

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI BOR BİLEŞİKLERİNİN DOZİMETRİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE RETROSPEKTİF DOZİMETRİ ALANINDA
KULLANIMININ İNCELENMESİ

MERVE GÜNDOĞMUŞ

SAĞLIK FİZİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

ANKARA

2015

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI BOR BİLEŞİKLERİNİN DOZİMETRİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE RETROSPEKTİF DOZİMETRİ ALANINDA
KULLANIMININ İNCELENMESİ

MERVE GÜNDOĞMUŞ

SAĞLIK FİZİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

ANKARA

2015

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Merve GÜNDOĞMUŞ tarafından hazırlanan '**Farklı Bor Bileşiklerinin Dozimetrik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Retrospektif Dozimetri Alanında Kullanımının İncelenmesi**' adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Sağlık Fiziği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Niyazi MERİÇ

Jüri Üyeleri:

Prof. Dr. Tülay SERİN

Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü



Prof. Dr. Aytunç ATEŞ

Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Malzeme Mühendisliği Bölümü



Doç. Dr. Niyazi MERİÇ

Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç. Dr. Niyazi MERİÇ

Enstitü Müdürü



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI BOR BİLEŞİKLERİNİN DOZİMETRİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE RETROSPEKTİF DOZİMETRİ ALANINDA KULLANIMININ İNCELENMESİ

MERVE GÜNDOĞMUŞ

Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

Medikal Fizik Anabilim Dalı

Sağlık Fiziği Yüksek Lisans Programı

Danışman: Doç. Dr. Niyazi MERİÇ

İyonize edici radyasyonun kullanıldığı alanlarda doz takibi son derece büyük bir önem taşımaktadır. Bu amaçla kullanılan birçok dozimetrik yöntem mevcuttur ve termolüminesans dozimetreler retrospektif dozimetri amacıyla sıklıkla kullanılırlar. Bireysel doz ölçümü veya çevresel dozun belirlenmesi gibi alanlarda kullanılmak üzere dozimetrik özellikleri iyi olabilecek yeni materyaller üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Türkiye dünyadaki bor mineralleri rezervlerinin %72'sine sahip bir ülkedir ve çeşitli bor bileşikleri halihazırda nötron dozimetrisinde kullanılmaktadır. Bor minerallerinin kullanım alanının geliştirilmesi; retrospektif dozimetri alanında ve ülkemizdeki bor minerallerinin kullanım alanının genişletilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu amaçla yapılan tezde doğal ve işlenmiş bor minerallerinden duyarlılığı yüksek olan örneklerin dozimetrik özellikleri (ışınma eğrisinin şekli, radyasyon doz cevabı,tekrarlanabilirlik) incelenmiştir.

Yapılan tez çalışmasında, Eskişehir/Kırka bölgesinden çıkarılan doğal bor minerallerinin (boraks, kernit, üleksit, kolemanit) yanı sıra Eti Maden İşletmelerinden alınan işlenmiş (Etibor-48, boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, borik asit) ve doğal (tinkal, kolemanit) mineraller kullanılmıştır. Bor mineralleri termolüminesans/optik uyarımlı lüminesans işlemlerine tabi tutularak dozimetrik özellikleri incelenmiştir. TL ışınma eğrileri, OSL azalım eğrileri, radyasyon doz cevabı eğrileri elde edilmiş ve ölçülebilir minimum doz değerleri belirlenmiştir. Ayrıca TL tekrarlanabilirliği ve örneklerin kinetik parametreleri incelenmiş ve bor minerallerinin retrospektif dozimetrede kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçların bor minerallerinden dozimetrik olarak kullanılabilirliği yüksek olan minerallerin üleksit ve kolemanit olduğu ve ölçülebilir minimum doz değerlerinin sırasıyla 21, 58, 20, 34 Gy olduğu gözlenmiştir. Boraks içeren bor minerallerinin düşük erime sıcaklığı nedeniyle özellikle TL işlemi için uygun olmadığı görülmüştür. Ayrıca Gy mertebesinde minimum ölçülebilir doz değerlerine sahip olmaları nedeniyle bor minerallerinin yüksek radyasyon dozlarının gözlendiği alanlarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

2015, 68 sayfa

Anahtar Kelimeler: Termolüminesans, Optik Uyarımlı Lüminesans, Borik Asit, Tinkal, Kolemanit, Üleksit

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF DOSIMETRIC PROPERTIES OF DIFFERENT BORON COMPOUNDS AND THEIR USABILITY IN RETROSPECTIVE DOSIMETRY FIELD

Merve GÜNDOĞMUŞ

Ankara University

Institute of Nuclear Sciences

Supervisor: Assoc. Prof. Niyazi MERİÇ

Radiation dose monitoring is extremely important in fields where ionizing radiation is used. There are a lot of dosimetric methods that are used for this purpose and thermoluminescence dosimeters are commonly used for retrospective dosimetry. There are a lot of researches to find new materials with proper dosimetric properties for either new personal dosimeters or environmental dosimeters. Turkey has the 72% of all boron mineral reserves worldwide and some boron compounds are already in use as neutron dosimeters. It's important to expand of the usage of boron minerals both for finding new materials to use in retrospective dosimetry and improving the usage of boron mineral reserves in Turkey. For this purpose, in this masters thesis natural and processed boron minerals with high radiation sensitivity are examined for their dosimetric properties (such as shapes of their glow curves, radiation dose response, changes in the dose response sensitivity).

Boron minerals used in this thesis are both natural ones which are obtained from Eskişehir/Kırka (borax, kernite, colemanite, ulexite) and Eti Maden İşletmeleri (tincal, colemanite), and processed ones which are also from Eti Maden İşletmeleri (Etibor-48, borax decahydrate, borax pentahydrate, boric acid). Dosimetric properties of boron minerals are examined by their TL/OSL results. TL glow curves, OSL decay curves, radiation dose response curves are obtained and their minimum detectable doses are determined. Also TL repeatability and kinetic parameters are examined and usability of boron minerals in retrospective dosimetry is investigated.

Obtained results show that boron minerals which are suitable to use in dosimetry field are ulexite and colemanite and their minimum detectable doses are respectively 21, 58, 20, 34 Gy. Boron minerals containing borax are not suitable for TL due to their low melting temperature. In consequence of their high minimum detectable dose values (in Gy) of boron minerals, they can be used at high radiation dose field.

2015, 68 pages

Key Words: Thermoluminescence, Optical Stimulated Luminescence, Boric Acid, Tincal, Colemanite, Ulexite

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmalarım sűresince tűm yardım ve destekleri için danıŐmanım Sayın Doç. Dr. Niyazi MERİÇ'e, Sayın Őule KAYA KELEŐ'e, Sayın Dr. George S. POLYMERIS'e; kullandıĐım örneklerin XRD ve Raman Spektroskopi analizlerini yapan Sayın Prof. Yusuf KaĐan KADIOĐLU'na ve her zaman maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyen, her adımda yanımda olan annem Sayın Fadime GŪNDOĐMUŐ'a, babam Sayın Halil GŪNDOĐMUŐ'a ve kardeŐlerim H. Őafak GŪNDOĐMUŐ ve M.Mine ERDOĐDU'ya sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 Basit Lüminesans Modeli	3
2.1.1 Optik uyarımlı lüminesans uyarım kipleri	4
2.2 Optik Uyarmalı Lüminesans Kinetiği	7
2.3 Birinci, İkinci ve Genel Mertebeden TL Kinetiği	9
2.4 Kinetik Parametrelerin Analiz Yöntemleri	15
2.4.1 Başlangıçtaki artış yöntemi	15
2.4.2 Farklı ısıtma hızlarına dayanan yöntem	16
2.4.3 Kesikli ışıma eğrisi yöntemi (T_M - T_{STOP}).....	17
2.4.4 Bilgisayarlı ışıma eğrisi ayrıştırma yöntemi	18
2.5 Isısal Sönümlenme	19
2.6 İyi Bir TL Dozimetresinin (TLD) Özellikleri	20
2.7 Geriye Dönük (Retrospektif) Dozimetre	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1 Bor Elementi ve Özellikleri	24
3.1.1. Bor Mineralleri ve Özellikleri	26
3.1.2 Bor Rezervleri ve Kullanım Alanları	26
3.2. Lüminesans Ölçüm Sistemi	32
3.2.1. Örnek Taşıyıcı (Karusel)	34
3.2.2 Işık dedeksiyon sistemi	35
3.2.3 Lüminesans uyarım sistemi.....	37
3.2.4 Beta ışınlama kaynağı.....	38
4. BULGULAR	40
4.1. Bor Mineralleri Örneklerinin Hazırlanması	40

4.2 Örneklerin X-Işını Kırınımı Analizlerine Ait Sonuçlar	42
4.3 Örneklerin Raman Spektroskopisi Sonuçları	43
4.4 Bor Mineralleri Örneklerinin Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi.....	45
4.4.1 TL ışıma eğrileri.....	45
4.4.2 TL radyasyon dozu cevabı	48
4.4.3 TL minimum ölçülebilir doz değeri.....	50
4.4.4 TL hassasiyet değişimi (tekrarlanabilirlik)	52
4.4.5 OSL azalım eğrileri.....	54
4.4.6 OSL radyasyon doz cevabı	55
4.4.7 OSL minimum ölçülebilir doz değeri	56
4.4.8 Kinetik parametrelere ait değerler.....	58
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	63
KAYNAKLAR	67

SİMGELER DİZİNİ

E	Tuzak derinliği (tuzak enerjisi)
eV	Elektron Volt
a.u	Keyfi birim
Gy	Gray
s	Frekans faktörü
TL	Termolüminesans
OSL	Optik uyarımlı lüminesans
TLD	Termolüminesans dozimetre
XRD	X-ışını difraksiyonu
τ	Tuzak ömrü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Enerji Band Modeli, (a) Serbest hale gelen elektronların yarı kararlı enerji seviyelerinde tutulması, (b) Isıtma/ışığa maruz bırakma sonucu uyarılan elektronların daha düşük enerji seviyelerine dönerken TL/OSL fotonu yayınlanması	4
Şekil 2.2 CW-OSL zaman-uyarma ışığı şiddeti değişimi grafiği	5
Şekil 2.3 LM-OSL zaman-uyarma ışığı şiddeti değişimi grafiği	6
Şekil 2.4 POSL zaman-uyarma ışığı şiddeti değişimi grafiği	7
Şekil 2.5 Parametreleri $E = 1 \text{ eV}$, $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$, $n_0 = N = 10^3 \text{ m}^{-3}$ olan birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışımaya eğrilerinin şematik olarak karşılaştırılması	11
Şekil 2.6 Parametreleri $E = 1 \text{ eV}$, $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$, $N = 10^{10} \text{ m}^{-3}$ ve (a) $n_0 = 1, 0.5, 0.1 \times 10^{10} \text{ m}^{-3}$, (b) $n_0/N = 1, 0.5, 0.1$ olan farklı başlangıçtaki tuzaklanan elektron konsantrasyonuna sahip (n_0), Eşitlik 2.14 ve Eşitlik 2.15 kullanılarak hesaplanan birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışımaya eğrileri	12
Şekil 2.7 Eşitlik 2.14'ten hesaplanan birinci mertebeden TL ışımaya eğrileri (a) $E = 1.0 \text{ eV}$, farklı frekans faktörleri s ve (b) $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$ ve farklı aktivasyon enerjileri	13
Şekil 2.8 Eşitlik 2.16 kullanılarak farklı kinetik mertebeye değerleri b için hesaplanan genel mertebeden TL ışımaya eğrisi	14
Şekil 2.9 Termoluminesans ışımaya eğrisinin başlangıçtaki artış kısmı	15
Şekil 2.10 TL ışımaya eğrisinin başlangıçtaki artış kısmına uygulanan başlangıçtaki artış yöntemi	16
Şekil 2.11 Kuvars örneğine ait ışımaya eğrisinin CGCD programı ile ışımaya tepelerinin ayrıştırılması	18
Şekil 3.1 Dünya bor rezervlerinin dağılımı (2012) (http://www.boren.gov.tr/tr , 2015) .	27
Şekil 3.2 Türkiye bor yatakları haritası (http://www.mta.gov.tr/v2.0/index.php , 2015) .	28
Şekil 3.3 Risø TL/OSL okuyucunun şematik gösterimi	32
Şekil 3.4 Risø TL/OSL Sistemi	33
Şekil 3.5 Örnek diskleri ve planşetleri (solda), örnek karuseli (sağda)	34
Şekil 3.6 Kullanılan optik filtreler	35
Şekil 3.7 RISØ TL/OSL okuyucuda kullanılan optik filtrelerin geçirgenlik spektrumları (Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü Optik Araştırma Laboratuvarı'ndaki UV-1800 model Shimadzu marka cihaz kullanılarak filtrelerin geçirgenliği 190-1100 nm dalga boyu aralığında incelenmiştir.)	36
Şekil 3.8 a) Isıtıcının ölçüm pozisyonundaki resmi, b) Karuselinde yerleştirildiği a) ile aynı ısıtıcının resmi	37
Şekil 3.9 OS� birimindeki IR ve mavi LED'i beraber gösteren şematik diyagram	38
Şekil 3.10 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ Beta ışınlayıcı şematik diyagramı	39
Şekil 4.1 Örnek hazırlama işlemi	40
Şekil 4.2 Üleksit'e ait XRD analiz sonucu (Ölçümler Prof.Dr. Yusuf Kaan Kadioğlu'nun laboratuvarında yapılmıştır.)	42
Şekil 4.3 Kolemanit'e ait XRD analiz sonucu (Ölçümler Prof.Dr. Yusuf Kaan Kadioğlu'nun laboratuvarında yapılmıştır.)	43
Şekil 4.4 Üleksit'e ait ışımaya eğrisi (1024 Gy)	46

Şekil 4.5 Üleksit'e ait ışımaya eğrisi (0,5-1024 Gy)	46
Şekil 4.6 Kolemanit'e ait ışımaya eğrisi (1024 Gy)	47
Şekil 4.7 Kolemanit'e ait ışımaya eğrisi (0,5-1024 Gy)	47
Şekil 4.8 Üleksit 150°C civarındaki pike ait radyasyon doz cevabı eğrisi	48
Şekil 4.9 Üleksit 300°C civarındaki pike ait radyasyon doz cevabı eğrisi	49
Şekil 4.10 Kolemanit 150°C civarındaki pike ait radyasyon doz cevabı eğrisi	49
Şekil 4.11 Kolemanit 300°C civarındaki pike ait radyasyon doz cevabı eğrisi	50
Şekil 4.12 Üleksit 150°C civarındaki pike ait minimum ölçülebilir doz değeri grafiği .	51
Şekil 4.13 Üleksit 300°C civarındaki pike ait minimum ölçülebilir doz değeri grafiği .	51
Şekil 4.14 Kolemanit 150°C civarındaki pike ait minimum ölçülebilir doz değeri grafiği	52
Şekil 4.15 Kolemanit 300°C civarındaki pike ait minimum ölçülebilir doz değeri grafiği	52
Şekil 4.16 Üleksit'e ait TL hassasiyetindeki değişim miktarı grafiği	53
Şekil 4.17 Kolemanit'e ait TL hassasiyetindeki değişim miktarı grafiği	53
Şekil 4.18 Üleksit'e ait OSL azalım eğrileri	54
Şekil 4.19 Kolemanit'e ait OSL azalım eğrileri	55
Şekil 4.20 Üleksit'e ait OSL radyasyon doz cevabı eğrisi	56
Şekil 4.21 Kolemanit'e ait OSL radyasyon doz cevabı eğrisi	56
Şekil 4.22 Üleksit'e ait minimum ölçülebilir doz değeri grafiği	57
Şekil 4.23 Kolemanit'e ait minimum ölçülebilir doz değeri grafiği	58
Şekil 4.24 Üleksit'e ait 330°C'deki $\ln(I)-1/kT$ grafiği	59
Şekil 4.25 Üleksit'e ait tuzak aktivasyon enerjileri	60
Şekil 4.26 Kolemanit'e ait tuzak aktivasyon enerjileri	60
Şekil 4.27 Üleksit'e ait ayrıştırılmış TL pikleri	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Bor elementine ait fiziksel özellikler	25
Çizelge 3.2 Bor elementine ait atomik özellikler	25
Çizelge 3.3 Yapılan tez çalışmasında kullanılan bor minerallerine ait özellikler	26
Çizelge 4.1 Örneklerde fırınlama sonrası gözlenen fiziksel değişikliklere ait çizelge ...	41
Çizelge 4.2 Üleksit'e ait Raman spektroskopisi sonuçları	44
Çizelge 4.3 Kolemanit'e ait Raman spektroskopisi sonuçları	45
Çizelge 4.4 Üleksit ve kolemanite ait kinetik parametre değerleri	62
Çizelge 4.5 Üleksit'e ait kinetik parametre değerleri	63

1. GİRİŞ

İyonize edici radyasyonun kullanıldığı alanlarda belirli bir süre içerisinde hangi miktarda radyasyona maruz kalındığının bilinmesi bir zorunluluktur. Yalnızca bu alanlarda çalışan personelin değil, ışınlanan her türlü materyalin maruz kaldığı radyasyon miktarı çeşitli dozimetreler vasıtasıyla düzenli olarak ölçülmektedir. Ayrıca nükleer herhangi bir kaza sonucunda kaza alanında bulunan kişilerin; kaza alanına bağlı olarak toprağın, suyun, tarım ürünlerinin kaza sonucu hangi miktarlarda radyasyona maruz kaldığının bilinmesi gerekir. Dozimetri için birçok farklı yöntem ve materyal kullanılabilir. Lüminesans özelliği gösteren materyaller bu alanlarda oldukça sık kullanılan dozimetre çeşitlerindedir. Birçok mineral ile termolüminesans (TL) ve optik uyarımlı lüminesans (OSL) yöntemleri kullanılarak retrospektif doz ölçümü yapılabilmektedir. İlgili özelliklere sahip minerallerin farklı kimyasal yapıları dolayısıyla radyasyona karşılık verdiği yanıtın farklı olması nedeniyle farklı alanlarda dozimetre olarak kullanılması mümkündür. Kullanılacak doz aralığında materyalin lüminesans veriminin yüksekliği, artan radyasyon dozu ile lüminesans şiddetindeki artışın lineer olması, tekrarlanan ölçümlerde lüminesans hassasiyetinin değişmemesi, tuzakların oda sıcaklığında belirli bir süreden önce kendiliğinden boşalmaması vb. özellikler bir materyalin dozimetre olarak kullanılabilmesi için gerekli şartları taşıyıp taşımadığı araştırılırken dikkate alınması gereken özelliklerdir. Dozimetre olarak kullanılması amacıyla daha verimli, ucuz ve kolay elde edilebilir yeni malzemelerin bulunması için çalışmalar bütün dünyada yoğun bir şekilde sürdürülmektedir.

Türkiye, dünyadaki bor mineralleri rezervlerinin %72,5 'ine sahip bir ülkedir (Anonim 2012). Bor mineralleri hâlihazırda sanayide, tarım, enerji ve sağlık sektörlerinde uzun yıllardır birçok amaçla kullanılmaktadır. Dozimetri alanında ise bor, nötron soğurma tesir kesitinin yüksek olması nedeniyle nötron dedeksiyonu amacıyla da kullanılmaktadır. Bunun için mineraller çeşitli kimyasal işlemlerden geçirilerek hazırlanırlar. Yapılan çalışmada işlenmiş minerallerin yanısıra, hiçbir işlemde geçirilmemiş doğal bor mineralleri de kullanılarak materyalin dozimetrik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan minerallerin retrospektif dozimetri amacıyla kullanımının uygunluğu da incelenmiştir. Bor minerallerinin kullanım alanının geliştirilmesi ve retrospektif dozimetri alanında kullanım uygunluğunun incelenmesi ülkemizdeki bor minerallerinin kullanım alanının genişletilmesi açısından önem taşımaktadır.

Hâlihazırda kullanılan bor içerikli dozimetrelere ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ -TLD 800) ek olarak daha düşük radyasyon dozunun ölçülebildiği yeni malzemelerin geliştirilmesi ülkemizin de bu piyasaya girmesi açısından oldukça önemli bir adım olacaktır.

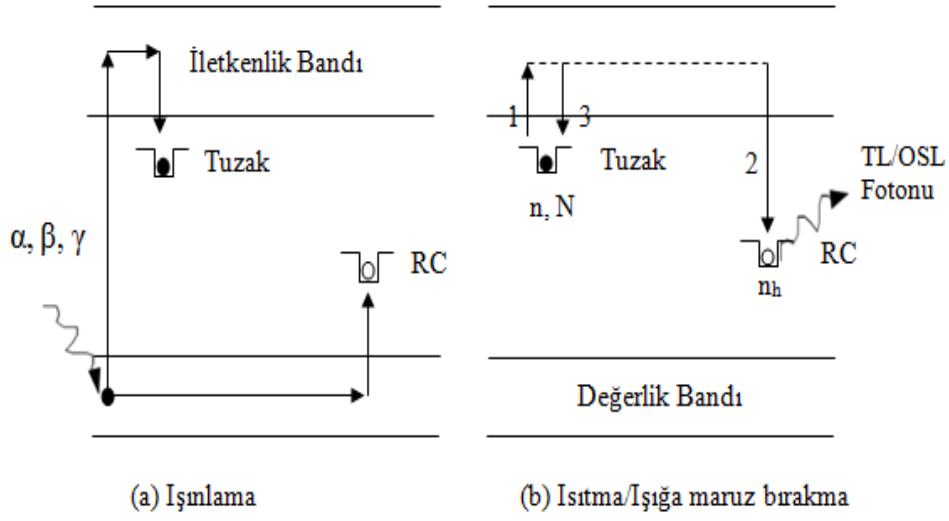
2. KURAMSAL TEMELLER

Katıların bant teorisine göre, ideal olmayan yalıtkan ya da yarı iletken bir kristalde değerlik ve iletken bantlar arasında safsızlıktan kaynaklanan yasak enerji seviyeleri bulunmaktadır. Kristal iyonize edici radyasyona maruz bırakıldığında radyasyon enerjisi ile değerlik bandından kopan elektronlar bu yasak enerji seviyelerinde tuzaklanırlar. Tuzaklanan bu elektronların ısı yolu ile tuzaklardan ayrılıp rekombinasyon merkezlerinde deşikler ile birleşmeleri ile ışıma (lümİnesans) yapmalarına termolümİnesans adı verilmektedir. Lümİnesansın malzemenin sıcaklığının artırılması yerine ışık ile uyarılması sonucu elde edilmesine ise optik uyarımlı lümİnesans (OSL) adı verilmektedir.

