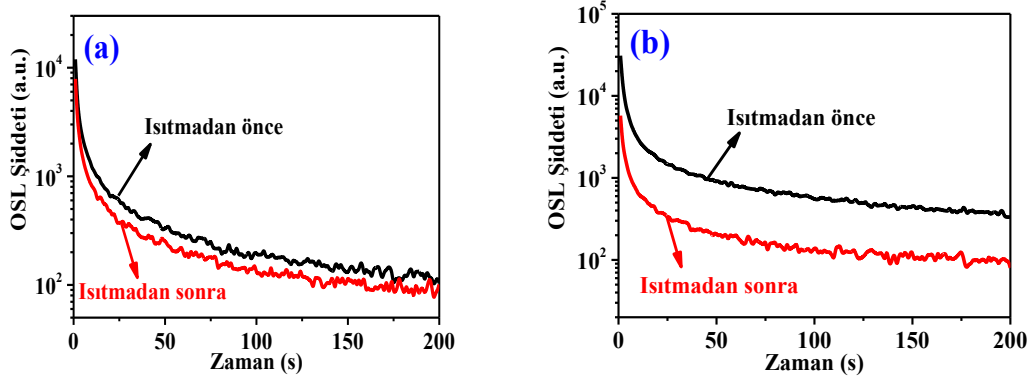
Şekil 4.69 Sıcaklığın OSL sinyaline etkisi a) Seramik tırnak törpüsü b) Porselen şekerlik



Şekil 4.70 Sıcaklığın OSL sinyaline etkisi a) Sigorta porseleni b) Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni



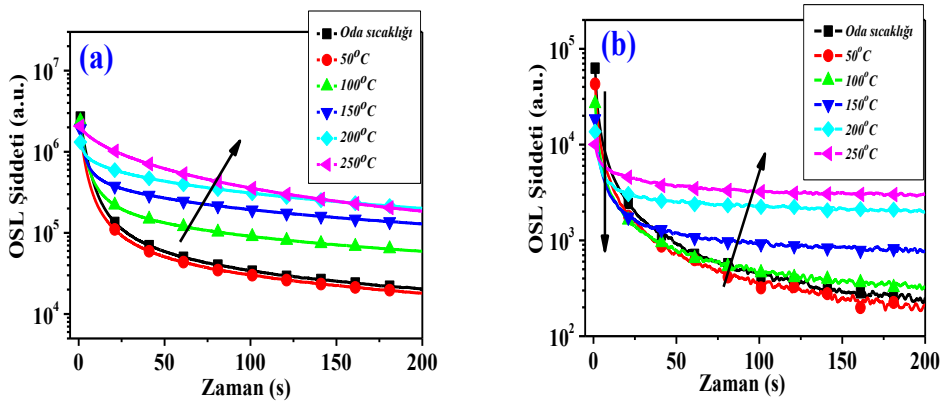
Şekil 4.71 Sıcaklığın OSL sinyaline etkisi a) Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni b) Porselen kül tablası



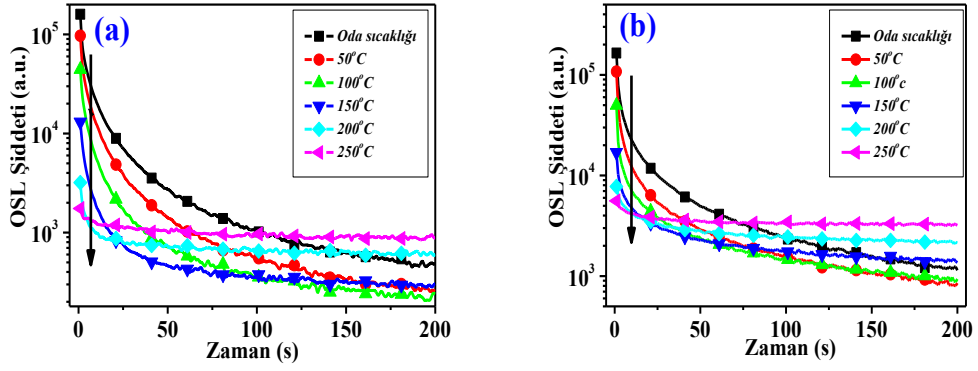
Şekil 4.72 Sıcaklığın OSL sinyaline etkisi a) Kumbara b) Namaz mührü

Kullanılan numunelerden namaz mührü malzemesi hariç diğer numunelerin OSL sinyalleri yapılan sıcaklık işleminden önemli ölçüde etkilenmediği görülmüştür. Örneğin porselen numunelerinden şekerlik, sigorta porseleni, kül tablası örnekleri incelenler arasında sıcaklıktan minimum etkilendiği görülmüştür (Şekil 4.69b, 4.70a ve 4.71b).

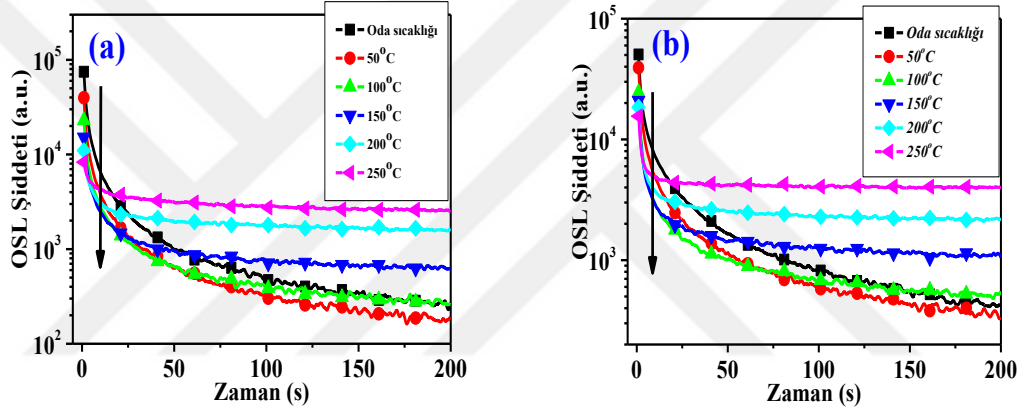
OSL sinyallerinin farklı okuma sıcaklıklarındaki OSL eğrileri Şekil 4.73 ile 4.76 arasındaki grafiklerde verilmiştir. OSL ve TL tuzakları biri birleri ile ilişkili ise artan okuma sıcaklığı ile OSL sinyallerinin azalması beklenir. Herhangi bir azalma olmadığı durumda TL ve OSL sinyallerinin farklı merkezlerden kaynaklandığı öne



