

**LANTANİT KATKILI MAGNEZYUM BORAT MİNERALLERİNİN
LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE TIBBİ
DOZİMETRE OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İLKNUR SİMGE ÜNAL

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
HAZİRAN 2019**

**LANTANİT KATKILI MAGNEZYUM BORAT MİNERALLERİNİN
LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE TIBBİ
DOZİMETRE OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İLKNUR SİMGE ÜNAL

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK
ANABİLİM DALI**

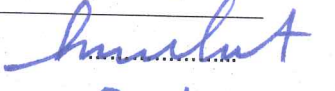
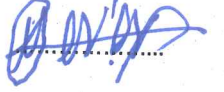

**Danışman
Prof. Dr. Kasım KURT**

**İkinci Danışman
Öğr. Gör. Dr. Mehmet YÜKSEL**

**MERSİN
HAZİRAN - 2019**

ONAY

İlknur Simge ÜNAL tarafından Prof. Dr. Kasım KURT Danışmanlığında ve Doç. Dr. Mehmet YÜKSEL ikinci danışmanlığında hazırlanan "Lantanit Katkılı Magnezyum Borat Minerallerinin Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi ve Tıbbi Dozimetre Olarak Kullanılabilirliği" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 26 Ağustos 2019 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Prof. Dr. Kasım KURT	
Üye	Prof. Dr. Zeki YARAR	
Üye	Dr. Öğr. Üy. Mustafa Zeki KURT	

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 04/10/2019 tarih ve 2019/38/1554 Sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi

beyan ederim.

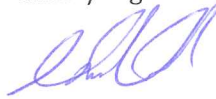
ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

26/08/2019

İmza / Signature



Öğrenci Adı ve Soyadı / İlknur Simge ÜNAL

ÖZET

LANTANİT KATKILI MAGNEZYUM BORAT MİNERALLERİNİN LÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE TIBBİ DOZİMETRE OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Magnezyum Borat'ın etkin kütlesi 7.8 olup ve canlı dokuların etkin kütlesi ile benzerlik göstermektedir. Bu avantaj kullanılarak üretilecek olan malzemenin radyasyona olan termoluminesans (TL) duyarlılığı çalışılması amaçlanmaktadır. Doz cevap eğrilerinin lineerlik göstermesi halinde medikal alanda kullanılabilirliği araştırılması planlanmaktadır. Termoluminesans sinyallerinin artırılması ve kararlı tuzakların oluşturulması için uygun olan lantanitler katılacaktır. Katılama sonucunda oluşan tuzakların aktivasyon enerjisi ve frekans faktörü hesaplanıp kinetik derecesi tespit edilmeye çalışılacaktır. Sentezlenen malzemenin termoluminesans sinyallerinin radyasyona olan duyarlılığı ve radyasyona tabi kaldıktan sonra ki TL sinyallerin sönme durumları çalışılmıştır. Bu çalışmada magnezyum tetra borat (MgB_4O_7) minerali çözelti yanma yöntemi ile sentezlenmiştir. Sentezleme sırasında Dy ve Eu Lantanitleri her biri sırasıyla %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0,5 oranında katıldı. Sentezlendikten sonra, elde edilen XRD, SEM ve TL sonuçlarına göre kristal form elde edilinceye kadar malzemeler sinte edildi. Bunlar arasında en iyi TL ışım grafipleri veren $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) olarak görülmüştür. Bu malzemelerin TL ışım eğrileri, tekrar kullanılabilirlik, solma özellikleri ve doz cevap eğrileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar çerçevesinde tıbbi dozimetre olarak kullanılabilirliği tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Termoluminesans (TL), Magnezyum Borat, Çözelti Yanma Sentez Yöntemi (SCS), Doz Yanıtı, Dozimetre,

Danışman: Prof. Dr. Kasım KURT, Mersin Üniversitesi, Fizik Ana Bilim Dalı, Mersin

Eş Danışman: Doç. Dr. Mehmet YÜKSEL, Çukurova Üniversitesi, Fizik Ana Bilim Dalı, Adana.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF LUMINESCENCE PROPERTIES OF LANTHANITIC MAGNESIUM BORATE MINERALS USED AS A MADICAL DOSIMETER

The effective mass of Magnesium Borate is 7.8 and is similar to the effective mass of tissues. The aim of this study is investigating thermoluminescence (TL) sensitivity of the material to be produced by using this advantage. It is planning to study medical dosimetric properties while in order to use in medical field if dose response curve act as linearity. Appropriate lanthanides will be doped to increase the thermoluminescence signals and to form stable traps. The activation energy and frequency factor of the traps will be calculated and the kinetic degree will be determined. Thermoluminescence sensitivity of the synthesized material to radiation and the fading properties after irradiation will investigated. In this study magnesium tetra borate (MgB_4O_7) was synthesized by solution combustion synthesis method. The lanthanides of Dy and Eu were doped %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 vs %0.5 rate respectively while the synthesization of Magnesium tetraborate. After synthesization, the materials were sintered until to get crystal form according to obtained XRD, SEM, and TL results. Among these, MgB_4O_7 : Dy (0.3%) and MgB_4O_7 : Eu (0.1%), which yield the best TL signal, were observed. TL curves, reusability, fading properties and dose response of these materials were examined. In view of the results obtained, its utility as a medical dosimeter were discussed.

Keywords: Thermoluminescence, Magnesium borate, Solution combustion synthesis method(SCS), Dose response, Dosimetry

Advisor: Prof. Dr. Kasım KURT, Department of Physics, University of Mersin, Mersin.

Second Advisor: Assoc. Prof. Dr.Mehmet YÜKSEL, Department of of Physics, University of Çukurova, Adana.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans hayatım boyunca beni yetiştiren, çalışmalar sırasında bilgi ve tecrübeleri ile her anlamda bana yardımcı olan, yol gösteren I. danışmanım Prof. Dr. Kasım KURT ve TL ölçümlerinin alınması sırasında cihazın çalıştırılması, kullanılması ve alınan ölçümlerin değerlendirilmesinde benden yardımlarını esirgemeyen II. Danışmanım Doç. Dr Mehmet YÜKSEL hocama gönülden teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans çalışmalarımı destekleyen Mersin Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne ve malzemenin ölçüme hazır hale getirilmesi için laboratuvar olanaklarından yararlandığım Mersin Üniversitesi İleri teknoloji uygulama ve araştırma merkezine teşekkürlerimi sunarım.

Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Termolüminesans Dozimetri ve Medikal Fizik laboratuvarlarında her türlü çalışma olanağını sağlayan hocam Prof. Dr. Zehra YEĞİNGİL'e teşekkürlerimi sunarım. Yine bu çalışmam sırasında bana yardımcı olan arkadaşlarım Arş. Gör. Volkan ALTUNAL'a Özlem YİĞİT'e, Adnan ÖZDEMİR'e ve Bekir KAVICI'ya teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu aşamasında da beni hiç yalnız bırakmayan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili annem Aysin Ünal'a ve hayattan zamansız ayrılan manevi olarak desteğini hala hissettiğim rahmetle andığım sevgili babam Cumali Ünal'a ve deneyimleri ile bana destek olan sevgili yol arkadaşım A. Altuğ ATICI'ya sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLOLAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR ve SİMGELER	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Lüminesansın Temel Kavram ve Tanımları	1
1.2. Kristal Kusurlar	2
1.3. Noktasal Kusurlar	3
1.4. Çizgisel Kusurlar	4
1.4.1. Düzlemsel Kusurlar	4
1.4.2. Katılarda Bant Modeli	6
1.5. Termolüminesans (TL) Teoris	7
1.5.1. Birinci Derece Kinetik (Randall-Wilkins Teorisi)	11
1.5.2. İkinci Derece Kinetik	12
1.5.3. Genel Mertebeden Kinetik	13
1.6. Tuzak Parametrelerin Belirlenmesinde Kullanılan Metotlar	14
1.6.1. Farklı Isıtma Hızı Metodu	15
1.6.2. Doz Yanıt Metodu	15
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	16
3. MATERYAL ve YÖNTEM	18
3.1. Materyal	18
3.1.1. Magnezyum Borat Bileşikleri	18
3.1.2. Kullanılan cihazlar	18
3.1.2.1. Termolüminesans (TL) Ölçüm Sistemi	18
3.1.2.2. Fırın	21
3.1.2.3. Seramik Havan	21
3.1.2.3. Hassas Teraz	22
3.1.2.4. Elekler	22
3.2. Yöntem	23
3.2.1. Çözelti Yanma Sentez Yöntemi (SCS)	23
3.2.2. MgB ₄ O ₇ :Dy (%0.3) ve MgB ₄ O ₇ :Eu (%0.1) Malzemenin Deneysel Aşamaları	24
3.2.3. Sinterleme Deneyi	24
3.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	24
3.2.5. X-Işını Toz Kırınım (XRD) Analizi	25
3.2.6. Termolüminesans (TL) Ölçümleri	25
3.2.6.1. Ön Isıtma (preheat) Deneyi	26
3.2.6.2. Tavlama Sıcaklığı ve Tavlama Süresi Deneyi	26
3.2.6.3. Doz Yanıt(Dose Response) Deneyi	26
3.2.6.4. Sönüm (Fading) Deneyi	26
3.2.6.5. Tekrar Kullanılabilirlik (Reusability) Deneyi	27
3.2.6.6. Farklı Isıtma Hızı(Heating Rate) Deneyi	27
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	28
4.1. Dozimetrik Malzemelerin SCS Yöntemi ile Hazırlanış	28
4.2. Sinterleme Deneyi	28
4.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	29
4.4. X-Işını Toz Kırınım (XRD) Analizi	29

	Sayfa
4.5. Termoluminesans (TL) Ölçümleri	30
4.5.1 Ön Isıtma Deneyi	30
4.5.2. Tavlama Sıcaklığının ve Tavlama Süresinin Deneyi	31
4.5.3. Doz Yanıt (Dose Response) Deneyi	34
4.5.4. Sönüm (Fading) Deneyi	35
4.5.5. Tekrar Kullanılabilirlik(Reusability) Deneyi	37
4.5.6. Farklı Isıtma Hızları (Heating Rate)Deneyi	40
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	46



TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1.Kristallerdeki mümkün kusurlar.	6
Tablo.3.1. Çalışmada kullanılan kimyasallar	23



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Enerji diyagramı gösterimi: G taban, E uyarılmış ve M yarı-kararlı halleri a) floresansta elektronun uyarılmış halinden taban durumuna geçişi, b) fosforesansta elektronun uyarılmış halinden taban durumuna geçişinin izin verilmediği yarı-kararlı hale geçişi ifade eder.	2
Şekil 1.2. İki boyutlu kristalde şematik gösterim. Burada boşluk (B) arayer atomu (A) ve safsızlık atomu (S).	3
Şekil 1.3. a) Schottky kusuru, (b) Frenkel kusuru	4
Şekil 1.4. Çizgisel kusurlar.	4
Şekil 1.5. Taneler arasındaki sınır kusurları	5
Şekil 1.6. ikizleme sınırı kusurları	5
Şekil 1.7. Katı yapılarda atomların diziliş biçimleri, a) Tek kristal b) Polikristal c) Amorf yapı.	6
Şekil 1.8. Bir katıdaki iletkenlik ve valans bantlarının gösterimi.	7
Şekil 1.9. Katıların iletkenlik özelliklerine göre bant yapısı.	7
Şekil 1.10. Termoluminesans olay.	9
Şekil 1.11. Termoluminesans ışınım eğrisi	9
Şekil 3.1. Risø TL/OSL cihazının görünümü.	19
Şekil 3.2. Risø TL/OSL cihazını oluşturan modüller	19
Şekil 3.3. Risø TL/OSL cihazının örnek haznesine sahip döner tablave kenarlıklı diskler.	20
Şekil 3.4. TL TL Okuyucunun çizimsel gösterimi	20
Şekil 3.5. Tavlama Fırını.	21
Şekil 3.6. Malzemelerin toz hale getirilmesinde kullanılan seramik havan.	21
Şekil 3.7. Mettler Toledo model hassas terazi	22
Şekil 3.8. Retsch Marka Elek	22
Şekil 3.9. Kullanılan SEM cihazı	25
Şekil 3.10. Kullanılan XRD cihazı	25
Şekil 4.1. 500 °C de Hot plate üzerindeki dozimetrik malzeme	28
Şekil 4.2. Kristal yapıyı oluşturan taneciklerin boyutları	29
Şekil 4.3. MgB ₄ O ₇ XRD sonucu	30
Şekil 4.4. 1 Gy doz verilmiş MgB ₄ O ₇ :Dy (%0.3) ön ısıtma sıcaklığının bir fonksiyonu olarak TL ışınım eğrisi	31
Şekil 4.5. 1 Gy doz verilmiş MgB ₄ O ₇ :Eu (%0.1) ön ısıtma sıcaklığının bir fonksiyonu olarak TL ışınım eğrisi	31
Şekil 4.6. MgB ₄ O ₇ :Dy (%0.3) ve MgB ₄ O ₇ :Eu (%0.1) dozimetrik malzemeler için tavlama sıcaklıkları için TL ışınım grafikleri.	32
Şekil 4.7 MgB ₄ O ₇ :Dy (%0.3) Tavlama sıcaklığı TL ışınım şiddeti	32
Şekil 4.8. MgB ₄ O ₇ :Eu (%0.1) Tavlama sıcaklığı TL ışınım şiddeti.	33
Şekil 4.9. MgB ₄ O ₇ :Dy (%0.3) Tavlama süresi TL ışınım şiddeti	33
Şekil 4.10. MgB ₄ O ₇ :Eu (%0.1) Tavlama süresi TL ışınım şiddeti.	33
Şekil 4.11. Beta 1sn doz ile ışınlanmış MgB ₄ O ₇ :Dy (%0.3) ait sönüm TL grafikleri	34
Şekil 4.12. Beta 1sn doz ile ışınlanmış MgB ₄ O ₇ :Eu (%0.1) ait sönüm TL grafikleri	34
Şekil 4.13. MgB ₄ O ₇ :Dy (%0.3) için TL ışınım eğrileri altında kalan alanlardan belirlenen doz yanıt grafikleri	35
Şekil 4.14. MgB ₄ O ₇ :Eu (%0.1) için TL ışınım eğrileri altında kalan alanlardan belirlenen doz yanıt grafikleri.	35
Şekil 4.15. Beta 1sn doz ile ışınlanmış MgB ₄ O ₇ :Dy (%0.3) ait sönüm TL grafikleri	35
Şekil 4.16. Beta 1sn doz ile ışınlanmış MgB ₄ O ₇ :Eu (%0.1) ait sönüm TL grafikleri	36
Şekil 4.17. Beta 1sn doz ile ışınlanmış MgB ₄ O ₇ :Dy (%0.3) ait normalize edilmiş tepe alan şiddetlerinin zamana göre grafiği.	37

	Sayfa
Şekil 4.18. Beta 1sn doz ile ışınlanmış $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) ait normalize edilmiş tepe alan şiddetlerinin zamana göre grafiği	37
Şekil 4.19. $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) Tekrar Kullanılabilirliğin TL ışıma eğrisi	38
Şekil 4.20. $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) Tekrar Kullanılabilirliğin TL ışıma eğrisi	38
Şekil 4.21. $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) çevrim başına TL hassasiyet değişimi.	39
Şekil 4.22. $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) çevrim başına TL hassasiyeti.	39
Şekil 4.23. $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) Farklı Isıtma Hızları TL grafikleri	40
Şekil 4.24. $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) Farklı Isıtma Hızları TL grafikleri	40
Şekil 4.25. $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3)için E ve s değerlerini belirlemek için $\ln(T_m^2/\beta)$ karşı $1/kT_M(eV^{-1})$ göre grafiği.	41
Şekil 4.26. $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1)için E ve s değerlerini belirlemek için $\ln(T_m^2/\beta)$ karşı $1/kT_M(eV^{-1})$ göre grafiği	41



KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simgesi	Tanım
α	Alfa
β	Beta
Dy	Disprosyum
Ea	Aktivasyon Enerjisi
Ec	İletim Bantı
Eu	Evropiyum
Ev	Valans Bandı
eV	Elektron Volt
Eg	Yasak Enerji Bandı
γ	Gama
Gy	Gray (Radyasyon Soğurma Birimi)=J/Kg
gr	Gram
k	Bolztman Sabiti
kg	Kilo Gram
I(TL)	Termolüminesans Sinyalinin Şiddeti
MgB ₄ O ₇	Magnezyum Borat
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SCS:	Çözelti Yanma Sentez Yöntemi
⁹⁰ Sr	Stronsiyum-90
TL	Termolüminesans
XRD	X-Işını Kırınımı

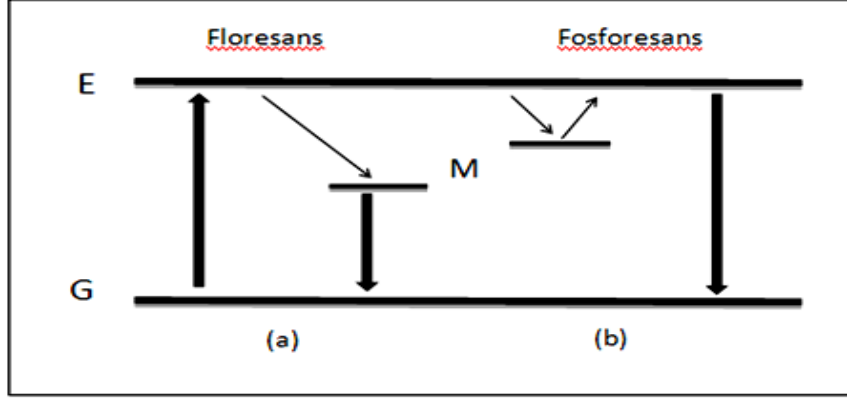
1. GİRİŞ

1.1. Lüminesansın Temel Kavram ve Tanımları

Maddeler, yüksek enerjili elektromanyetik dalga veya parçacıklar ile uyarılarak kararsız duruma geçerler. İlgilenilen madde yarıiletken veya yalıtkan ise bağlı banttaki elektronlar uyarılarak bir üst enerji düzeyine geçerler. Bu durumda kararsız hale gelen elektronlar daha kararlı bir seviyeye geçmek için aldıkları enerjiyi foton veya fonon yayarak uygun ve kararlı enerji düzeyine geçerler. Kararlı duruma geçerken vermiş olduğu enerji genellikle görünür bölgede veya görünür bölge civarında (UV, görünür ve IR) olacak şekilde ölçülür. Bu fiziksel sürece lüminesans denir. Lüminesans özelliği yani bünyesinde bulunan fazla enerjiyi atma isteği farklı koşullarda farklı süreçlerin etkileri sonucu meydana gelmektedir [1]. Lüminesans özelliği bulunan malzemeler enerjiyi soğurabilir, bünyesinde depolayabilir ve ışığa dönüştürebilir. Bu tür materyallere örnek olarak; bazı mineraller, yalıtkan ya da yarıiletken materyaller, kimyasal cevherler, hayvansal ve bitkisel kökenli biyomalzemeler ve laboratuvar ortamında üretilen sentetik kristaller sayılabilir.