2.1 Basit Lümİnesans Modeli

Işınlanmış bir maddenin ısıtıldığında/ışık ile uyarıldığında ışık yayması işlemi sadece iki lokalize enerji seviyesi içeren basit bir modelle anlaşılabilir. Bu modele göre tek tuzak (T), tek yeniden birleşme merkezinin (RC) olduğu ifade edilir (One Trap-One Recombination Centre, OTOR). Bu durumda Şekil 2.1'de gösterildiği gibi N kristaldeki tuzakların toplam konsantrasyonu (m^3), $n(t)$ t zamanı içinde kristaldeki doldurulan tuzakların konsantrasyonu ve $n_h(t)$, yeniden birleşme merkezlerindeki deşik tuzaklarının konsantrasyonudur. Başlangıçta $t=0$ anındaki dolu olan tuzakların konsantrasyonu n_0 olarak gösterilirse, bir termolümİnesans/optik uyarımlı lümİnesans ölçümü sırasında örneklerin belirli bir sıcaklığa lineer artan bir hızla ($\beta=dT/dt$) ısıtılarak sıcaklığın arttırılması veya örneklerin belirli bir dalga boyuna sahip ışığa maruz bırakılması tuzaklardan iletim bandına geçen elektronların sayısını da arttırır (geçiş 1). Yarı iletkenlerde iletim bandına geçen elektronlar ya yeniden birleşme merkezi (RC) ile birleşebilir (geçiş 2) ya da tekrar tuzaklanabilirler (geçiş 3), (Şekil 2.1). Bu durumda yayılan ışığın şiddeti (I_t) aşağıdaki şekilde ifade edilir (Eşitlik 2.1):

$$I_t = -\frac{dn_h}{dt} \quad (2.1)$$



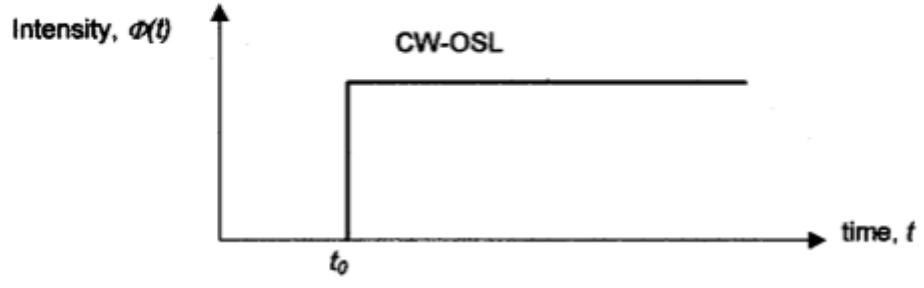
Şekil 2.1 Enerji Band Modeli, (a) Serbest hale gelen elektronların yarı kararlı enerji seviyelerinde tutulması, (b) Isıtma/ışığa maruz bırakma sonucu uyarılan elektronların daha düşük enerji seviyelerine dönerken TL/OSL fotonu yayınlaması

2.1.1 Optik uyarımlı lüminesans uyarım kipleri

OSL işlemi uygulanan bir malzemenin azalım eğrileri elde edilirken, malzeme yapısına uygun olarak seçilen dalga boyundaki ışık ile birden fazla yöntem kullanılarak uyarılabilir.

a) Sürekli dalga uyarımı ile OSL (CW-OSL)

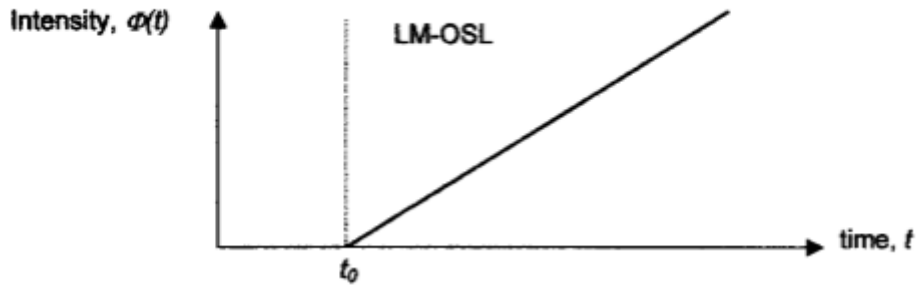
Sürekli Dalga Uyarımı ile OSL (CW-OSL) yönteminde örnek sabit şiddette ışık (Şekil 2.2) ile uyarılarak lüminesans azalım eğrisi elde edilir. OSL uyarım kipleri arasında en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Lüminesansı dedekte eden dedektöre ulaşan yayımlanan ışık ile örneğin uyarılması için kullanılan ışığın ayırt edilebilmesi için uygun filtrelerin kullanılması gerekmektedir. Tuzaklardaki elektronların sayısının azalmasına bağlı olarak lüminesans sinyalinin şiddeti uyarım zamanı ilerledikçe azalır.



Şekil 2.2 CW-OSL zaman-uyarma ışığı şiddeti değişimi grafiği

b) Doğrusal kiplenimli OSL (LM-OSL)

Atlıhan (2010) tarafından bildirildiğine göre; doğrusal kiplenimli OSL (LM-OSL) modunda (Bulur, 1996) uyarım kaynağının şiddeti I , sürekli dalga uyarımındaki gibi (CW-OSL) sabit değildir, lineer olarak I şiddetinin değeri 0'dan belli bir I şiddeti seviyesine kadar zamanla artmaktadır (Şekil 2.3). Değişen uyarım gücünün, doğrusal olarak artan TL sıcaklıklarına benzer olduğu düşünülür. Başlangıçta uyarım gücü düşük olduğunda, tuzaklanmış elektronların serbest kalma oranı çok küçüktür. Maksimum seviyeye ulaşıncaya kadar uyarım gücü ile OSL sinyali artar. Bu nedenle OSL sinyalinin şiddeti tuzaklanmış yük konsantrasyonundaki tükenmenin sonucu olarak doğrusal olmayan şekilde azalır. Uyarım zamanının fonksiyonu olarak yayımlanan OSL bir tepe noktası şeklindedir. Tepe noktası pozisyonu (zaman biriminde) uyarım kaynağının şiddetinde doğrusal artış oranına ve tuzanın boşaltılırken fotoiyonizasyon tesir kesit oranına bağlıdır. Verilen bir eğim oranı (ışığın örnek üzerine geliş açısı) için tuzaklar farklı fotoiyonizasyon tesir kesidi değerleri ile farklı zamanlarda açığa çıkar ve metot farklı tuzaklardan OSL'nin geliş noktası (lüminesansın geldiği kaynak) arasında farklılıklar ortaya koyar.

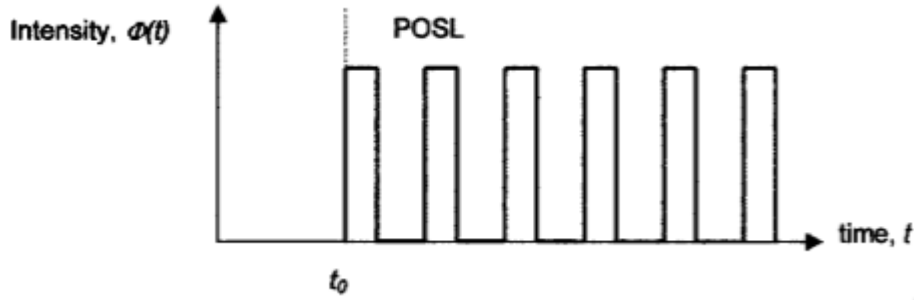


Şekil 2.3 LM-OSL zaman-uyarma ışığı şiddeti değişimi grafiği

c) Atmalı OSL (POSL)

POSL için kullanılan ışık kaynağı kesikli ışık yayınımına sahip bir kaynaktır. Diğer OSL yöntemlerinde olduğu gibi sürekli değildir. Başka bir deyişle, yayımlanan ışık dalgadaki bir atma gibi davranıp maksimum ve minimum şiddet değerlerine sahiptir. Bu tarz bir ışık kaynağı atımlı uyarım kaynağı olarak adlandırılabilir (Şekil 2.4). Bu atım sonunda gözlenen OSL sinyali şiddetinin uyarımın ardından ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Atım var olduğu sürece yayılım algılanmadığı için, bu ayarlama sayesinde, kullanılabilir uyarım kaynaklarının dalga boylarının menzili genişletilebilir. Atımlı uyarım sırasında ışık yayılımı aletsel olarak gözlenmemektedir. Buna rağmen yapılan son analizlerin gösterdiğine göre, daha kısa atımlar şeklindeki uyarımlar için atım sonrası yayınlanan ışık miktarı, atım sırasında yayımlanan ışık miktarından daha büyüktür. (McKeever, 1996a)



Şekil 2.4 POSL zaman-uyarma ışığı şiddeti değişimi grafiği

2.2 Optik Uyarmalı Lüminesans Kinetiği

Radyasyon ışınlamasına maruz kalmış bir materyal sabit ışık şiddeti (CW-OSL) ile uyarıldığı zaman, tuzaklanmış elektronlar ışık enerjisini alarak serbest hale geçerler. Serbest hale geçen elektronlar ışımlı elektron-deşik tekrar-birleşmeleri ile lüminesans ışımaya gerçekleştirirler. Uyarma süresince tuzaklanan elektron sayısı giderek azalacağından lüminesans sinyali de azalır. OSL modeli bu düşünceden yola çıkılarak geliştirilmiştir. Tuzaklanma ve tekrar-birleşmede sadece elektronlar düşünülür. Bütün yük geçişlerinin iletim bandı yoluyla gerçekleştiği ve yeniden birleşme merkezine doğru her geçişin ışımlı yeniden-birleşme ile sonuçlandığı farz edilir. Tuzaktaki bir elektronun sabit bir ışık şiddeti ile uyarılması sonucu elektronun birim zaman başına tuzaklanmış durumdan ayrılma olasılığı (optik uyarma için olasılık fonksiyonu), foton akısı Φ (foton/m² s) ile orantılıdır .

$$p(E_0) = \phi\sigma(E_0) \quad (2.2)$$

Burada E_0 tuzaktan elektronu çıkarmak için uyarma ışığının sahip olması gereken eşik enerji değeri ve $\sigma(E_0)$ gelen bir ışık fotonunun tuzakla etkileşmesini ifade eden

fotoiyonizasyon tesir kesitidir (m^2). Fotoiyonizasyon tesir kesiti, uyarma için kullanılan ışık fotonlarının enerjisi E_0 'ı aştığında ortaya çıkar. Dolayısıyla uyarma amaçlı kullanılan ışığın şiddeti ve enerjisi, olasılık fonksiyonu ile orantılıdır. σ , uyarma ışığının dalga boyuna güçlü bir şekilde bağlıdır fakat basitlik için uyarma ışığının tek renkli olduğu farz edilir. OSL şiddeti, dışarıdan ışıkla uyarma esnasında tuzaklardan kurtulan elektronların salınma hızı ile ters orantılı ve tuzaklardaki elektron yoğunluğu (n) ile doğru orantılıdır.

$$I_{OSL}(t) = -\frac{dn}{dt} = pn \quad (2.3)$$

Burada p optik uyarma için olasılık fonksiyonudur. Eşitlik 2.3'ün integrasyonu,

$$\frac{dn}{n} = -pdt \quad (2.4)$$

$$n(t) = n_0 \exp(-pt) \quad (2.5)$$

$$I_{OSL}(t) = n_0 \exp(-pt) \quad (2.6)$$

$$p = \frac{1}{\tau} \quad (2.7)$$

$$I_{OSL}(t) = I_0 \exp(-t / \tau) \quad (2.8)$$

şeklinde birinci dereceden çözüm verir. Burada I_0 , $t = 0$ anındaki OSL şiddeti; τ , $1 / \sigma \Phi$ ile verilen karakteristik bozunma zamanı; Φ ise uyarma ışığının foton akısıdır (Botter-Jensen vd. 2003). Herhangi bir materyal doğal olarak bir tuzak tipinden daha fazlasını içerebilir. Materyaldeki bütün tuzaklar uyarıldığında eş zamanlı olarak OSL sinyali üstel bozunumların toplam serisi (eğer birinci dereceden çözüm mümkünse) olarak düşünülebilir. Bu durum materyalin optik uymaya duyarlı tuzak dağılımına sahip olduğunda gerçekleşir. Bu durumda,

$$I_{OSL}(t) = \sum_{i=0}^m I_{i0} \exp(-t / \tau_i) \quad (2.9)$$

yazılabilir. Burada m farklı tesir kesitine sahip optik tuzak tiplerinin sayısıdır. Bøtter-Jensen (2000) kuvarsdan elde edilen OSL eğrilerinin genellikle hızlı, orta ve yavaş

olmak üzere üç üstel bileşenden oluştuğunu rapor etmişlerdir. Ancak bozunma eğrisinin şekli genelde üstel bir fonksiyon değildir. Eşitlik 2.9, uyarılan elektronun tekrar-tuzaklanma olasılığının ihmal edildiği durumda elde edilir. Tekrar tuzaklanma hesaba katıldığında, bu basit model için ikinci ve genel dereceden eşitlik elde edilir (Thomsen 2004). Chen ve Leung (2003), OSL bozunma eğrilerinin basit bir üstel bozunum olmadığını ve güçlü üstel olarak adlandırdıkları Eşitlik 2.10'daki ifadeye iyi fit olduğunu göstermişlerdir.

$$I_{OSL}(t) = I_0 \exp\{-(t/\tau_i)^\beta\} \quad (2.10)$$

Burada $0 < \beta < 1$ arasında bir değere sahip olabilir.

2.3 Birinci, İkinci ve Genel Mertebeden TL Kinetiği

Termoluminesans sürecini belirleyen birinci, ikinci ve genel mertebeden denklemler için sırasıyla Randall-Wilkins, Garlick-Gibson ve May-Patridge tarafından verilmiştir (Randall ve Wilkins 1945, Garlick ve Gibson 1948, May ve Patridge 1964).

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = nse^{-E/kT} \quad (2.11)$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = \frac{n^2}{N} se^{-E/kT} \quad (2.12)$$

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = n^b s' e^{-E/kT} \quad (2.13)$$

Burada,

E = aktivasyon enerjisi veya tuzak derinliği (eV)

k = Boltzmann sabiti (eV K⁻¹)

t = zaman (s)

T = mutlak sıcaklık (K)

Tipik bir deney esnasında lineer ısıtma hızı β (Ks⁻¹), örneği değişken sıcaklıklara ısıtır (T = T₀ + β t) ve:

T_0 = zamanın sıfır olduğu andaki sıcaklık (K)

s = elektron tuzağının karakteristiğini gösteren bir sabit olup frekans faktörü olarak bilinir (s^{-1}). Bu parametre örgü fononlarıyla elektronların çarpışma frekansı ile orantılıdır. Genellikle s 'nin maksimum değeri örgü titreşim frekans değerlerine karşılık gelir ve genelde $10^{12} s^{-1}$ ile $10^{14} s^{-1}$ arasında değişir.

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

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

b = kinetik merteye, genellikle 1 ile 2 arasında

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

Yukarıda verilen eşitliklerin lineer ısıtma hızı kullanıldığı düşünülerek integrali alınırsa, denklemler:

$$I(T) = n_0 \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left[-\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dT\right] \quad (2.14)$$

$$I(T) = n_0^2 \frac{s}{N} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \left(\frac{n_0 s}{\beta N}\right) \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dT\right]^{-2} \quad (2.15)$$

$$I(T) = n_0 s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \frac{s''(b-1)}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dT\right]^{-\frac{b}{b-1}} \quad (2.16)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, eklenen parametreler:

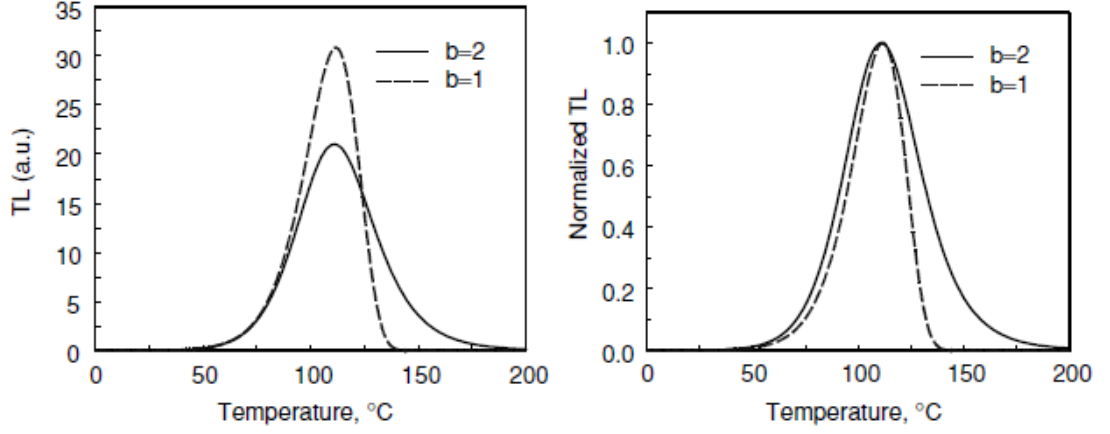
n_0 = zamanın sıfır olduğu anda tuzaklanan elektronların sayısı (m^{-3})

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

Eşitlik 2.14 ve 2.15 bazı basitleştirilen varsayımlar ile basit termoluminesans modelinden türetilmiş olmasına rağmen, genel merteye kinetiğini gösteren Eşitlik 2.16 tamamen deneyseldir ve genelde gerçek fizik modelleriyle bağlantılı değildir.

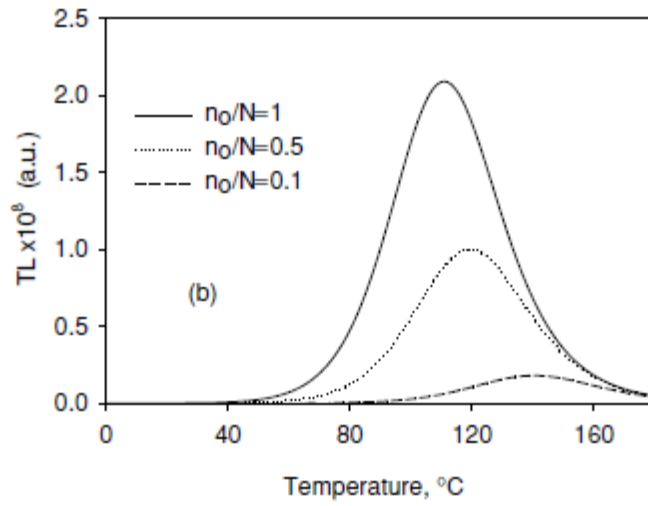
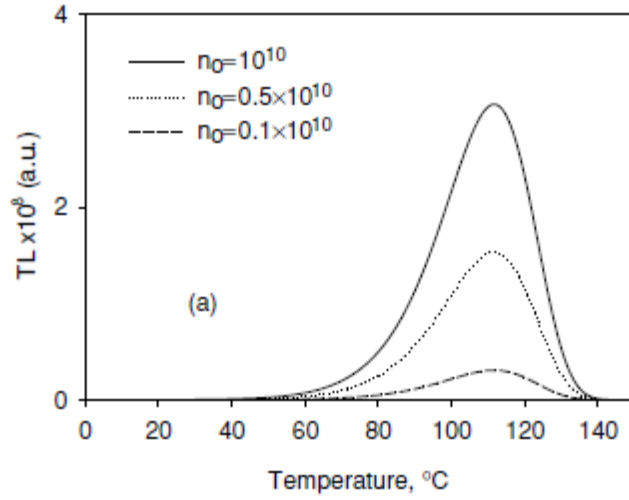
Şekil 2.5 birinci ve ikinci mertebeden kinetik için TL ışımaya eğrilerinin karşılaştırmasını gösterir. İkinci mertebeden kinetikte ışığın yayımı tekrar tuzaklanan elektronlar

tarafından geciktirilir ve bu gecikme çoğu zaman TL ışımaya eğrisinin azalan kısmında görülür.



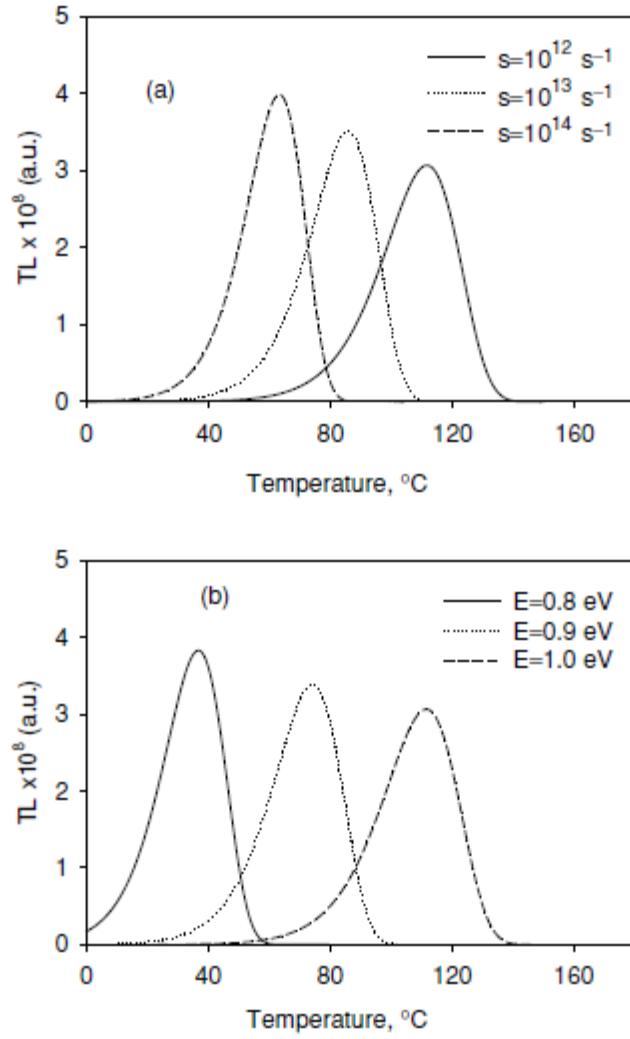
Şekil 2.5 Parametreleri $E = 1 \text{ eV}$, $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$, $n_0 = N = 10^3 \text{ m}^{-3}$ olan birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışımaya eğrilerinin şematik olarak karşılaştırılması

Şekil 2.6 Eşitlik 2.14 ve 2.15'den hesaplanan farklı birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışımaya eğrilerini ve tuzaklanan elektronlar için farklı başlangıç konsantrasyonlarını (n_0) gösterir. İkinci mertebeden TL ışımaya eğrisinde n_0 düştüğü için maksimum TL şiddetinin T_M sıcaklığı yüksek sıcaklıklara kayarken birinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışımaya eğrileri için maksimum TL şiddetinin T_M sıcaklığı, başlangıç konsantrasyonuna (n_0) bağlı değildir.



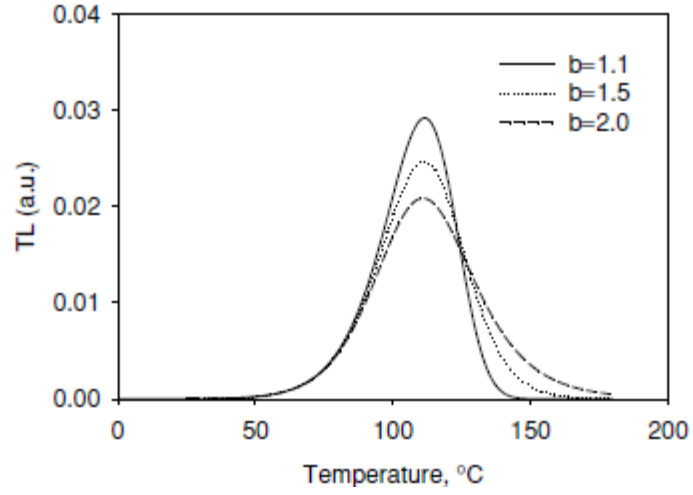
Şekil 2.6 Parametreleri $E = 1 \text{ eV}$, $s = 10^{12} \text{ s}^{-1}$, $N = 10^{10} \text{ m}^{-3}$ ve (a) $n_0 = 1, 0.5, 0.1 \times 10^{10} \text{ m}^{-3}$, (b) $n_0/N = 1, 0.5, 0.1$ olan farklı başlangıçtaki tuzaklanan elektron konsantrasyonuna sahip (n_0), Eşitlik 2.14 ve Eşitlik 2.15 kullanılarak hesaplanan birinci ve ikinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışıma eğrileri

Şekil 2.7 Eşitlik 2.14'ten farklı frekans faktörü s ve aktivasyon enerjileri E için hesaplanan farklı birinci mertebeden kinetiğe sahip TL ışıma eğrilerini göstermektedir. Aktivasyon enerjisi arttıkça veya frekans faktörünün değeri düştükçe TL ışıma eğrisi yüksek sıcaklıklara doğru kayar.



Şekil 2.7 Eşitlik 2.14'ten hesaplanan birinci mertebeden TL ışımaya eğrileri (a) $E = 1.0$ eV, farklı frekans faktörleri s ve (b) $s = 10^{12}$ s⁻¹ ve farklı aktivasyon enerjileri

Şekil 2.8 Eşitlik 2.16'dan farklı kinetik mertebeye parametrelerin değerleri $b=1.1, 1.5, 2.0$ kullanılarak hesaplanan farklı genel mertebeden TL ışımaya eğrilerini gösterir. Kullanılan parametreler $E = 1$ eV, $s = 10^{12}$ s⁻¹, $n_0 = N = 1$, $\beta = 1$ Ks⁻¹ dir.