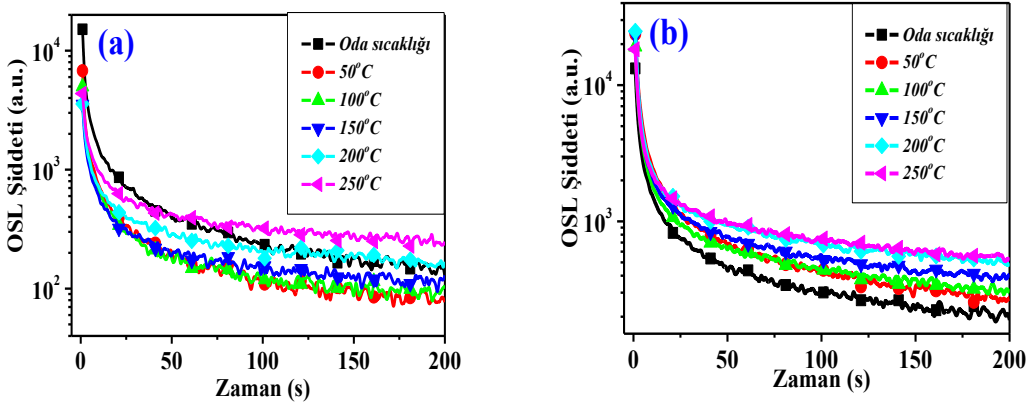
Şekil 4.73 Farklı sıcaklıklarda OSL sinyali a) Seramik tırnak törpüsü b) Porselen şekerlik



Şekil 4.74 Farklı sıcaklıklarda OSL sinyali a) Sigorta porceleni b) Cila maddesi içerikli yapay diş porceleni



Şekil 4.75 Farklı sıcaklıklarda OSL sinyali a) Cila maddesi içeriksiz yapay diş porceleni b) Porselen kül tablası

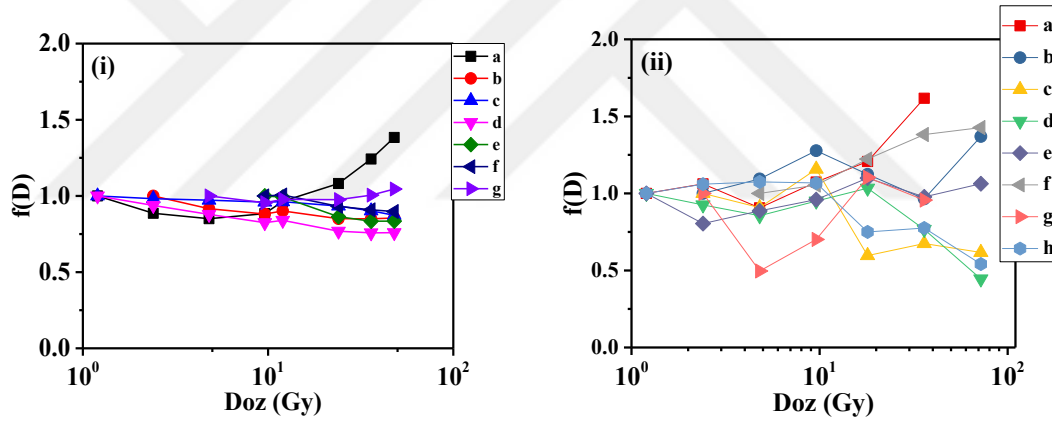


Şekil 4.76 Farklı sıcaklıklarda OSL sinyali a) Kumbara b) Namaz mührü

İncelenen örneklerde, seramik tırnak törpüsü ve namaz mühür örneklerinde artan sıcaklıklarla OSL sinyallerin başlangıç bölgesinde (0-5s) değişim gözlenmezken orta bölgesinde (6-50s) ve kuyruk bölgelerde (51-200s) artışlar olmuştur. Porselen şekerlik numunesinde OSL sinyalinin başlangıç bölgesinde azalma, orta ve kuyruk bölgesinde artma, kumbara, cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni ve porselen kül tablası örneklerinde başlangıç bölgesinde azalma, orta ve kuyruk bölgelerinde artış gözlenmektedir. Cila maddesi içerikli yapay diş porseleni ve sigorta porseleni malzemelerinde ise artan sıcaklıklar ile OSL sinyallerinin başlangıç bölgelerinde azalma, orta ve kuyruk bölgede düzenli bir azalış ya da artış gözlenmemiştir.

4.8 Lineerlik

Bütün numuneler için artan dozlarla karşı en iyi cevap veren bölgeler için OSL eğrisi ve TL ışınma eğrisinin altında kalan alan değerlerinin incelenmesi ile supralineerlik indeksi ($f(D)$) Şekil 4.77 i-ii de verilmiştir.



Şekil 4.77 OSL (i) ve TL (ii) sinyallerinin $f(D)$ supra-lineerlik indeksi, a) seramik tırnak törpüsü; b) porselen şekerlik; c) sigorta porseleni; d) cila maddesi içerikli yapay diş porseleni; e) cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni; f) porselen kül tablası; g) kumbara; h) namaz mührü.

İncelenen örneklerin lineer, sublineer ve supralineer davranış gösterdiği doz aralıkları her iki teknik için Çizelge(4.18)'de verilmiştir.

Çizelge 4.18 İncelenen örneklerin lineer, sublineer ve supralineer olduğu bölgeler.

*Namaz mührünün OSL sinyalinin farklı bölgelerinin doz-cevap grafiğinden kaza dozu elde edilemediğinden dolayı sinyalin lineerlik özelliği dikkate alınmamıştır.

Numune adı	OSL (TTY)			TL (ÇTY)		
	Sublineer (Gy)	Lineer (Gy)	Supralineer (Gy)	Sublineer (Gy)	Lineer (Gy)	Supralineer (Gy)
PŞ	-	1,2-36	-	-	2,4-36	36-72
STT	-	0,6-36	36-48	-	1,2-18	18-36

SP	-	1,2-48	-	4,8-72	2,4-4.8	-
CSZDP	-	4,8-48	-	-	1,2-72	-
CDP	12-48	0,6-12	-	18-72	1,2-18	-
NM*	-	-	-	9,6-72	1,2-9.6	-
KU	-	4,8-48	-	2,4-9.6	-	9,6-36
PKT	-	4,8-48	-	-	4,8-18	18-72

Numuneler OSL yöntemi ile incelendiğinde sigorta porseleni numunesi diğer numunelere göre daha geniş bir doz aralığında lineer davranış gösterirken cila maddesi içerikli yapay dış porseleni ise daha küçük bir aralıkta lineer davranış göstermektedir. TL yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre cila maddesi içeriksiz yapay dış porseleni geniş bir doz aralığında lineer davranış gösterirken sigorta porseleni küçük bir doz aralığında lineerdir.