Lüminesans, uyarıcı bir enerjiye ihtiyaç duyar, doğal radyoaktivite gibi kendiliğinden oluşmaz. Uyarıcı; kızılötesi (IR) ışık, X-ışınları, γ -ışınları, elektron (e^-) veya α parçacıkları kullanılarak sağlanabilir. Lüminesans uyarılma kaynaklarına ve türlerine göre şu şekilde sınıflandırılır.

- Fotolüminesans: 10^{-5} ile 10^6 dalga boyuna sahip ışık ile ışın enerjisini absorplayan maddede oluşan lüminesans türüdür. Fotolüminesans genel olarak floresans ve fosforesans olarak sınıflandırılır.
 - Floresans: elektronun uyarılmış halinden taban durumuna geçişi 10^{-8} saniyeden daha az bir sürede gerçekleşen ışık emisyonudur.
 - Fosforesans: elektronun uyarılmış halinden taban durumuna geçişinin izin verilmediği yarı-kararlı hale geçiş yaparak, 10^{-8} 'den daha fazla bir sürede gerçekleşen ışık emisyonudur. Uyarı veren kaynak uzaklaştıktan sonra da durum devam edebilir.



Şekil 1.1. Enerji diyagramı gösterimi: G taban, E uyarılmış ve M yarı-kararlı halleri ifade eder. a) floresansta elektronun uyarılmış halinden taban durumuna geçişi, b) fosforesansta elektronun uyarılmış halinden taban durumuna geçişinin izin verilmediği yarı-kararlı hale geçişi ifade eder[2].

- Radyolüminesans: Uyarılmanın yüklü parçacıklar veya X ışınları gibi yüksek enerjili ışınlar tarafından gerçekleştiği lüminesans türüdür.
- Katodalüminesans: Uyarılmanın bir elektron demeti(katot ışınları) kullanılarak gerçekleştiği lüminesans türüdür.
- Elektrolüminesans: malzemenin bir elektrik alana maruz kalmasıyla meydana gelen lüminesans türüdür.
- Biyolüminesans: Ölü veya yaşayan doğal organik maddelerin lüminesansı kimyasal lüminesans kategorisine girmektedir. Kimyasal lüminesansın, yaşayan organizmada oluşumuna “Biyolüminesans” adı verilmektedir [3]. Uyarılmanın biyokimyasal reaksiyon enerjisiyle gerçekleştiği lüminesans türüdür.
- Piezolüminesans: Uyarılmanın basınç (10 ton/m²) kullanılarak gerçekleştiği lüminesans türüdür.
- Tribolüminesans: Materyallerin öğütülmesi sırasında, harcanan mekanik enerji uyarım için gerekli enerji sağlar ve karanlık bir ortamda gözlenebilir parıltıya oluşur. Bu süreçte elde edilen lüminesans “Tribolüminesans” olarak adlandırılır [3]. Uyarılmanın basınç ve sürtünme etkenlerine maruz kalması sonucu oluşan lüminesans türüdür.
- Sonolüminesans: Uyarılmanın ses dalgaları ile gerçekleştiği lüminesans türüdür.
- Termolüminesans: Gama, X ışını veya alfa, β kaynağı ile ışınlanmış malzemenin ısıtılarak ışık yayınlanması olayıdır. Işınlanan katıların ısıtılması ile ortaya çıkan lüminesans türüdür.

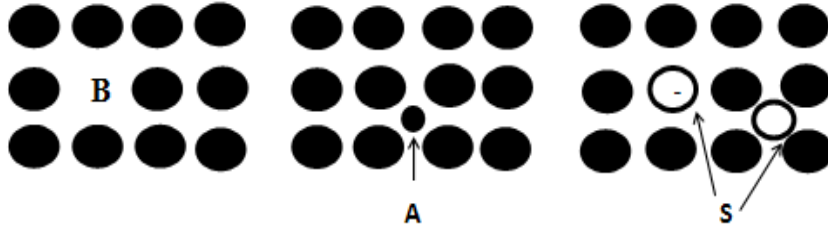
1.2. Kristal Kusurlar

Kusur kavramı genel olarak atomların düzenli sıralanışındaki sapmayı tanımlar. Gerçek bir kristal, kendisini oluşturan atomların dizilişine bağlı olarak bir kristal yapıya sahiptir. Ancak gerçek kristaller mükemmel değildirler. İdeal yani kusursuz bir kristal sadece mutlak sıfırda vardır. Bütün kristaller fiziksel ve mekanik özellikleri kapsayan birçok değişik tipte kusurlar içerir. Bu kusurlar kristalin oluşumu sırasında kendiliğinden oluşabileceği gibi oluşumdan sonra dış etkenlere bağlı olarak da meydana gelebilir [4].

Kristallerde iki boyutlu da oluşabilen üç farklı örgü kusurları bulunmaktadır. Örgüsel kusurlar; noktasal kusurlar, çizgisel kusurlar ve düzlemsel kusurlar olarak sınıflandırılırlar (Üç boyutta düşünecek olursak, dördüncü kusur tipi de hacimsel kusurlardır.)

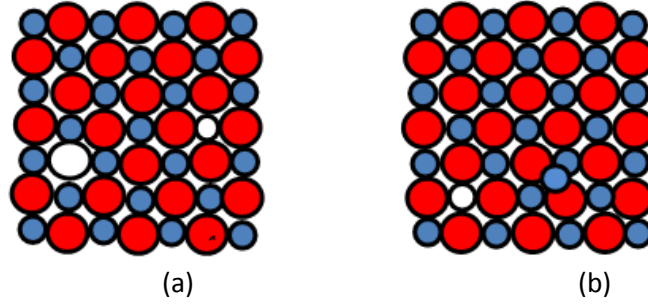
1.3. Noktasal Kusurlar

Atomların dizilişlerinde sapma sadece birkaç tane atomun civarında gerçekleşiyorsa bu tür kusurlara noktasal kusurlar olarak adlandırılır. Bir başka deyişle atomun kendine ait yerde bulunmamasıdır. Kristallerin içinde fazla, eksik ya da kirlilik (safsızlık) atomları bulunarak, kusur olarak bilinen kristaldeki mükemmelliği bozan düzensizliklere sahip olurlar (Şekil 1.2.) [5].



Şekil 1.2. İki boyutlu kristalde şematik gösterim. Burada boşluk (B), arayer atomu (A) ve safsızlık atomu (S).

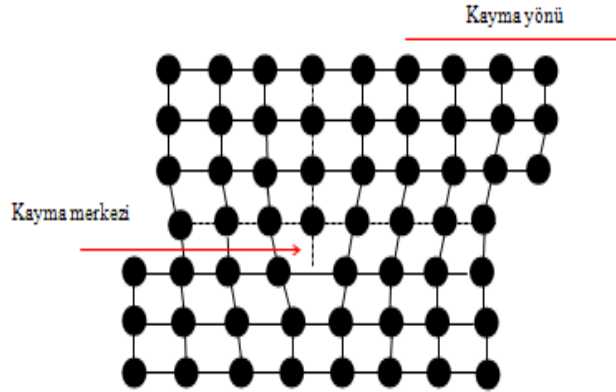
Pozitif ve negatif iyonlardan oluşan iyonik bir kristalde, kusurların oluşumu sırasında elektriksel dengenin korunmuş olması gerekir. Bu durumda belirli bir işaretin bir iyonundan bir atom boşluğunun oluşmasıyla birlikte, kaçınılmaz olarak, ya karşıt işaretin iyonundan başka bir atom boşluğu oluşur. Schottky kusuru: nötral metal atomlarının örgüsünde tek bir atom yerinden çıkarsa oluşan boşluk olarak tanımlanır. Aynı işaretli atomların bir arayeri buda Frenkel kusurunu bize tanımlar. Frenkel kusuru; bir iyonun komşu yüksek enerjili bir bölgeye geçmesi ile oluşan kusurdur.(Şekil 1.3) [6].



Şekil 1.3. a) Schottky kusuru, (b) Frenkel kusuru.

1.4. Çizgisel Kusurlar

Kusurların diğer bir türü hem tek kristallerde hem de polikristallerde bulunabilen çizgisel kusurlardır. Kristallerde düzensizlik bir çizgi boyunca meydana geliyorsa ve çizginin ekseninin her iki yanında da kristal kusursuz oluşabilir. Fakat kafes noktaları birbirlerinin devamı olmaz. Başka bir söyleyişle; kristalin bir yerinde bu yerin alt ve üst kısımlara ayıran bir düzlem üzerinde kaymaya uğramışsa, alt ve üst noktalar birbirlerine göre belirli bir miktar ötelenmişse kaymaya uğramış ve uğramamış bölgeleri ayıran çizgi bir kristal hatadır ve dislokasyon denir. Kristal bir katıda oluşan çizgisel kusurların en genel tipi dislokasyon olarak adlandırılır [7]. Çizgisel kusurlar kenar dislokasyon ve vida dislokasyon olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu kusurlar metallerin ve alaşımların mekanik özelliğini açıklamayı sağlar. Çizgisel kusurlar Şekil 1.4'te görülmektedir.

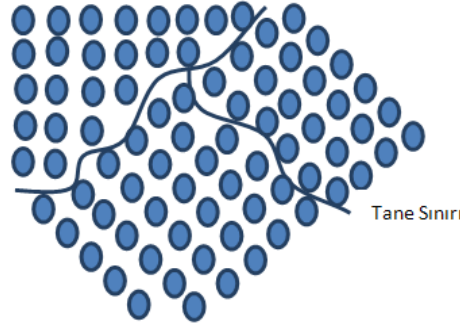


Şekil 1.4. Çizgisel kusurlar.

1.4.1. Düzlemsel Kusurlar

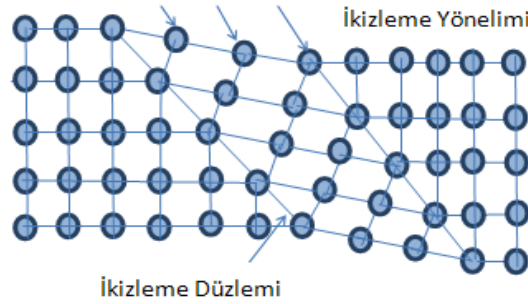
Düzlemsel kusurlar, kristali bölgesel kısımlara ayıran sınırlardır. Oluşan bölgesel kısımlar aynı kristal yapıya sahip fakat farklı yönlenmeye sahiptir. Düzlemsel kusurlar tanecik sınırları ve ikizleme sınırları olarak ikiye ayrılır.

Tanecik sınırı; içinde, atom dizilmelerinin benzer olduğu malzemelerin belirli kısmına tane denilmektedir. Taneler atom diziliş yönleri veya kristal yapıları, yan yana olan tane için farklıdır. Fakat her tane içinde kafes yapısı aynı, kafes yönelimleri farklılık gösterir(Şekil 1.5.).[8].



Şekil 1.5. Taneler arasındaki sınır kusurları.

İkizleme sınırları; Kristalin kafes yapısındaki atom dizilimlerinin simetrik olarak farklı yönlere yönelmesi ile birbirinin ayna görüntüsü şeklinde oluşan iki bölge arasındaki yere denilmektedir (Şekil 1.6.) [8].



Şekil 1.6. İkizleme sınırı kusurları.

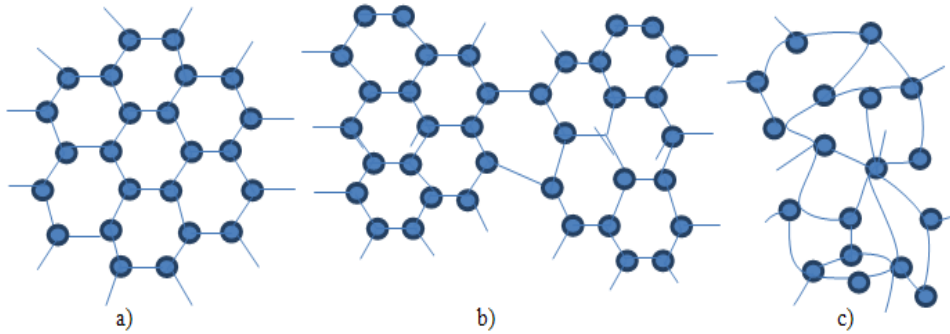
Kristallerdeki kusurlar yani; noktasal, çizgisel ve düzlemsel kusurlar Tablo 1.1'de tanımları ile beraber açıklanmaktadır.

Tablo 1.1. Kristallerdeki mümkün kusurlar.

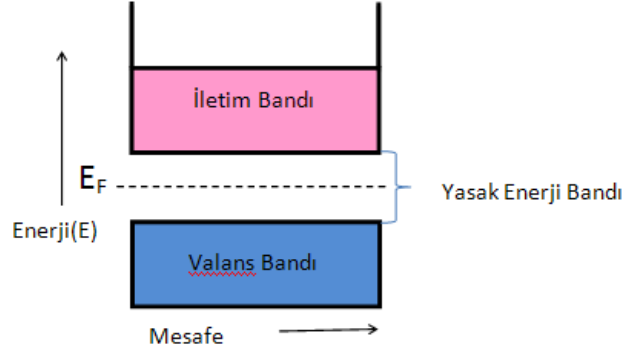
Kusurun tipi	Kusurun tanımı
Noktasal kusurlar:	
• Arayer atomu	Arayer bölgesinde fazla bir atom
• Schottky kusuru	Atomun olası gereken yerde olmaması
• Frenkel kusuru	Atomun kendi yerinde bir boşluk yaparak arayer konumlanması.
Çizgisel kusurlar:	
• Kenar dislokasyon	Kayma düzlemi burgers vektörüne dik
• Vida dislokasyon	Kayma düzlemi burgers vektörüne paralel
Düzlemsel kusurlar:	
• Tanecik sınırı	Polikristal yapıda iki kristali arasındaki sınır
• İkizleme sınırı	Kristalin kafes yapısındaki atom dizilimlerinin simetrik olarak farklı yönlere yönelmesi ile birbirinin ayna görüntüsü şeklinde oluşan iki bölge arasındaki yer

1.4.2. Katılarda Bant Modeli

Bir araya gelen atomlar katıyı meydana getirirler. Katılar atomların dizilişine göre kristal olmayan yapı (amorf yapı) ve kristal yapı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kristal olmayan yapı (amorf yapı) atomik düzenin olmadığı atomların gelişmiş güzel dizildiği yapıdır. Kristal yapı ise; içindeki atomlar veya atom grupları düzenli ve periyodik bir halde dizilmeleri ile oluşan yapıdır. Kristal yapılar tek kristal ve polikristal olarak ikiye kategoriye ayrılır. Şekil 1.7.'de katı yapılarda atomların diziliş biçimleri gösterilmiştir.