Şekil 2.8 Eşitlik 2.16 kullanılarak farklı kinetik mertebe değerleri b için hesaplanan genel mertebeden TL ışıma eğrisi

Bir ışıma eğrisinin maksimumunu veren eşitliğin hesaplanması için Eşitlik 2.14-2.16 ifadelerinin türevi alınıp sıfıra eşitlenir:

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad (2.17)$$

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \left[1 + \left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right] \quad (2.18)$$

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E_t}{kT_M}\right) \left[1 + (b-1)\left(\frac{2kT_M}{E}\right)\right] \quad (2.19)$$

Burada T_M , maksimum TL şiddetine (I_M) karşılık gelen sıcaklıktır.

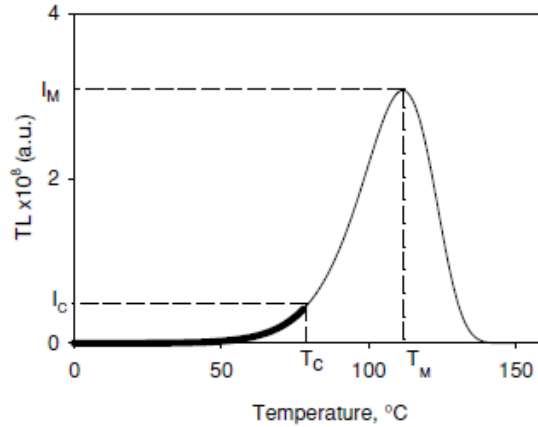
Bir TL ışımasında gözlenen her hangi bir tepenin özellikleri en fazla üç parametre ile tanımlanır, bunlar: aktivasyon enerjisi E, frekans faktörü s ve kinetik mertebe b olup farklı ölçüm teknikleri ve belirli varsayımlar kullanılarak saptanabilir. Saptanan parametrelerdeki belirsizlik de varsayımlara bağlı olarak değişir. Yaygın kullanılan bu yöntemlerden bazıları aşağıda özetlenmiştir.

2.4 Kinetik Parametrelerin Analiz Yöntemleri

2.4.1 Başlangıçtaki artış yöntemi

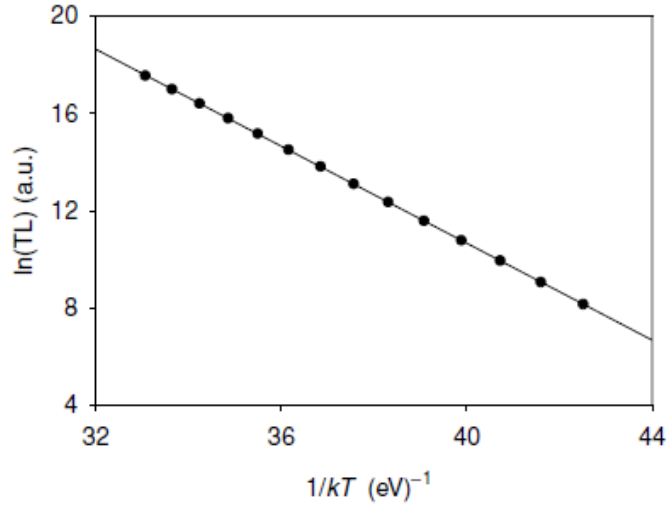
Başlangıçtaki artış yöntemi ile analiz ilk olarak Garlic ve Gibson (Garlic ve Gibson 1948) tarafından önerilmiştir. Bir TL ışımaya pikinin düşük sıcaklık kısmında tuzaklanan elektronların miktarı yaklaşık olarak sabit kabul edilebilir. Çünkü $n(T)$ 'nin sıcaklığa bağımlılığı bu sıcaklık bölgesinde ihmal edilebilir. Nitekim sıcaklık arttıkça Eşitlik 2.14'teki ilk exponansiyel kısım artarken ikinci terim sabit kalır. Bu durum, kesim sıcaklığına (T_C) kadar doğrudur, bu da maksimum TL şiddetinin (I_M)%15 inden daha küçük bir TL şiddetine I_C denk gelir. Sıcaklıktaki daha fazla artış ($T > T_C$) Eşitlik 2.14'teki ikinci terimini düşürür. Burada, $n(T)$ 'nin sabit olduğu varsayımı kullanılarak termolüminesans yayımı şu şekilde tanımlanabilir:

$$I(T) \propto \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.20)$$



Şekil 2.9 Termolüminesans ışımaya eğrisinin başlangıçtaki artış kısmı

Başlangıçtaki artış yöntemi uygulamasında çizilen $1/kT-\ln(I)$ grafiğinde lineer grafik elde edilir. Bu çizginin eğimi $-E$ 'yi verir, aktivasyon enerjisi frekans faktörü bilgisi olmadan değerlendirilir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 TL ışımaya eğrisinin başlangıçtaki artış kısmına uygulanan başlangıçtaki artış yöntemi

2.4.2 Farklı ısıtma hızlarına dayanan yöntem

Bu yöntemde göre ısıtma hızı, TL ışımaya eğrisinin karakteristik özelliklerini etkileyen bir parametredir. Isıtma hızı arttığı zaman tepe maksimum sıcaklığı yüksek sıcaklıklara doğru kayar, tüm tepeler genişler ve TL şiddet azalır. TL şiddetindeki bu azalma ısısal sönmülemekten (thermal quenching) kaynaklanır.

Bu yöntemde iki şekilde tuzak parametreleri belirlenebilir. İlk yöntemde iki farklı ısıtma hızı (Eşitlik 2.23 ve Eşitlik 2.24) ve birinci mertebeden maksimum ışımaya şartı (Eşitlik 2.14) kullanılır. Buna göre;

$$\frac{\beta_1 E_a}{kT_{M1}^2} = s \exp\left(-\frac{E_a}{kT_{M1}}\right) \quad (2.23)$$

$$\frac{\beta_2 E_a}{kT_{M2}^2} = s \exp\left(-\frac{E_a}{kT_{M2}}\right) \quad (2.24)$$

Bu iki bağıntının birbirine oranı ise Eşitlik 2.25 ile verilmektedir.

$$E_a = \ln\left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right) \left(\frac{T_{M2}}{T_{M1}}\right)^2 k \frac{T_{M2} T_{M1}}{T_{M2} - T_{M1}} \quad (2.25)$$

Eşitlik 2.25 ile aktivasyon enerjisi hesaplanır. Aktivasyon enerjisi E_a , eşitliklerin herhangi birinde yerine yazılarak frekans faktörü hesaplanır. Kullanılan ikinci yöntem ise yine Eşitlik 2.23'den yola çıkarak, farklı ısıtma hızlarına karşılık çizilen ışıma şiddetine bağlı olarak elde edilir.

$$\ln\left(\frac{T_M^2}{\beta}\right) = \left(\frac{E_a}{k}\right)\left(\frac{1}{T_M}\right) + \ln\left(\frac{sk}{E_a}\right) \quad (2.26)$$

Eşitlik 2.23'den $\ln\left(\frac{T_M^2}{\beta}\right)$, nin $\left(\frac{1}{T_M}\right)$, ye göre grafiği, eğimi $\left(\frac{E_a}{k}\right)$ olan bir doğrudur ve bu doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisi hesaplanır. Aktivasyon enerjisi Eşitlik 2.23'te yerine koyularak frekans faktörü (s) hesaplanır. Frekans değerinin hesaplanması ile tuzak ömrü Eşitlik 2.27 kullanılarak elde edilir. Bu işlem tüm tepeler için yapılır.

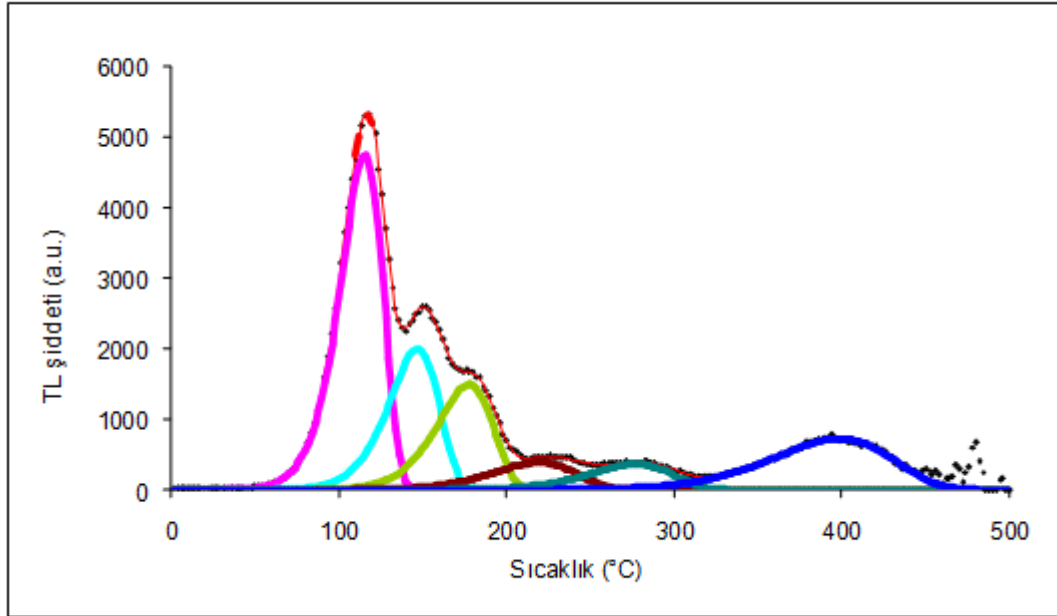
$$\tau = \frac{1}{s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)} \quad (2.27)$$

2.4.3 Kesikli ışıma eğrisi yöntemi (T_M - T_{STOP})

ışıma eğrisindeki tepelerin kinetik dereceleri kesikli ışıma eğrisi yöntemiyle de belirlenebilir. Bu yöntemde, örnek ışılandıktan sonra ilk tepenin düşük sıcaklık kısmına karşılık gelen bir sıcaklığa (T_{stop}) kadar ısıtılır. Örnek daha sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılır ve ışıma eğrisinin geri kalanını elde etmek için örnek aynı ısıtma hızında tekrar ısıtılır ve T_m belirlenir. Yöntem, yeni ışılanmış bir örnek üzerinde veya ısıtılmış/ışılanmış örnek üzerinde birçok kez tekrarlanır. T_m - T_{stop} grafiği merdiven basamağı şeklindedir. Bu yöntemle, tepelerin sayısı ve her plato bölgesi her tepenin yaklaşık konumunu, yani tepenin hangi sıcaklıkta oluştuğu belirlenir. Plato bölgesinin bitimindeki kademeli artış kinetik derecenin birden büyük olduğunu gösterir. Birinci mertebeden TL kinetiğinde ise bir sonraki plato bölgesine geçişte keskin bir artış gözlenir.

2.4.4 Bilgisayarlı ışıma eğrisi ayrıştırma yöntemi

Bilgisayarlı ışıma eğrisi ayrıştırma yöntemi (CGCD), TL ışıma eğrilerinden tuzak parametrelerini belirlemenin yöntemlerinden biridir. Işıma eğrisini analiz etmek için CIEMAT (İspanya), IRI (Hollanda) gibi bu amaçla geliştirilmiş programlar kullanılır. Programın analiz işlemini yapması için ilgili ışıma eğrisinde E, s gibi tuzak parametrelerinin en az bir tepe için girilmesi gerekmektedir. Burada asıl problem, ışıma eğrisinin kinetik mertebesinde kaynaklanır. Birinci dereceden kinetiğe sahip eğrilerde Randall-Wilkins'in yaklaşımı (Eşitlik 2.11), ikinci dereceden kinetiğe sahip eğrilerde Garlic-Gibson yaklaşımı (Eşitlik 2.12) veya genel mertebeden kinetiğe sahip eğriler için May-Partridge yaklaşımı (Eşitlik 2.13) kullanılmaktadır (Furetta 2003).



Şekil 2.11 Kuvars örneğine ait ışıma eğrisinin CGCD programı ile ışıma tepelerinin ayrıştırılması

Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken husus; bilinmeyen bir malzemedan elde edilen ışıma eğrisinin ne kadar doğru bir şekilde ayrıştırıldığıdır.

Afouxenidis vd. (2012), ışıma eğrilerinde iç içe geçmiş piklerin ayrıştırılması ve kinetik parametrelerinin belirlenmesi için Microsoft Excel programında hazırlanmış bir yöntem geliştirmişlerdir. Işıma eğrisinin ayrıştırılması için ilk adım var olduğu düşünülen her bir pik için anlamlı ancak tahmini bir enerji değerinin yanısıra; deneysel verilere

dayanan pike ait maksimum sıcaklık ve lüminesans şiddeti ile yaklaşık kinetik merteye değerlerinin girilmesidir. Elde edilen ışımaya eğrisi, deneysel ışımaya eğrisine %3'ten küçük bir hata payıyla fit edilene kadar değerler değiştirilir. Bu amaçla bir Excel eklentisi olan Solver kullanılabilir. Dekonvolüsyon sonrasında her bir pike ait E, s, b ve α değerleri elde edilir.

2.5 Isısal Sönümlenme

Isısal sönümlenme (thermal quenching), sıcaklığın artmasıyla lüminesans veriminin düşmesi olayıdır. Bahsedildiği gibi lüminesans, bir maddede önceki dış uyarılmadan sonra sistemin elektronik denge durumuna dönmesiyle oluşur. Buna rağmen, ışımaya yeniden birleşmeler enerji dağılımını gösteren tek olay değildir.

Bir maddede, ışınlama ve enerji transferinin ardından lüminesans oluşup oluşmaması, onun ışımaya ve ışımaya geçiş olasılıklarına bağlıdır. Genellikle lüminesans verimi η (önceki değerlendirmelerde sabit ve 1'e eşit kabul edilir) şu şekilde ifade edilir:

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_{nr}} \quad (2.28)$$

Burada P_r ve P_{nr} sırasıyla, ışımaya geçiş olasılığı ve ışımaya geçiş olasılığıdır (Furetta 2003).

Verim η , büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır: Belli bir sıcaklığa kadar yaklaşık sabit kalır, bu sıcaklığın üzerinde ise verim hızla düşer. Çünkü ışımaya geçiş olasılığı P_{nr} sıcaklığa Boltzmann faktörü $e^{(-W/kT)}$ ile bağlıdır, ışımaya geçiş olasılığı P_r sıcaklıkla değişmez. Böylece Eşitlik 2.29 şöyle ifade edilir:

$$\eta = \frac{1}{1 + C \cdot \exp\left(-\frac{W}{kT}\right)} \quad (2.29)$$

Burada W, ısısal sönümlenmenin aktivasyon enerjisi ve C, bir sabittir. Eşitlik 2.29 ısısal sönümlenme için Mott-Seitz modeli olarak bilinir (Mott 1948, Seitz 1940).

Isısal sönümlenme, “Başlangıçtaki Artış” ve “Farklı Isıtma Hızları” yöntemlerinde etkisini gösterir. Eğer bir tepe ısısal sönümlenmeye uğruyorsa sıcaklık bağımlılığı aşağıdaki denkleme göre ön-eksponansiyel bir faktör olarak karşımıza çıkar:

$$I_{TL}(T) = A \cdot \eta(T) \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) = \frac{A}{1 + C \cdot \exp\left(-\frac{W}{kT}\right)} \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (2.30)$$

Böylece farklı ısıtma hızları yönteminde E-W kullanılması, yalnız başına E_t 'nin kullanılmasından daha iyi üstünlük sağlar. Yukarıda eşitlik maksimum sönümün olduğu yerdeki belli sıcaklık bölgesinde baskın olarak tanımlanır. Bununla beraber başlangıçtaki lüminesans sıcaklık hızı için de farklı ısıtma hızları yöntemi, W'den daha düşük dereceler için beklenenin altında termal aktivasyon enerjisine neden olabilir.

2.6 İyi Bir TL Dozimetresinin (TLD) Özellikleri

Bir fosforun iyi bir termolüminesans dozimetresi olarak kullanılabilmesi için aşağıda sıralanan özelliklere sahip olması gerekir:

- a. *Basit ısıtma eğrisi:* Işıtma eğrisi, lüminesans şiddetinin sıcaklığa bağlı olarak değişimini gösteren bir grafikdir. Işıtma eğrisinin altında kalan alan, tuzaklardan boşalan elektronların sayısı yani başlangıçta uygulanan radyasyon miktarı ile orantılıdır. Dozimetre olarak kullanılacak bir fosforun tek bir tepeye sahip olması ısıtma eğrisinin analizini kolaylaştırdığı gibi, ön-ısıtma ve tavlama işlemlerini de sadeleştirdiği için tercih edilir.
- b. *Basit tavlama (fırınlama) ve ön ısıtma işlemi:* Fosforun tüm tuzaklarının boşaltılması amacıyla yapılan fırınlama (yüksek sıcaklıklara kadar ısıtma) işleminin, özellikle rutin çalışmalarda, fosforun TL özelliğini değiştirmeyecek bir sıcaklıkta ve kısa sürede gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- c. *Radyasyon verimi:* Kullanılan fosforun foton kaynağı ile ışınlanması sonucunda elde edilen TL şiddetinin ne kadar yüksek olduğunun bir göstergesidir. Bir fosforun yüksek foton hassasiyetine sahip olması, onun düşük radyasyon dozlarında yüksek TL şiddeti elde edilmesi ve böylece daha düşük radyasyon dozlarının ölçülebilmesi anlamını taşır. TL ölçümlerinde kullanılan fosforun

hassasiyetinin tavlama ve ön-doiz işlemleri ile arttırılabileceği gözlenmiştir (Horowitz 1984, Göksu ve Hübner 1997). Bu nedenle kullanılacak fosforun bu özellikleri de çalışmanın ilk aşamalarında incelenmelidir.

- d. *Lineer doz bağımlılığı:* Bir fosforun ışıma şiddetinin radyasyon dozuna bağlı olarak değişiminin her bölgede lineer olmadığı bilinmektedir (Aitken 1985). Bu nedenle çalışmada kullanılacak fosforun radyasyon dozuna bağımlılığı incelenmeli ve bu bağımlılığın lineer olduğu kısımda çalışılmalıdır.
- e. *Tekrar edilebilirlik:* Termoluminesansta kullanılan fosforların hassasiyeti tekrarlanan ısıtma ve radyasyon dozu uygulamalarında değişim bu nedenle bu uygulamalar karşısında fosfordaki hassasiyet artışı minimum olmalıdır. Bu, aynı zamanda çalışmanın doğruluğunun kontrolünü ve karşılaşılabilecek sorunlarda tekrarını sağlayacaktır.
- f. *Foton enerji-doz bağımlılığı:* Işınlamada kullanılan fotonun enerjisine bağlı olarak belirli bir doz değeri için TL şiddetinde gözlenen farklılık o maddenin enerji bağımlılığı olarak tanımlanır. TLD'lerin en yaygın kullanıldığı medikal fizik uygulamalarında bir dokuda soğurulan toplam doz değeri söz konusu olduğundan kullanılacak fosforun da etkin atom numarasının (Z_{eff}) dokuya eşdeğer olması gerekir. LiF veya BeO gibi fosforların etkin atom numaraları dokuya eşdeğer ($Z_{eff}=7.4$) oldukları için tercih edilirler (Horowitz 1984, Furetta 2003, McKeever 1995). Retrospektif dozimetre ve tarihlendirme çalışmalarında en yaygın kullanılan kristallerden kuvarsın $Z_{eff}=10.2$, feldsparın $Z_{eff}=10.5$ 'tir.

Her hangi bir maddede kütle enerji soğurma katsayısı (μ_{en}) fotonların madde ile etkileşme biçimlerine bağlı olarak değişir (Çift oluşum, Compton saçılması ve Fotoelektrik etki). Bu etkileşimlerden hangisinin etkin olacağı ışınlamada kullanılan fotonun enerjisine, hedef maddesinin izotopik kompozisyonuna ve atom numarasına bağlıdır. Genelde fotonların madde içindeki enerji kaybı fotonların etkileşiminden ortaya çıkan ikincil elektronlarla sağlanır bu nedenle Z_{eff}^n ile orantılıdır. Burada n, etkileşimin cinsine bağlı olarak 1-5 arasında değişir. Bu nedenle, Z_{eff} benzer olan fosforlarda kütle soğurma katsayıları da

birbirine yakındır. Bileşiklerde etkin kütle numarası aşağıdaki formülde verildiği gibi hesaplanır.

$$Z_{eff} = \sqrt[n]{\sum N_i Z_i^n} \quad (2.31)$$

Burada N_i , i. maddenin bileşikte oransal bulunma katsayısıdır.

Genelde belirli bir radyasyon dozuyla ışınlanan bir bileşiğin düşük enerjili fotonlarla ışınlanması durumunda, yüksek enerjili fotonlarla ışınlanma durumuna göre daha yüksek lüminesans veriminin olduğu gözlenmektedir. Bu durumda, TL şiddetinin foton enerjisine bağlı değişimi $S(E)$, genelde belirli bir maddeye göre, örneğin havaya göre, aşağıdaki formülde verildiği gibi ifade edilir:

$$S(E) = \frac{(\mu_{en}/\rho)_{\text{fosfor}}}{(\mu_{en}/\rho)_{\text{hava}}} \eta(E) \quad (2.32)$$

Burada $\eta(E)$ 1'den farklı olup gelen fotonların enerjisinin hangi oranda lüminesans ışımaya neden olduğunun ölçüsüdür.

Bağıl enerji verimi ise genellikle bir ^{60}Co kaynağından yayılan, ortalama enerjisi 1.25 MeV olan fotonlara göre normalize edilerek ifade edilir:

$$\text{BEV} = S(E)/S(1.25 \text{ MeV } ^{60}\text{Co}) \quad (2.33)$$

Etkin atom numarası aynı olan iki maddede lüminesans verimi $\eta(E)$, aynı fosforun farklı tepeleri için farklı değerlere sahip olabilir. Bu fark genelde fosforlarda değişik tepelere karşı gelen elektron tuzaklarının değişik dozlarda doygunluğa ulaşması ile açıklanmaktadır (Olko *vd.* 2002, Taranenko 2004).

- g. *Gün ışığına karşı duyarsızlık:* Bazı maddelerde ışığın, elektronları tuzaklardan boşalttığı veya daha az derin tuzaklara taşıdığı bilinmektedir. Kullanılacak fosforun gün ışığına karşı duyarsız olması ya da bu duyarlılığın dozimetrenin doğru ölçümünü engellemeyecek kadar düşük olması gerekmektedir.
- h. *TL sönüme uğramadan oda sıcaklığında en az birkaç ay depolanabilmesi:* Bir TL fosforunda özellikle sıg tuzaklarda bulunan elektronlar oda sıcaklığında sönüme uğrayabilir. Bu durumda, fosforda depolanan radyasyon dozunda bir azalma meydana gelir. Bu etkinin azaltılması için fosfora kullanımdan önce ön

ısıtma işlemi uygulanabilir veya ışıma eğrilerinin daha kararlı bölgeleri dozimetrik ölçüm için kullanılabilir.

- i. *Kullanım uygunluğu:* TL fosforları, radyasyon dozu ölçülecek olan örnek üzerine kolayca yerleştirilmesi, ısıtıldığında sıcaklığın homojen olarak yayılması veya dozimetrenin alt seviyelerinden çıkan TL ışımalarının dedektöre (fotoçoğaltıcı tüp) ulaşması gibi nedenlerle küçük boyutlu yapırlar. Bunların dışında LiF, feldspar, zirkon, CaSO₄ gibi maddeler doğal olarak U, Th, K gibi radyoizotoplar içerirler. Bu nedenle fosforun kendi içindeki radyoaktif izotoplar, ölçülmesi istenen dozu etkileyebilirler (miktarla bağlı olarak).