Kumbara numunesi ise incelenen doz aralığında lineer davranış göstermemiştir.

4.9 Kaza Dozunun Hesaplanması

Kaza dozu iki farklı yöntemler TL (tek tabletli yenileme ve çok tabletli yöntemi) ve OSL (tek tabletli yenileme yöntemi) ile hesaplanmıştır. Kaza sonrası her bir numuneden elde edilen TL ışınma eğrisinin Bölüm 4.1.2’de doz-cevap grafiğinin oluşumunda uygun görülen sıcaklık aralığının altında kalan alan değerleri hesaplandıktan sonra Bölüm 4.1.1’de bulunan tekrarlanabilirlik katsayıları ile çarpılmıştır (TL, çok tabletli yöntemde herhangi bir tekrarlanabilirlik katsayı uygulanmasına gerek yoktur (Bölüm 4.2.1)). Aynı işlem OSL işleminde de uygulanmıştır. Ayrıca kaza ile ölçüm arasındaki süre boyunca oluşabilecek sönüm etkisi hesaplanarak doz değerlendirilmesinde hesaba katılmıştır (Eşitlik 4.1).

$$I_i = I_j \times K_i \times K_f \quad (4.1)$$

Burada, K_i : tek tablet yenileme yönteminde tekrarlanabilirlik katsayısı (TL ve OSL sinyalleri için farklı bölgeler dikkate alınmıştır), K_f : sönüm katsayısı, ($K_f = \frac{I_0}{I}$), I_0 : ışınlama sonrası hemen ölçülen sinyal şiddeti, I : bekletildikten sonraki TL ve OSL şiddetleri. I_j : TL veya OSL sinyalinin ilgili bölgesinin toplam şiddetidir.

Eşitlik (4.1)’den elde edilen I_i değeri doz-cevap grafiğinin fit denkleminde y parametresinin yerine girilerek x değeri Gy cinsinden kaza dozu olarak bulunur. Çizelge 4.19 ve çizelge 4.20 de sırasıyla tek tablet ve çok tablet yöntemleri için TL spektrumlarından seçilen bölgeler ve doz aralıkları gösterilmektedir. Çizelge 4.21’de OSL sinyali için seçilen bölgeler ve doz aralıkları gösterilmektedir

Çizelge 4.19 Tek tablet yöntemine göre kaza dozunun hesaplanmasında kullanılan sıcaklık bölgeleri ve fit bölgesi

Numune adı	TL ışıma eğrisinden seçilen bölge	Doz-cevap grafiğinde kullanılan doz aralığı (Gy)
STT	4.bölge (200-350°C)	0,027-100
PŞ	3.bölge (150-225°C)	0,027-54
SP	3.bölge (200-300°C)	0,135 -5.4
CDP	2.bölge (200-300°C)	0,135 -54
NM	3.bölge (200-300°C)	0,135 -54

Cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni, porselen kül tablası ve kumbara numunesinden tek tablet yenileme yöntemini kullanarak kaza dozu hesaplanamamıştır.

Çizelge 4.20 Çoklu tablet yenileme yöntemine göre kaza dozunun hesaplanmasında kullanılan sıcaklık bölgeleri ve fit bölgesi

Numune adı	TL ışıma eğrisinden seçilen pik	Tm (°C)	Doz-cevap grafiğinde kullanılan doz aralığı (Gy)
STT	3.pik (110-180°C)	142	(0-18)
PŞ	7.pik (160-325°C)	230	(0-9,6)
SP	5.pik (100-190°C)	187	(0-4,8)
CDP	2.pik (27-80°C)	55	(0-4,8)
NM	4.pik (137-262°C)	164	(0-9,6)
CSZDP	6.pik (137-337°C)	200	(0-18)
PKT	3.pik (50-340°C)	127	(0-18)
KU	3.pik (60-190°C)	130	(0-36)

Numunelerin OSL sinyalinin farklı sıcaklık bölgelerinden elde edilen doz-cevap grafiğinin kaza dozu hesaplanmasında kullanılan bölge ve doz aralıkları Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21 OSL yöntemine göre kaza dozunun hesaplanmasında kullanılan sinyal bölgeleri ve fit bölgesi

Numune adı	OSL sinyalinden seçilen bölge (s)	Doz-cevap grafiğinde kullanılan doz aralığı (Gy)
STT	(0-5)	(0,12-36)
PŞ	(6-50)	(0,12-36)
SP	(0-5)	(1,20-24)
CDP	(6-50)	(1,20-12)
NM	-	-
CSZDP	(6-50)	(0,60-48)
PKT	(6-50)	(0,12-48)
KU	(0-5)	(0,60-12)

4.10 Etkin Organ Dozlarının Hesaplanması

Etkin organ dozları, erkek ve bayan Rando fantomların cilt bölgesine (20.kesit göğüs) ve akciğer ile kalın bağırsak bölgelerine üçlü gruplar halinde TLD100'ler yerleştirilerek belirlenmiştir. TLD-100'ler aracılığı ile öncelikle cilt dozu hesaplanarak her bir organın ağırlık faktörleri (W_T) ile çarpılarak etkin organ dozları elde edilmiştir. Ayrıca etkin organ dozları doğrudan akciğer ve kalın bağırsak bölgelerine yerleştirilen TLD-100'ler aracılığı bulunmuştur (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22 Etkin organ dozları

Rando fantom	Eşdeğer doz (H_T) (Sv)	Cilt'te yerleştirilen TLD'lerle Etkin organ dozu (mSv)		Fantom organı içinde bulunan TLD'ler etkin organ dozu (mSv)	
	Cilt	Akciğer	Kalın bağırsak	Akciğer	Kalın bağırsak
Erkek	4,30±0.1	514±11	514±11	13±1	14±4
Bayan	3,52±0.45	422±54	422±54	16±2	11±1