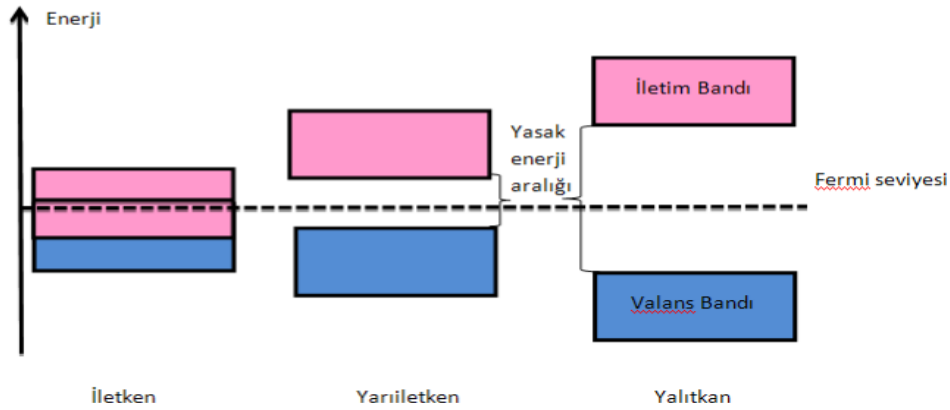
**Şekil 1.7.** Katı yapılarda atomların diziliş biçimleri, a) Tek kristal b) Polikristal c) Amorf yapı.

Kristal yapıda atomların bulunduğu izinli ve izinsiz (yasak) enerji bantları vardır. İzinli enerji bantları; valans bandı ve iletkenlik bandıdır. Elektron içeren en son temel hal bandı valans bandı (veya değerlik bandı) olarak adlandırılır. Valans bandının üzerinde bulunan ve yasak enerji aralığı ile ayrılmış bölgeye iletim bandı denir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Bir katıdaki iletkenlik ve valans bantlarının gösterimi.

Değerlik bandı, kristaldeki her bir atom tarafından verilen değerlik elektronlarının sayısı ve bant içinde mevcut olan elektron seviyeleri arasındaki orana bağlı olarak, tamamıyla veya kısmen dolu olabilir. Değerlik (valans) bandının doldurulması ve değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasındaki enerji aralığının büyüklüğü, bir kristalin iletkenlik, yarı iletkenlik veya yalıtkanlık karakterini tanımlanır [9]. Yalıtkan, değerlik bandı dolu ve iletim bandı boş olan katılar olarak tanımlanır. Yarıiletken ise, yasak enerji aralığı yalıtkanlarda olduğu kadar geniş olmayan katılara denilmektedir. Değerlik ve iletim bantları birbirinin içine geçmiş katılara ise iletkenler adı verilir (Şekil 1.9.). Bir yalıtkan ve yarıiletken arasındaki fark sadece enerji aralığı miktarı farkıdır. Bir yarıiletkende yasak enerji aralığı (E_g) 2 eV' dan daha az olduğundan elektronların değerlik bandından iletim bandına atlaması için oda sıcaklığı, termal enerjisi ve görünür ışık fotonları yeterli enerjiyi verebilir.



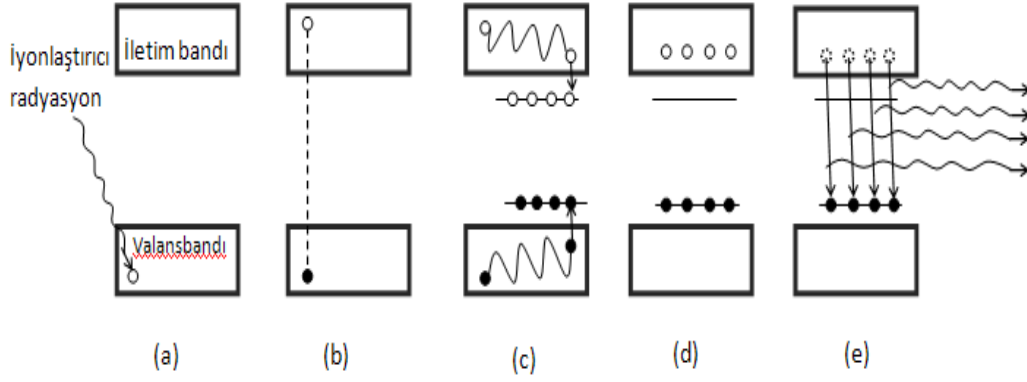
Şekil 1.9. Katıların iletkenlik özelliklerine göre bant yapısı.

1.5. Termolüminesans (TL) Teorisi

Termolüminesans özelliği yarı iletken ve yalıtkanlarda görülür. Yalıtkan ve yarıiletken maddeler alfa (α), beta (β), gama (γ), X-ışını gibi yüksek enerjili radyasyona maruz kaldıklarında

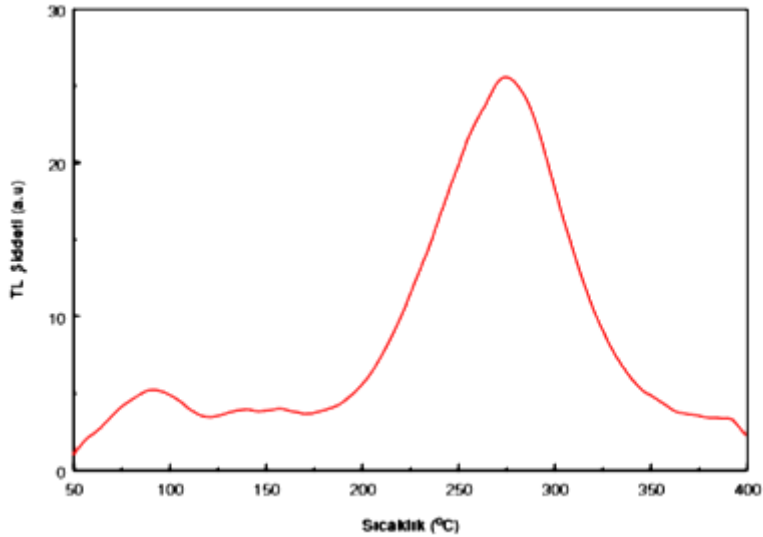
değerlilik bandındaki elektronları iletim bandına uyarırlar. İletim bandındaki elektronlar kusurların oluşturduğu ara enerji seviyelerine geçerek uzun süre orada kalabile durumu olabilir. Bu durumda kristal radyasyonla aldığı enerjinin bir kısmını yapısında enerji depolarlar. Ara enerji seviyesinin kararsız olması durumunda elektronlar fazla enerjilerini foton veya fonon salınımı yaparak uyarılmış durumdan kararlı duruma geçerler. Elektronların iletim bandından kararlı enerji seviyelerine geçmesine elektron tuzaklanması, kararlı enerji seviyelerine de elektron tuzakları denir. Elektron tuzakları iletim bandı ile Fermi enerjisi arasında kusurların oluşturduğu ara enerji düzeyleridir. Tuzaktaki elektronlar çevreden yeterli enerjiyi soğurdukları takdirde tekrar iletim bandına geçme olasılığı ve buradan da kuantum mekaniksel süreçlere uyararak optik seçim kurallarına göre lüminesans merkezi veya birleşme merkezi olarak adlandırılan enerji seviyelerine geçerler. Bu geçiş sırasında üzerindeki fazla enerjiyi foton olarak salar. Salınan fotonların enerjisi ultraviyole bölgesinden kızılötesi bölgeye kadar farklılık gösterir. Bu fiziksel süreç lüminesans olarak adlandırılır. Lüminesans yoğunluğu bazı kristalde soğurduğu radyasyon enerjisi ile doğrusal bir ilişkisi gösterir. Lüminesans yoğunluğunun tam olarak ölçülmesi için tüm tuzaklardaki elektronların tuzağı terk etmesi gerekir. Bu sürecin gerçekleşmesi için kristale kontrollü ve doğrusal olarak ısı verildiğinde elde edilen lüminesans süreci Termolüminesans (TL) olarak adlandırılır. Diğer bir deyişle TL; radyasyon soğrulmasını takiben termal olarak uyarılmış ışık yayılımı sürecidir [10].

TL mekanizmanın en basit açıklaması şekil 1.10'da gösterilen; iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalan yalıtkan ya da yarıiletken kristal, enerji soğurur (Şekil 1.10.a). Bu enerjiyi soğuran kristal, valans bandındaki elektronların bazıları iletim bandına geçer, valans bandında serbest hole "boşluk" oluşur (Şekil 1.10.b). Elektronun yalıtkan kristallerde iletim bandında bulunma olasılığı çok düşük olduğundan elektron tuzakları tarafından tuzaklanır. Valans bandındaki boşluklarda hol tuzakları tarafından tuzaklanırlar (Şekil 1.10 c). Tuzaklara yakalanan elektronlar, ortamın sıcaklığı ve tuzak seviyesinin aktivasyon enerjisine (tuzak derinliğine) göre tuzaklarda belli bir zaman kalırlar. İyonlaştırıcı radyasyonun uzaklaştırılması ile kristal yapının belli bir sıcaklığa kadar sabit bir hızla ısıtılmasıyla, tuzaklardaki yakalanan elektronlar ısı enerjisi ile serbest kalarak tekrardan iletim bandına geçerler (Şekil 1.10.d). Bu geçişte elektronun dışarıya saldığı foton UV, görünür veya IR bölgede ise buna ışınımlı geçiş veya lüminesans denir (Şekil 1.10.e) [11].



Şekil 1.10. Termolüminesans olay [11].

Tuzaklanmış bir elektron kristalden sabit ısıtma hızıyla ısıtılarak da çıkarılabilir. Sığ tuzakların ve derin tuzakların boşalma sıcaklığı birbirinden farklıdır. Kristaldeki sıcaklık miktarı artırdıkça derin tuzaklardaki elektronların çıkarılma olasılığı da artar. Şekil 1.11’de görüldüğü gibi derin tuzakları boşaltmak için sıcaklığı artırdığımızda eğri maksimuma ulaşır sonra azalmaya başlar. Sonraki adımlarda da tuzakların boşalmaya başladığı sıcaklığa kadar sürer ve sonra yine azalır. Sıcaklığa göre tuzaklardaki boşalmayı buna karşı ışımalarının artmasını ve azalmasını gösteren eğriye "Lüminesans eğrisi" (glow curve) denir. Lüminesans eğrileri malzemeler için ayırt edilebilir özelliktir her malzemenin lüminesans eğrisi farklıdır. Lüminesans eğrisi bir veya üst üste binen birden fazla pikten oluşabilir. Yayınlanan ışık, kristalin cinsine ve kullanılan iyonlaştırıcı radyasyonun doz miktarına bağlıdır.



Şekil 1.11. Termolüminesans ışıma eğrisi [12].

Termolüminesans ışıma eğrisinde (Şekil 1.11) görüldüğü gibi pikin maksimum olduğu sıcaklık, tuzak derinliğine (E) ve daha fazla pikin bulunması farklı tuzakların da olduğunu

gösterir. Bu tuzakların, tuzak derinliği (E) ve frekans faktörü (s) değerleriyle belirli bir sıcaklıkta aktive edildiklerini göstermektedir. Tuzakların sayısı piklerin altında kalan alan ilişkilidir [12].Tuzakların 200°C den düşük ışıma pikleri dozimetre uygulamaları için kullanışlı değildir. Bunun nedeni elektronların çevresel sıcaklıklara maruz kaldıklarında bu tuzaklardan kurtulabilme olasılıklarıdır [13]. Dozimetrik ölçüm için çevresel etkiler dikkate alındığında 200°C-300°C sıcaklıklarından etkilenmeyen kararlı tuzakların lüminesans eğrileri uygundur [14].

TL ölçümlerinde önemli diğer bir sorun ise termal sönümlemedir. Termal sönümlemenin sebebi (yüksek sıcaklıklarda lüminesans verimindeki azalma) ışımsız (radyatif olmayan) geçişlerin olasılığının artmasıdır. Çünkü ısıtma hızındaki artış TL ışıma pikinin sıcaklığının artması demektir. Sıcaklıktaki bu kaymadan ışımsız olmayan geçişlerin katkıları sorumlu olacaktır. Herhangi bir TL dozimetre materyalinde meydana gelen termal sönümleme yüksek sıcaklıklarda düşük sıcaklıklarda oluşandan daha fazladır [12].

Termodinamik açıdan T sıcaklığında geçen ortalama zaman;

$$\tau = s^{-1} \exp(E/kT) \quad (1)$$

şeklinde olacaktır. Yukarıdaki (1) eşitliğinde görüldüğü gibi fosforerans süreci sıcaklığa üssel biçimde bağlıdır. Yayınım şiddeti ise;

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} \quad (2)$$

yeniden birleşme değerleriyle orantılıdır.

E termal aktivasyon enerjisi tuzaklanmış yük taşıyıcılarını serbest hale getirmek için gereken enerjidir. Buna "Tuzak derinliği" de denilmektedir. Birim zaman içinde tuzaktan kurtulan tuzaklanmış elektron sayısı başka bir deyişle, tuzaktan kaçma olasılığı;

$$p = s \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (3)$$

E =eV olarak tuzak derinliği

k=Boltzmann sabiti

T = mutlak sıcaklık(K)

s = frekans faktörü(s⁻¹)

TL deneyi esnasında dT/dt olarak ifade edilen β doğrusal(lineer) ısıtma hızı kullanılarak materyalin sıcaklığı $T = T_0 + \beta t$ olarak ifade edilir. Burada β doğrusal(lineer) ısıtma hızı olup birimi(Ks⁻¹)'dir.

1.5.1. Birinci Derece Kinetik (Randall- Wilkins Teorisi)

Randall ve Wilkins (1945) ışıma eğrisindeki her pik için ayrıntılı cebirsel anlatım yapmışlardır. Bu cebirsel anlatımı yaparken de şu varsayımları yapmışlardır:

- Işınlama herhangi bir elektronun serbest kalmayacağı kadar düşük sıcaklıkta yapılmaktadır.
- Isıtma işlemi sıcaklık artış hızı lineer olacak şekilde gerçekleştirilmektedir.

Randall-Wilkins teorisi, birinci dereceden kinetiği baz alarak tek bir tuzak derinliğini kullanır. Farklı sıcaklıklarda aracısız yeniden tuzaklanma oranına bağlı olan TL şiddeti $I(t)$, şöyle ifade edilir;

$$I(t) = -c \left(\frac{dn}{dt} \right) = c p n \quad (4)$$

Burada $c=1$ olarak tanımlanan sayı sabit bir sayıdır.

$$n = n_0 \exp \left[-s t \exp \left(-\frac{E}{kT} \right) \right] \quad (5)$$

ve

$$p = s \exp \left(-\frac{E}{kT} \right) \quad (6)$$

Denklikleri dikkate alınır ve bunlar (4) denkleminde yerine yazılırsa:

$$I(t) = n_0 s \exp \left(-\frac{E}{kT} \right) \exp \left[-s t \exp \left(-\frac{E}{kT} \right) \right] \quad (7)$$

olur. Burada; $I(t)$: rastgele t anında olan lüminesans şiddeti, n_0 : $t=0$ anında tuzaklarda bulunan elektron sayısı T : sıcaklık, E : tuzakların enerji seviyeleri, s : tuzaklardan kurtulabilen elektronların olasılığına bağlı frekans faktörü ve k Boltzmann sabitidir.

Lineer ısıtma hızı $\beta = dT/dt$ olarak kullanılırsa;

$$\int_{n_0}^n \frac{dn}{n} = - \left(\frac{s}{\beta} \right) \int_{T_0}^T \exp \left(-\frac{E}{kT} \right) dT' \quad (8)$$

elde edilir. Denklem 8 çözüldüğünde,

$$\ln(n) - \ln(n_0) = - \left(\frac{s}{\beta} \right) \int_{T_0}^T \exp \left(-\frac{E}{kT} \right) dT' \quad , \quad n = n_0 \exp \left[\left(-\frac{E}{kT} \right) dT' \right] \quad (9)$$

elde edilen çözüm denklem 4 de yerine yazılırsa,

$$I(T) = n_0 s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \exp\left[-\frac{s}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right] \quad (10)$$

Sayısal çözüm kullanılarak 10 denklemi elde edilir. 10 denklemindeki ikinci eksponansiyel ifade sıcaklığın artışına bağlı olarak 1'e yaklaşır ve bu durum TL şiddetinin artmasına neden olur. Bu biçimde önemli bir bağlantı kurulur. Bu eşitliğin logaritma fonksiyonunun türevi alınırsa;

$$\frac{d \ln(I)}{dT} = \frac{1}{T} \frac{dI}{dT}$$

olur. Buna göre Eşitlik 1.3'ün logaritmasını alıp gerekli işlemler yapıldığında TL tepelerinin belirleyici özellikleri arasında önemli bir eşitlik elde edilir:

$$\frac{\beta E}{kT_M^2} = s \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad (11)$$

1.5.2. İkinci Derece Kinetik

İkinci dereceden kinetik; yeniden tuzaklanmanın olduğu durumları açıklayabilmek için tanımlanmıştır. 1948'de Garlick ve Gibson tarafından yük taşıyıcısının TL merkezi ile tekrardan birleşmesi, tuzaklanma olasılıkları ile birlikte tetkik etmişlerdir. Bu biçimde, eşitlik (11) kullanılmalıdır:

$$I(t) = \frac{dn}{dt} = -n^2 s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (12)$$

Bu anlatım, birinci derece kinetikte bahsedilen tekrardan birleşme olasılığının 1'e eşit olduğu sonucundan ayrı bir sonuç elde edilmiştir. Birinci derece kinetikte tekrardan birleşme olasılığı olmadığı açıklanır. Buradas' = s/N ile ifade edilir ve genellikle ön-üstel faktör olarak tanımlanır. s', cm³s⁻¹ durumunda bir sabit, N(cm⁻³) ise tuzak yoğunluğunu ifade eder. Eşitlik 12'nin integrali sabit T sıcaklığı için çözümlenirse denklem 13 elde edilir;

$$n = n_0 \left[1 + s' n_0 t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)\right]^{-1} \quad (13)$$

Denklem (11) denklem (12)'te yerine koyulup durgun bir ısıtma hızı için (dt= dT / β) gerekli integraller alındığında I(T) ışık şiddeti:

$$I(T) = n_0^2 s' \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \left(\frac{s' n_0}{\beta}\right) \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right]^{-2} \quad (14)$$

olarak elde edilir.