2.7 Geriye Dönük (Retrospektif) Dozimetre

Lüminesans yöntemleri ile tarihlendirme ve geriye dönük dozimetrenin temeli kuvars, feldspar gibi minerallerin lüminesans özelliklerinden yararlanarak, toplam soğrulan dozun ölçülmesine dayanır. Bu mineraller, çevremizde kil içeren kiremit, tuğla gibi fırınlanmış bina malzemelerinde bulunduğu gibi, rüzgâr veya sularla taşınmış tüm çökeltelerde, volkanik kayalarda belli oranlarda bulunurlar. Bu tür maddeler içinde bulunan minerallerde, doğal çevre radyasyonundan kaynaklanan jeolojik devirlerden itibaren oluşan tuzaklanmış elektronlar, fırınlanma veya taşınma sırasında güneş ışığına maruz kaldıklarında tekrar kararlı hale dönüşürler.

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

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Bor Elementi ve Özellikleri

Bor, periyodik tabloda B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan yarımetal ve yarıiletken özelliğe sahip bir elementtir. Periyodik cetvelin 3A grubunun ilk ve en hafif üyesidir. Temel elektron konfigürasyonu $1s^2 2s^2 2p^1$ 'dir.

Bor elementi 8B , ^{10}B , ^{11}B , ^{12}B , ^{13}B izotoplarından oluşmaktadır. En kararlı izotopları ^{10}B ve ^{11}B 'dir. Bu izotopların tabiatta bulunma oranları sırasıyla % 19.1-20.3 ve %79.7-80.9'dir. ^{10}B izotopu, çok yüksek termal nötron soğurma tesir kesitine sahiptir. Böylelikle nükleer malzemeler ve nükleer enerji santrallerinde kullanılabilir. Türkiye'de ^{10}B izotop oranı yüksek bor cevher yatakları bulunmaktadır.

Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, bor bileşiklerinin birçok endüstride kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır, ancak, farklı olarak saf bor, karbon gibi elektrik iletkenidir. Kristalize bor görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir. Borun saf elementi ilk kez, 1808 yılında Fransız kimyager J.L.Gay-Lussac ve Baron L.J. Thenard ile İngiliz kimyager H.Davy tarafından elde edilmiştir.

Bor, yer kabuğunda yaygın olarak bulunan 51. elementtir. Bor doğada hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir. Yaygın olarak bulunan bor minerallerinden bir tanesi bir tür alumina borosilikat minerali olan ve yapısında %10'a kadar bor içerebilen turmalindir $((Na,Ca)(Mg,Li,Al,Fe^{2+})_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4)$. Ancak, sanayide alkali ve toprak alkali bor mineralleri olan tinkal ($Na_4B_4O_{10} \cdot 10H_2O$), kernit ($Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$), kolemanit ($Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$) ve üleksit ($NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$) kullanılmaktadır. Dünyada ticari maden yatakları sınırlı olup en çok Türkiye, Rusya ve ABD'de bulunmaktadır.

Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyon vermez. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek

borik asit ve bazı diğ er ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığ a bağı olarak yavaş veya patlayıcı olabilir ve ana ürün olarak borik asit oluşur.

Bor, biri amorf ve altısı kristalin polimorf olmak üzere, çeşitli allotropik formlarda bulunur. Alfa ve beta rombohedral formlar en çok çalışılmış olan kristalin polimorflarıdır. Alfa rombohedral strüktür 1200⁰C'nin üzerinde bozulur ve 1500⁰C'de beta rombohedral form oluşur. Amorf form yaklaşık 1000⁰C'nin üzerinde beta rombohedrale dönüşür ve her türlü saf bor ergime noktasının üzerinde ısıtılıp tekrar kristalleştirildiğinde beta rombohedral forma dönüşür (Gaule 1965).

Çizelge 3.1 Bor elementine ait fiziksel özellikler

Fiziksel Özellikler	
Fiziksel Durumu (N.Ş.A)	Katı
Erime Noktası	2349 °K (2076 °C)
Kaynama Noktası	4200 °K (3927 °C)
Yoğunluk	2.08 g·cm ⁻³
Molar Isı Kapasitesi	11.087 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
Elektriksel İletkenlik	1.0E -12 106/cm
Termal İletkenlik	0.274 W/cmK
Buharlaşma Isısı	489.7kJ/mol
Buhar Basıncı (2300 °C)	0.348 Pa

Çizelge 3.2 Bor elementine ait atomik özellikler

Atomik Özellikler	
Atomik Çap	1.17 Å
Atomik Hacmi	4.6 cm ³ /mol
Kristal Yapısı	Rhombohedral
İyonik Çapı	0.23 Å
Elektron Sayısı (yüksüz)	5
Nötron Sayısı	6
Proton Sayısı	5
Değerlik Elektronları	2s ² p ¹

3.1.1. Bor Mineralleri ve Özellikleri

Yapılan çalışmada doğal minerallerin yanısıra işlenmiş mineraller de kullanılarak, bu minerallerden on adet seçilmiş ve dozimetrik özellikleri incelenmek üzere çalışma yapılmıştır. Bu minerallerden doğal olanları Eskişehir/Kırka bölgesinden alınmış olup işlenmiş durumdakiler Eti Maden İşletmeleri'nden temin edilmiştir.

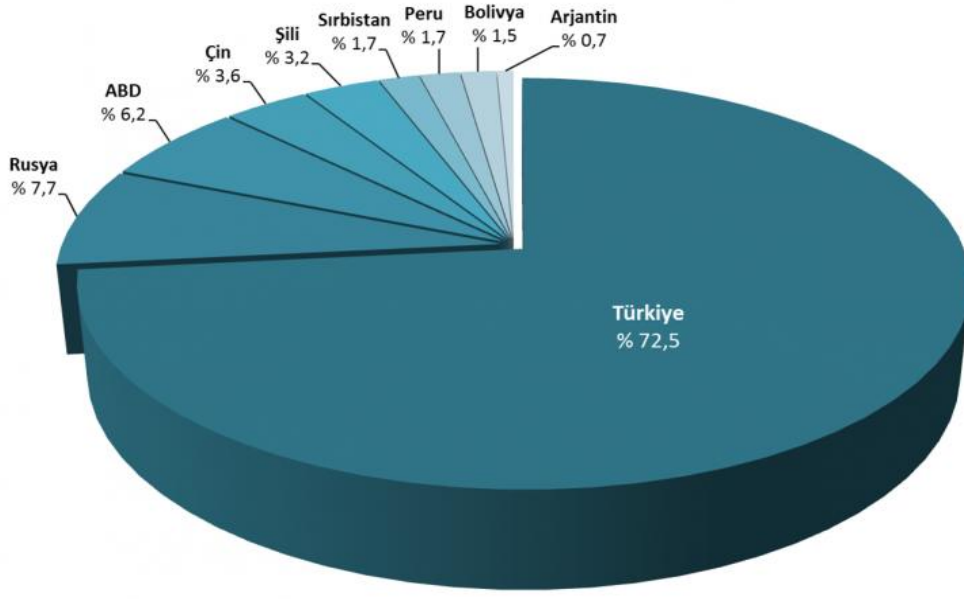
Çizelge 3.3 Yapılan tez çalışmasında kullanılan bor minerallerine ait özellikler

Örnek No	Mineral Tipi	Mineral Adı	Kimyasal Formül	Temin Ediliş Yöntemi
1	Sodyum Borat	Boraks Dekahidrat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Eti Maden İşletmeleri
2	Hidrojen Borat	Borik Asit	H_3BO_3	Eti Maden İşletmeleri
3	Sodyum Borat	Boraks Pentahidrat	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Eti Maden İşletmeleri
4	Sodyum Borat	Tinkal	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Eti Maden İşletmeleri
5	Sodyum Borat	Etibor-48	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Eti Maden İşletmeleri
6	Kalsiyum Borat	Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Eti Maden İşletmeleri
7	Sodyum Borat	Boraks	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Doğal(Kırka/Eskişehir)
8	Sodyum Borat	Kernit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Doğal(Kırka/Eskişehir)
9	Sodyum-Kalsiyum Borat	Üleksit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Doğal(Kırka/Eskişehir)
10	Kalsiyum Borat	Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Doğal(Kırka/Eskişehir)

3.1.2 Bor Rezervleri ve Kullanım Alanları

3.1.2.1. Bor Rezervleri

Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, Rusya ve A.B.D’de olup dünya ticari bor rezervleri dört bölgede toplanmaktadır. Bunlar; ABD Kaliforniya Eyaletinin güneyinde yer alan “Mojave Çölü”, Güney Amerika’da yer alan “And Kemerı”, içinde Türkiye’nin de yer aldığı “Güney-Orta Asya Orojenik Kemerı” ve Doğu Rusya’dır.



Şekil 3.1 Dünya bor rezervlerinin dağılımı (2012) (<http://www.boren.gov.tr/tr>, 2015)

Dünyadaki bor rezervlerinin %72.5'ine sahip Türkiye'de bilinen bor yatakları özellikle Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/Kütahya'da bulunmaktadır. Türkiye'de rezerv açısından en çok bulunan bor cevherleri tinkal ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve kolemanit ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)'tir. Türkiye'de önemli tinkal yatakları Kırka'da kolemanit yatakları ise Emet ve Bigadiç civarında bulunmaktadır. Bunlara ilaveten, Bigadiç'te az miktarda üleksit rezervi mevcut olup Kestelek'te zaman zaman üleksit yan ürün olarak elde edilmektedir. Ayrıca Kırka/Eskişehir'de geçtiğimiz yıllarda kernite rastlanmıştır.



Kaynak: MTA

R. SAYGILI 2010

Şekil 3.2 Türkiye bor yatakları haritası (<http://www.mta.gov.tr/v2.0/index.php>,2015)

3.1.2.2. Kullanım Alanları

Bor mineralleri cam, seramik, temizleme, beyazlatma, tarım, metalurji sanayilerinin yanısıra enerji ve sağlık sektörlerinde; ayrıca alev geciktiricilerde ve çimento katkısı olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir (<http://www.boren.gov.tr/tr/bor/kullanim-alanlari>, 2015).

Bor minerallerinin en fazla kullanıldığı alan cam sektörüdür. Bor, ergimiş haldeki cam ara mamulüne katıldığında onun akışkanlığını artırmakta, son ürünün yüzey sertliğini ve dayanıklılığını yükseltmektedir. Bor oksit özellikle; borosilikat cam, tekstil tipi ve izolasyon tipi cam elyaflarında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Bor; borosilikat cam, tekstil tipi ve izolasyon tipi cam elyaflarında, sıvı kristal göstergelerinde, özel fırın kaplarında, laboratuvar malzemelerinde, arabaların far ve sinyal camlarında, cam yününde, LCD (Liquid Crystal Display) ekranlar ve CRT cam ürünlerinde kullanılmakta ve bunun yanı sıra borlu bazı özel camlar uzay sanayinde, elektronik endüstrisinde ve nükleer reaktörlerde kullanılmaktadır.

Bor, seramik sanayinde çoğunlukla sır ve fritlerde kullanılmaktadır. Seramik sırlarında kullanılan bor oksit oranı ağırlıkça %8-24 arasında değişir. Sırlarda bor oksitin temel fonksiyonu, esas itibarıyla cam ve malzeme arasında ısıl açıdan uyum sağlamak ve sırrın ısıl genleşme kat sayısını düzenlemektir. Sırlara, bor ilavesinin diğer bir sebebi, ergimenin ilk aşamalarında cam oluşumunu sağlamaktır. Boratlar, aynı zamanda sırcaların refrakter endeksini artırarak görünümünü de iyileştirmektedir. Sır'a bor eklenmesi mekanik gücü ve çizilme direncini artırır. Bor ayrıca, kimyasalların ve suyun etkilerine karşı direnci artırır. Diğer taraftan borlar renklendiricilerin katılımına taban oluştururlar.

Emayelerin akışkanlığını ve doyunlaşma ısısını azaltan bor oksit %20'ye kadar kullanılabilir. Özellikle emayeye katılan hammaddelerin %17-32'si bor oksit olup, sulu boraks tercih edilir. Seramiği çizilmeye karşı dayanıklı kılan bor, %3-24 oranlarında kolemanit halinde sırlara katılır.

Sabun ve deterjanlara mikrop öldürücü (jermisit) ve su yumuşatıcı etkisi nedeniyle %10 boraks dekahidrat ve beyazlatıcı etkisini artırmak için toz deterjanlara %10-20 oranında sodyum perborat (mono veya tetra olarak) katılmaktadır. Sodyum perborat

($\text{NaBO}_2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) aktif bir oksijen kaynağı olduğundan etkili bir ağartıcıdır ve yoğun olarak kullanılır.

Bor, tarım sektöründe sebze ve meyvelerin yetiştirilmesi sırasında verimi artırmak için tercih edilir. Bor elementi meyve ağaçları için çiçek açma, meyve verme ve meyve kalitesi yönünden vazgeçilmez bir mikro besleyicidir. Yeterli miktarda bor içeren bir meyve ağacında, çiçek açma ve meyve kapasitesinde artış, meyvenin içinde ve kabuğunda gözlenen yaralanma ve çürümelerde düşüş, şeker ve besleyicilerin yapraklardan meyveye iletiminde hızlanma, gelişmemiş dalların sayısında azalma ve buna bağlı olarak daldan düşen meyve sayısında azalma gözlenmektedir.

Bor bileşikleri, yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve çapaksız sıvı oluşturma özellikleri nedeniyle demir dışı metal sanayinde koruyucu cüruf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır.

Flakslama uygulamalarında bor, bakır alaşımlarının ergitilmesinde ve altın analizlerinde ve rafinasyonunda, çeliğin lehim kaynağı yapılması sırasında ve gaz lehimlemede kullanılmaktadır.

Bor ilavesi çeliğin sertlik ve mukavemetini artırmaktadır. Çelikler 50 ppm düzeyine kadar bor ihtiva edebilirler. Borlu çeliklerin sertleşebilme kabiliyetleri daha yüksektir. Bor, paslanmaz çeliklere de ilave edilmektedir.

Ferrobör; çelik, dökme demir, sürekli miktatsızlar ve amorf metallerin üretiminde kullanılır. Dünya ferrobör üretiminin %50'den fazlası çelik endüstrisinde kullanılmaktadır. Üretimin %10'luk bir bölümü ise Nd-Fe-B sürekli miktatsızlarının üretiminde kullanılmaktadır.

Bor bileşiklerinin kullanıldığı diğer bir uygulama ise borlamadır. Borlama ile çelik yüzeylerinin sertliği artırılmaktadır. Borlanmış çelikler, yüksek derecede korozyona ve aşınma direncine sahip olup özellikle hidrolik aletlerin ve bazı petrol-kuyusu delme matkaplarının yüzeylerinin cilalanması gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca, borlama işleminden geçirilmiş malzemeler, otomotiv endüstrisinde sürtünme katsayısını azaltmak ve hareketli aksamaları korumak için de kullanılmaktadır.

Bor nitrür yüzey kaplamada sürtünme katsayısını düşürücü etkisi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaplama işlemi, yüksek vakum ve uygun sıcaklık altında h-BN'ün buharlaştırılarak c-BN film elde edilmesiyle gerçekleşmektedir.

Bor kimyasalları ayrıca elektro kaplama uygulamalarında temizleyici ve tampon olarak kullanılmaktadır. Borik asit ve flouoroborlar, yatakların gözeneğini ve çukurunu azaltmak için çok az miktarda kullanılırken, flouoroborik asit, kalay-kaplama tellerinin temizlenmesi (pickling) işleminde %10 düzeyinde kullanılmaktadır.

Atom reaktörlerinde borlu çelikler, bor karbürler ve titan bor alaşımları kullanılır. Paslanmaz borlu çelik, nötron absorbanı olarak tercih edilmektedir. Yaklaşık her bir bor atomu bir nötron absorbe etmektedir. Bu nedenle, atom reaktörlerinin kontrol sistemleri ile soğutma havuzlarında ve reaktörün alarm ile kapatılmasında bor (¹⁰B) kullanılmaktadır.

Ayrıca, nükleer atıkların depolanması için bor cevheri olan kolemanit kullanılmaktadır.

Bor mineralleri osteoporoz tedavilerinde, alerjik hastalıklarda, psikiyatride, kemik gelişiminde ve artritte, menopoz tedavisinde aktif olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kesinleşmiş bir tedavi olmamakla birlikte Bor Nötron Yakalama Tedavisi (BNCT) ile sağlıklı hücrelere zarar vermeden kanserli hücrelerin imha edilmesinde görev alan bor elementi için kanser tedavisinde kullanılmak üzere üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Boratlar, çeşitli malzemelerde (ahşap, selülozik yalıtım, PVC ve tekstil) alev geciktirici amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Bor, yanan malzemenin üzerine oksijenle temasını kesecek şekilde kaplayarak yanmayı bastırır. Çinko borat, plastik malzemelerde; borik asit, boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat gibi çözünebilir boratlar ise selülozik malzemelerde kullanılmaktadır. Bu malzemeler; tahta, kontraplak, ağaç fiber, kağıt ve pamuk gibi doğal fiberlerdir.

Selülozik yalıtımda, boraks pentahidrat ve borik asit kullanılmaktadır. Bu ürünler, enerji verimliliğini artırmak, mantar ve diğer mikroorganizmaların gelişimini önlemek ve alev almaya karşı malzemenin direncini yükseltmek amacıyla kullanılmaktadır.

PVC'de yanmayı önleyici olarak kullanılan bor bileşiklerinin başında çinko borat, baryum metaborat, bor fosfatlar ve amonyum fluoborat gelir. PVC yanarken HCl açığa çıkmaktadır. PVC'ye alev geciktirici olarak çinko borat katıldığı zaman, bu gaz uçucu

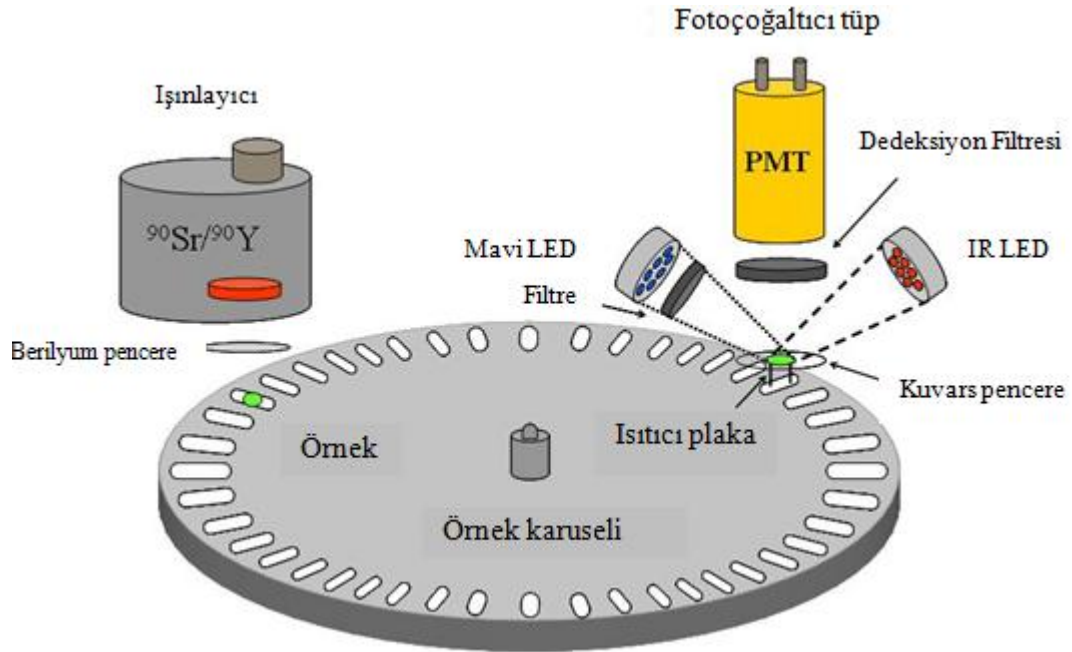
olmayan çinko ve bor bileşikleri ile reaksiyona girerek zararlı gazların açığa çıkmasını engellemektedir.

Boraks ve borik asit, tekstil alanında faydalı alev geciktiriciler olmakla birlikte, suda çözünebilir özellikleri nedeniyle üründen yıkanarak atılma sorunu ile karşılaşılabilir.

Kolemanit, %8 oranında çimento üretiminde kullanılarak klinker pişirme sıcaklığını düşürmekte ve çimentonun özelliklerini iyileştirmektedir. Borlu çimento; mukavemet, su ve gaz geçirgenliği, hidrasyon ısı gibi parametreler açısından portland çimentosuna göre daha iyi özellikler sergilemektedir. Hidrasyon ısısının düşük olması özellikle kütle betonlarında soğutma ihtiyacını önemli oranda azaltmaktadır.

3.2. Lüminesans Ölçüm Sistemi

Ölçümler, Şekil 3.3’de gösterilen Risø TL/OSL okuyucu (model TL/OSL-DA-20) ile yapılmıştır. Sistemin ana bileşenleri, ışık dedeksiyon sistemi, lüminesans uyarım sistemi (optik ve termal) ve ışınlama kaynağıdır.



Şekil 3.3 Risø TL/OSL okuyucunun şematik gösterimi

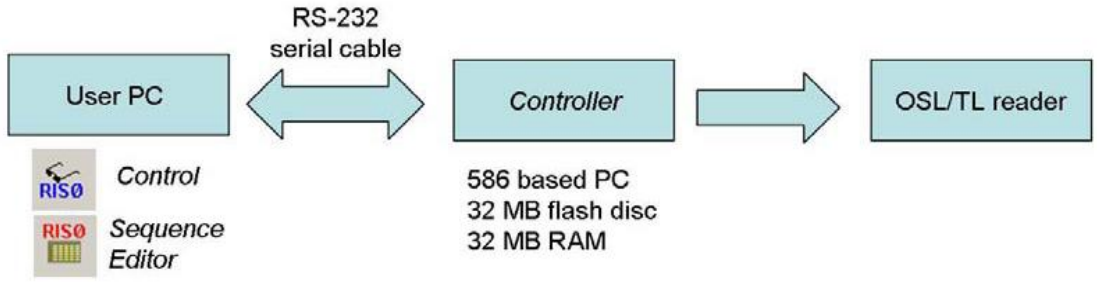
Risø TL/OSL otomatik ölçüm sistemi ile hem TL hem de OSL ölçümleri yapılabilmektedir. Işık dedeksiyon sistemi, fotoçoğaltıcı tüp ve uygun optik dedeksiyon filtresinden oluşmaktadır. Lüminesans uyarım sisteminde, optik uyarım ve ısıtma komponentleri bulunur. Bu iki komponent birlikte veya ayrı ayrı kullanılabilir. Sistemde birde dahili $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta ışınlama kaynağı bulunmaktadır. Sistemde bulunan örnek taşıyıcıya 48 tane örnek yerleştirilebilir ve uygulama programı kullanılarak her örnek için farklı ışınlama, okuma prosedürü kullanılabilir. Örnekler oda sıcaklığından 700°C 'ye kadar ısıtılabilir. TL ölçümleri saf azot akımı altında yapıldığı gibi, vakumlu ortamda da alınabilir.



Şekil 3.4 Risø TL/OSL Sistemi

Risø TL/OSL Sistemi iki ünitelerden oluşur (Şekil 3.4):

- a) *Okuyucu ünitesi:* Şekil 3.4 a)'da gösterildiği gibi; örneklerin yerleştirildiği, optik veya termal olarak uyarıldığı, dedekte edildiği ve radyasyon kaynağı ile ışınlandığı ünitelerdir.
- b) *Kontrol ünitesi:* Sistemin elektronik kontrol kısmını oluşturur, Programlar ile okuyucu arasında köprü görevi görür (Şekil 3.4 b) ve örnekler için hazırlanan ölçüm parametrelerinin uygulanmasını sağlar. Yüksek voltajın uygulanması, vakum ortamının sağlanması, örnek taşıyıcının açılması ve kapanması kontrol ünitesi tarafından yapılmaktadır.