Tez boyunca incelenen seramik tırnak törpüsü, porselen şekerlik, porselen kül tablası, sigorta porseleni, kumbara, namaz mühürü, cila maddesi içerikli yapay diş porseleni ve cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni numuneleri aracılığı ile eşdeğer doz ve etkin organ dozlarının hesaplanabilmesi için numunelerin hemen yanına yerleştirilen TLD-100'lerden okunan doz değerlerinin numunelerden elde edilen doz değerlerine oranı ile doz dönüşüm faktörleri, f hesaplanmıştır. f faktörleri numunelerle doz hesaplanırken kullanılan TL (TTY) , TL (ÇTY) ve OSL (TTY) yöntemleri kaza senaryosundaki kaynaktan iki farklı mesafede (12,5 cm ve 100 cm) elde edilmiştir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.24 de Kullanılan numuneler ve TLD-100'lerden elde edilen kaza dozları ve minimum dedekte edilebilen doz değerleri verilmiştir. Herhangi bir radyasyon kazası durumunda tez kapsamı boyunca incelenen numunelerden maruz kalınan dozlarının hesaplanıp f faktörü ile çarpılması ile doz eşdeğeri hesaplanabilecektir. Böylelikle kaza durumunda TLD'lerin olmadığı durumda incelenen numuneler TLD'lere eş değer sayılarak etkin dozlar elde edilebilecektir.

Çizelge 4.23 Doz dönüşüm faktörleri

Numune adı	Doz dönüşüm faktörleri					
	TL (TTY)		TL(ÇTY)		OSL (TTY)	
	12,5 cm	100cm	12,5 cm	100 cm	12,5 cm	100 cm
PŞ	0,74	0,26	1,27	0,77	0,93	0,54
STT	2,00	0,54	2,00	0,91	1,00	1,14
SP	3,08	0,56	0,86	1,03	0,91	1,00
CSZDP	-	-	1,03	0,91	1,93	1,20
CDP	1,04	0,46	1,06	1,00	1,06	1,02
KU	-	-	1,01	1,01	1,99	0,72
NM	1,10	0,10	1,51	1,38	-	-
PKT	-	-	1,04	0,80	1,42	0,83

Kaza senaryosu alanında (Şekil 3.11) CDP ve NM numuneleri kaynaktan 12,5 cm mesafede iki parça ve PKT numunesi ise kaynaktan 100 cm mesafede iki parça halinde bulundurulmuştur. Her bir parçanın yanına TLD-100 yerleştirilmiştir. Bu yüzden Çizelge 4.24’de adı geçen numuneler ve TLD-100’ler için belirtilmiş mesafelerde iki adet doz değeri gösterilmektedir. TL, TTY uygulanmasında tüm numunelerden elde edilen sonuçlar bir birinden farklı olduğu gözlenmiştir. CDP numunesinden hem TL (ÇTY) hem OSL (TTY) ile bulunmuş değerler TLD-100’den elde edilen değerlerle yakın olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, TL ÇTY uygulanmasıyla hesaplanan doz değerleri TLD-100 ile karşılaştırıldığında en uyumlu sonuç veren numune KU olduğu gözlenmiştir.

Bu sonuçlara göre, çalışılan numuneler farklı uyarma modlarında ve farklı eşdeğer doz hesaplama teknikleri ile kaza dozimetrisi çalışmalarında kullanılabilir olduğu söylenebilir. Ancak uygulanacak yöntemlerin seçilmesi için dozimetrik özelliklerin incelendiği bir dizi ön çalışmanın titizlikle uygulanması gerekmektedir.

Çizelge 4.24 Kullanılan numuneler ve TLD-100'lerden elde edilen kaza dozları ve minimum dedekte edilebilen doz değerleri

*: TLD -100'ler ve numunelerden elde edilen kaza dozu değerlerinin yüzde farkı

Numune Adı	Mesafe (cm)	D_{TL} (Gy)		D_{OSL} (Gy)	$D_{TLD-100}$ (Gy)	*%Fark			D_{LDL} (Gy)	
		TTY	ÇTY			TTY	ÇTY	OSL	TTY	TL
PŞ	12,5	5,76±1,58	3,37±0,30	4,58±0,70	4,28±0,30	±34,6	±21,3	±7,0	<4,8	<0,12
	100	3,85±1,58	1,30±0,30	1,84±0,70	1,00±0,10	±285,0	±30,0	±84,0		
STT	12,5	2,14±0,30	2,11±0,05	4,32±2,70	4,28±0,30	±50,0	±50,7	±1,0	<1,2	<0,12
	100	1,86±0,30	1,10±0,05	0,88±2,70	1,00±0,10	±86,0	±10,0	±12,0		
SP	12,5	1,39±0,48	4,98±1,44	4,70±0,04	4,28±0,30	±67,5	±16,4	±9,8	<2,4	<0,12
	100	1,07±0,48	0,58±1,44	0,59±0,04	0,60±0,02	±76,6	±3,3	±1,6		
CSZDP	12,5	-	4,16±0,55	2,22±0,04	4,28±0,30	-	±2,8	48,1	<1,2	<0,12
	100	-	0,51±0,55	0,39±0,04	0,47±0,06	-	±8,5	±17,0		
CDP	12,5	7,48±1,43	-	7,37±0,16	7,80±2,40	±4,1	±5,3	±5,5	<1,2	<0,12
		-	4,05±0,03	-	4,28±0,30					
NM	100	1,31±1,43	0,60±0,03	0,59±0,16	0,60±0,02	±118,3	±0,1	±1,6		
	12,5	-	2,82±0,16	-	4,28±0,30	±9,2	±34,1	-	<1,2	-
KU	100	7,10±0,90	-	-	7,80±2,40					
	12,5	5,71±0,90	0,34±0,16	-	0,47±0,06	±1115,	±27,5	-		
PKT	100	-	4,26±0,01	2,15±1,20	4,28±0,30	-	±0,5	±50,0	<1,2	<0,12
	12,5	-	0,99±0,01	1,38±1,20	1,00±0,10	-	±1,0	±38,0		
PKT	100	-	4,11±0,23	3,00±1,90	4,28±0,30	-	±3,4	±29,9	<1,2	<0,12
	12,5	-	0,75±0,23	-	0,60±0,02	-	±25,0	±20,0		

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez boyunca gündelik hayatta çevremizde yaygın bir şekilde bulunan porselen bazlı şekerlik, kül tablası, cila maddesi içerikli ve cila maddesi içeriksiz yapay diş, kil bazlı kumbara ve namaz mührü ile seramik tırnak törpüsü numunelerinin dozimetrik özellikleri TL tek tabletli yöntem (TTY), çok tabletli yöntem (ÇTY) ve OSL (TTY) yöntemleri ile incelenerek kaza dozimetresi için kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır.