$I(T)$ 'nin logaritmik türevini alıp sonucu sıfıra denklesek;

$$\frac{\beta E}{2kT_M^2} \left[1 + \frac{s'n_0}{\beta} \int_{T_0}^{T_M} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \right] = s'n_0 \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) \quad (15)$$

tepe sıcaklığına bağlı olduğu sonucuna ulaşılır.

İkinci derece kinetiğin etkin olduğu zamanlarda tekrar tuzaklanan elektronlardan gecikmeden ötürü T_M 'nin %1'lik bir kadar fazlalaşma olur. T sıcaklığının altındaki değerlerde tuzaklanmış elektronların serbest kalamadığı için ışık yayılımı, T_M 'nin altındaki sıcaklıklarda oluştuğu görülür.

Furetta ve ark., 1998' de denklemini şöyle yorumlamıştır; durağan bir E değeri için β fazlalaştırıldığında veya s' azaltıldığında T_M artmaktadır. Durağan bir β değeri için T_M , E ile doğru orantılı bir netice verdiği görülür.

1.5.3. Genel Mertebeden Kinetik

Birinci ya da ikinci dereceden kinetiğin açıklayamadığı bazı durumları genel mertebeden kinetik açıklayabilmektedir. Genel mertebeden kinetik diğer kinetiklerin orta durumu olarak, enerji tuzaklarının da aynı olduğu yani enerji seviyelerinin de benzer olduğu kabul edilir ve deneysel süreçtir. Tek bir enerji seviyesindeki yük taşıyıcılarının sayısının yoğunluğu (n), n^b ile orantılı olduğunu varsayalım. Bu durumda tuzaklardan kurtulma ihtimali eşitlik (16) ile açıklanabilir (May ve ark., 1964; Ausin ve ark., 1972; Ward ve ark., 1972):

$$I(t) = \frac{dn}{dt} = -s''n^b \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (16)$$

Burada, s'' , ön-üssel faktördür. b ise genellikle 1 ve 2 arasında rastgele bir değer alır ve kinetik mertebeye olarak açıklanır. s'' ön-üssel faktörü, $cm^{3(b-1)}s^{-1}$ boyutundadır. s'' 'nin boyutları b mertebesi ile değiştirilebilir. Ayrıca, $b=2$ olduğunda, s'' , s' 'ne indirgenir. Eşitlik 17'ye yeniden düzenlenip integrali alınır:

$$n = n_0 \left[1 + s(b-1)t \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \right]^{1/(1-b)} \quad (17)$$

olur. Burada, $s=s''n_0^{b-1}$ olarak açıklanır. Birimi saniye⁻¹dir. Frekans faktörü olan s , doz değerine müdahale edildiğinde s de değişir. Lineer bir ısıtma hızı ($dT=\beta dt$) kullanılarak elde edilecek olan bir TL ışımaya eğrisinin şiddeti $I(T)$ ışımaya şiddeti gibi aynı olabilir.

$$I(T) = sn_0 \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \left[1 + \frac{s(b-1)}{\beta} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right]^{-b/(b-1)} \quad (18)$$

bu denklemde iki etkenin $I(T)$ 'ye katkısı görülebilmelidir;

- T ile durağan bir oranda fazlalaşan üstel etken,
- T fazlalaşırken azalan ve köşeli parantez içinde ifade edilen etken.

Eşitlik 1.12'de $b=2$ olarak verildiğinde ikinci dereceden kinetik denklemine ulaşmış olunur Fakat $b=1$ zaman bu denklem geçerliliğini kaybeder. Ancak b 1 için olduğunda denklem birinci dereceden kinetik denklemi ile ifade edilebilir. Bunların yanında Eşitlik 16 genel mertebeden olduğu için deneysel oluşturulmuştur. Diğer denklemleri kullanılarak (Eşitlik 1 ve 12) 16 eşitliğini meydana çıkartabilecek bir yaklaşım olmamaktadır. Sonuç bize genel dereceden kinetik için bir fiziksel örnek olmadığını deneysel olduğunu gösterir.

Genel dereceden kinetik için maksimum yayılım eşitliği, Eşitlik 18'den çıkartılabilir:

$$k \frac{T_M^{2bs}}{\beta E} \exp\left(-\frac{E}{kT_M}\right) = 1 + \frac{s(b-1)}{\beta} \int_{T_0}^{T_M} \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT' \quad b \neq 1 \quad (19)$$

Sonuç olarak Eşitlik 11, 14 ve 19'den varılan enteresan sonuçlar:

- Eşitlik 1.5 n_0 giriş yoğunluğuna, birinci dereceden tepelerin yüksekliklerinin ışınlama dozuna bağlı olmadıklarını gösterir.
- $b \neq 1$ olması ise; genel derece ve ikinci derece kinetikler için, s , n_0 'a bağlı olduğundan T_M 'nin ise uyarılma dozuna bağlı olarak değişmesi gerektiğini 1998 yılında Furetta ve ark. tarafından belirlendi.

1.6. Tuzak Parametrelerin Belirlenmesinde Kullanılan Metotlar

Tuzaklardaki enerji ve frekans faktörlerinin belirlenmesinde kullanılan birçok metod bulunmaktadır. Bu tez kapsamında çalıştığımız metotlar farklı ısıtma hızı ve doz yanıtıdır.

1.6.1. Farklı Isıtma Hızı Metodu

Farklı ısıtma hızı, termoluminesans ışımaya eğrisinin ona özgü özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan bir metottür. Isıtma hızı arttığı zaman TL tepe noktası yüksek sıcaklıklara ilerler, tepeler genişler ve termoluminesans şiddeti azalır. 1958 yılında Hoogenstaraaten aktivasyon enerjisi ve frekans faktörünü belirlemek için şöyle bir bağlantı yapmıştır.

$$\frac{\beta E_a}{kT_m} = s \exp\left(\frac{-E_a}{kT_m}\right) \quad (20)$$

$$\ln\left(\frac{T_m^2}{\beta}\right) = \left(\frac{E_a}{k}\right)\left(\frac{1}{T_m}\right) + \ln\left(\frac{sk}{E_a}\right) \quad (21)$$

$\ln\left(\frac{T_m^2}{\beta}\right)$ 'nin $\left(\frac{1}{T_m}\right)$ 'e göre grafiğinin eğimi $\left(\frac{E_a}{k}\right)$ olan bir doğru elde edilir. Buradan aktivasyon enerjisi bulunabilir.

Denklem 20'den s frekans faktörünü çekilirse denklem 22 elde edilebilir.

$$s = \frac{\beta E_a}{kT_m^2} \exp\left(\frac{E_a}{kT_m}\right) \quad (22)$$

1.6.2. Doz Yanıt Metodu

McKeever ve ark., 1995'de yaptığı çalışmada; dozimetrik malzemelerden elde edilen doz cevap eğrisinin verilen dozun artırılması ile lineer (doğrusal), supralineer ve sublineer (doygunluk) bölgelerine rastlanabilir. Dozimetrik malzemelerde normalize edilmiş doz cevap fonksiyonu $f(D)$ denklem 23 ile ifade edilmektedir:

$$f(D) = \left[\frac{(F(D)/D)}{(F(D_1)/D_1)} \right] \quad (23)$$

Soğurulmuş D dozuna karşılık gelen doz cevabı $F(D)$ 'dir. $F(D_1)$ ise doz cevap üzerinde daha düşük bir dozu ifade eder. İdeal dozimetrik malzeme geniş doz aralığında $f(D) = 1$ lineer bir doz cevabına sahip olması beklenmektedir. $f(D) < 1$ dozimetrik malzeme sublineerlik (doygunluk), $f(D) > 1$ 'da ise supralineerlik bölgesinde olduğu durumlar tanımlanır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Tıp alanında radyoterapi tedavilerinde hastaya uygulanan radyasyonun ölçülmesi, hasta sağlığı açısından son derece önemlidir. Hasta dokuya verilmesi istenilen dozun sağlıklı dokulara en az düzeyde olması gerekmektedir. Aksi takdirde tedavi yapılırken sağlıklı dokuların da zarar görmesi kaçınılmaz hale gelir. Uygulanan radyasyonun ölçülmesinde kullanılacak olan dozimetrik malzemenin doku eşdeğerine yakın olması ölçümlerin hata oranını asgaride tutar. Yapılan literatür araştırmalarında tıbbi dozimetre olarak α -Al₂O₃:C Termoluminesans dozimetresi (TLD) dışında henüz yaygın olarak kullanılan Optiksel Uyarılma Lüminesans Dozimetresi (OSLD) yoktur [15]. α -Al₂O₃:C etkin kütlesi 10,2 olup doku eşdeğeri olan 7,4 etkin kütlesine yakındır.

Doğadaki tüm yalıtkan ve yarı iletken malzemeler radyasyon aldıktan sonra çeşitli fiziki olaylara maruz kaldıklarında ışınım yaparlar [10]. İnsanoğlunun bu olayı fark etmesi çok eskilere dayanmasına rağmen ilk olarak 1664 yılında Boyle rapor etmiştir. Yalıtkanların yaptıkları ışımalar ile ilgili ilk çalışmalar 19. yy başlarına rastlar. Radyasyona olan duyarlılığın fark edilmesi ile ilgili ilk teori Garlick-Wilkins tarafında 1945 yılında yayınlanmıştır [16]. Uygulamalı olarak Daniel ve arkadaşları Lityum Florürün gamma radyasyonuna olan lineer duyarlılığını tıbbi alanda ve tarihlendirmede kullanılabileceğini göstermiş ve önermiştir [17]. Optiksel uyarılma ile lüminesansın ilk çalışmaları 1955 yılında Antonov-Romanovsky ve arkadaşları tarafından çeşitli sülfatların radyasyon aldıktan sonra optiksel uyarılma ile yaptıkları lüminesans ölçülerek başlangıçta almış oldukları dozu hesapladılar [18]. 20 y.y'da OSL ile ilgili araştırmalar hızla artarak farklı maddelerin OSL duyarlılıkları araştırılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak band aralığı geniş olan BeO Rhynerve Miller Tarafından 1970 yıllarında çalışılmıştır [19-20]. Üzerinde hala çalışma yapılan kalsiyum florür (CaF₂) 1974 yılında Bernhardt ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır [21]. 1977 yılında Pradhan ve Ayyanger, 1981 yılında da Pradhan ve Bhatt kalsiyum sülfat mineralinin OSL özelliklerini çalışmışlardır [22,23]. Al₂O₃'ün lüminesans özellikleri 1997 yılında Yoder ve Salasky tarafından incelenmiştir [24]. 1980'li yıllarda OSL dozimetreleri arkeolojik ve jeolojik tarihlendirme alanında kullanılmaya başlanmıştır [25]. OSL dozimetreleri TL dozimetrelerine göre bazı avantajlara (okuma hızını süresinin kısa olması, dozimetrelerin tekrar kullanılabilirliği vs) sahip olduğundan kullanım alanları yaygınlaşmış ve çalışmaların bu alana kaydığı gözlenmektedir. α -Al₂O₃:C malzemesin TL özellikleri ilgili çalışmalar yapılmıştır [26]. Daha sonraki yıllarda aynı malzemenin OSL duyarlılıkları incelenmiştir [27,28]. α -Al₂O₃:C kristali gamma ve x ışınlarına duyarlı olmasına rağmen nötronları algılamada yetersiz kalmıştır. Bu malzemenin nötron alanlarında kullanılabilmesi için zenginleştirilmiş⁶Li içerikli Li₂CO₃ ile karıştırılarak ısıl işlemlerden geçirildikten sonra nötron OSL dozimetresi olarak kullanılması çalışmaları yapılmıştır [29]. İki boyutlu olarak optiksel uyarılmalı lüminesans dozimetri (OSLD)

çalışmaları önem kazanmıştır [30].Subanakov ve ark. (2016) $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, MgB_4O_7 ve CaB_4O_7 gibi alkali ve toprak alkali elementlerle yapılmış bileşiklerin iyonize radyasyon iletimde ve emmede gösterdiği performans ve etkin kütlelerinin canlı dokuya yakın olmasından dolayı klinik ve radyolojik dozimetri olarak kullanılabilmesini belirtmişlerdir[31]. Carina OlivaTorres ve ark. (2018) termolüminesans (TL) ölçümlerini incelemek üzere $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy}$ ve $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy,Na}$ sentezlemişler, gama ve nötron ile farklı doz ve sıcaklıkta ışınlayarak termolüminesans tepkilerini incelemişler, nötronlara kıyasla gama ışınlarına maruz kalan tüm malzemeler için benzer sıcaklık 197°C olurken farklılıklar, nötronlara maruz kalan materyallerde ise 280°C 'ye yüksek sıcaklık zirvesinde olduğunu göstermişlerdir[32].Vasilis ve ark. tarafından(2019) $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy,Na}$ TL sinyallerinin kapsamlı bir analizini yapılmış ve yapılan deneyde, TL ışıma tepe noktalarının aynı kaldığını görülürken, maksimum TL yoğunluğunun yüksekliği ve sıcaklığı, ışınlama ve ön ısıtma koşullarına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir [33].Legorreta-Alba ve ark. 2019 yılında yaptıkları çalışmada; $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy}$ Farklı oranlarda katkılamışlaren yüksek termolüminesans hassasiyet, 450°C tavlama sıcaklığında ve yüksek Dy^{3+} konsantrasyonunda da olduğunu belirlemişlerdir[34]. İflazoğlu ve ark. (2019) $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy}$ 'nin TL kinetik parametreleri bilgisayar ışıma eğrisi CGCD yöntemi ile çalışılmışlar, TL eğrisi yaklaşık 220°C 'de bir ana dozimetrik pike sahip olduğu belirtmişlerdir. $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy}$ (% 1 mol) için TLD-600 ve TLD-700'den yaklaşık 1.90 ve 1.47 kat daha yüksek hassasiyet olduğunu bunun sonucunda üretilen malzemenin dozimetrik malzeme olarak kullanılabilmesini göstermişlerdir[35].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Magnezyum Borat Bileşikleri

Magnezyum Borat bileşikleri; katkısız bulunabilen ya da farklı birleşim metotları ile oluşturulan çok sayıda magnezyum borat minareli bulunmaktadır. Magnezyum boratların sentezlenmesinde kullanılan yöntemlerden bazılarını örnek verecek olursak termal yöntem [36] kısmi çöktürme [37], çift tuz faz transformasyonu [38], hidrotermal sentez ve faz etkileşimi [39] gibi birçok sulu ve susuz ortam teknikleri sayılabiliriz.

Magnezyum borat bileşik ve mineralleri rafine boratlar ve metal boratlar yerine hem magnezyum hem de bor kaynağı olarak kullanılabilir. Genel olarak; magnezyum ve bor içeriğinden dolayı toprağın pestisitlerden arındırılmasında, süper iletken magnezyum diborür üretiminde, aşınma ve sürtünmeyi azaltıcı olarak yağlarda, metal yüzeyleri için yalıtkan kaplama teknolojisinde, ısıya hassas renk değiştirici mürekkep yapımında, boyalarda korozyon önleyici katkı olarak, kontak lens yıkama sularında, deterjan bileşimlerinde ve alev geciktiricilerde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, doğrudan ya da Na, Dy, Tm, Mn ve/veya Tb aktivasyonu ile elde edilmiş magnezyum borat bileşikleri de dozimetrelerde termolüminesans malzeme olarak kullanılmaktadır[40].