Sistem standart bir bilgisayara kurulan iki program ile çalışır. Bu programlardan ilki cihazın basit testlerini yapılmasını sağlayan CONTROL Programı, diğeri ise ölçüm parametrelerinin her örnek için ayrı ayrı girilebildiği SEQUENCE EDITOR Programıdır.

3.2.1. Örnek Taşıyıcı (Karusel)

Örnek taşıyıcı (karusel) dönebilen bir motor üzerine yerleştirilmiştir. Dönme, bilgisayar tarafından kontrol edilir. Karuselin altında yer alan ve kızılötesi ışık yayan bir diyot (IR LED) kullanılarak karuselde belli bir noktada yer alan delikten geçen ışığın dedekte edilmesi ile örneklerin yer tespiti yapılır.

Örnekler; 9.7 mm çaplı paslanmaz çelik diskler üzerine silikon yağı v.b. maddelerle yapıştırılarak veya yine paslanmaz çelikten yapılmış karusele uygun kaplar (planşet) içine yerleştirilerek kullanılır.



Şekil 3.5 Örnek diskleri ve planşetleri (solda), örnek karuseli (sağda)

3.2.2 Işık dedeksiyon sistemi

Işık dedeksiyon sisteminin ana komponentleri fotoçoğaltıcı tüp (PMT) ve uygun optik filtrelerdir. Bu filtrelerin kullanım amacı, saçılan ışığın PMT'e ulaşmasını engellemek ve spektral dedeksiyon penceresi oluşturmaktır.

3.2.2.1 Fotoçoğaltıcı tüp (PMT)

Yayılan ışık PMT ile dedekte edilir. PMT'deki ışığa hassas olan kısım katottur. Katot genellikle, foto-yayıcı madde olan CsSb ve diğer bialkali karışımlardan oluşur.

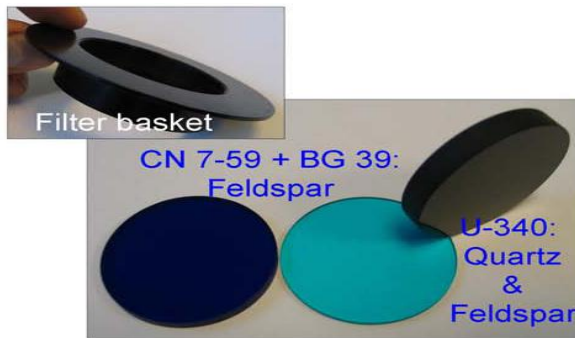
Risø TL/OSL okuyucu içindeki standart PMT'lerde bialkali EMI 9235QB tüp kullanılır ve maksimum dedeksiyon verimi 200 nm ile 400 nm arasındadır. Bu özelliği ile kuvars ve feldspatın lüminesans ölçümleri için uygundur. Sistemde örnek ile katot arasındaki mesafe 55 mm'dir ve dedeksiyon katı açısı yaklaşık 0.4 steradyandır.

3.2.2.2 Optik filtreler

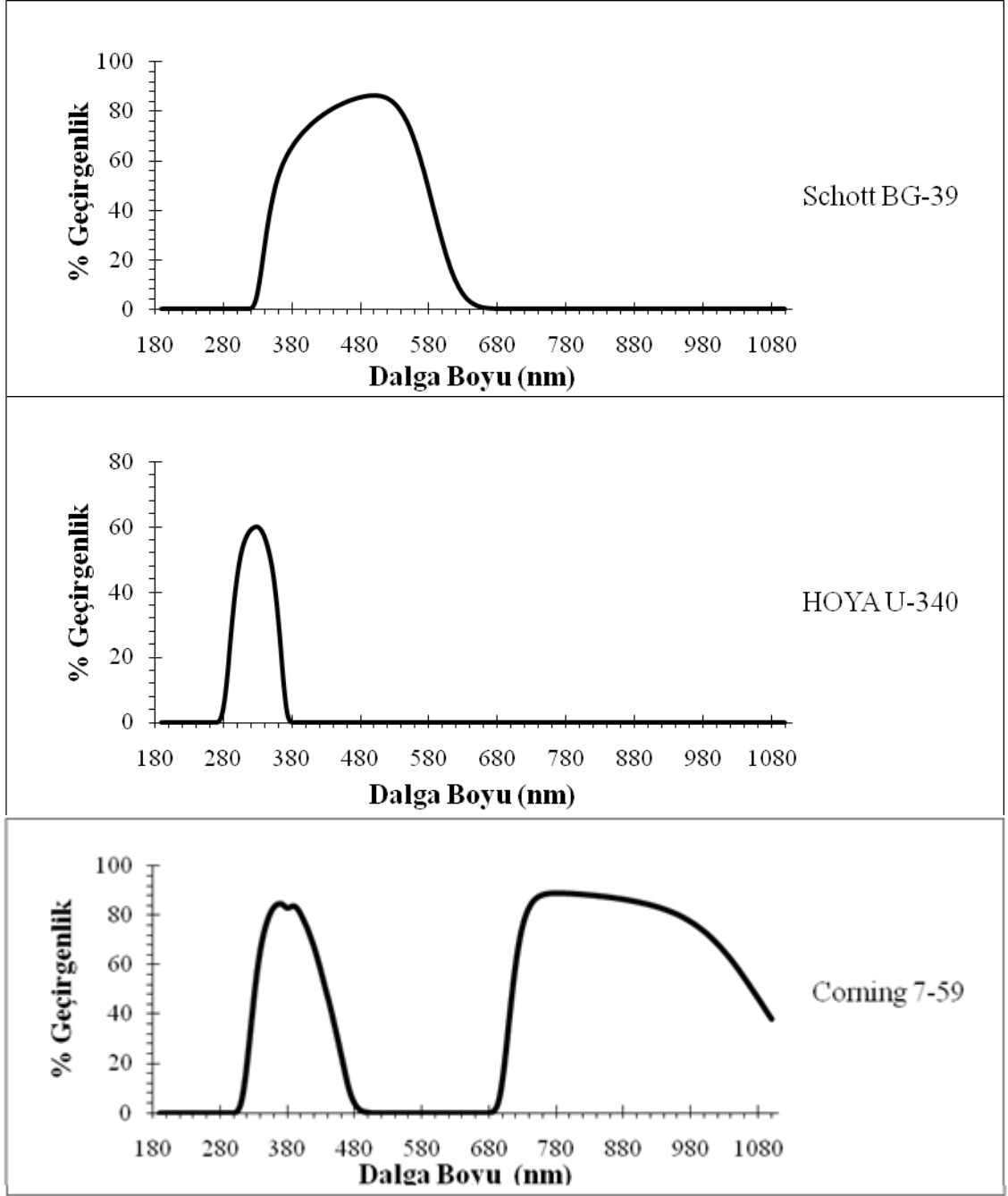
Uyarma ışığının şiddeti yayılan ışığın şiddetinden yaklaşık 10^{18} kat daha büyüktür. Bu nedenle yayılan lüminesansın ölçülebilmesi için, uyarımda kullanılan ışığın PMT'e ulaşımının uygun optik filtrelerle engellenmesi gerekir.

Risø TL/OSL Okuyucuda, aşağıdaki üç tip filtre kullanılmış ve bu filtrelerin geçirgenlik spektrumları Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

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



Şekil 3.6 Kullanılan optik filtreler



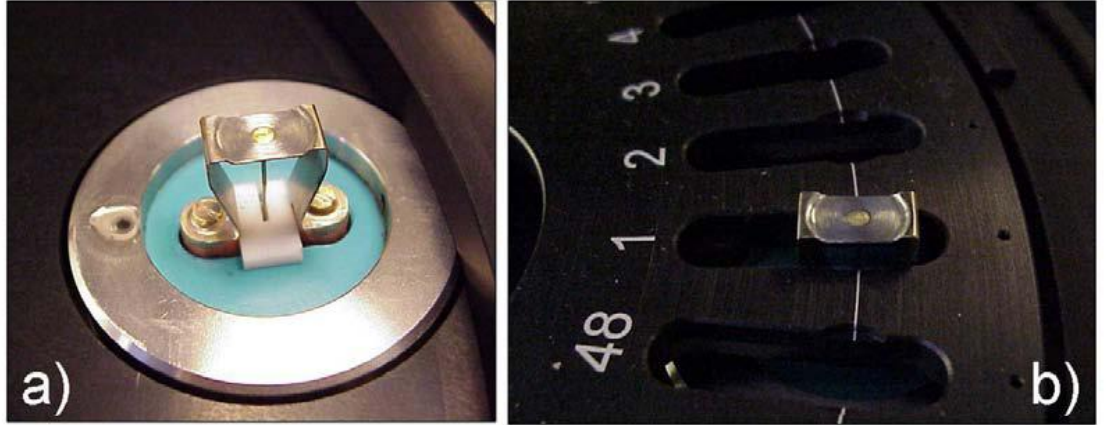
Şekil 3.7 RISØ TL/OSL okuyucuda kullanılan optik filtrelerin geçirgenlik spektrumları (Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü Optik Araştırma Laboratuvarı'ndaki UV-1800 model Shimadzu marka cihaz kullanılarak filtrelerin geçirgenliği 190-1100 nm dalga boyu aralığında incelenmiştir.)

3.2.3 Lüminesans uyarım sistemi

Risø TL/OSL Okuyucu iki adet lüminesans uyarım sistemine sahiptir: 1. TL ölçümleri için kullanılan ısıtma sistemi, 2. OSL ölçümleri için kullanılan ışık uyarımlı sistemidir. İki sistemde birlikte kullanılabilir, örneğin; OSL ölçümünde örnek sıcaklığını arttırmak mümkündür.

3.2.3.1 Isıtma ile uyarım sistemi

Isıtıcı ve kaldırma mekanizması PMT altında yer alır. Isıtıcının iki fonksiyonu vardır; birincisi örneği ısıtmak, ikincisi ise örneği ölçüm pozisyonuna getirmek. Isıtıcı, örneği 0.1'den 10 K/s'ye kadar ayarlanabilen sabit ısıtma hızlarında 700⁰C'ye kadar ısıtır. Isıtıcı azot gazı kullanılarak soğutulur ve aynı zamanda azot akışı ısıtıcıyı yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeden de korumaktadır.

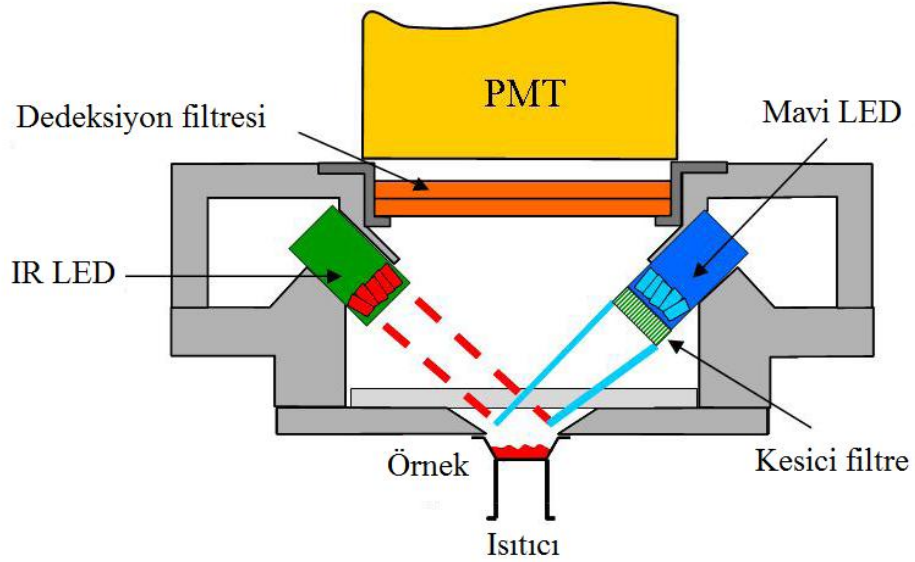


Şekil 3.8 a) Isıtıcının ölçüm pozisyonundaki resmi, b) Karuselinde yerleştirildiği a) ile aynı ısıtıcının resmi

3.2.3.2 Optik uyarım sistemi

Genelde, OSL sistemlerinde örnekler, sabit ışık şiddetiyle uyarılırlar. Elektron tuzaklarının bu şekilde boşaltılmasıyla eksponansiyel azalan sinyal üretilir. Standart Risø TL/OSL okuyucuda (Bøtter-Jensen *vd.* 2000) örneğin uyarılması için iki seçenek vardır: 1) IR LED (Işık Yayıcı Diyot): Üç grup halinde toplam 21 adet IR LED bulunmaktadır. Toplam 21 LED'in maksimum gücü örnek pozisyonunda yaklaşık 145 mW/cm²'dir ve 870 nm dalga boyunda ışık yayar, 2) Mavi LED: Dört adet grup halinde

toplam 28 adet Mavi LED bulunmaktadır. Toplam 28 LED'in maksimum gücü 50 mW/cm^2 'dir ve 470 nm dalga boyunda ışık yayar.



Şekil 3.9 OSL birimindeki IR ve mavi LED'i beraber gösteren şematik diyagram

3.2.3.3 Referans ışık kaynağı

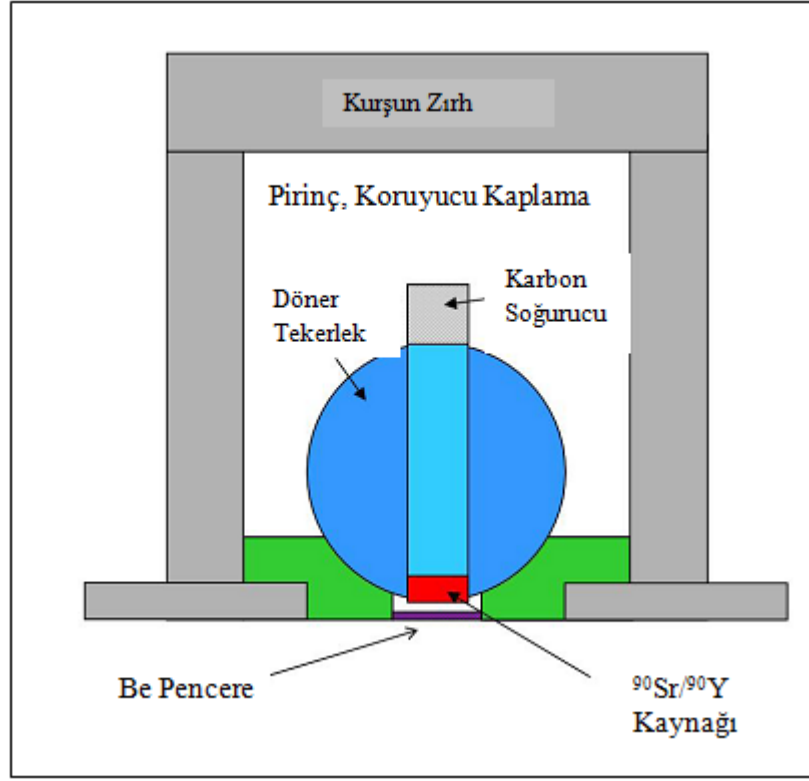
470 nm'de mavi ışık yayan bir LED, referans kaynağı olarak okuyucu içine monte edilmiştir. Dedeksiyon sisteminin rutin kontrollerinde kullanılır. Mavi LED, kararlı ışık çıkışı için sıcaklığı sabitlenmiş ($\pm 0.5^\circ\text{C}$) alüminyum kaplama içinde yer almaktadır. Referans LED kaynağının iki önemli amacı vardır:

1. Programı çalıştırmadan önce PM tüpün önüne yerleştirilen optik filtrelerin doğruluğunu kontrol etmek,
2. Mavi geçirgen filtre kullanımında dedeksiyon sisteminin uzun süreli kararlılığını kontrol etmektir.

3.2.4 Beta ışınlama kaynağı

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ Beta ışınlama kaynağı örnek karuselinin üzerinde yer alır. Etrafında kurşun zırh bulunmaktadır. Kaynak maksimum enerjisi 2.27 MeV olan beta parçacıkları yayar.

Yarı-ömrü 30 yıldır, aktivitesi 1.48 GBq'dir (40 mCi) ve kaynağın altında 7 mm mesafede tutulan bir örneğin aldığı doz saniyede yaklaşık 150 mGy'dir.



Şekil 3.10 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ Beta ışınlayıcı şematik diyagramı

4. BULGULAR

4.1. Bor Mineralleri Örneklerinin Hazırlanması

Tez çalışması sırasında Çizelge 3.3'te ayrıntılı bilgileri ve örnek numaraları belirtilen bor mineralleri kullanılmıştır. Havanda ezilerek küçük tanecik boyutlarına getirilen örnekler eleklerden geçirilerek $140 < \mu\text{m} < 200$ aralığında tanecik büyüklüğüne sahip olacak şekilde hazır hale getirilmiştir. Eskişehir/Kırka'dan çıkarılan doğal örnekler ise çekiç yardımıyla kırılıp havanda ezilip eleklerden geçirilerek hazırlanmıştır.



Şekil 4.1 Örnek hazırlama işlemi

Yapılan çalışmada örneklerin 500°C 'ye kadar TL işlemine tabi tutulacak olması nedeniyle örneklerin yüksek sıcaklığa gösterdikleri fiziksel tepkinin gözlemlenmesi amacıyla, hazırlanmış tüm örnekler 500°C 'de bir saat süreyle fırınlanmış ve bu sıcaklıkta bir saat bekletilmiştir. Fırınlama işlemi iki kez tekrar edilmiş ve gözlenen fiziksel değişiklikler kaydedilmiştir.

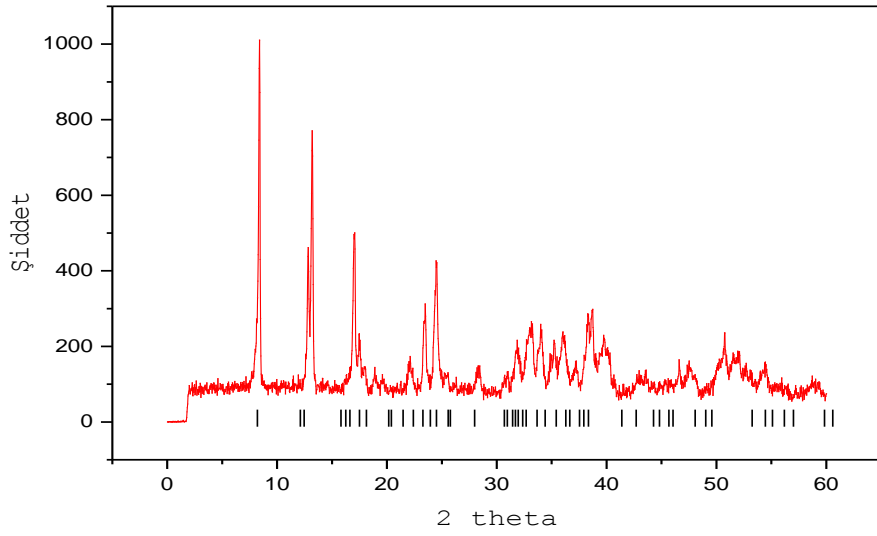
Çizelge 4.1 Örneklerde fırınlama sonrası gözlenen fiziksel değişikliklere ait çizelge

Örnek No	Mineral Adı	Fırınlama Sonrası Gözlenen Fiziksel Değişiklikler
1	Boraks Dekahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	Örnekte kabarcıklar oluşmuş ve tanecikler birbirine yapışmıştır.
2	Borik Asit (H_3BO_3)	Örnekte renk değişimi oluşmuş ve tanecikler içine konduğu kaba yapışmıştır.
3	Boraks Pentahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Örnekte kabarcıklar oluşmuş ve tanecikler birbirine yapışmıştır.
4	Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	Örnekte kabarcıklar oluşmuş ve renk değişiminin yanısıra, tanecikler birbirine yapışmıştır.
5	Etibor-48 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Örnekte kabarcıklar oluşmuş ve tanecikler birbirine yapışmıştır.
6	Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Örnekte hiçbir fiziksel değişim gözlenmemiştir.
7	Boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	Örnekte kabarcıklar oluşmuş ve tanecikler birbirine yapışmıştır.
8	Kernit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	Örnekte hiçbir fiziksel değişim gözlenmemiştir.
9	Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)	Örnekte hiçbir fiziksel değişim gözlenmemiştir.
10	Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Örnekte hiçbir fiziksel değişim gözlenmemiştir.

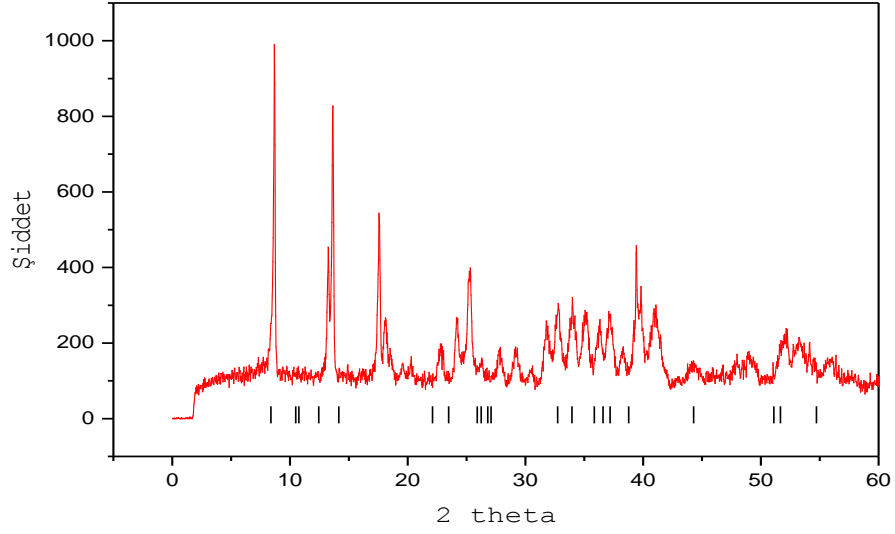
Değişim gözlenen örnekler TL ölçümlerine uygun olmamaları sebebiyle çalışmanın devamında çıkarılmış ve hiçbir fiziksel değişimin gözlenmediği örnekler TL/OSL ölçümlerinde kullanılmıştır. Örnek No 6 ve 9'un artan radyasyona karşı lüminesans şiddetinin değişmediği gözlemlendiğinden bu örnekler de çalışmadan çıkarılmıştır. Yapılan tez çalışmasında Üleksit (Örnek No: 8) ve Kolemanit (Örnek No: 10) örnekleri üzerinde incelemelere devam edilmiştir.

4.2 Örneklerin X-Işını Kırınımı Analizlerine Ait Sonuçlar

Doğada yaklaşık olarak 230 farklı bor minerali bulunmaktadır. Bu minerallerin yaklaşık olarak 30 tanesi amorf yapıdadır. Tez çalışmasında kullanılan minerallerin kristal yapıda olup olmadıkları X-ışını Kırınımı Yöntemi (XRD) kullanılarak kontrol edilmiştir. Bu işlem için Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği XRD Analiz Laboratuvarı'nda yer alan Inel Equinox-1000 model X-ışını difraktometresi kullanılmıştır (XRD sistemi kobalt kaynağa sahiptir, X-ışını demetinin dalga boyu $\lambda = 1,79 \text{ \AA}$ 'dur, tüpe uygulanan voltaj 50kV). Uygun boyutlarda hazırlanan üleksit ve kolemanit minerallerine ait XRD grafikleri Şekil 4.2'de ve Şekil 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.2 Üleksit'e ait XRD analiz sonucu



Şekil 4.3 Kolumanite'e ait XRD analiz sonucu

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de görüldüğü üzere bu örneklerin polikristal yapıda oldukları gözlenmiştir.