Numunelerin dozimetrik olarak incelenmesi kapsamında, TL yöntemine göre numunelerin hazırlama işlemi esnasında uygulanan prosedürler (ezme ve eleme işlemi), tekrarlanabilirlik, doz-cevap grafikleri, sönüm, termal sönümlenme özellikleri ve TL kinetik parametreleri; OSL yöntemine göre ise tekrarlanabilirlik, doz-cevap grafikleri, sönüm, sıcaklığın ve farklı uyarma sistemlerinin sinyal şiddeti ile ilişkisi detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca incelen tüm numuneler için Ek1’de verilen XRD analiz sonuçlarına göre tüm malzemelerin kristal yapı içerdiği görülmüştür. Numunelerin ezme ve eleme işlemlerinin TL sinyal şiddeti üzerindeki etkisi araştırıldığında seramik tırnak törpüsü hariç tüm numunelerden elde edilen TL sinyal şiddetinin yapılan bu işlemlerden etkilenmekte olduğu görülmüştür (Bölüm 4.4). Bu etkinin sebebinin triboluminesans olayından veya mekanik etki ile bile sığ tuzakların boşalabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. İkinci olarak numunelerin tekrarlanabilirlik özellikleri incelenerek elde edilen tekrarlanabilirlik katsayıları kaza dozunun değerlendirilmesi aşamasında kullanılmıştır (Bölüm 4.1.1 ve Bölüm 4.7.2). Benzer olarak numunelerin zamana karşı sönüm değerlerindeki azalma da dikkate alınıp her bir numune için sönüm katsayıları kullanılarak kaza dozunun değerlendirilmesinde kullanılmıştır (Bölüm 4.2.1, Bölüm 4.7.3). TL durumunda numuneler için termal sönümlenmenin varlığı incelendiğinde seramik tırnak törpüsü ve kül tablası hariç bütün materyallerde termal sönümlenme olayı gözlenmiştir (Bölüm 4.3). Bundan dolayı termal sönümlenmeye uğrayan malzemelerin ısıtma işleminde düşük ısıtma hızları ile okuma yapılarak doz değerlendirilmesinin yapılması önerilmektedir. Ayrıca hem TL hem OSL durumunda numunelerin için doz cevap grafikleri oluşturularak lineer doz aralıkları ve minimum dedekte edilebilen doz değerleri belirlenmiştir (Bölüm 4.8). Bunun sonucunda OSL yöntemi ile elde edilen doz aralığının TL (ÇTY) yöntemine göre daha geniş bir doz aralığında lineer davranış gösterdiği (Çizelge 4.18) ve minimum dedekte edilebilir dozların da daha küçük olduğu görülmüştür (Çizelge 4.24). Son olarak, TL ışınma eğrileri dekonvülsiyon tekniği ve

farklı ısıtma hızları yöntemi ile analiz edilmiştir. Bunun sonucunda elde edilen TL kinetik parametrelerinin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür (Çizelge 4.9). Dekonvolüsyon işlemi için yapılan analizlerde bütün ışınlamalar sonucunda elde edilen TL ışım eğrilerinin piklerine ayrıştırılması sürecinde piklerin maksimum sıcaklığının ve kinetik parametrelerinin uyumlu şekilde belirlenebilmesi için çok fazla dikkat ve çaba sarf edilmesi gerekmektedir.

İncelenen numunelerin kaza dozimetresi çalışmalarında uygunluğu TL (TTY) yöntemine göre incelenmiş ve bunun sonucunda cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni, kumbara ve porselen kül tablası numunelerinden doz değerlerinin TLD-100 dozimetrelerden elde edilen doz değerleri ile kıyaslandığında büyük sapmalar göstermiştir. Bunun sebebinin TTY yönteminde uygulanan art arda ışınlama ve ısıtma işlemleri sonucunda materyalin hassasiyetinin değişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna karşın, numuneler ÇTY yöntemine göre incelendiğinde elde edilen doz değerlerinin TLD-100 dozimetrelerden elde edilen değerlerle daha uyumlu olduğu görülmüştür. Bu nedenle araştırılan numunelerden kaza dozunun hesaplanması için ÇTY yönteminin TTY yöntemine göre daha avantajlı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak bu malzemeler ile doz değerlendirmesi yapılmak istendiğinde ÇTY yönteminin kullanılması önerilmektedir.

OSL yöntemine göre numuneler incelendiğinde namaz mührü numunesi hariç diğer numuneler ile kaza dozunun belirlenebileceği görülmüştür (Çizelge 4.24). Araştırılan numunelerden OSL yöntemine göre; porselen şekerlik, seramik tırnak törpüsü ve sigorta porseleni numunesi; TL (ÇTY) yöntemine göre ise cila maddesi içeriksiz yapay diş porseleni, namaz mührü, kumbara ve porselen kül tablası numuneleri TLD-100 değerleri ile büyük oranda uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca cila maddesi içerikli yapay diş porseleni numunesi için hem TL (ÇTY) hem de OSL (TTY) yönteminden elde edilen doz değerlerinin TLD-100'ler ile elde edilen değerle yaklaşık eşit olduğu görülmüştür. Fakat porselen bazlı şekerlik ve kül tablası numuneleri aynı markaya ait olmalarına rağmen hem TL hem OSL tekniği ile elde edilen doz-cevap grafikleri, lineer davranış gösterdikleri doz aralıkları, elde edilen kaza doz değerleri ve XRD sonuçları birbirinden farklı çıkmıştır. Bu farklılığın sebebinin üretim aşamasında uygulanan farklı tekniklerin kristal yapı ve lüminesans merkezleri üzerindeki etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu da her malzemenin dozimetrik özelliklerinin karakteristik olduğunu göstermektedir.