Magnezyum Borat'ın etkin kütle değerini hesapladığında Zeff: 7,8 olup ve canlı dokuların etkin kütlesi ile benzerlik göstermektedir. Bu avantaj kullanılarak üretilmiş olan malzemenin radyasyona olan TL duyarlılığı çalışılmıştır. Magnezyum borat mineralinin lantanitlerle katkılanarak ($MgB_4O_7;Dy$ ve $MgB_4O_7;Eu$) SCS yöntemi ile sentezlendikten sonra termolüminesans (TL) özellikleri ile kinetik parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

3.1.2. Kullanılan cihazlar

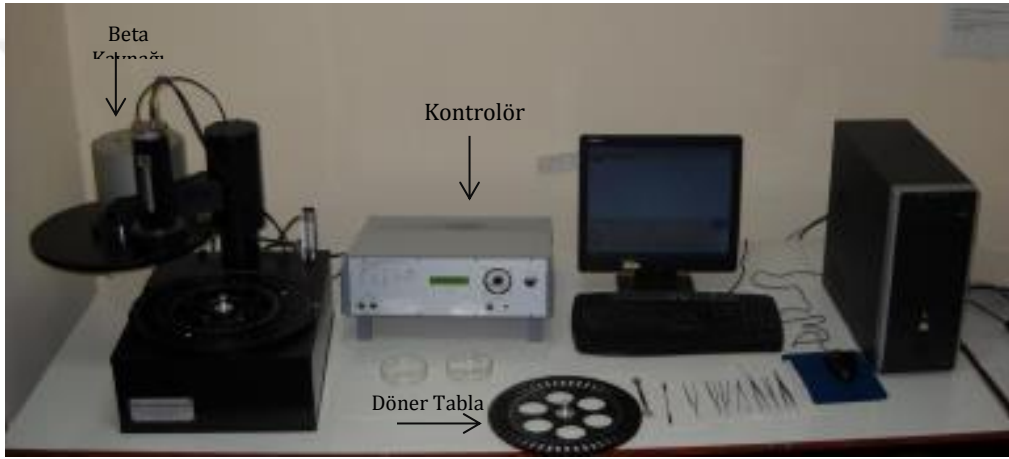
3.1.2.1. Termolüminesans (TL) Ölçüm Sistemi

Bu çalışmada yapılan analizler Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Termolüminesans Dozimetresi ve Medikal Fizik Laboratuvarında yürütülmüştür. Deney ölçümleri için Risø TL/OSL (model DA-20) cihazı dan yararlanılmıştır. Risø TL/OSL (model DA-20) Risø'nun bu en son geliştirdiği bu modeli bilgisayar aracılığıyla hem Termolüminesans(TL) hem de Optiksel Uyarılma ile Lüminesans (OSL) her iki ölçümlerde yapabilmektedir. Alınan ölçümlerin analizi "Sequence" ve "Analyst" olarak tanımlanan iki program kullanılmaktadır.

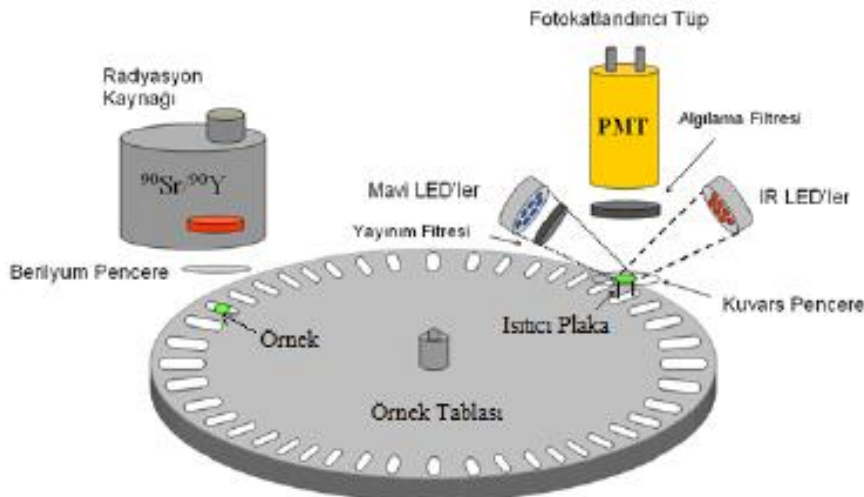
Risø TL/OSL cihazı 48 örneğin aynı anda;

- Oda sıcaklığında 700 °C'ye kadar TL ölçümlerini gerçekleştirebilmekte,
- Sürekli dalgada (CW) modunda IR ve mavi ışık kullanarak, TL ve OSL ölçümü yapılabilmektedir,
- Radyoaktif beta (β) kaynağı (90 Sr/90 Y) örnekleri istenilen dozda girilen kodlarla tek tek doz verebilmektedir.

Ayrıca TL/OSL cihazının bir başka yararı da örneklerin OSL ve TL ölçümleri sırasında istenildiği durumlarda ön ısıtma işlemine yapabilmesidir. OSL ölçümlerinde gerekli olan ön ısıtma sıcaklığında örnek sıcaklığının sabit tutabilmektedir. Şekil 3.1.'de cihazın bir görüntüsü, Şekil 3.2.'de ise cihazı oluşturan modüller görülmektedir.



Şekil 3.1. Risø TL/OSL cihazının görünümü.



Şekil 3.2. Risø TL/OSL cihazını oluşturan modüller

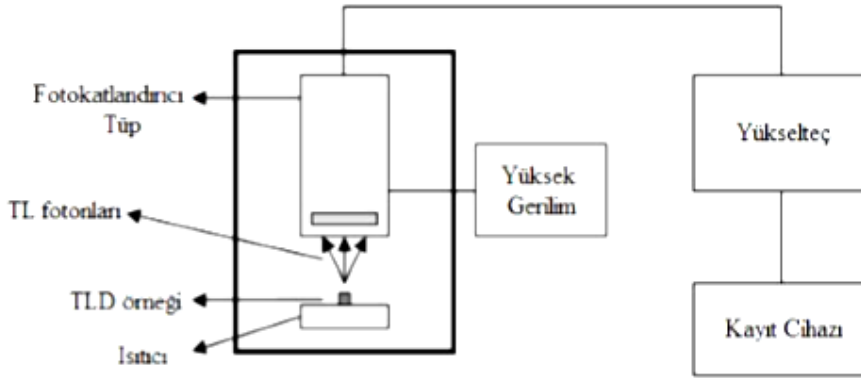
Lüminesans şiddeti, fotokatlandırıcı tüp ve algılama (dedeksiyon) filtreleri bulunduran bir ışık algılama düzeneği ile ölçülmektedir. Örnek tablasında 48 örneğin bir arada okunmasını

sağlayan örnek diski bulunur. Bunlar azot akışı ile azot atmosferine sahip bir orta oluşturulacak biçimde üretilmiştir (Şekil 3.3) [41].



Şekil 3.3. Risø TL/OSL cihazının örnek haznesine sahip döner tabla ve kenarlıklı diskler.

TLD okuyucu sistem; örneğin ısıtıldığı ve ısıtma süresince meydana gelen ışımaya ile oluşan verilerin aktarıldığı ve görüntülenerek kayıt altına alındığı elektronik bölümlerden oluşmaktadır. Fosforu ısıtmak ve yayılan termoluminesans fotonlarını algılamak için Şekil 3.42deki gibi bir sisteme ihtiyaç duyulur.



Şekil 3.4. TL Okuyucunun çizimsel gösterimi [42].

Numune örnek haznesine sahip döner tabla ve kenarlıklı disklere konarak ısıtılır. TL ölçümlerini incelemek için fotokatlandırıcı tüp kullanılır. TL fotonları katlandırıcı tüpün fotokatoduna çarptığında fotoelektrik olay neticesinde 1-3 elektron koparır. Bu ilk elektronlar voltaj farkı sebebiyle diyotlara doğru ivmelenerek çarpması ile ikincil elektronlar meydana gelir. Bu şekilde elektronlar artarak bir akım meydana getirir. Akım örnekten yayılan ışığın şiddeti ile doğru ve ışımaya tepelerin altındaki kalan alan, doğrudan fotokatlandırıcı tüp akımının zaman integrali ile orantılıdır. Tüp yardımıyla örnekten yayılan TL'yi elektrik sinyaline dönüştürür. lüminesans sinyalleri elektrik akımına çevrilerek önce kontrolöre sonra da kayıt cihazına yani bilgisayara aktarılmaktadır.

3.1.2.2. Fırın

Laboratuvar ortamında SCS yöntemiyle üretilen malzemeyi, tüm tavlama işlemlerini geç ısınma ve geç soğuma özelliğine sahip dijital kontrol sistemli Protherm(PLF 120/7) marka elektrikli fırın kullanılmıştır. Silisyum karbür dirençli kül fırını maksimum çalışma sıcaklığı 1200 °C devamlı çalışma sıcaklığı 1150°C'dır. Bu fırının ölçüm hassasiyeti $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'dir.



Şekil 3.5. Tavlama Fırını.

3.1.2.3. Seramik Havan

Deneyde kullanılacak olan malzemelerin toz kristal şekline getirilmesi için seramik havan kullanılmıştır. Seramik havanın en iyi kalite pürüzsüz porselenden üretilmiş olması malzemenin öğütmesi sırasında malzemeye yabancı maddelerin karışması engellenmektedir. Havan tabanının pürüzlü yüzeyi öğütme işleminin hızlı ve etkin yapılmasına olanak sağlar. Seramik havan Şekil 3.6.'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Malzemelerin toz hale getirilmesinde kullanılan seramik havan.

3.1.2.3. Hassas Terazi

Üretilen malzeme Mersin Üniversitesi İleri teknoloji uygulama ve araştırma merkezi hazırlık laboratuvar da bulunan Mettler Toledo model bir hassas terazi kullanarak tartılmıştır. Bu hassas terazinin hassasiyeti 0,001 gr'dır. Şekil 3.7'de ürettiğimiz malzemeyi tartarken kullandığımız hassas terazi gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Mettler Toledo model hassas terazi.

3.1.2.4. Elekler

Retsch marka eleklerle malzemedeki kristallerin parçacık boyutunu 90µm ile 140µm arasından elenerek, homojen bir dağılım elde ederek ölçüme hazır hale getirilmişlerdir. Kullanılan elek şekil 3.8' de görülmektedir.



Şekil 3.8. Retsch Marka Elek.

3.2. Yöntem

Bu çalışmada laboratuvar ortamında stokiyometrik oranlar kullanılarak “Çözelti Yanma Sentez Yöntemi” (SCS) ile Evropyum ve Disprosyum katkıli Magnezyum tetra Borat sentezi yapılmıştır. Yöntemin uygulama aşamalarında saf suda magnezyum nitrat hegzahidrat ($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$), borik asit’in (H_3BO_3) ve üre (NH_2CONH_2) derlenerek çözdürülmesi ile magnezyum tetra borat (MgB_4O_7)’a farklı oranlarda, lantanitlerden olan Disprosyum (Dy) ve Evropyum (Eu) katkılanarak kimyasal malzeme üretilmiştir. Farklı katkı oranlarında üretilen $MgB_4O_7:Dy$ (%0.1-%0.2-%0.3-%0.4-%0.5) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1-%0.2-%0.3-%0.4-%0.5) 90µm ile 140µm parçacık boyutuna sahip malzemeler, Termolüminesans ölçümleri, Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Medikal Fizik Termolüminesans laboratuvarında Risø TL/OSL Lüminesans Okuyucu: Model TL/OSL-DA-20 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Farklı katkı oranlarında üretilen $MgB_4O_7:Dy$ ve $MgB_4O_7:Eu$ için TL grafiklerinde en iyi verim alınan %0.1 katkıli Disprosyum (Dy), %0.3 katkıli Evropyum (Eu) diğer deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Deneyde kullanılan kimyasallar maddeler ve özellikleri ayrıntılı şekilde Tablo 3.1.’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Deneyde kullanılan kimyasallar.

Kimyasallar	Üretici Firma	Safılık	Amaç
Magnezyum Nitrat Hekzahidrat $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	Sigma Aldrich	%99.99	MgB_4O_7 Üretimi
Borik asit H_3BO_3	Sigma Aldrich	%99.99	MgB_4O_7 Üretimi
Üre N_2H_4CO	Sigma Aldrich	%99.99	MgB_4O_7 Üretimi
Evropyum Nitrat Hekzahidrat $Eu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	Sigma Aldrich	%99.99	Katkı kimyasalı
Disprosyum Nitrat Hekzahidrat $Dy(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	Sigma Aldrich	%99.99	Katkı kimyasalı

3.2.1. Çözelti Yanma Sentez Yöntemi (SCS)

Çözelti Yanma Sentez Yöntemi (SCS) ile oluşturulmak istenen malzeme için; malzemenin nitrat bileşenleri ile katkı malzemelerinin nitratları ve en önemlisi yanma olayını gerçekleştirecek üre önceden hesaplanmış stokiyometrik ölçülerde karıştırılır. Saf su konulan beher içerisine oranlı ölçüde konulan malzemeler hot plate üzerinde uygun sıcaklıkta karıştırılarak çözülür. Homojen olan çözelti sıcaklığı git gide artırılarak yüksek bir değerde deneyin maksadına uygun

olacak şekilde sabitlenmiş maksimum sıcaklıkta homojen çözeltinin suyunu tamamen buharlaştırılarak çökmesi sağlanır. Suyu tamamen buharlaşan çökelek oluşturan malzeme agat havanlarda dövülerek ince toz haline getirilir. Çözelti Yanma Sentez Yöntemi (SCS) ile oluşturulan malzeme yüksek derecelere çıkan fırınlarda üretilen malzemenin literatürde geçen sıcaklık ve zaman diliminde ısı işlem uygulanarak deneyde kullanmak üzere kristal form halini alır.

3.2.2. MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) Malzemenin Deneysel Aşamaları

Mersin Üniversitesi İleri teknoloji uygulama ve araştırma merkezin de “Çözelti Yanma Sentez Yöntemi” (SCS) ile üretilen MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemeler agat havan kullanılarak öğütüldükten sonra Retsch marka eleklerle aynı boyut ve homojen bir dağılım için 90µm ile 140µm arasından elenmiştir. 5 mg’lık örneklerle çalışılmıştır.

3.2.3. Sinterleme Deneyi

Sinterleme, parçacıklar arası birleşmeyi gerçekleştiren ısı bir işlemdir. Malzemenin saf halinde görülen özelliklerini artıran bir deneydir. SCS yöntemi ile üretilen MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemelerin kristallendirilmesi için yapılan, sıcaklık ve zaman parametreleri ile oynanarak amorf olan yapıyı kristal yapı formuna getirmek için yapılan bir deneydir..

3.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

90 µm ile 140 µm aralığında parçacık boyutlarındaki ve sinterlenmiş olan MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemeler hazırlanmıştır. Bu malzemelerin incelenmesinde Mersin Üniversitesi İleri teknoloji uygulama ve araştırma merkezinde yer alan Zeuss Supra 55 model Taramalı elektron Mikroskobu kullanılmıştır. Numunelerin farklı bölgelerinden ve farklı büyütme değerlerinde SEM görüntüleri alınmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Kullanılan SEM cihazı.

3.2.5. X-Işını Toz Kırınım (XRD) Analizi

90 μm ile 140 μm aralığında parçacık boyutlarına sahip $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy},\text{Eu}$ dozimetrik malzemeler 900°C de 2 saat sinterlenme sonrası Mersin Üniversitesi İleri teknoloji uygulama ve araştırma merkezinde kristal yapılarına ve örgü değişkenlerinin saptamak için Rigaku marka, Smart lab model X-ışını kırınım cihazı (XRD) kullanarak analiz sağlanmıştır (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. Kullanılan XRD cihazı.

3.2.6. Termoluminesans (TL) Ölçümleri

Ölçümler Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Medikal Fizik ve Termoluminesans Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi. Termoluminesans (TL) deney için, kullanılacak dozimetrik malzemeler 90 μm ile 140 μm parçacık boyutlarına sahiptir. Fırında 900°C de 2 saat sinterlenmiş üçer adet 5 mg $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy}$ (%0.1), $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy}$ (%0.2), $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy}$ (%0.3), $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy}$ (%0.4), $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Dy}$ (%0.5) ve $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Eu}$ (%0.1), $\text{MgB}_4\text{O}_7:\text{Eu}$ (%0.2),

MgB₄O₇:Eu (%0.3), MgB₄O₇:Eu (%0.4) MgB₄O₇:Eu (%0.5) dozimetrik malzemeler hazırlandı. Risø TL/OSL Lüminesans Okuyucu Model TL/OSL-DA-20 ölçüm cihazıyla TL ölçümleri yapıldı. En iyi TL grafiğine sahip MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemeler deneyin diğer tüm aşamalarında kullanılmıştır.

3.2.6.1. Ön ısıtma (preheat) Deneyi

MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemeler ⁹⁰Sr/⁹⁰Y β kaynağı ile 9 s (1 Gy) ışınıldı. Her ışınlama sonrasında 50°C' den 360°C' ye kadar 10 °C' lik artımla ön ısıtma uygulandı ve ön ısıtma sürecinden sonra 450 °C' ye kadar 5°C/s ısıtma hızı ile TL okumaları yapılarak TL ışınma eğrileri elde edilmiştir.

3.2.6.2. Tavlama Sıcaklığı ve Tavlama Süresi Deneyi

SCS yöntemi ile üretilen MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemelerin kristal yapısında bulunan tuzakların ve varsa bünyesinde bulunan radyasyon dozunu silmek için uygulanan ısı tavlama işlemidir. Kristal yapıdaki tuzakları boşaltan en uygun sıcaklık ve süre Risø TL/OSL Lüminesans Okuyucu Model TL/OSL-DA-20 ölçüm cihazıyla ölçümler alınarak yapılmıştır.