4.3 Örneklerin Raman Spektroskopisi Sonuçları

Tez çalışmasında kullanılan üleksit ve kolumanite minerallerinin kimyasal yapılarının incelemesi amacıyla yapılan raman spektroskopisine ait sonuçların eldesinde Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Mineraloji-Petrografi Araştırma Laboratuvarları'nda Horiba Jobin Yvon Labram HR model Raman Konfokal Spektrometresi kullanılmıştır. Üleksit ve kolumanite örneklerine ait Raman spektroskopisi sonuçları Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Üleksit'e ait Raman spektroskopisi sonuçları

Element	Dimension	Üleksit	Element	Dimension	Üleksit
Na ₂ O	%	5.92	Rb	ppm	40.4
MgO	%	0.015	Sr	ppm	2242
Al ₂ O ₃	%	0.567	Y	ppm	0.4
SiO ₂	%	4.697	Zr	ppm	12
P ₂ O ₅	%	0.0016	Nb	ppm	1.9
SO ₃	%	0.0176	Mo	ppm	1.7
Cl	%	0.01033	Cd	ppm	0.7
K ₂ O	%	0.4358	In	ppm	0.7
CaO	%	12.3	Sn	ppm	0.7
TiO ₂	%	0.001	Sb	ppm	1.4
V ₂ O ₅	%	0.00045	Te	ppm	0.9
Cr ₂ O ₃	%	0.00298	I	ppm	1.9
MnO	%	0.00135	Cs	ppm	3.6
Fe ₂ O ₃	%	0.0489	Ba	ppm	13.7
B	%	40.55	La	ppm	7.4
LOI	%	33.73	Ce	ppm	14.6
Co	ppm	1.7	Hf	ppm	1.5
Ni	ppm	3.8	Ta	ppm	1.4
Cu	ppm	0.7	W	ppm	1.6
Zn	ppm	0.9	Hg	ppm	0.5
Ga	ppm	0.9	Tl	ppm	0.6
Ge	ppm	0.3	Pb	ppm	4.7
As	ppm	12.5	Bi	ppm	0.5
Se	ppm	0.2	Th	ppm	0.6
Br	ppm	0.2	U	ppm	1.9

Çizelge 4.3 Kolemanit'e ait Raman spektroskopisi sonuçları

Element	Dimension	Kolemanit	Element	Dimension	Kolemanit
Na ₂ O	%	1.58	Rb	ppm	8.6
MgO	%	3.268	Sr	ppm	1249
Al ₂ O ₃	%	0.1892	Y	ppm	0.4
SiO ₂	%	0.8667	Zr	ppm	8.6
P ₂ O ₅	%	0.0015	Nb	ppm	2.3
SO ₃	%	0.00033	Mo	ppm	2.6
Cl	%	0.0109	Cd	ppm	0.8
K ₂ O	%	0.0786	In	ppm	0.8
CaO	%	17.93	Sn	ppm	0.9
TiO ₂	%	0.00039	Sb	ppm	1
V ₂ O ₅	%	0.0004	Te	ppm	1.4
Cr ₂ O ₃	%	0.00058	I	ppm	2.5
MnO	%	0.00098	Cs	ppm	4.8
Fe ₂ O ₃	%	0.01359	Ba	ppm	18.5
B	%	45.83	La	ppm	19.1
LOI	%	30.92	Ce	ppm	15
Co	ppm	0.6	Hf	ppm	2.3
Ni	ppm	3.1	Ta	ppm	1.3
Cu	ppm	2	W	ppm	0.9
Zn	ppm	0.5	Hg	ppm	0.4
Ga	ppm	0.3	Tl	ppm	0.4
Ge	ppm	0.3	Pb	ppm	5.4
As	ppm	1.4	Bi	ppm	0.4
Se	ppm	0.2	Th	ppm	0.5
Br	ppm	0.3	U	ppm	1.6

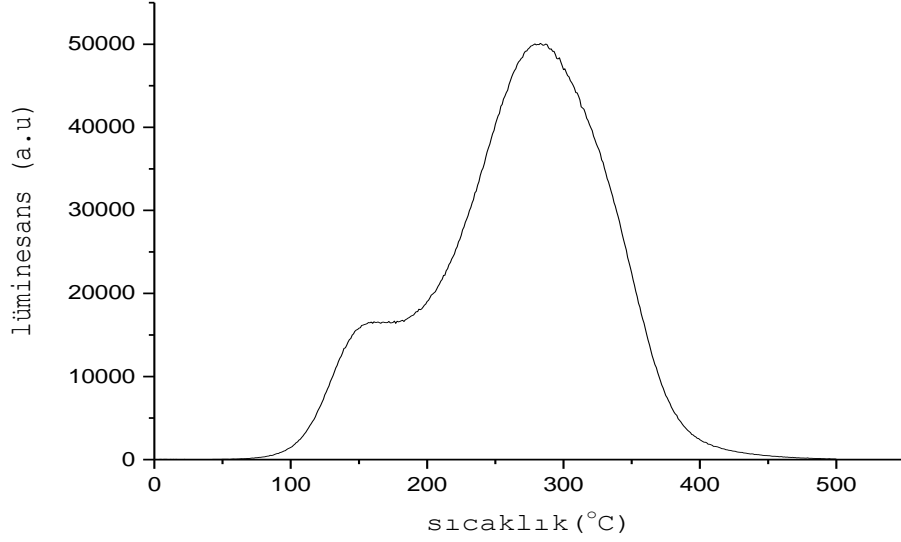
Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de görüldüğü üzere her iki örneğin de kalsiyum-borat yapıda olduğu gözlenmiştir.

4.4 Bor Mineralleri Örneklerinin Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi

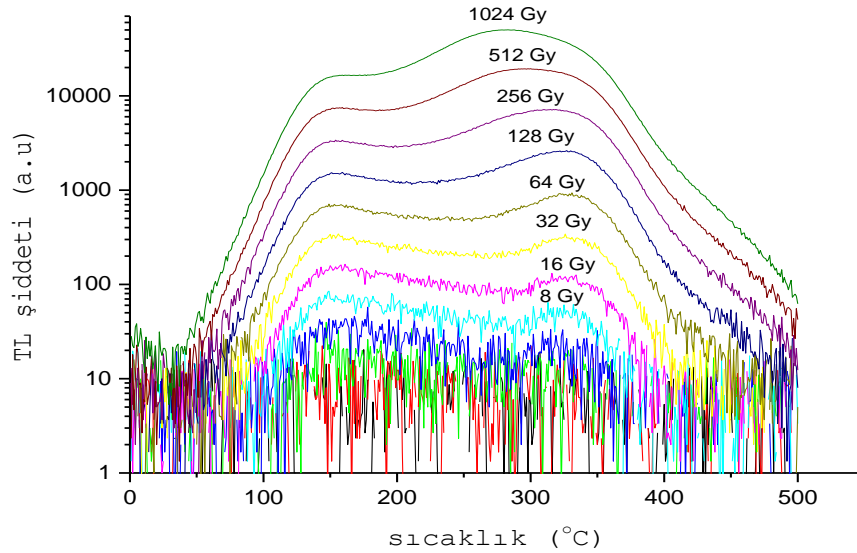
4.4.1 TL ışıma eğrileri

140<μm<200 tanecik boyutlarına sahip olacak şekilde hazırlanan ve fırınlama sonucunda hiçbir fiziksel değişime uğramayan örnekler 1 °C/s ısıtma hızı ile 500 °C'ye kadar ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Örnekler ait tuzaklar öncelikle hiçbir doz verilmeden ısıtma yapılarak temizlendikten sonra sırasıyla 0.5 Gy, 1 Gy, 2 Gy, 4 Gy, 8 Gy, 16 Gy, 32 Gy, 64 Gy, 128 Gy, 256 Gy, 512 Gy, 1024 Gy ışınlanarak ve 500°C, 1 °C/s ile okunarak ışıma eğrileri elde edilmiştir ((Şekil 4.5) ve (Şekil 4.7)). Örnekler

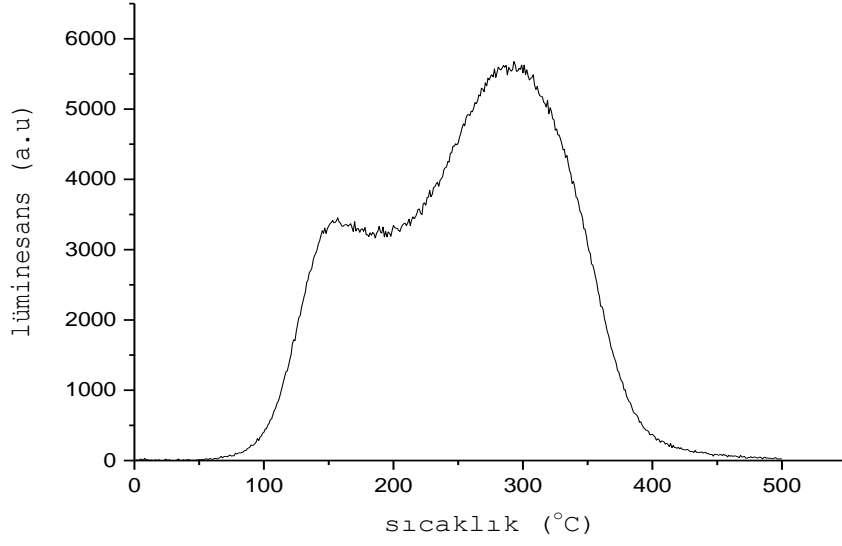
140 °C'ye kadar 1 °C/s ısıtma hızı ile önısıtma yapılmıştır. Sonuçlardan background değerleri çıkarılmıştır. Örneklerin TL ölçümü alınırken Hoya U-340 filtresi kullanılmıştır. Geniş bir doz aralığında ölçüm alınması nedeniyle ışıma eğrileri semi-log eksen kullanılarak elde edilmiştir.



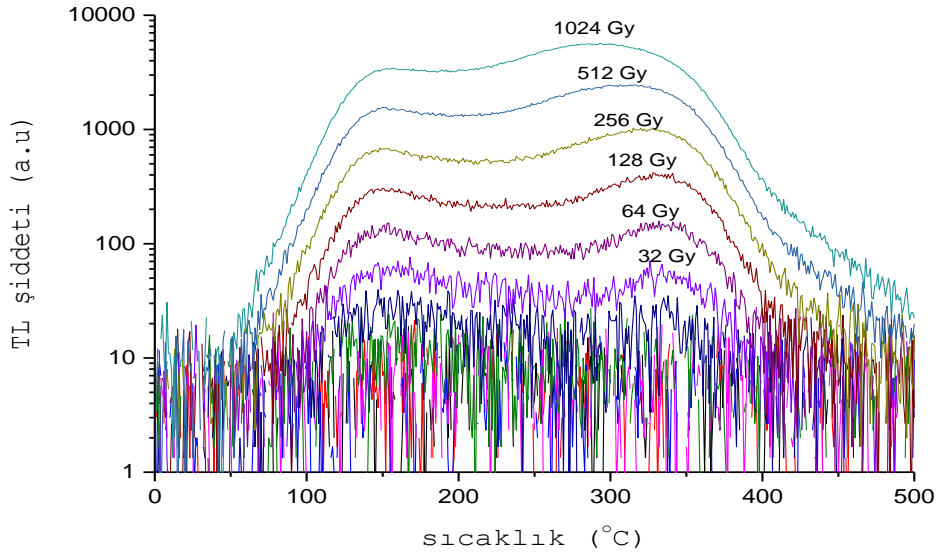
Şekil 4.4 Üleksit'e ait ışıma eğrisi (1024 Gy)



Şekil 4.5 Üleksit'e ait ışıma eğrisi (0,5-1024 Gy)



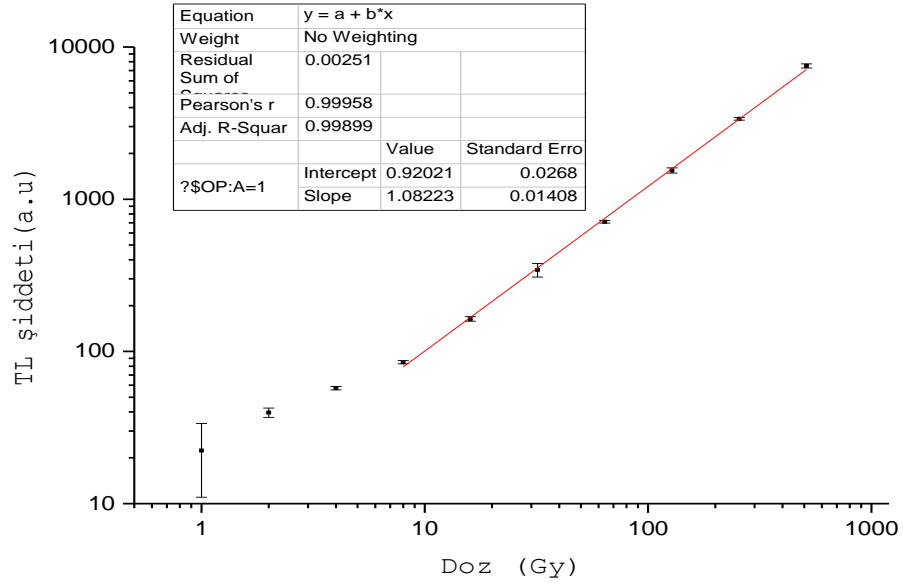
Şekil 4.6 Kolemanit'e ait ışımā eğrisi (1024 Gy)



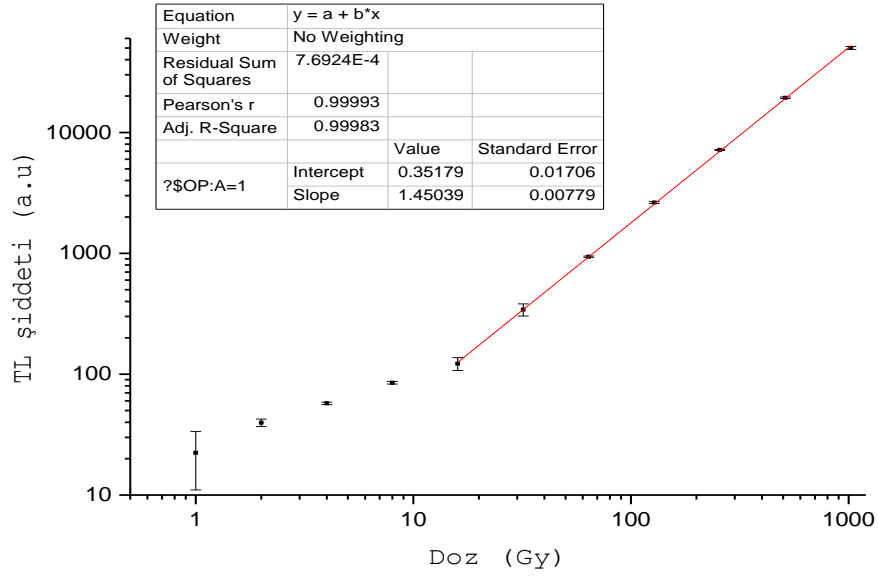
Şekil 4.7 Kolemanit'e ait ışımā eğrisi (0,5-1024 Gy)

4.4.2 TL radyasyon dozu cevabı

Bor mineralleri örneklerine ait radyasyon doz cevabının belirlenmesi için 0,5-1024 Gy arasında ışınlanan örnekler için ışınma eğrisindeki TL şiddeti ile radyasyon dozu miktarı arasındaki ilişki incelenmiştir. Eğrilerin elde edilmesinde her bir radyasyon dozuna karşılık gelen ışınma eğrisindeki tepe noktaları kullanılmıştır. Her örnekten üç adet kullanılmış olup sonuçlar için standart sapma değerleri hesaplanarak doz cevabı eğrilerine dahil edilmiştir. Örnekler RISØ TL/OSL sisteminde dahili olarak bulunan ⁹⁰Sr beta kaynağı ile ışınlanmıştır. Radyasyon dozu ile TL şiddetinin lineer olarak değiştiği bölge Şekil 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11'de gösterilmiştir.

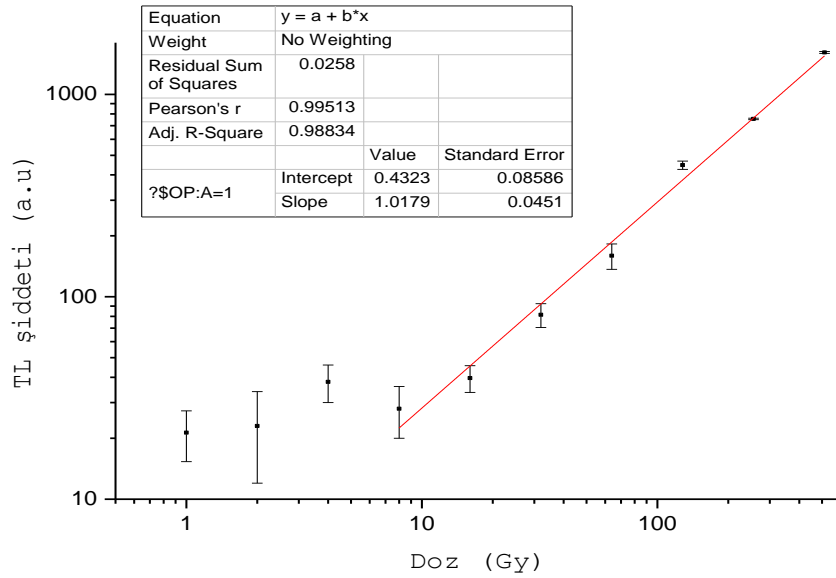


Şekil 4.8 Üleksit 150°C civarındaki pike ait radyasyon doz cevabı eğrisi

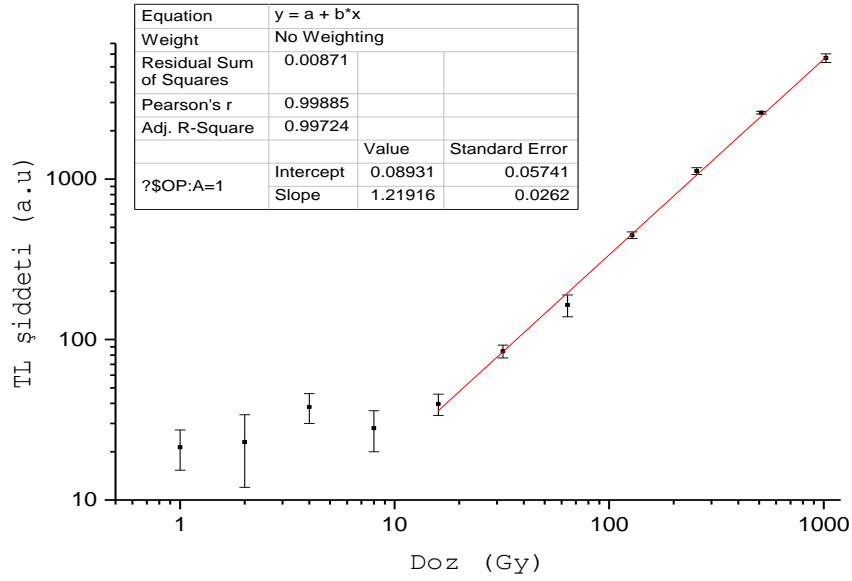


Şekil 4.9 Üleksit 300°C civarındaki pike ait radyasyon doz cevabı eğrisi

Elde edilen verilere göre üleksit örneğinde 150°C ve 300°C TL piki 16 Gy'den büyük radyasyon dozlarında lineer artış göstermektedir.



Şekil 4.10 Kolemanit 150°C civarındaki pike ait radyasyon doz cevabı eğrisi

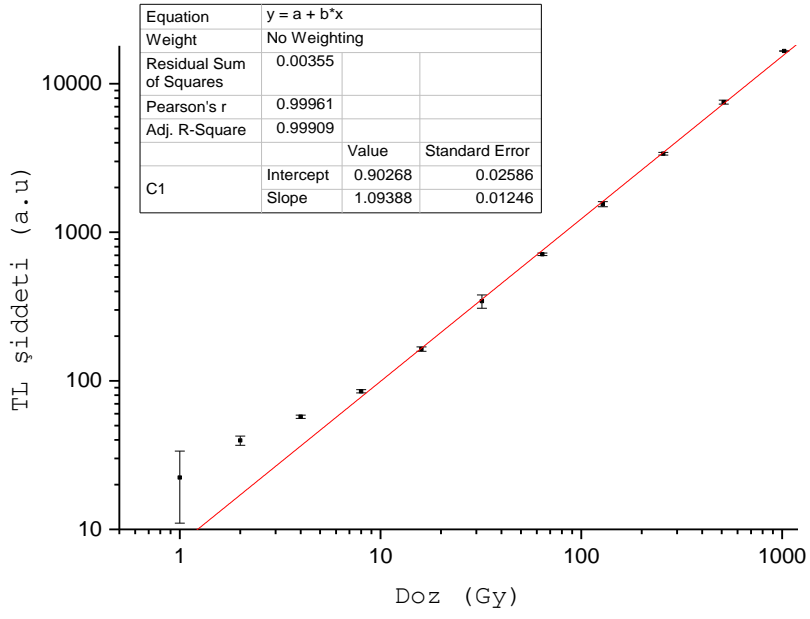


Şekil 4.11 Kolemanit 300°C civarındaki pike ait radyasyon doz cevabı eğrisi

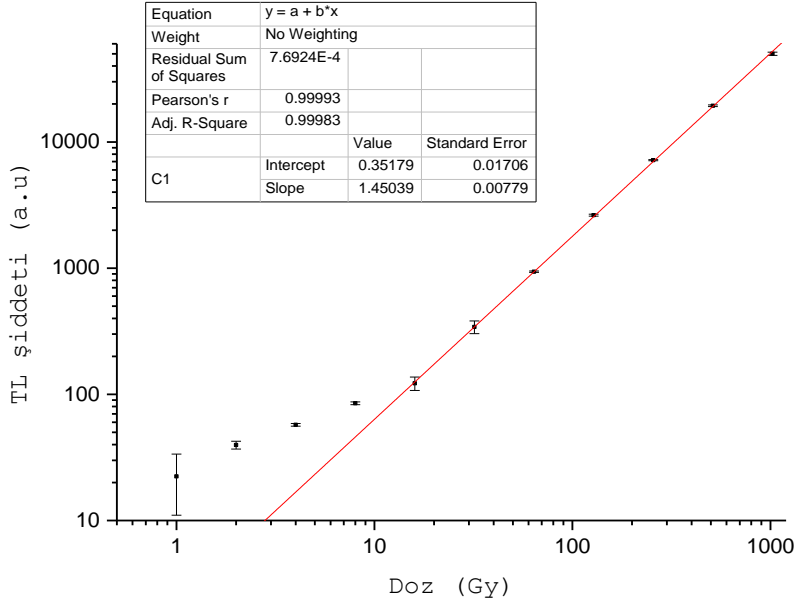
Elde edilen verilere göre kolemanit örneğinde 150°C ve 300°C TL piki 16 Gy'den büyük radyasyon dozlarında lineer artış göstermektedir.