Tez kapsamında bir kaza senaryosu tasarlanmış ve kaza mahallinde erkek ve bayan Rando fantomlarının etkin organ (akciğer ve kalın bağırsak) dozları iki yöntemle hesaplanmıştır. İlk yöntem fantomların cilt bölgelerinde konulmuş TLD-100'lerden eşdeğer doz (H_T) hesaplanmış olup sonra organ ağırlık faktörlerini dahil ederek etkin organ dozları elde edilmiştir. İkinci yöntem olarak fantomların organ içerisinde konulmuş TLD-100'ler ile doğrudan organ dozları hesaplanmıştır (Çizelge 4.22). Her iki yöntem ile elde edilen değerler erkek Rando fantomu için 40 kat ve bayan için ise 26 kat fark daha fazla olduğu görülmüştür. Bu farkın sebebinin kaza senaryosunda kullanılan $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta kaynağının geometrisinin (silindirik, çap 1cm, kalınlık 1mm) ve fantom gövdelerinin farklı katı açılarda ışınlandığı düşünülmektedir.

Tez çalışmasında incelenen malzemelerin lüminesans teknikler kullanılarak kaza dozimetri çalışmaları kullanılabilir oldukları görülmüştür. Bu amaçla maruz kalınan dozun değerlendirilebilmesi için yoğun ve dikkatli analiz gerekmektedir. Bu tez ile çevrede bulunması muhtemel olan birçok farklı malzemenin bir arada incelenmesi ve aynı zamanda bu malzemelerin TL ve OSL yöntemlerinin her ikisinin kullanılması sayesinde literatüre kaza dozimetri alanında önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aitken, M. J. 1998. An Introduction to Optical Dating. Oxford University Press, 280 p., Oxford.
- Akselrod, M.S., Larsen, N.A., Whitley, V. and McKeever, S.W.S., 1998. Thermal quenching of F-center luminescence in $Al_2O_3:C$. Journal of Applied Physics, 84, 3364-3373
- Aşlar, E., Meriç, N., Şahiner, E., Kitis, G. and Polymeris, G.S., 2017. Calculation of thermal quenching parameters in BeO ceramics using solely TL measurements. Radiation Measurements, 103, 13–25.
- Atlıhan, M.A. 2008. Ege çöküntü sistemindeki bazı deprem izlerinin lüminesans yöntemiyle incelenmesi. Doktora tezi. Ankara üniversitesi, 106 s., Ankara.
- Aydaş, C., Ülkü, R., Birol, E. and Polymeris, G.S. 2016. Dosimetric and kinetic characteristics of watch glass sample. Radiation Measurements, 85, 78-87.
- Andersen, C. E., Aznar, M. C., Bøtter-Jensen, L., Bäck, S. J., Mattsson, S. and Medin, J. 2003. Development of optical fibre luminescence techniques for real time in vivo dosimetry in radiotherapy. In Standards and Codes of Practice in Medical Radiation Dosimetry (Proc. Int. Symp. Vienna, 2002), Vienna. IAEA.
- Bailif, I. K., 1995. The use of ceramics for retrospective dosimetry in the chernobyl exclusion zone. Radiation Measurements, 25, 507-511
- Banerjee, D., Bøtter-Jensen, L. and Murray, A. S. 1999. Retrospective dosimetry: Preliminary use of the single-aliquot regeneration SAR protocol for the estimation of the equivalent dose in quartz from young house bricks. Radiation Protection Dosimetry, 84,421-427.
- Banerjee, D., Bøtter-Jensen, L. and Murray, A. S. 2000. Retrospective dosimetry: Estimation of the dose to quartz using the single-aliquot regenerative-dose protocol. Applied Radiation Isotopes, 52,831-844.
- Balian, H.G. and Eddy, N.W., 1977. Figure-of-merit (FOM), an improved criterion over the normalized chi-squared test for assessing goodness-of-fit of gamma-ray spectral peaks. Nuclear Instruments and Methods, 145, 389-395.
- Bauchinger, M. 1998. Retrospective dose reconstruction of human radiation exposure by FISH/chromosome painting. Mutation Research , 404,89-96.
- Bougrov, N. G., Göksu, H. Y., Haskell, E., Degteva, M. O., Meckbach, R. and Jacob, P. 1998. In the reconstruction of environmental doses on the basis of thermoluminescence measurements in the Techa riverside. Health Physics, 75,574-583.

- Bøtter-Jensen, L., McKeever, S.W.S. and Wintle, A.G., 2003. *Optically Stimulated Luminescence Dosimetry*. Elsevier, 374 p., Amsterdam.
- Bøtter-Jensen, L. 2000. Development of optically stimulated luminescence techniques using natural minerals and ceramics, and their application to retrospective dosimetry. DSc. Thesis. University of Copenhagen, 185 p., Copenhagen.
- Bøtter-Jensen, L., Markey, B. G., Poolton, N. R. J. and Jungner, H. 1996. Luminescence properties of porcelain ceramics relevant to retrospective radiation dosimetry. *Radiation Protection Dosimetry*, 65,369-372.
- Bøtter-Jensen, L. and Murray, A. S. 1999. Developments in optically stimulated luminescence techniques for dating and retrospective dosimetry. *Radiation Protection Dosimetry*, 84,307-316.
- Curie, D. ,1963. *Luminescence in Crystals*. Methuen, London.
- Discher, M. and Woda, C. 2013. Investigations of touchscreen glasses from mobilephones for retrospective and accident dosimetry. *Radiation Measurements*, 89, 44-51
- Edwards, A. A. 1997. The use of chromosomal aberrations in human lymphocytes for biological dosimetry. *Radiation Research Society*, 148,39-44.
- Franklin, A. D. and Hornyak, W. F. 1990. Isolation of the rapidly bleaching peak in quartz TL glow curves. *Ancient TL*, 8,29-31.
- Garlic, G.F.J. and Gibson, A.F. 1948. The Electron Trap Mechanism of Luminescence in Sulphide and Silicate Phosphors. *Proceedings of the Physical Society*, 60, 574-590.
- Haskell, E. H., Bailiff, I. K., Kenner, G. H., Kaipa, P. L. and Wrenn, M. E. 1994. Thermoluminescence measurements of gamma-ray doses attributable to fallout from the NevadaTest Site using building bricks as natural dosimeters. *Health Physics*, 66,380-391.
- Higashimura, T., Ichikawa, Y. and Sidei, T. 1963. Dosimetry of atomic bomb radiation in Hiroshima by thermoluminescence of roof tiles. *Science*, 139,1284-1285.
- Horowitz, Y. S. 1984. *Thermoluminescence and Thermoluminescent dosimetry*, CRC Press. 232 p., Michigan.
- Hoogenstraaten, W., 1958. Electron traps in ZnS phosphors, *Research laboratory of N. V. philips*, 13, 515- 693.
- Hütt, G., Brodski, L., Bailiff, I. K., Göksu, Y., Haskell, E. H., Junger, H. and Stoneham, D. 1993. Accident dosimetry using environmental materials collected from regions downwind of Chernobyl: a preliminary evaluation. *Radiation Protection Dosimetry*, 47,307-313.