3.2.6.3. Doz Yanıt (Dose Response) Deneyi

Mersin Üniversitesi İleri teknoloji uygulama ve araştırma merkezin de "Çözelti Yanma Sentez Yöntemi" (SCS) ile MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) 90 µm ile 140 µm aralığında parçacık boyutlarındaki dozimetrik malzemeler üretildi. Risø TL/OSL Sistem Model DA-20 ölçüm sistemi kullanıldı.⁹⁰Sr/⁹⁰Y β kaynağı ile 3 °C/s lik ön ısıtma hızı ile 0.1Gy, 0.2 Gy, 0.5Gy, 1Gy,2Gy, 5Gy, 10Gy, 20Gy ve 50Gy doz verilerek 450 °C'ye kadar okundu. TL grafikleri kullanılarak doz cevap eğrileri oluşturulmuştur.

3.2.6.4. Sönüm (Fading) Deneyi

Sönüm (fading) deneyleri için, MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) 90 µm ile 140 µm aralığında parçacık boyutlarındaki 900 °C'de 2 saat sinterlenmiş dozimetrik malzemelerden 5 mg olmak üzere üçerli örnekler hazırlandı. Bu malzemelere 1 Gy doz verilip karanlık laboratuvar ortamında muhafaza edildi. Belirlenen sürelerde, anında okuma, 1saat, 3 saat, 6, saat 12 saat ve 7

gün bitiminde örnekler oda sıcaklığından 3 °C/s'lik ısıtma hızı ile 450 °C'ye kadar TL okumaları yapılmıştır.

3.2.6.5. Tekrar Kullanılabilirlik(Reusability) Deneyi

Tekrar kullanılabilirliğin test edilmesi için; 900°C de 2 saat sinterlenmiş üçer adet 5mg MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemeler kullanıldı. Bu dozimetrik malzemelere 1 Gy beta dozu verdikten sonra ön ısıtma yapıp (100 °C'de 5 °C/s'lik ısıtma hızı) 3 °C/s'lik ısıtma hızı ile 450 °C'ye kadar TL okumaları yapılmıştır. Bu işlemler 5 defa tekrarlanmıştır.

3.2.6.6. Farklı Isıtma Hızları (Heating Rate)Deneyi

MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemeler, 900°C de 2 saat sinterlenmiş üçer adet 5mg hazırlanıp, beta 5sn doz verip hemen ardından 1°C/s ısıtma hızı ile 450 °C'ye kadar TL okuması yapılmıştır. Bundan sonraki işlemlerde tekrar beta 5sn doz verilip bu kez 2 °C/s ısıtma hızı ile 450 °C'ye kadar TL okuması yapılmıştır. Farklı ısıtma hızlarıyla ölçümler 1'er derecelik artışlarla 10 °C/s'lik ısıtma hızına ulaşana kadar işlem tekrarlanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Dozimetrik Malzemelerin SCS Yöntemi ile Hazırlanışı

Mersin Üniversitesi İleri teknoloji uygulama ve araştırma merkez laboratuvarında "Çözelti Yanma Sentez Yöntemi"(SCS) ile %99.999 saflıktaki kimyasal malzemelerle; magnezyum nitrat heksahidrat ($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$), borik asit (H_3BO_3), üre (NH_2CONH_2) stokiyometrik ölçülerle sırasıyla saf suda hot plate üzerinde karıştırıcı balık yardımıyla karışarak çözülmesiyle elde edilen magnezyum tetra borata (MgB_4O_7) lantanitlerden olan Disprosyum (Dy) ve Evropyum (Eu) ayrı ayrı beherlerde farklı katkı oranlarında ($MgB_4O_7:Dy$ (%0.1), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.2), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.4), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.5) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.2), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.3), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.4), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.5)) katkılanarak oluşturulan çözeltiler, 350 °C sıcaklıkta yarım saat bekletilip çözelti daha yoğun bir kıvama geldikten sonra 500 °C'ye çıkartılarak, amorf yapıda çökelek çözelti elde edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. 500 °C de Hot plate üzerindeki dozimetrik malzeme.

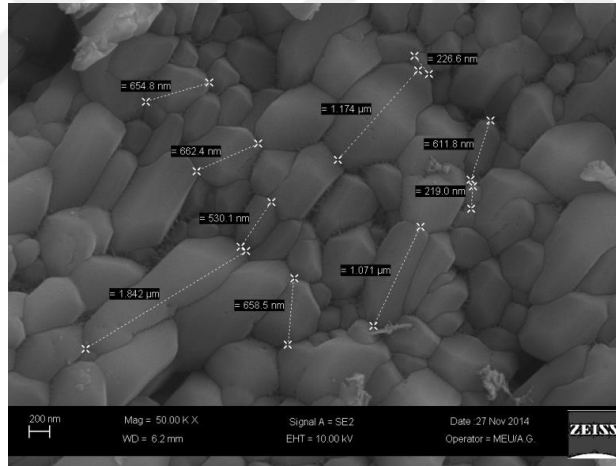
4.2. Sinterleme Deneyi

SCS yöntemi ile üretilen $MgB_4O_7:Dy$ (%0.1), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.2), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.4), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.5) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.2), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.3), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.4), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.5) dozimetrik malzemelerin kristallendirilmesi için, Mersin Üniversitesi İleri teknoloji uygulama ve araştırma merkez laboratuvarında var olan

Protherm (PLF 120/7) marka elektrikli fırın, oda sıcaklığından 2.5 saat'te 900°C sıcaklığa çıkartılmış, 2 saat bekletilip tekrar 900°C'den 2,5 saat'te oda sıcaklığına inmesi beklenmiştir. Malzemelerin SEM, XRD ve TL ölçümlerine bakılmıştır. Örneklerin istenilen biçimde kristalize olduğu SEM ve XDR sonuçlarından anlaşılmıştır. Daha sonradan bu örneklerin yapılan TL ölçümlerinde de en iyi TL şiddetini verdiği gözlemlenmiştir.

4.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

SCS yöntemi ile üretilen $MgB_4O_7:Dy$ (%0.1), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.2), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.4), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.5) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.2), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.3), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.4), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.5) dozimetrik malzemelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile farklı bölgelerinden alınan görüntülerden kristal yapıyı oluşturan taneciklerin boyutları ve yapıları görüntülenmiştir. Tanecik boyutların mikron boyutuna yakın olduğu şekil 4.2 deki SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Dozimetrik malzemeler için uygun boyutta olduğu söylenebilir.

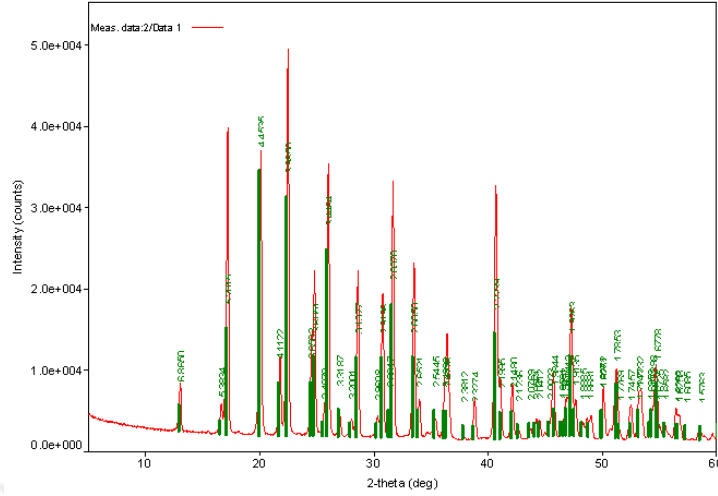


Şekil 4.2. Kristal yapıyı oluşturan taneciklerin boyutları.

4.4. X-Işını Toz Kırınım (XRD) Analizi

Çözelti Yanma Sentez Yöntemi (SCS) yöntemi ile laboratuvarında üretilen $MgB_4O_7:Dy$ (%0.1), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.2), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.4), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.5) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.2), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.3), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.4), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.5) dozimetrik malzemeler 90 µm ile 140 µm aralığında parçacık boyutlarına sahip 900°C de 2 saat sinterlenmiş üçer adet 5mg örnek alınarak Mersin Üniversitesi İleri teknoloji uygulama ve araştırma merkez laboratuvarında bulunan Rigaku marka, Smartlab model X-ışını kırınım cihazı (XRD) ile XRD ölçümü yapıldı. Şekil 4.3'te XRD sonuçları görülmektedir. Örneklerin XRD

düzlemlerden yansıyan kırınımları magnezyum tetra boratın referans çizgileriyle birebir örtüştüğü görülmektedir. Bu sonuçlar elde edilen kristal yapıya ulaşıldığını göstermektedir.

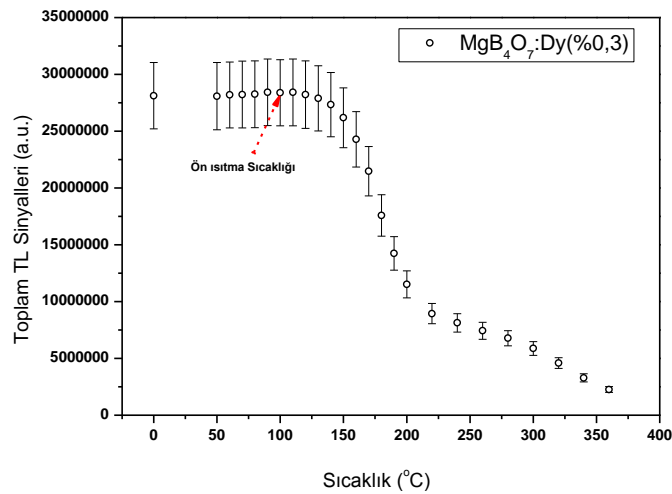


Şekil 4.3. MgB₄O₇ XRD sonucu.

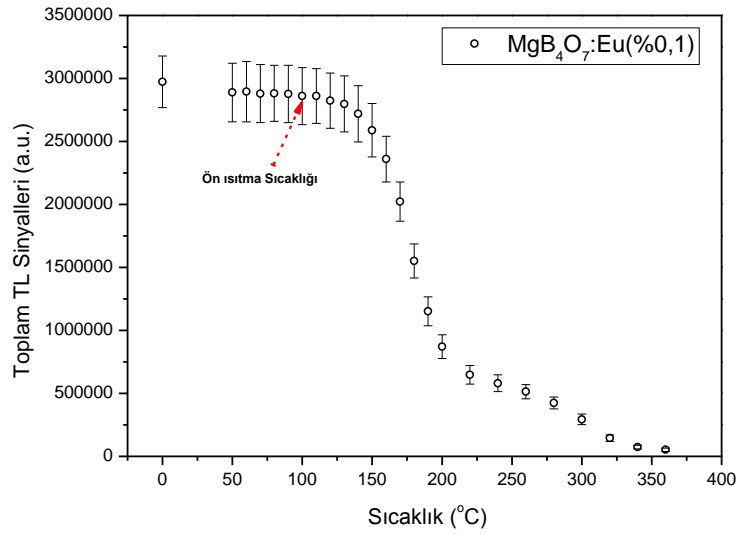
4.5. Termoluminesans (TL) Ölçümleri

4.5.1. Ön Isıtma Deneyi

MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemeler için yapılan ön ısıtma deneyinde örnekler ⁹⁰Sr/⁹⁰Y β kaynağı ile 9 s (1 Gy) ışınlandı, her ışınlama sonrasında 50 °C'den 200 °C'ye kadar 10 °C'lik, 200 °C'den 360 °C'ye kadar 20 °C'lik artışlarla ön ısıtma uygulanmıştır, devamında 450 °C'ye kadar 5 °C/s ısıtma hızı ile TL okumaları yapılmıştır. TL okumalarında Origin 9.0 programını kullanarak ışınma eğrilerinin altındaki alanlar hesaplanıp alanlar ön ısıtma sıcaklığının bir işlevi olarak çizilip sonuçlar Şekil 4.4.ve de Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.4. 1 Gy doz verilmiş MgB₄O₇:Dy (%0.3) ön ısıtma sıcaklığının bir fonksiyonu olarak TL ışınma eğrisi.

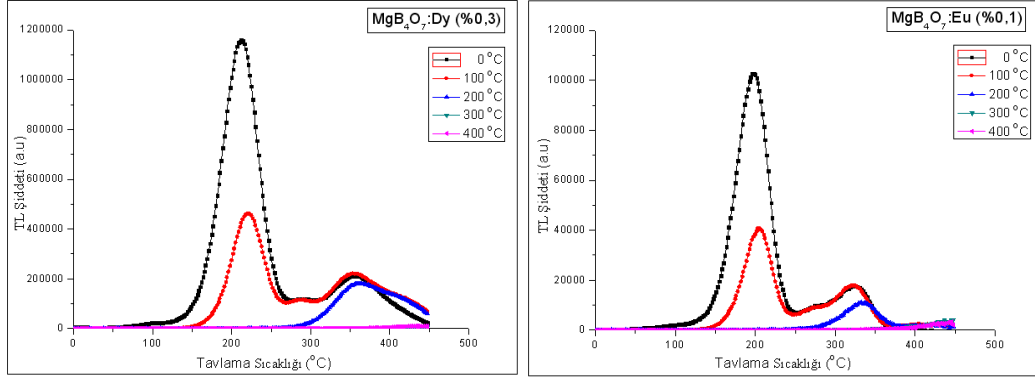


Şekil 4.5. 1 Gy doz verilmiş $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) ön ısıtma sıcaklığının bir fonksiyonu olarak TL ışımaya eğrisi.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'i incelediğimizde $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ile $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) en elverişli ön ısıtma sıcaklığı; sıcaklığı az olan TL ışımaya tepelerinin silinmesi ve fazla olan sıcaklık tepelerinin daha iyi bir durumda elde edilmesi için eğri üzerinde hafif bir düzlük olan 100 °C olarak belirlenmiştir.

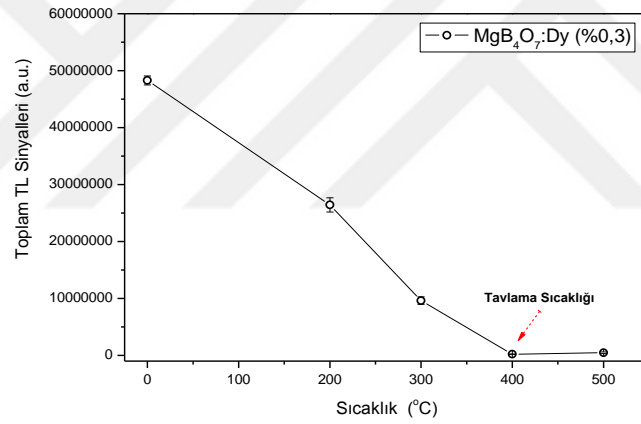
4.5.2. Tavlama Sıcaklığının ve Tavlama Süresinin Deneyi

SCS yöntemi ile üretilen $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) dozimetrik malzemeler kristal yapısında bulunan tuzakların ve bünyelerinde bulunabilecek radyasyon dozunu silmek için; $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1)'da 2 Gy doz verilerek ışınlanmıştır, tavlama işlemi olmaksızın ışınlanan örneklerin TL okumaları yapılmıştır. Işınlama sonrasında örnekler 100°C'lik artışlarla 200, 300, 400 ve 500 °C'lik tavlama sıcaklıklarının da 10 dakika tavlama işlemi yapılmıştır. Bu deneysel veriler sonrası $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) için tavlama sıcaklığının TL şiddetine olan grafikleri çizilerek, bu grafiklerden TL şiddetinin 400°C sıcaklık en uygun tavlama sıcaklığı olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.7; 4.8). Tavlama süreleri ise 0 ile 20 dakika arasında 5'er dakikalık artışlarla değiştirilerek $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) için tavlama süresinin TL şiddetine olan grafikleri çizilmiştir. TL şiddetinin 15 dakikada en iyi tavlama süresi olarak belirlenmiştir (Şekil 4.9; 4.10).

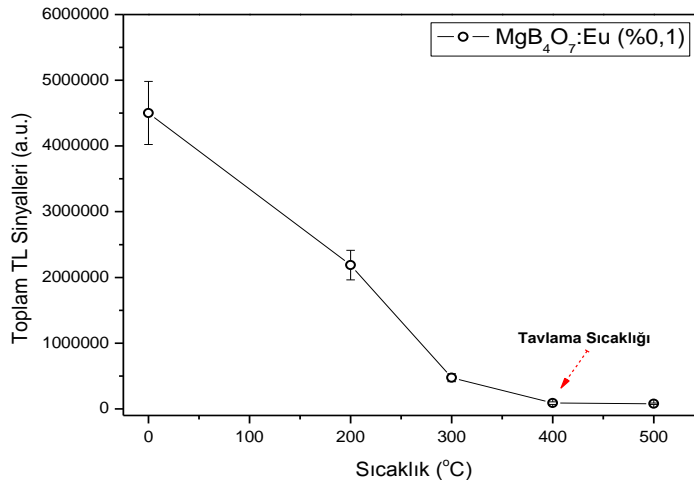


Şekil 4.6. MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemeler için tavlama sıcaklıkları için TL ışıma grafikleri.