4.4.3 TL minimum ölçülebilir doz değeri

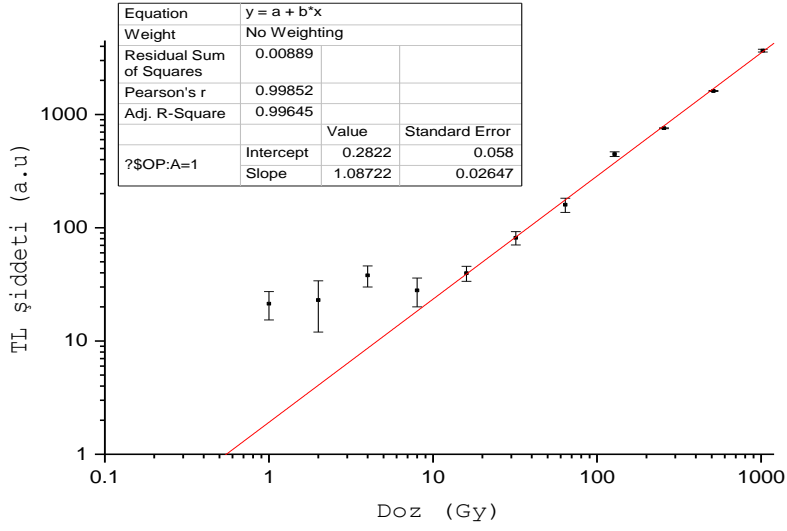
Örneklere ait doz cevabı eğrilerinin doz eksenini kestiği noktadaki değer yaklaşık minimum ölçülebilir doz değeri olarak alınmıştır. Background değeri 30'dur ve hata hesaplamasında background değerinin karekökü kullanılmıştır. Geniş bir doz aralığında ölçüm alınması nedeniyle eğriler için logaritmik eksen kullanılmıştır. Değerlerin lineer olarak arttığı bölge seçilerek bu bölgeye ait eğrinin Doz (Gy) eksenini kestiği nokta yaklaşık olarak minimum ölçülebilir doz değeri olarak saptanmıştır. Her pik için bu işlem ayrıca tekrarlanmıştır. Üleksit örneğine ait ilk pike ait minimum ölçülebilir doz değeri yaklaşık olarak $21 \pm 5,5$ Gy, ikinci pike ait değer $58 \pm 5,5$ Gy ve kolemanit örneğine ait ilk pike ait minimum ölçülebilir doz değeri yaklaşık olarak $20 \pm 5,5$ Gy, ikinci pike ait değer $34 \pm 5,5$ Gy 'dir.



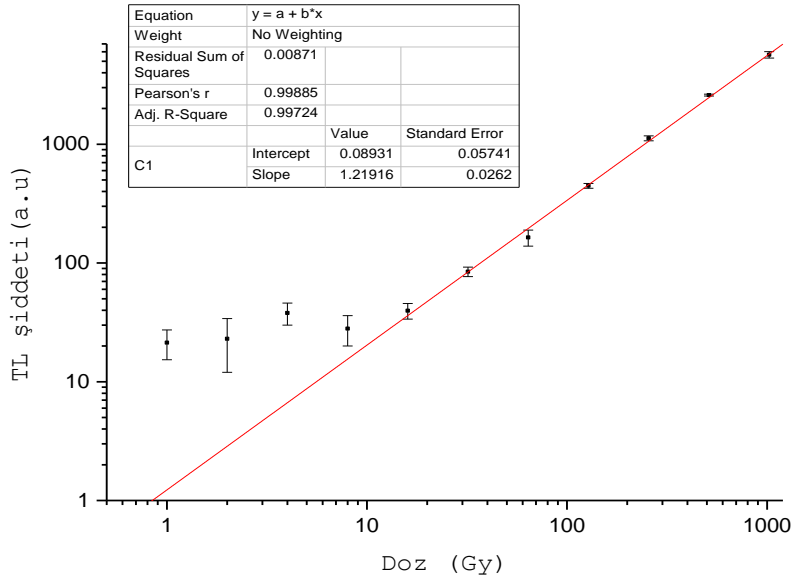
Şekil 4.12 Üleksit 150°C civarındaki pike ait minimum ölçülebilir doz değeri grafiği



Şekil 4.13 Üleksit 300°C civarındaki pike ait minimum ölçülebilir doz değeri grafiği



Şekil 4.14 Kolemanit 150°C civarındaki pike ait minimum ölçülebilir doz değeri grafiği

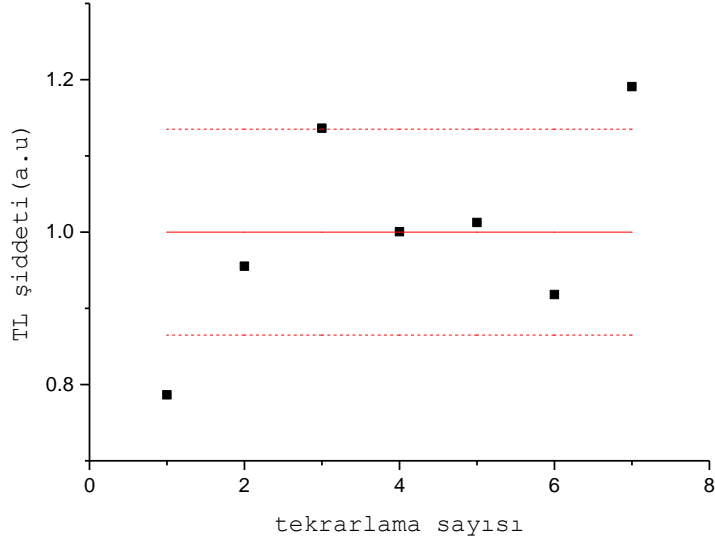


Şekil 4.15 Kolemanit 300°C civarındaki pike ait minimum ölçülebilir doz değeri grafiği

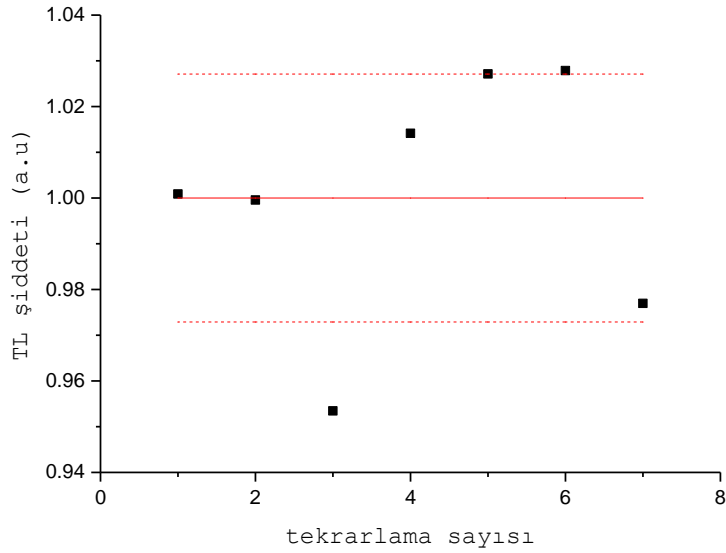
4.4.4 TL hassasiyet değişimi (tekrarlanabilirlik)

Yapılan çalışma esnasında aynı örnekler kullanılmıştır. Bir çok kere 500 °C'ye kadar ısıtılan ve farklı miktarlarda ışınlanan örneklerde kimyasal değişimler nedeniyle oluşabilecek lüminesans verimi farklılıklarının gözlenebilmesi amacıyla örnekler ışınlandıkları her dozdan sonra 32 Gy test dozuyla tekrar ışınlanarak TL ölçümleri

alınmıştır. Tekrarlanan ölçümler sonucunda TL şiddetinde görülen değişimler Şekil 4.16 ve 4.17'de görülmektedir. TL şiddeti değeri olarak ışına eğrisinin altında kalan alanın toplamı kullanılmıştır.



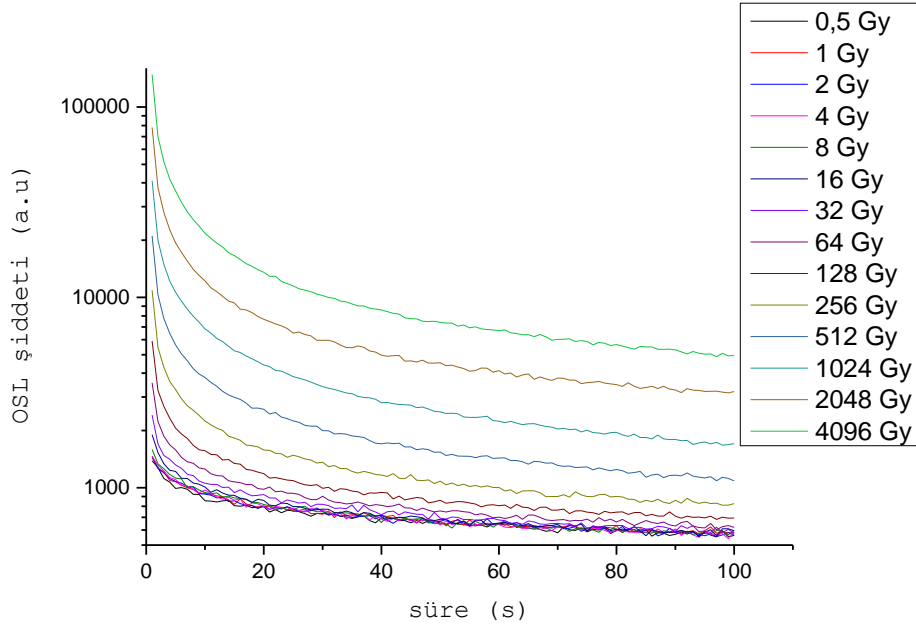
Şekil 4.16 Üleksit'e ait TL hassasiyetindeki değişim miktarı grafiği



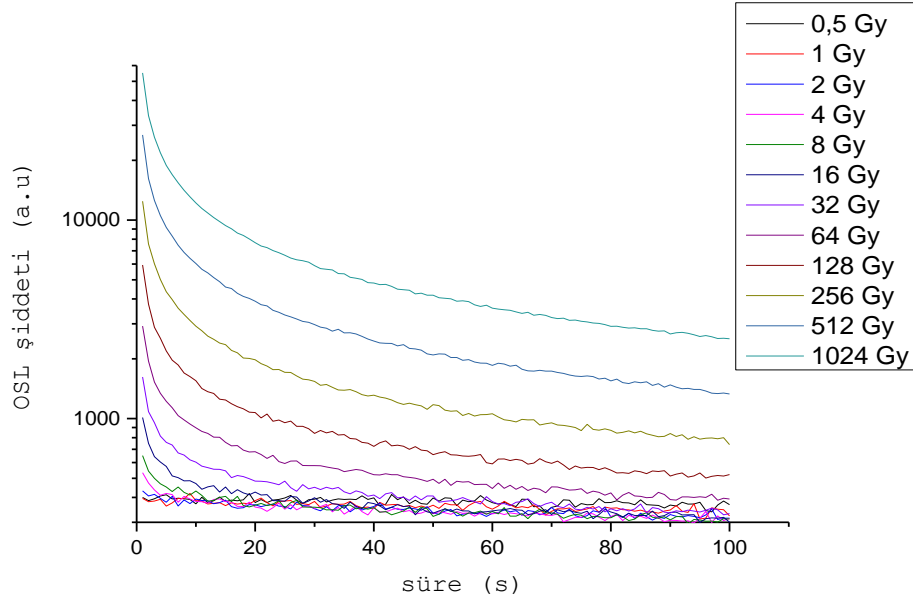
Şekil 4.17 Kolemanit'e ait TL hassasiyetindeki değişim miktarı grafiği

4.4.5 OSL azalım eğrileri

140 μ m<200 tanecik boyutlarına sahip olacak şekilde hazırlanan ve fırınlama sonucunda hiçbir fiziksel değişime uğramayan örnekler 140°C'ye kadar °C/s ısıtma hızı ile önısıtma yapıldıktan sonra 100 s süresince OSL işlemi uygulanmıştır. OSL için kızılötesi ve mavi ışık kullanılmıştır. Ancak kızılötesi ışık kullanıldığında anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Örneklere ait tuzaklar öncelikle hiçbir doz verilmeden TL ve OSL işlemleri yapılarak temizlendikten sonra kolemanit örneği sırasıyla 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 ve 1024 Gy ışınlanarak (Şekil 4.19) ve üleksit örneği ayrıca 2048 ve 4096 Gy ışınlanarak azalım eğrileri elde edilmiştir (Şekil 4.18). Ayrıca her dozdan sonra örnekler 1°C/s ısıtma hızı ile 500°C'ye kadar ısıtılıp TL işlemine tabi tutularak tüm tuzaklar temizlenmiş ve bir sonraki dozda tuzaklarda bir önceki doza ait elektronların birikmesi önlenmiştir. Sonuçlardan background değerleri çıkarılmıştır.



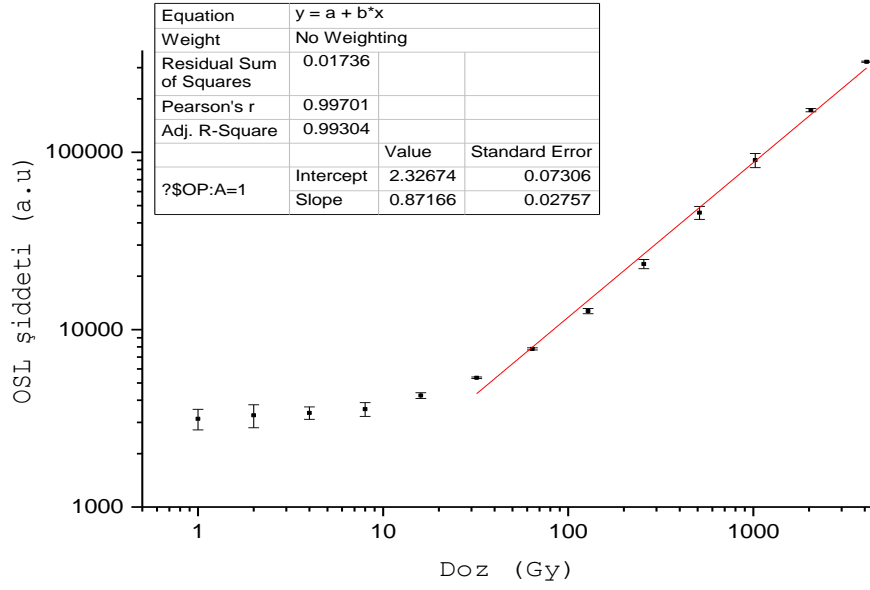
Şekil 4.18 Üleksit'e ait OSL azalım eğrileri



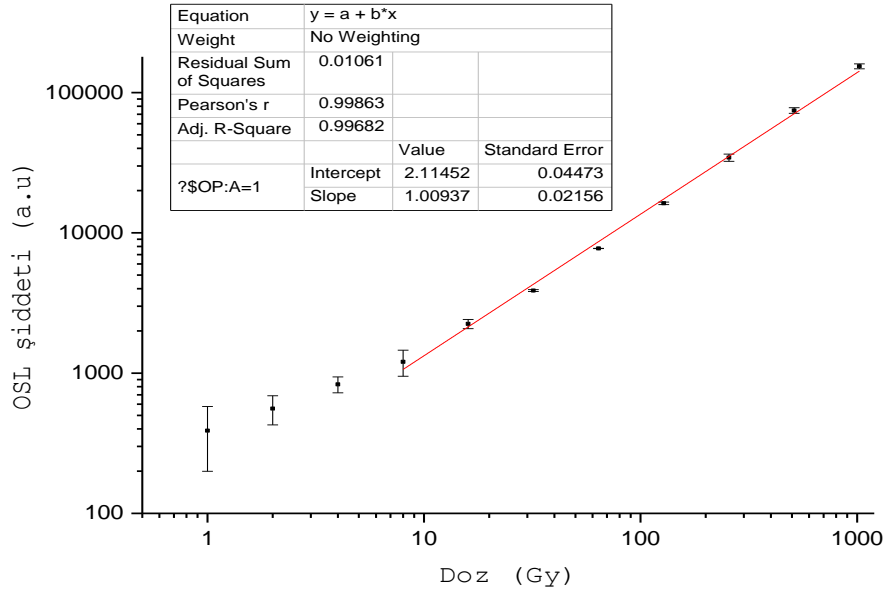
Şekil 4.19 Kolemanit'e ait OSL azalım eğrileri

4.4.6 OSL radyasyon doz cevabı

Bor mineralleri örneklerine ait radyasyon doz cevabının belirlenmesi için ışınlanan örneklere ait azalım eğrilerinin ilk beş saniyesinde elde edilen değerlerin toplamından son beş saniyesinde elde edilen değerlerin toplamının çıkarılması ile hesaplanan lüminesans şiddetlerinin, doz miktarına oranı ile ulaşılan doz cevabı eğrileri Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de görülmektedir. Geniş bir doz aralığında ışınlama yapılması nedeniyle eğrilerde logaritmik eksen kullanılmıştır.



Şekil 4.20 Üleksit'e ait OSL radyasyon doz cevabı eğrisi

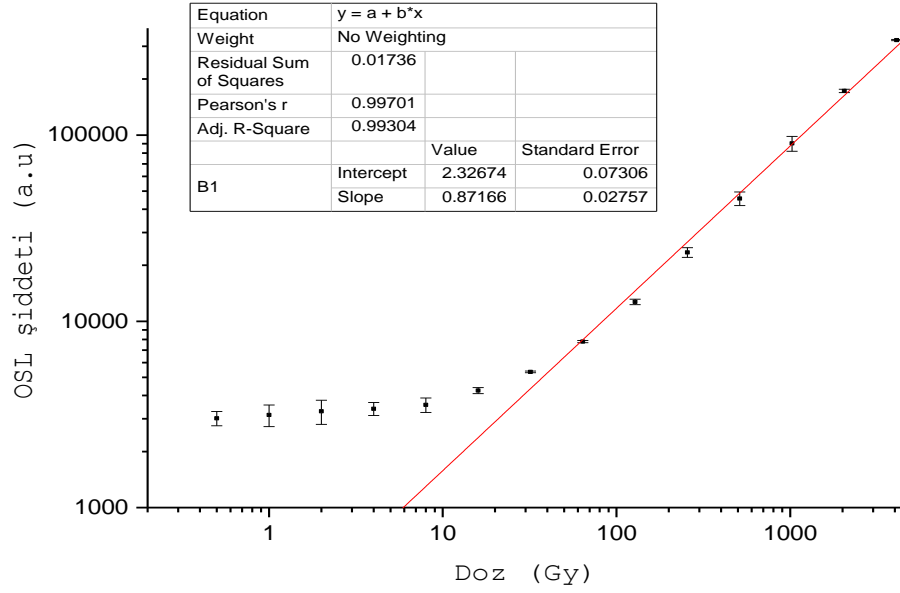


Şekil 4.21 Kolemanit'e ait OSL radyasyon doz cevabı eğrisi

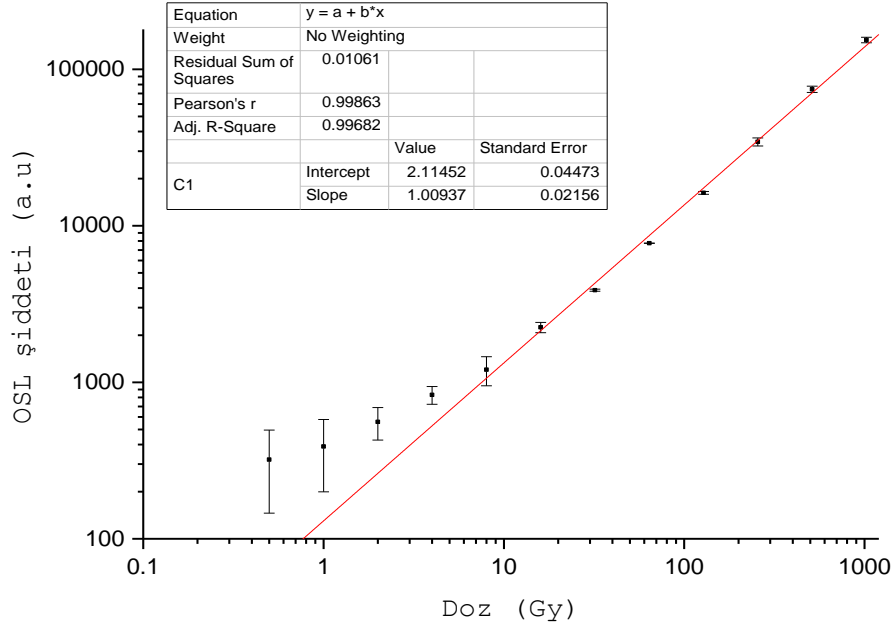
4.4.7 OSL minimum ölçülebilir doz değeri

Örneklere ait doz cevabı eğrilerinin doz eksenini kestiği noktadaki değer yaklaşık minimum ölçülebilir doz değeri olarak alınmıştır. Geniş bir doz aralığında çalışılması sebebiyle logaritmik eksenler kullanılmış olup doz-lüminesans değerlerinin lineer artış

gösterdiği bölge hesaplama için seçilmiştir. Minimum ölçülebilir dozun belirlenmesi amacıyla eğrinin lineer bölgesi ayrıca elde edilip lineer fit edilerek ulaşılan $y=a + bx$ denklemindeki değerler kullanılarak üleksit için yaklaşık minimum ölçülebilir doz değeri 11 Gy, kolemanit için ise 60 Gy olarak bulunmuştur.



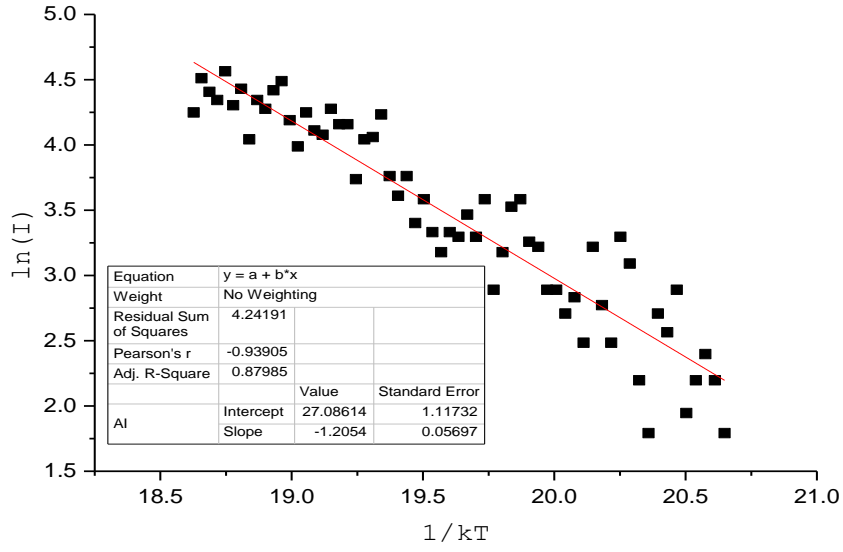
Şekil 4.22 Üleksit'e ait minimum ölçülebilir doz değeri grafiği



Şekil 4.23 Kolemanit'e ait minimum ölçülebilir doz değeri grafiği

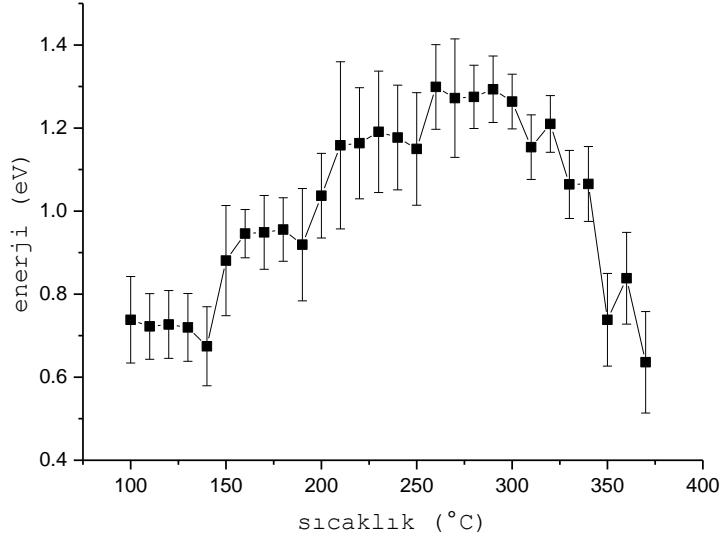
4.4.8 Kinetik parametrelere ait değerler

Üleksit ve kolemanit minerallerine ait ışınma eğrilerinde 300°C civarında iç içe geçmiş pikler gözlenmektedir. Yoğunlukla kullanılan aktivasyon enerjisi hesaplama yöntemlerinin basit pikler için olması nedeniyle üleksit ve kolemanit için "kesikli ışınma eğrisi" yöntemi kullanılarak tüm tuzaklar için aktivasyon enerjileri elde edilmiştir. Üleksit minerali 75 Gy, kolemanit minerali ise 150 Gy ışılandıktan sonra 100°C'ye kadar TL ölçümü alınmıştır. Ardından her ölçümde maksimum TL sıcaklığı 10°C artırılarak 500°C'ye kadar TL ölçümleri alınmıştır. Her sıcaklık için $\ln(I)-1/kT$ grafiği çizdirilerek elde edilen eğimlerden o sıcaklığa ait enerji değeri elde edilmiştir. Şekil 4.24'de üleksit minerali için 330°C 'de elde edilen grafik görülmektedir.