- Hütt, G., Jaek, I. and Tchonka, J. 1988. Optical dating: K- feldspars optical response stimulation spectra. *Quaternary Science Reviews*, 7,381-385.
- Huston, A. L., Justus, B. L., Falkenstein, P. L., Miller, R., Ning, H. and Altemus, R. 2002. Optically stimulated luminescent glass optical fibre dosimeter. *Radiation Protection Dosimetry*, 101, 23-26.
- IAEA 109, 1999. International Atomic Energy Agency Safety Report Series 109, Generic Procedures for Monitoring in a Nuclear or Radiological Emergency.
- IAEA and WHO 4, 1998. International Atomic Energy Agency and World Health Organization Safety Report Series 4, Planning the Medical Response to Radiological Accidents.
- ICRU 68, 2002 . The International Commission on Radiation Units and Measurements Report 68, Retrospective Assessment of Exposures to Ionising Radiation.
- Karaoglou, A. and Chadwick, K. H. 1998. Health consequences of Chernobyl and other radiation accidents. *Radiat Environ Biophys.*, 37,1-9.
- Kitis, G., Gomez-Ros, J. M. and Tuyn, J. W. N. J. 1998. Thermoluminescence glow curve deconvolution functions for first, second and general order kinetics. *Indian Journal of Pure and Applied Physics.*, 31, 2636–2641.
- Larsen, N. A. 1999. Dosimetry based on thermally and optically stimulated luminescence. PhD. thesis, University of Copenhagen, 235p., Copenhagen.
- Levy, P. W. 1985. Thermoluminescence kinetics in materials exposed to the low doses applicable to dating and dosimetry. *Nuclear Tracks Radiation Measurements*, 10, 547- 556.
- May, C.E. and Partridge, J.A. 1964. Thermoluminescence Kinetics of Alpha- Irradiated Alkali Halides. *The Journal of Chemical Physics*, 40,1401.
- McKeever, S. W. S. 1985. Thermoluminescence of Solids. *Geological Magazine*, 123, 471-472.
- McKeever, S. W. S. 2001. Optically stimulated luminescence dosimetry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 184, 29-54.
- Meckbach, R. and Chumak, V. 1996. Reconstruction of the external dose of evacuees from contaminated areas based on simulation modelling. First International Conference of the European Commission, Belarus, Russian Federation and Ukraine on the Radiological Consequences of the Chernobyl Accident, proceedings, 18-22.
- Meriç, N., Şahiner, E., Baris, A. and Polymeris, G.S., 2015. Thermoluminescence Properties of Irradiated Commercial Color Pencils for Accidental Retrospective Dosimetry. *Applied Radiation and Isotopes*, 99, 97-104.

- Mott, N. F. and Gurney, R. W. 1948. *Electronic Processes in Ionic Crystals*. Oxford University Press, 275 p., London.
- Nakamura, N. and Miyazawa, C. 1997. Alkaline denaturation of dentina simple way to isolate human tooth enamel for electron spin resonance dosimetry. *Radiation Measurements*, 38,173-177.
- Orise . 2000. Radiation accident registries. Oak Ridge, USA. ORISE-EHSD -REAC/TS.
- Pagonis, V. and Kitis, G., 2008. Computerized curve deconvolution analysis for LM-OSL. *Radiation Measurements*, 43, 737 – 741.
- Polf, J. C. 2002. A study of optically stimulated luminescence in Al₂O₃ fibers for the development of a real-time, fiber optic dosimetry system. Unpublished PhD. thesis, Oklahoma State University, 165 p., Oklahoma State.
- PTW Freiburg Ofen Typ 1321, Instruction manual. Freiburg, Germany.
- Randall, J.T. and Wilkins, M.H.F. 1945. Phosphorescence and Electron Traps I. The Study of Trap Distributions. *Proceedings of the Royal Society A*, 184, 365-389.
- Risø DTU, Guide to the Risø TL/OSL Reader, February, 2008. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- Roesch, W. C. 1987. US-Japan joint reassessment of atomic bomb radiation dosimetry in Hiroshima and Nagasaki Vol.1. The Radiation Effects Research Foundation, 434 p.
- Sanderson, D. C. W., Carmichael, L. A. and Fisk, S. 1998. Establishing luminescence methods to detect irradiated foods. *Food science and Technology Today*, 12, 97-102.
- Şahiner, E. and Meriç, N. 2012. Infrared Stimulated Luminescence (IRSL) properties of natural aluminum corrosion. *Geochronometria*, 3, 227-232.
- Şahiner, E., 2015. Paleosismolojik Çalışmalarda TL/OSL ve ESR Yöntemlerinin Kullanılması: Kütahya-Simav ve Kuzey Anadolu Fay Hattı. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, 216 s.,Ankara.
- Şahiner, E., 2017. TL and OSL dose response and stability properties of various commercially glass samples obtained from Turkey for dosimetric purposes in the UV emission spectral region. *Applied Radiation and Isotopes*, 128, 68-74.
- Takada, J., Hoshi, M., Rozenson, R. I., Endo, S., Yamamoto, M., Nagatomo, T., Imanaka, T., Gusev, B. I., Apsalnikov, K. N. and Tachaijunusova, N. J. 1997.

Environmental radiation dose in Semipalatinsk area near nuclear test site. Health Physics, 73, 524-527.

Thermo Fisher Scientific , 2017. Web sitesi

<https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/3500TLDDS3>

Erişim Tarihi: 20.09.2017.

Thomsen, K. J. 2004. Optically stimulated luminescence techniques in retrospective dosimetry using single grains of quartz extracted from unheated materials. Phd thesis, Danish Research Academy and Risø National Laboratory, 192p., Denmark.

Turai, I. and Veress, K. 2001. Radiation accidents: Occurrence, types, consequences, medical management, and the lessons to be learned. Review Article. 7,3-14.