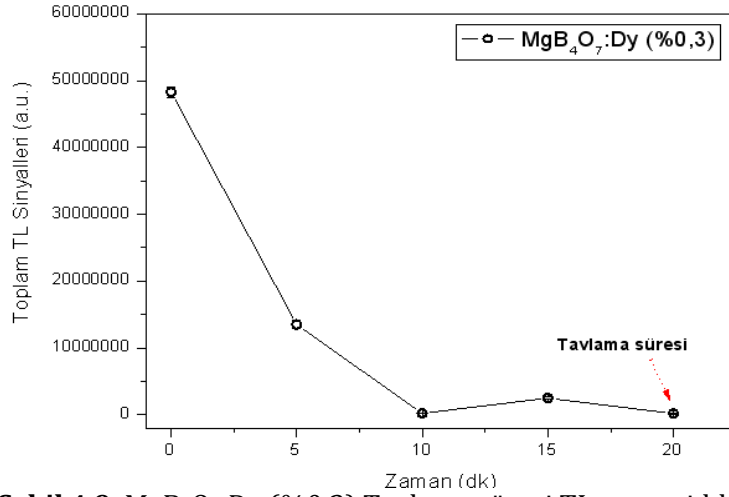
Tavlama deneyleri yapılan MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemelerin öncesinde oluşan dozları silmek ve tuzakları kararlı hale getirmek için 400°C'de 15 dakika tavlamanın uygun ve yeterli olduğu belirlenmiştir.



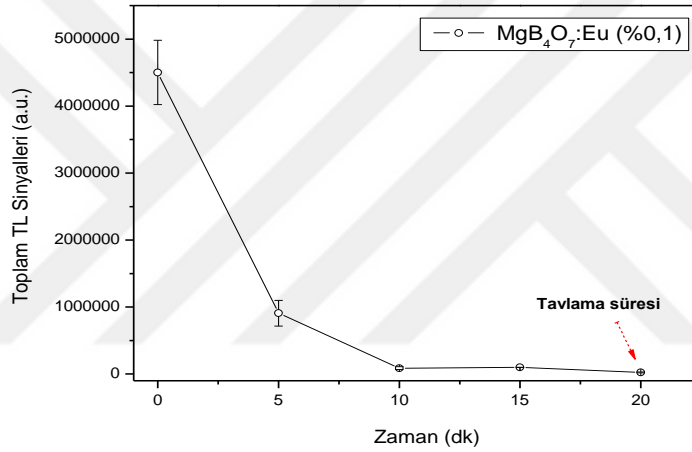
Şekil 4.7. MgB₄O₇:Dy (%0.3) Tavlama sıcaklığının TL ışıma şiddeti.



Şekil 4.8. MgB₄O₇:Eu (%0.1) Tavlama sıcaklığının TL ışıma şiddeti.



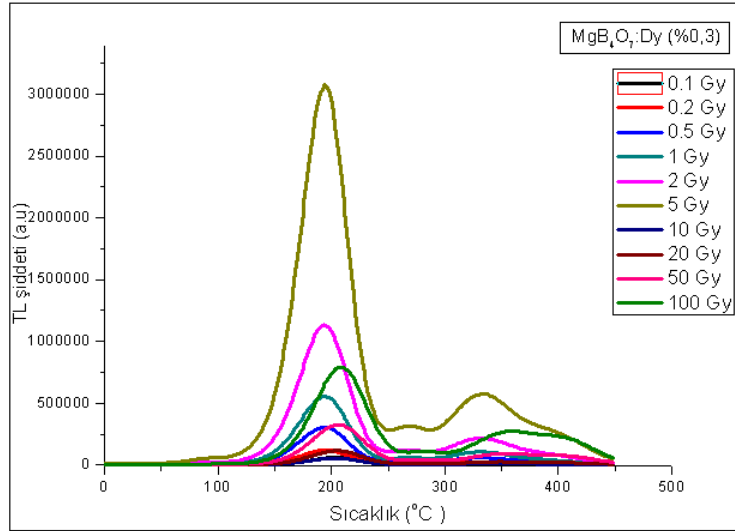
Şekil 4.9. MgB₄O₇:Dy (%0.3) Tavlama süresi TL ışına şiddeti.



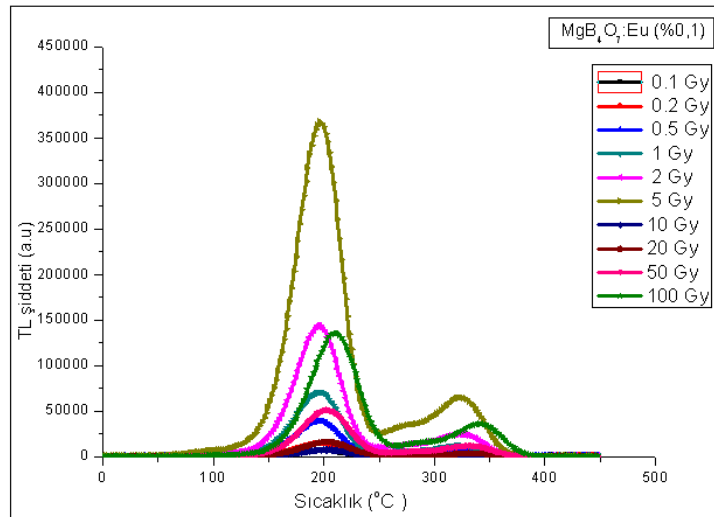
Şekil 4.10. MgB₄O₇:Eu (%0.1) Tavlama süresi TL ışına şiddeti.

4.5.3. Doz Yanıt (Dose Response) Deneyi

Deneyde, laboratuvar ortamında üretilen dozimetrik malzeme MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) 90 µm ile 140 µm aralığında parçacık boyutlarındaki 900 °C'de 2 saat sinterlendi. Risø TL/OSL Sistem Model DA-20 ölçüm sistemi ile ⁹⁰Sr/⁹⁰Y β kaynağı ile 3 °C/s lik prehat ısıtma hızı ile 450°C'ye kadar 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 ve 100Gy doz arasında ışınlanmıştır. TL, ışına eğri grafikleri çizilmiştir.

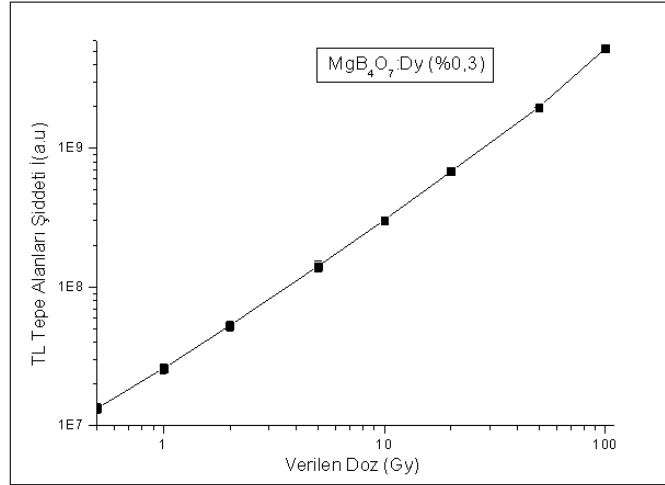


Şekil 4.11. $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) için 0.1 Gy ile 100 Gy arasındaki farklı doz değerlerindeki TL ışımaya grafikleri.

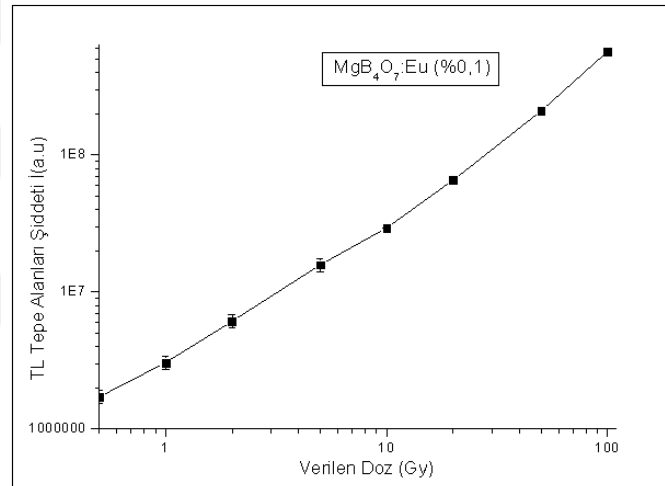


Şekil 4.12. $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) için 0.1 Gy ile 100 Gy arasındaki farklı doz değerlerindeki TL ışımaya grafikleri.

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de görüldüğü gibi, ışımaya tepelerinin TL şiddetleri doz oranlarına göre değişiklik göstermiştir. $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) ve $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) için Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de doz karşı TL ışımaya alanı şiddet grafiği çizildiğinde dozdaki artış miktarı ile TL şiddetlerindeki artış miktarı doğru orantılı olduğu görülmüştür. Doz cevap hesaplamalar yapıldı. Elde edilen $F(D)$ değerleri 0.1 Gy ile 100 Gy arasında $\sim F(D) = 1$, yani bu doz aralıkları arasında lineerdir.



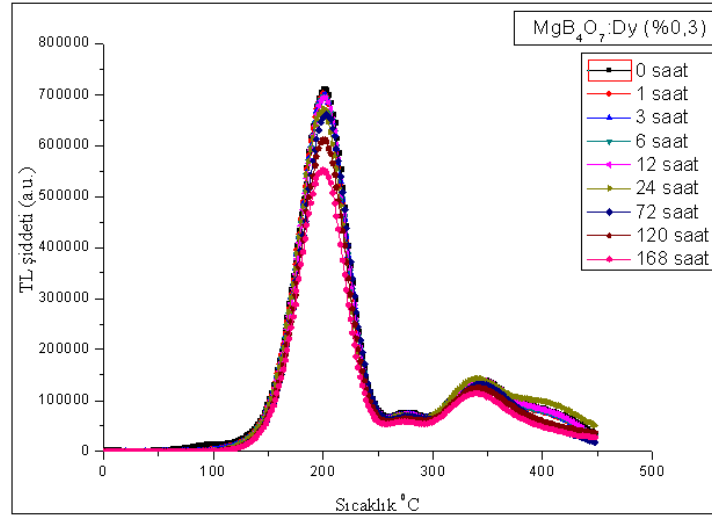
Şekil 4.13. MgB₄O₇:Dy (%0.3) için TL ışımaya eğrileri altında kalan alanlardan belirlenen doz yanıt grafikleri.



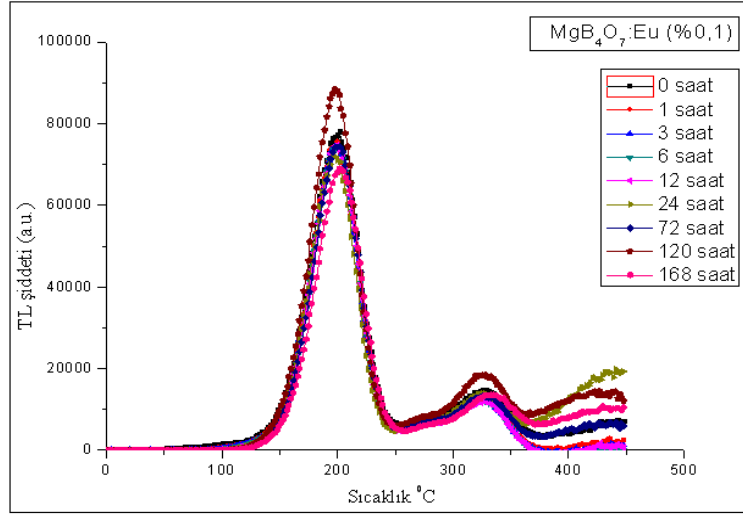
Şekil 4.14. MgB₄O₇:Eu (%0.1) için TL ışımaya eğrileri altında kalan alanlardan belirlenen doz yanıt grafikleri.

4.5.4. Sönüm (Fading) Deneyi

Sönüm (fading) deneyleri için, MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) 90 µm ile 140 µm aralığında parçacık boyutlarındaki 900 °C'de 2 saat sinterlenmiş dozimetrik malzemelerden 5 mg olmak üzere 3 'erli örnekler hazırlanmıştır. Bu malzemelere 1 Gy doz verilip karanlık laboratuvar ortamında muhafaza edilmiştir. Belirlenen sürelerde 0 saat (anında okuma), 1 saat, 3 saat, 6 saat, 12 saat, 72 saat, 120 saat ve 168 saat bitiminde örnekler oda sıcaklığından 3 °C/s'lik ısıtma hızı ile 450 °C'ye kadar TL okuma grafikleri çizilmiştir.



Şekil 4.15. Beta 1 sn doz ile ışınlanmış $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ait sönüm TL grafikleri.

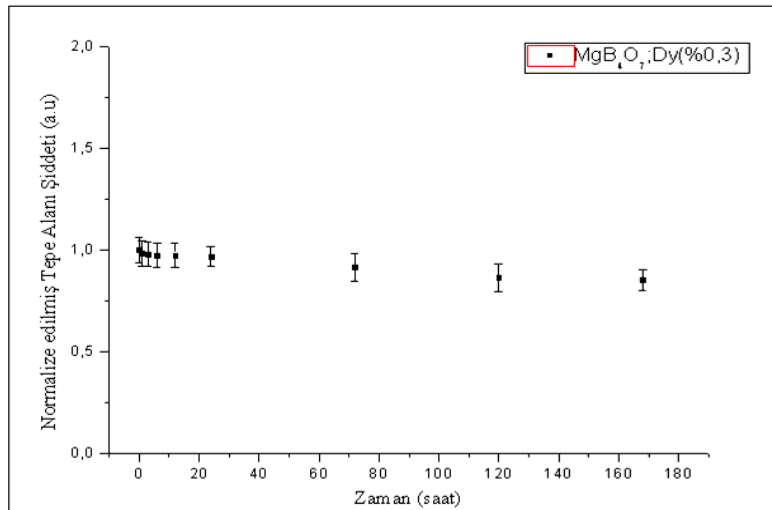


Şekil 4.16. Beta 1 sn doz ile ışınlanmış $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) ait sönüm TL grafikleri.

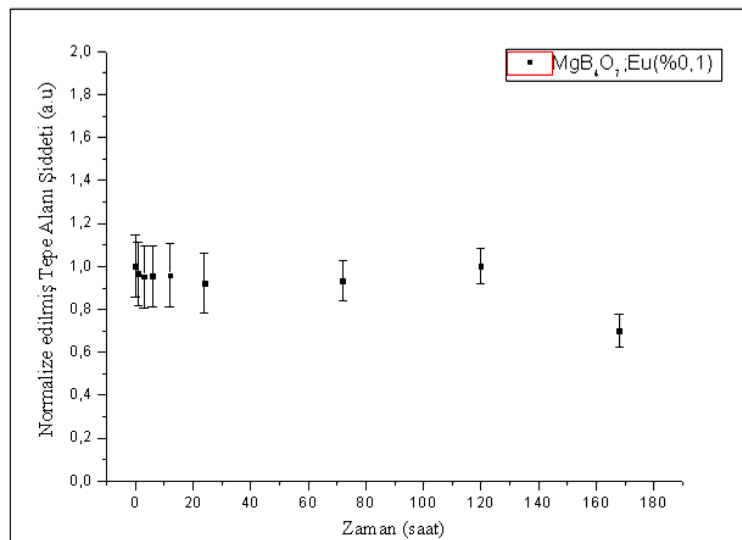
Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'daki grafiklerde de görüldüğü gibi $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) örneklerin TL şiddetleri saklama zamanı ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Karanlık ortamda kaldığı süre arttıkça TL şiddetlerinin azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'deki grafiklerde de görüldüğü gibi beta 1sn dozu ile ışınlanmış $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) örneklerin için;

- $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) tekrar kullanılması sonucunda TL hassasiyetinde zaman geçtik sıra sadece % 7'lik solma görülmüştür.
- $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1)'de ise TL hassasiyetinde 120 saate kadar %1'lik solma mevcutken, 120 saatten sonra % 8'lik bir solma görülmüştür.



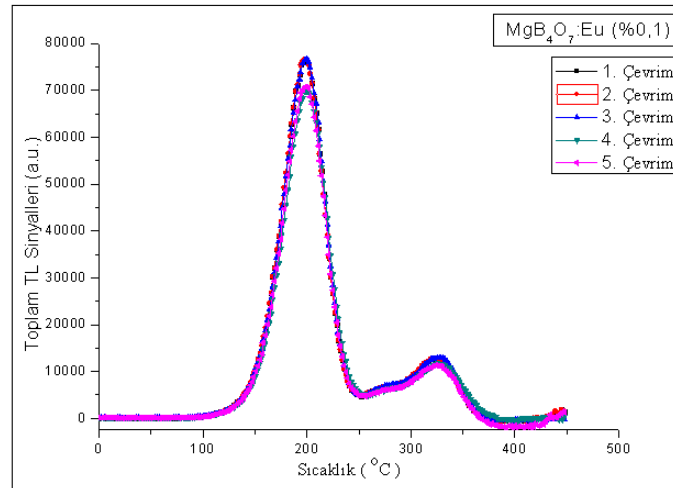
Şekil 4.17. Beta 1 sn doz ile ışınlanmış $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ait normalize edilmiş tepe alan şiddetlerinin zamana göre grafiği.