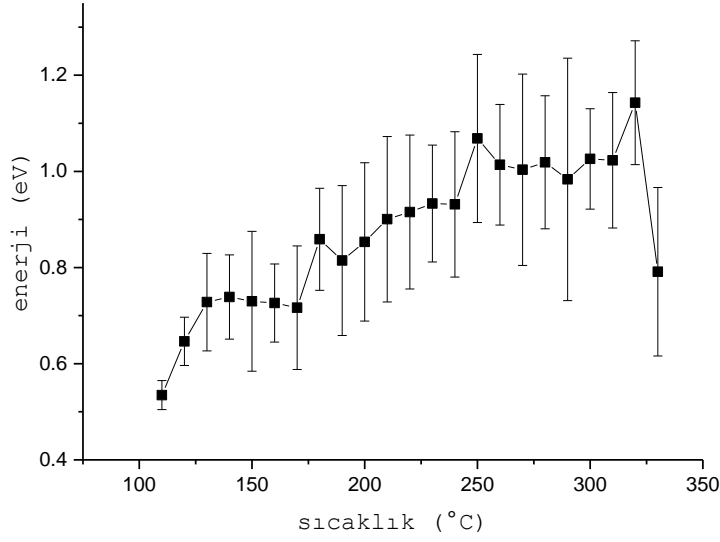


Şekil 4.24 Üleksit'e ait 330°C'deki $\ln(I)$ - $1/kT$ grafiği

Son aşamada örnekler için her sıcaklığa ait enerji-sıcaklık grafikleri elde edilmiştir. Üleksite ait enerji değerleri şekil 4.25'de görülmektedir. Yaklaşık 130 °C civarında 0,70 eV; 170 °C civarında 0,80 eV, 230 °C civarında 1,10 eV ve 275 °C civarında 1,27 eV aktivasyon enerjisine sahip tuzaklar bulunmaktadır. Kolemanite ait enerji değerleri ise şekil 4.26'da görülmektedir. Yaklaşık 150 °C civarında 0,73 eV; 230 °C civarında 0,92 eV ve 280 °C civarında 1,01 eV aktivasyon enerjisine sahip tuzaklar bulunmaktadır.



Şekil 4.25 Üleksit'e ait tuzak aktivasyon enerjileri



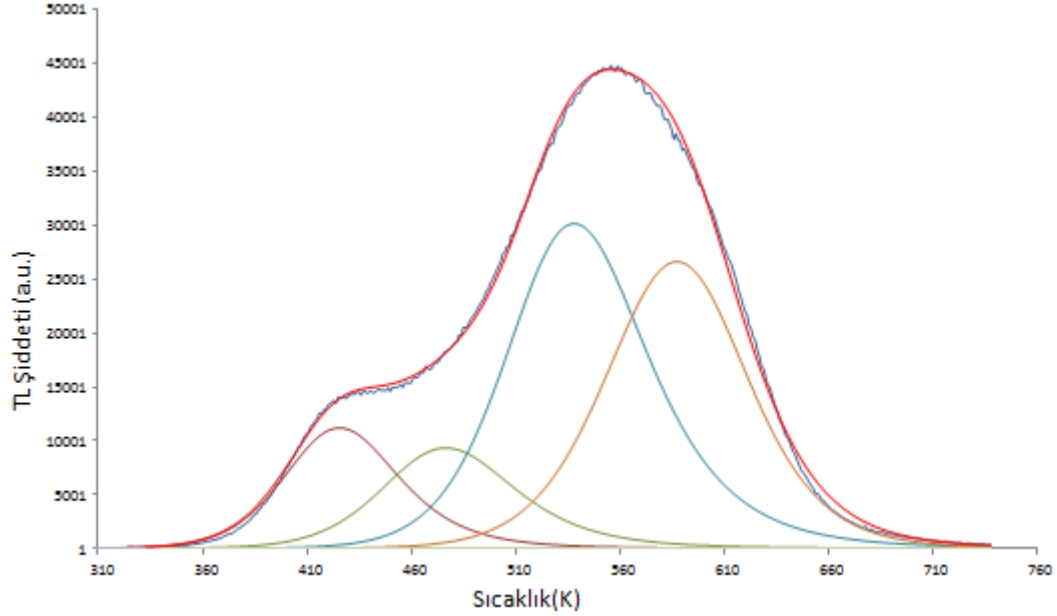
Şekil 4.26 Kolemanit'e ait tuzak aktivasyon enerjileri

Enerji değerlerinin elde edilmesinin ardından her tuzığa ait frekans faktörü Eşitlik 2.23 ve tuzak ömrü Eşitlik 2.27 kullanılarak bulunmuştur. Minerallere ait kinetik parametrelere ait değerler Çizelge 4.4'de görülmektedir.

Çizelge 4.4 Üleksit ve kolemanite ait kinetik parametre değerleri

Mineral Adı	Sıcaklık (°C)	E (eV)	s (s ⁻¹)	τ (s)	τ (yıl)
Üleksit	130	0,7	4,83x10 ¹⁰	2,27 x10 ¹	7,20 x10 ⁻⁷
Üleksit	170	0,8	5,39x10 ¹⁰	1,07 x10 ³	3,38 x10 ⁻⁵
Üleksit	230	1,10	5,79x10 ⁹	1,44 x10 ⁹	4,56 x10 ¹
Üleksit	275	1,27	2,56x10 ¹⁰	2,73 x10 ¹¹	8,66 x10 ³
Kolemanit	150	0,73	2,14x10 ⁷	1,67 x10 ⁵	5,32 x10 ⁻³
Kolemanit	230	0,92	6,37x10 ⁷	1,05 x10 ⁸	0,33 x10 ⁻¹
Kolemanit	280	1,01	5,61x10 ⁷	4,20 x10 ⁹	1,33 x10 ⁻²

Üleksit örneğine ait kinetik parametrelerin elde edilmesinde ayrıca "bilgisayarlı ışım eğrisi ayrıştırma yöntemi (CGCD)" kullanılmıştır. Bu yöntem için Microsoft Excel'de hazırlanmış bir hesap tablosu kullanılmıştır. Şekil 4.27'de dekonvolüsyon ile ayrıştırılmış pikler ve Çizelge 4.5'de ise üleksit'in kinetik parametreleri görülmektedir.



Şekil 4.27 Üleksit'e ait ayrıştırılmış TL pikleri

Çizelge 4.5 Üleksit'e ait kinetik parametre değerleri

Mineral Adı	Sıcaklık (°C)	b	E (eV)	s (s ⁻¹)	τ (s)	τ (yıl)
Üleksit	150	1,94	0,77	1,42x10 ⁷	1,24 x10 ⁶	0,03 x10 ⁰
Üleksit	200	2,00	0,85	7,90x10 ⁶	5,28 x10 ⁷	0,16 x10 ¹
Üleksit	265	2,03	1,03	3,41x10 ⁷	1,53 x10 ¹⁰	4,84 x10 ²
Üleksit	310	1,65	1,10	1,94 x10 ⁷	4,29 x10 ¹¹	1,36 x10 ⁴

Çizelge 4.5'de görülen bilgisayarlı ışım eğrisi ayrıştırma yöntemi ile elde edilen kinetik parametrelerin, Çizelge 4.4'de görülen kesikli ışım eğrisi yöntemi ile elde edilen kinetik parametre değerlerine uygun olduğu görülmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında; Eskişehir/ Kırka bölgesinden çıkarılmış dört adet (boraks, kernit, üleksit ve kolemanit) doğal bor minerali ile Eti Maden İşletmeleri'nden alınan altı adet (boraks dekahidrat, borik asit, boraks pentahidrat, tinkal, Etibor-48 ve kolemanit) bor mineralinin dozimetrik özellikleri incelenmiş ve retrospektif dozimetri amacıyla kullanıma uygunluğu araştırılmıştır. Toplam on adet bor mineralinden kolemanit ve üleksit örnekleri en yüksek sinyal şiddetini vermesi ve tekrarlanabilirliği nedeniyle seçilmiş ve sonraki ayrıntılı çalışmalar bu örneklerle devam etmiştir. Termoluminesans ve optik uyarımlı lüminesans teknikleri kullanılarak bu iki örneğin artan radyasyon dozuna bağlı lüminesans şiddeti incelenerek minimum ölçülebilir doz değeri, tekrarlanabilirliği gibi dozimetrik özelliklerinin yanı sıra tuzak parametreleri de kesikli ışımaya eğrisi yöntemi ve ayırıştırma (dekonvolüsyon) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Üleksit ve kolemanit örnekleri için elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir:

i) Üleksit ve kolemanit minerallerine ait TL ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi:

Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi 140°C'ye kadar ön ısıtma yapıldıktan sonra 500°C'ye kadar ısıtılarak elde edilen üleksit mineralinin ışımaya eğrisi elde edilmiştir. Artan dozlarla ısımlandığında 8 Gy'in altındaki dozlarda ışımaya eğrilerinin gürültü şeklinde olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'de görüldüğü gibi yaklaşık 150°C'de gözlenen TL piki için minimum ölçülebilir doz değeri 21 Gy ve yaklaşık 300°C'de gözlenen TL piki için minimum ölçülebilir doz değeri 58 Gy olarak belirlenmiştir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da üleksit mineraline ait TL ışımaya eğrilerinde şiddetin maksimum olduğu sıcaklık değerlerine karşılık gelen sinyal şiddeti kullanılarak elde edilen doz cevap eğrilerinde minimum ölçülebilir doz değerinin üzerindeki dozlarda eğrinin lineer olduğu görülmektedir. Minimum ölçülebilir doz değerinin altında ise radyasyon dozu cevabının sublineer olduğu gözlenmiştir. Yüksek dozlarda da sinyal şiddetinin doyuma ulaşmadığı ve doz cevabının lineer devam ettiği görülmektedir.

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi 140°C'ye kadar ön ısıtma yapıldıktan sonra 500°C'ye kadar ısıtılarak elde edilen kolemanit mineralinin ışımaya eğrisi elde edilmiştir. Artan dozlarla ısımlandığında 32 Gy'in altındaki dozlarda ışımaya eğrilerinin gürültü şeklinde olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de görüldüğü gibi yaklaşık 150°C'de gözlenen TL piki için minimum ölçülebilir doz değeri 20 Gy ve yaklaşık 300°C'de gözlenen TL piki

için minimum ölçülebilir doz değeri 34 Gy olarak belirlenmiştir. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de kolemanit mineraline ait TL ışına eğrilerinde şiddetin maksimum olduğu sıcaklık değerlerine karşılık gelen sinyal şiddeti kullanılarak elde edilen doz cevap eğrilerinde minimum ölçülebilir doz değerinin üzerindeki dozlarda eğrinin lineer olduğu görülmektedir. Minimum ölçülebilir doz değerinin altında ise radyasyon dozu cevabının sublineer olduğu gözlenmiştir. Yüksek dozlarda da sinyal şiddetinin doyuma ulaşmadığı ve doz cevabının lineer devam ettiği görülmektedir.

Bir kristalin TLD olarak kullanılabilmesi için sahip olması gereken özelliklerden biri dozimetrenin kullanılacağı alandaki doz aralığında lineer bir doz cevabına sahip olmasıdır. Üleksit ve kolemanit minerallerinin Gy mertebesindeki yüksek dozlarda doz-cevap eğrisinin lineer davranış gösterdiği gözlenmiştir.

Bir kristalin TLD olarak kullanılabilmesi için sahip olması gereken özelliklerden bir diğeri ise tekrarlanan ışınlama ve ısıtma işlemleri sonrasında TL hassasiyetinin değişmemesidir.

Bu amaçla; kolemanit ve üleksit örneklerinin yüksek dozlarla ışınlanması ve 500°C'ye kadar ısıtılmasının ardından hassasiyetindeki değişimin gözlenmesi amacıyla örnekler her okuma ve ışınlama işleminin ardından test dozu (32 Gy) verilerek ölçülmüş ve bu işlem 7 kez tekrarlanmıştır. Bu tekrarlama işleminden sonra her ışınlamadan sonra verilen test dozuna karşılık gelen TL şiddetindeki değişim incelendiğinde (Şekil 4.16 ve Şekil 4.17) üleksit ve kolemanit örneklerinin tekrarlanan ışınlama ve ısıtma işlemlerinin ardından sinyal şiddetinin hassasiyetinde değişim olmadığı gözlenmiştir.

ii) Üleksit ve kolemanit minerallerine ait OSL ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi:

Şekil 4.18'de 0,5-4096 Gy doz aralığında ışındandıktan sonra 140°C'ye kadar ön ısıtma yapılmış ve 100 saniye süre ile mavi ışık ile uyarılan üleksit mineraline ait CW-OSL azalım eğrileri görülmektedir. Üleksit mineralinin minimum ölçülebilir doz değeri Şekil 4.22'de görüldüğü gibi 11 Gy'dir. Şekil 4.20'deki doz cevap eğrisinde görüldüğü gibi minimum ölçülebilir doz değerinin üzerinde 4096 Gy'ye kadar üleksitin OSL doz cevabının lineer olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.19'da 0,5-1024 Gy doz aralığında ışındandıktan sonra 140°C'ye kadar ön ısıtma yapılmış ve 100 saniye süre ile mavi ışık ile uyarılan kolemanit mineraline ait CW-OSL

azalım eğrileri görülmektedir. Kolemanit mineralinin minimum ölçülebilir doz değeri Şekil 4.23'de görüldüğü gibi 60 Gy'dir. Şekil 4.21'deki doz cevap eğrisinde görüldüğü gibi minimum ölçülebilir doz değerinin üzerinde 1024 Gy'ye kadar kolemanitin OSL doz cevabının lineer olduğu gözlenmektedir.

TL ve OSL tekniğiyle elde edilen doz cevap eğrileri incelenecek olursa; üleksit örneği ile TL tekniğine göre OSL tekniği kullanılarak daha düşük dozların ölçülebileceği, kolemanit örneği içinse OSL tekniği yerine TL tekniği kullanılarak daha düşük dozların ölçülebileceği gözlenmiştir.

Bir kristalin TLD olarak kullanılabilmesi için lineer doz cevabının yanı sıra kullanımları ve depolanmaları esnasında sönmelenmeye uğramamaları gerekmektedir. Bu nedenle TL tuzaklarının oda sıcaklığında uzun süre bekletildiğinde boşalmaması gerekmektedir. TL ve OSL tekniğinde kullanılan dozimetrelerde radyasyona maruz kaldıktan sonra tuzaklanan elektronlar frekans faktörü ve tuzak derinliğine bağlı olarak bir süre boyunca uyarma işlemine kadar (ısıtma ve uygun dalga boyunda ışığa maruz bırakma) tuzaklarda kalır. Bu tuzak ömrünün uzunluğu bir dozimetre için önemli bir özelliktir ve genellikle TL tepelerinin 100°C üzerinde gözlenmesi istenir. Çizelge 4.4'de görüldüğü gibi üleksit mineralinin 230°C ve 275°C ve kolemanit mineralinin 280°C civarında bulunan tuzakları dozimetrik kullanım için uygun görünmektedir.

Düşük sıcaklıklardaki pikler sığ tuzaklardan boşalan elektronlara aittir. Bu nedenle düşük aktivasyon enerjisine sahip sığ tuzakların oluşturduğu düşük sıcaklık piklerinin temizlenmesi için her iki mineral de OSL ve TL ölçümleri öncesinde 140°C 'ye kadar ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve sığ tuzakların boşalması sağlanmıştır.

iii) Üleksit ve kolemanit minerallerinin TLD olarak kullanıma uygunluğunun değerlendirilmesi:

Üleksit mineralinin 230°C ve 275°C civarında bulunan TL piklerinin aktivasyon enerjileri sırasıyla 1,10 eV ve 1,27 eV ve tuzak ömürleri sırasıyla $4,56 \times 10^1$ ve $8,66 \times 10^3$ yıl olarak kesikli ışınma eğrisi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu örnekler 58-1024 Gy aralığında lineer radyasyon doz cevabına sahiptir ve materyalin ısıtma ve ışınlama işlemlerinin ardından TL hassasiyetindeki değişimler kabul edilebilir ölçüler içerisindedir.

Kolemanit mineralinin 280°C civarında bulunan TL pikinin aktivasyon enerjisi 1,01 eV ve tuzak ömrü $1,33 \times 10^2$ yıl olarak kesikli ışımaya eğrisi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu örnekler 34-1024 Gy aralığında lineer radyasyon doz cevabına sahiptir ve materyalin ısıtma ve ışınlama işlemlerinin ardından TL hassasiyetindeki değişimler kabul edilebilir ölçüler içerisindedir.

Üleksit ve kolemanit minerallerinin dozimetre olarak kullanılması esnasında karşılaşılabilecek en büyük dezavantaj iç içe geçmiş piklerin varlığıdır. Ancak bu iç içe geçen pikler ayrıştırma yapılarak kullanılabilir veya ısıtma işlemi ile düşük sıcaklıkta gözlenen pik silinerek sadece yüksek sıcaklıktaki daha kararlı olan pik kullanılabilir. Minerallerin eldesinin ve işlenmesinin kolaylığı büyük bir avantajdır. Ayrıca bir çok bor minerali doğru şekilde işlenerek bir çok farklı amaçla dozimetre olarak kullanılabilir.

Dünyadaki bor rezervlerinin büyük bir çoğunluğunun ülkemizde bulunması nedeniyle bor bileşikleri kolay erişilebilen ve işlenmesi kolay olan bir malzemedir. Bu anlamda ticari olarak birçok alanda kullanılabilir. Dozimetrik alanda da bor bileşiklerinin kullanılacağı bu tez çalışması ile gösterilmiştir. Ancak, yapılan çalışmada üleksit ve kolemanit mineralleri ile ölçülebilecek minimum dozun Gy mertebesinde olduğu ve yüksek doz dozimetresi olarak kullanılacağı gözlenmiştir. Örneğin bu dozimetreler yüksek dozların ölçüldüğü nükleer santrallerdeki nükleer yakıtın etrafına yerleştirilerek periyodik ölçümlerin alınmasında kullanılabilir.

Bor'un nötron soğurma tesir kesitinin yüksek olması bilinen bir özelliğidir. Bu özellikten yararlanılarak farklı bir dozimetrik malzeme ile oluşturulan yeni dozimetrik malzeme ile nötron ışınlamalarında düşük dozların ölçülebilirliği de incelenmesi gereken bir konudur.

KAYNAKLAR

- Afouxenidis, D. Polymeris, G.S. Tsirliganis, N.C ve Kitis, G. 2012 Computerised Curve Deconvolution of TL/OSL Curves Using a Popular Spreadsheet Program. *Radiation Protection Dosimetry*, 149, 363-370.
- Aitken, M.J. 1985. *Thermoluminescence dating*. Academic Press, 359, London.
- Anonim, 2012. <http://www.boren.gov.tr/tr> .Erişim tarihi 2015.
- Atakol, O. Meriç, N. ve Yaşar, F. 2010. Optik Uyarımlı Lüminesans (OSL) ve Termolüminesans (TL) Teknikleri ile İnsan Dişlerinin Retrospektif Dozimetre Olarak Kullanımının ve Tarihlendirilmesinin Geliştirilmesi, Tübitak Projesi, Ankara.
- Atlıhan, M.A. 2010. Ege Çöküntü Sistemindeki Bazı Deprem İzlerinin Lüminesans Yöntemiyle İncelenmesi. Doktora tezi. Çukurova Üniversitesi, 106 s., Adana.
- Bøtter-Jensen, L. 2000. Development of Optically Stimulated Luminescence Techniques Using Natural Minerals and Ceramics, and Their Application to Retrospective Dosimetry, Doktora Tezi. Riso National Laboratory, 175 s, Roskilde.
- Bøtter-Jensen, L., McKeever, S.W.S., Wintle, A.G. 2003. *Optically Stimulated Luminescence Dosimetry*, Elsevier Science B.V., 355, Hollanda.
- Bulur, E. 1996. An Alternative Technique for Optically Stimulated Luminescence (OSL) Experiment. *Radiation Measurements*, 26, 701-709
- Chen, R. 1969 b. On the Calculation of Activation Energies and Frequency Factors from Glow Curves. *J. Appl. Phys.*, 40, 570-585.
- Chen, R. ve Leung, P.L. 2003. The Decay of OSL Signals as Stretched-Exponential Functions. *Radiation Measurements*, 37, 519-526,
- BOREN, Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, 2003. Web Sitesi. <http://www.boren.gov.tr/tr> Erişim tarihi 2015.
- Furetta, C. 2003. *Handbook of Thermoluminescence*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore.
- Gaule, G.K. 1965. *Boron Volume 2: Preparation, Properties, and Applications*. Springer Link.

- Garlic, G.F.J., ve Gibson, A.F. 1948. The Electron Trap Mechanism of Luminescence in Sulphide and Silicate Phosphors. *Proc. Phys. Soc.*, 60, 574-590.
- Grossweiner, L.I. 1953. A Note on the Analysis of First-Order Glow Curves. *J. Appl. Phys.*, 24, 1306-1307.
- Horowitz, Y. 1984. *Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry*. C.R.C. Press, Florida.
- May, C.E. ve Partridge, J.A. 1964. Thermoluminescence Kinetics of Alpha-Irradiated Alkali Halides. *J. Chem. Soc.*, 40, 1401-1409.
- McKeever, S.W.S. ve Akselrod M.S. 1996a. Pulsed Optically Stimulated Luminescence Dosimetry Using a-Al₂O₃:C. *Radiation Protection Dosimetry*, 65, 267-272.
- McKeever, S.W.S. 1995. Luminescence Sensitivity Changes in Quartz as a Result of Annealing. *Radiat. Meas.*, 24, 535-541.
- Mott, N. F. 1948. Slip at Grain Boundaries and Grain Growth in Metals. H. H. Wills Physical Laboratory, Bristol.
- MTA, Maden Tetkik ve Arama, 1935. Web sitesi. <http://www.mta.gov.tr> . Erişim tarihi 2015.
- Olko, P., Bilski, P., Budzanowski, M., Waligorski, M.P.R., Reitz, G. 2002. Modeling The Response of Thermoluminescence Detectors Exposed to low- and high-LET radiation fields. *J. Radiat. Res.*, 43, S59-S52.
- Randall, J.T. ve Wilkins, M.H.F. 1945. Phosphorescence and Electron Traps I. The Study of Trap Distributions. *Proc. R. Soc. A*, 184, 365-389.
- Seitz, F. 1940. *Modern Theory of Solids*, McGraw-Hill Book Company, Inc., London.
- Taranenko V., Meckbach, R., Panzer, W., Göksu, H.Y. 2004. Monte Carlo Simulation of Energy Deposition in Dental Ceramics and Aluminum Oxide and Comparison with Luminescence Measurements. *Proc. 10th International Conference on Radiation Shielding (ICRS-10)*, 16, 228.
- Thomsen, K.J. 2004. *Optically Stimulated Luminescence Techniques in Retrospective Dosimetry Using Single Grains of Quartz Extracted From Unheated Material*, Doktora Tezi. Risø National Laboratory, 165 s, Roskilde.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve GÜNDOĞMUŞ

Doğum Yeri : KALECİK

Doğum Tarihi : 15 / 01 / 1989

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise: Kılıçarslan Lisesi (Y.D.A.L), (2002-2006)

Lisans: Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü,
(2006-2012)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimleri Enstitüsü Sağlık Fiziği
Anabilim Dalı, (2012-2015)