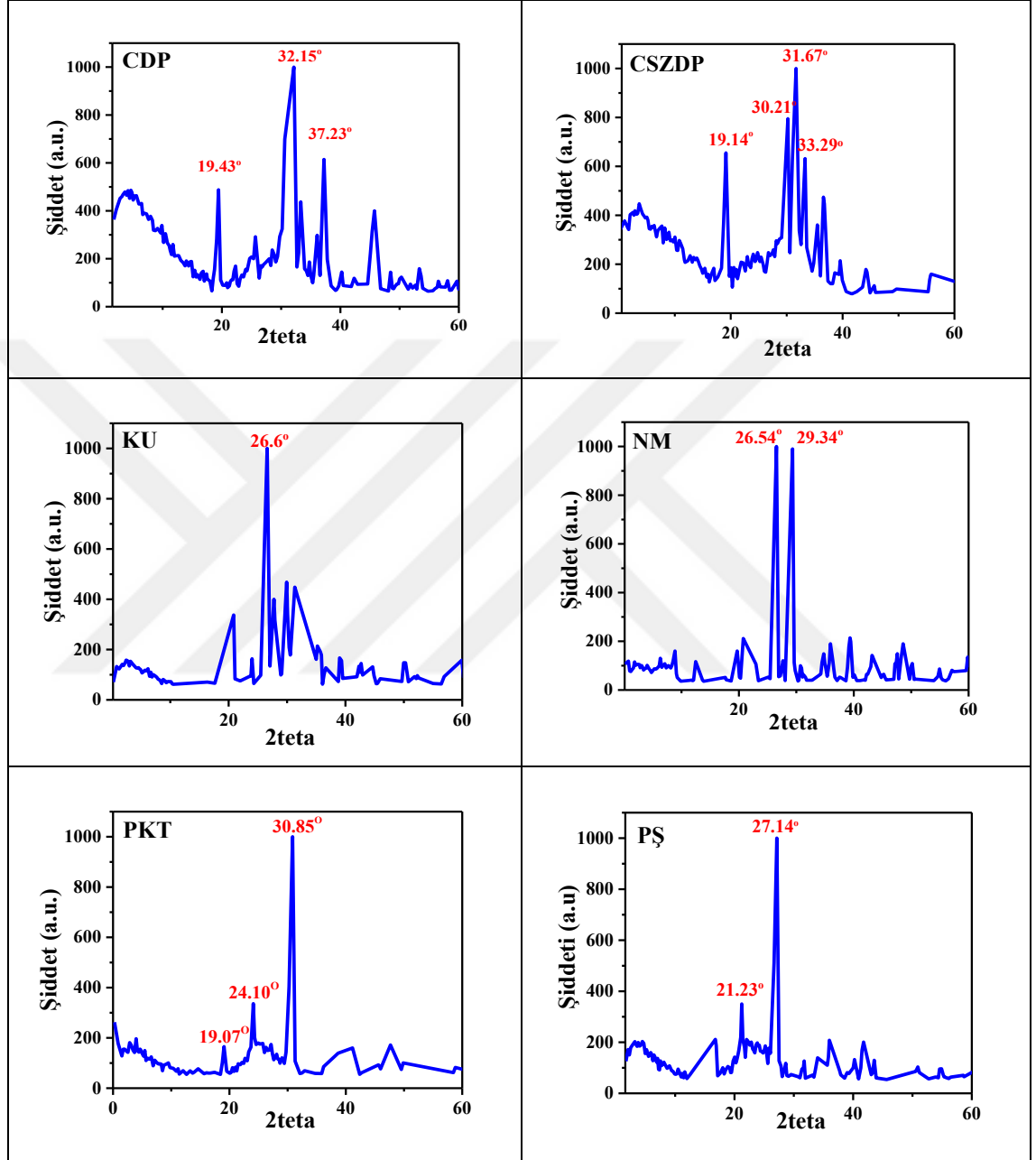
Wieser, A., Onori, S., Aragno, D., Fattibene, P., Romanyukha, A., Ignatiev, E., Koshta, A., Skvortzov, V., Ivannikov, A., Stepanenko, V., Chumak, V., Sholom, S., Haskell, E., Hayes, R. and Kenner, G. 2000. Comparison of sample preparation and signal evaluation methods for EPR analysis of tooth enamel. Applied Radiation and Isotopes, 52, 1059-1064.

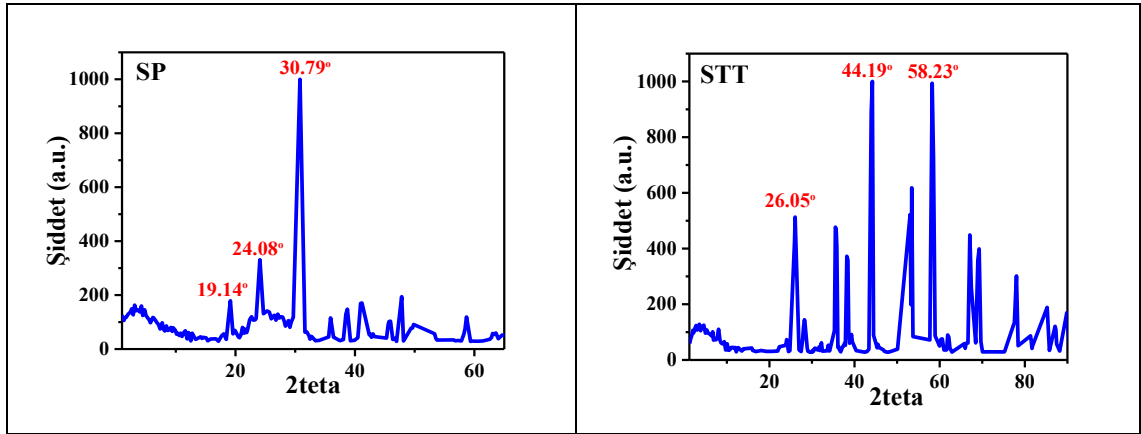
Wintle, A. G. 1975. Thermal quenching of thermoluminescence in quartz. Geophysical Journal International, 41, 107-113.

EKLER

EK 1

Numunelerin XRD analiz sonuçları





ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Sasan GERANMAYEH

Doğum Yeri: İran, Ardabil, Bilesuvar

Doğum Tarihi: 21.03.1985

Medeni Hali: :Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu:

Lise: Bilesuvar, Allame Helli (2007)

Lisans: Urmia Üniversitesi Bilim Fakültesi Nükleer fizik (2012)