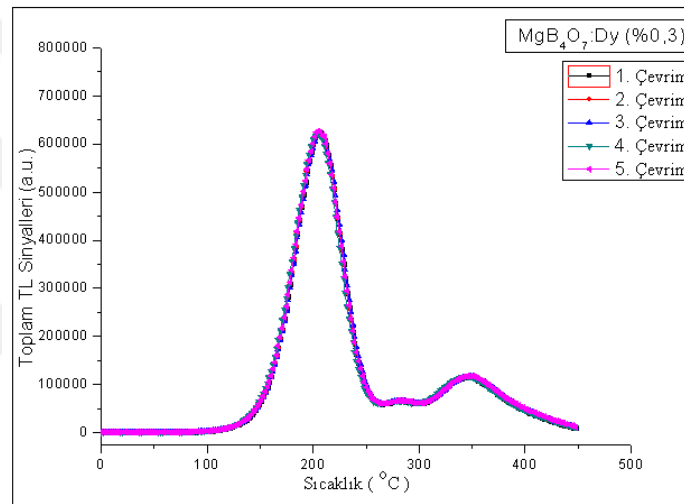
Şekil 4.18. Beta 1 sn doz ile ışınlanmış $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) ait normalize edilmiş tepe alan şiddetlerinin zamana göre grafiği.

4.5.5. Tekrar Kullanılabilirlik(Reusability) Deneyi

Tekrar kullanılabilirliğin test edilmesi için; 900°C de 2 saat sinterlenmiş üçer adet 5mg $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) dozimetrik malzemeler, 1 Gy beta dozu verildi. Sonra ön ısıtma yapıp (100 °C'de 5 °C/s'lik ısıtma hızı) 3 °C/s'lik ısıtma hızı ile 450 °C'ye kadar TL okumaları yapılmıştır. TL hassasiyetinin dozimetrik malzemelerin tekrar tekrar kullanılmasıyla nasıl değişeceğini belirlemek için aynı işlem; tavlama, radyasyona tutma ve TL okuması şeklinde 5 defa tekrarlanmıştır. Şekil 4.19'te ve Şekil 4.20'te elde edilen TL ışıma eğrileri görülmektedir.

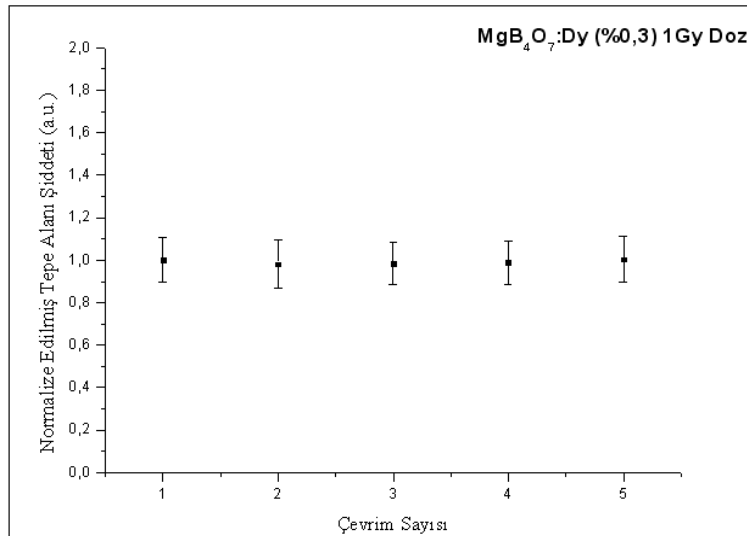


Şekil 4.19. MgB₄O₇:Eu (%0.1) Tekrar Kullanılabilirliğin TL ışına eğrisi.

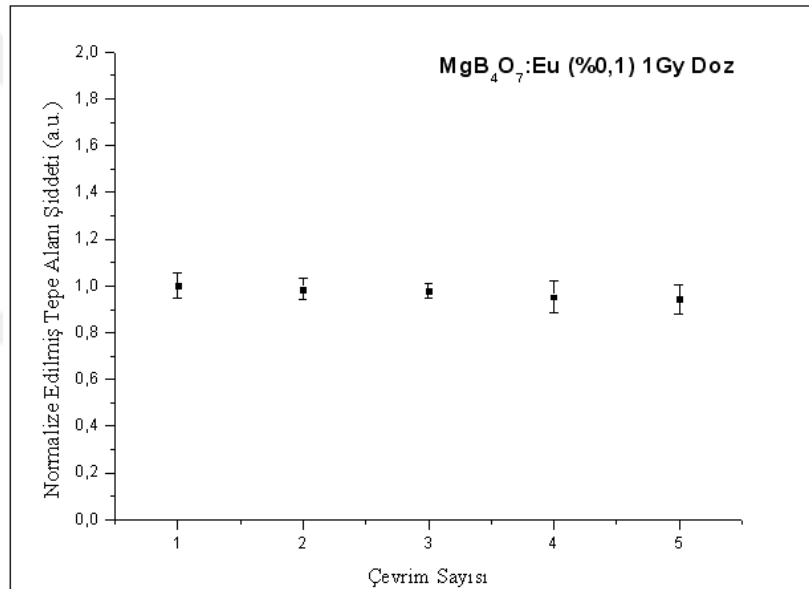


Şekil 4.20. MgB₄O₇:Dy (%0.3) Tekrar Kullanılabilirliğin TL ışına eğrisi.

MgB₄O₇:Eu (%0.1) ve MgB₄O₇:Dy (%0.3) dozimetrik malzemelerin saptanan tepe yükseklikleri Şekil 4.19'te ve Şekil 4.20'te TL ışına tepeleri tepe yüksekliği değerine normalize edilip, çevrim sayısına karşılık, normalize edilmiş tepe alanı şiddeti grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler MgB₄O₇:Eu (%0.1) için Şekil 4.21'de ve MgB₄O₇:Dy (%0.3) için Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. MgB₄O₇:Dy (%0,3) çevrim başına TL hassasiyet değişimi.



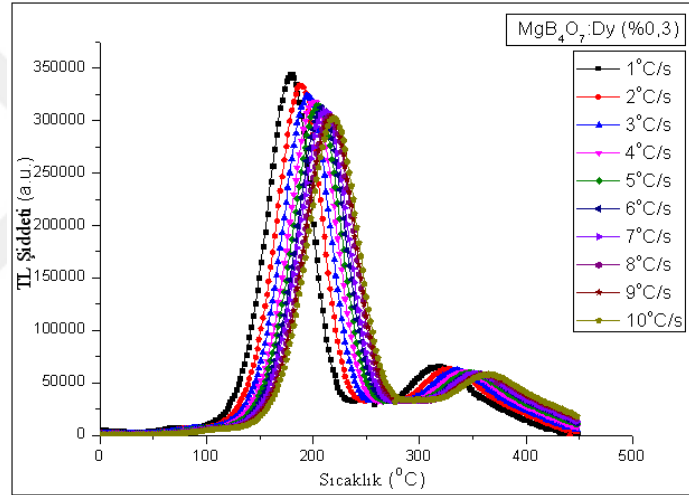
Şekil 4.22. MgB₄O₇:Eu (%0,1) çevrim başına TL hassasiyeti.

MgB₄O₇:Dy (%0,3) için Şekil 4.21’de ve MgB₄O₇:Eu (%0,1) için Şekil 4.22’de gösterildiği gibi 5 çevrim sonunda MgB₄O₇:Dy (%0,3) TL hassasiyetinin ilk çevrimden başlayarak önce azalmaya sonra artmaya başladığı görülmüştür. TL hassasiyetindeki bu değişimlerin deney sırasında kaynaklanan çevresel etkiden kaynaklandığı söylenebilir. MgB₄O₇:Eu (%0,1) TL hassasiyetinin ilk çevrimden başlayarak azalmaya başladığı görülmüştür. TL hassasiyetindeki standart sapma, sapma sınırları içerisinde olduğu söylenebilir. Bu durumda MgB₄O₇:Dy (%0,3) ve MgB₄O₇:Dy (%0,3) dozimetrik malzemelerin tekrardan kullanılabilirliği için çevresel faktörlerden etkilenmeyecek iyi bir saklama koşulları gerektiği söylenebilir.

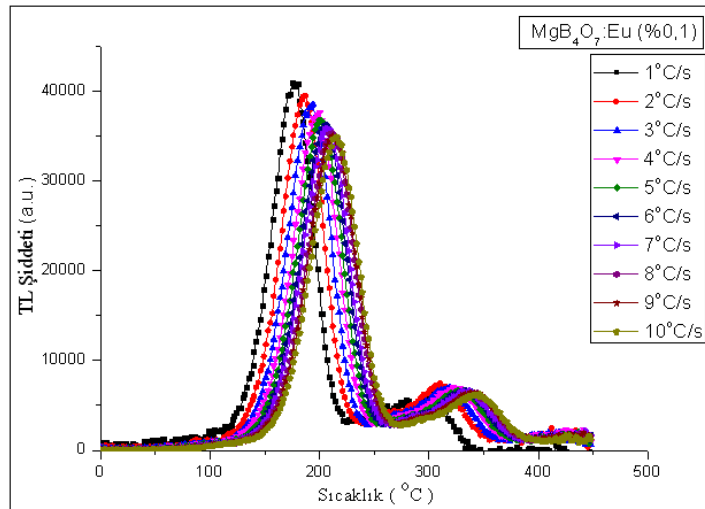
4.5.6. Farklı Isıtma Hızları (Heating Rate) Deneyi

MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemeler, 900°C de 2 saat sinterlenmiş üçer adet 5mg hazırlanıp, Riso TL/OSL Sistem Model DA-20 TL ölçüm sistemiβkaynağı ile beta 5sn doz verip hemen ardından 1°C/s ısıtma hızı ile 450 °C'ye kadar TL okuması yapılmıştır. Bundan sonraki işlemlerde tekrar beta 5sn doz verilip bu kez 2 °C/s ısıtma hızı ile 450 °C'ye kadar TL okuması yapıldı, ısıtma hızlarını 1'er derecelik artışlarla 10 °C/s'lik ısıtma hızına ulaşana kadar işlem tekrarlanarak TL grafikleri elde edilmiştir.

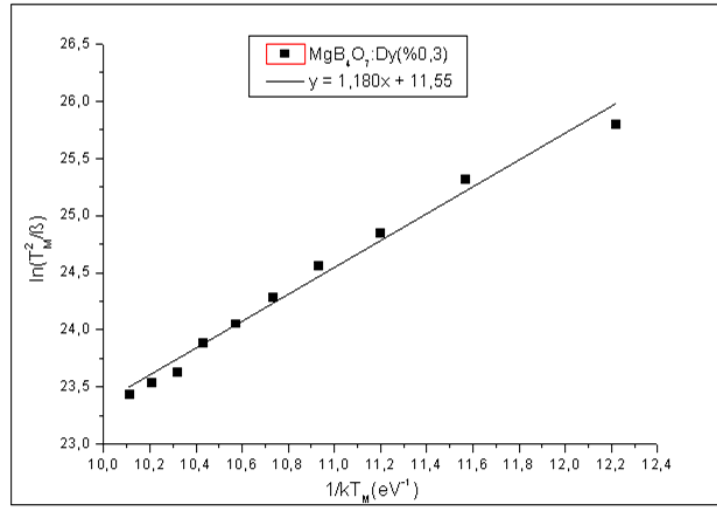
Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te farklı ısıtma hızları (heating rate) deneyi ile MgB₄O₇:Dy (%0.3) ve MgB₄O₇:Eu (%0.1) dozimetrik malzemelerin TL teorisinde konu edilen ısıtma hızı değişiminin TL tepelerine etkisini, ısıtma hızı arttıkça TL tepeleri yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı görülmektedir.



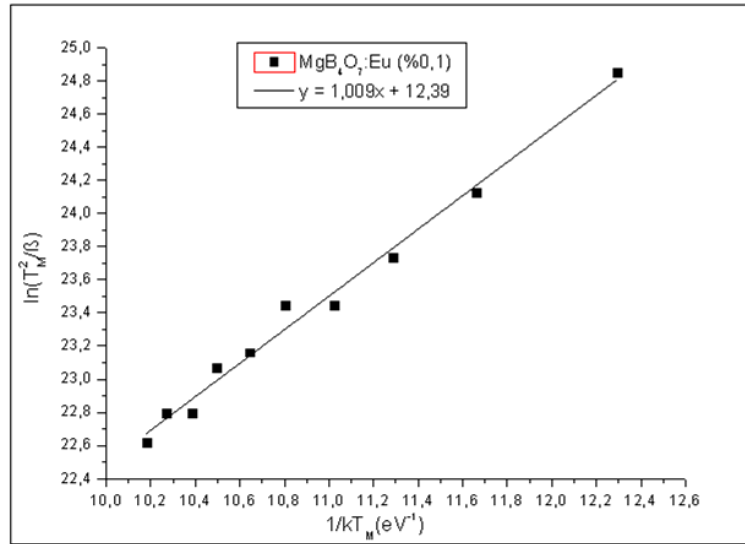
Şekil 4.23. MgB₄O₇:Dy (%0.3) farklı ısıtma hızlarının TL grafikleri.



Şekil 4.24. MgB₄O₇:Eu(%0.1) farklı ısıtma hızlarının TL grafikleri.



Şekil 4.25. MgB₄O₇:Dy (%0.3) için E ve s değerlerini belirlemek için $\ln(T_m^2/\beta)$ karşı $1/kT_M$ (eV^{-1}) göre grafiği.



Şekil 4.26. MgB₄O₇:Eu (%0.1) için E ve s değerlerini belirlemek için $\ln(T_m^2/\beta)$ karşı $1/kT_M$ (eV^{-1}) göre grafiği.

Farklı ısıtma hızlarına göre alınan veriler toparlandığında enerji ve frekans faktörünü hesaplamak için $\ln(T_m^2/\beta)$ karşı $1/kT_M$ ye çizildi. Elde edilen doğru eğimi bize; MgB₄O₇:Dy (%0.3) için aktivasyon enerjini 1,44 eV frekans faktörünü ise $1.2 \times 10^{-15} s^{-1}$, MgB₄O₇:Eu (%0.1) için ise aktivasyon enerjini 1,04 eV frekans faktörünü ise $1.9 \times 10^{-13} s^{-1}$ olarak hesaplandı.

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada laboratuvar ortamında stokiyometrik oranlar kullanılarak “Çözelti Yanma Sentez Yöntemi” (SCS) ile saf suda magnezyum nitrat heksahidrat ($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$), borik asittin (H_3BO_3) ve üre (NH_2CONH_2) kimyasalların birleştirilmesi sonucunda oluşan magnezyum tetra borata (MgB_4O_7) farklı oranlarda, lantanitlerden olan Disprosyum (Dy) ve Evropyum (Eu) katkıları kimyasal malzemeler üretilmiştir. Farklı katkı oranlarında üretilen $MgB_4O_7:Dy$ (%0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5) 90µm ile 140µm parçacık boyutuna sahip malzemeler TL grafikleri incelenmiştir. Farklı katkı oranlarında üretilen $MgB_4O_7:Dy$ ve $MgB_4O_7:Eu$ için TL grafiklerinde en iyi verim alınan %0.1 katkılı Disprosyum (Dy) ve %0.3 katkılı Evropyum (Eu) deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. 900°C’ 2 saat malzemelerin istenilen biçimde kristalize olduğu ve sonradan yapılan TL ölçümlerinde de en iyi TL şiddetini verdiği gözlemlenmiştir. Üretilen $MgB_4O_7:Dy$ (%0.1), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.2), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.4), $MgB_4O_7:Dy$ (%0.5) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.2), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.3), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.4), $MgB_4O_7:Eu$ (%0.5) dozimetrik malzemelerin SEM bakıldı. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile farklı bölgelerinden alınan görüntülerden kristal yapıyı oluşturan taneciklerin boyutları ve yapıları görüntülenmiştir. 900°C’de 2 saat sinterleme yapılan malzemelerin kristalize olduğu söylenebilir.

XRD analizleri sonucu; “Çözelti Yanma Sentez Yöntemi” (SCS) ile üretilen MgB_4O_7 kristal yapı olarak ortorombik yapıda hücre verileri ise $a=13.748500$, $b=7.952110$ ve $c=8.599849\text{Å}$ olan MgB_4O_7 malzemesinin referans olan MgB_4O_7 deseni ile pik şiddetlerinin ve pozisyonlarının birbirleri ile aynı oldukları gözlemlenmiştir.

900°C’de 2 saat sinterlenmiş $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) dozimetrik malzemeler, Riso TL/OSL Sistem Model DA-20 TL ölçüm sistemi β kaynağı ile beta 5s doz verip hemen ardından 1°C/s ısıtma hızı ile 450°C’ye kadar TL okuması yapılmıştır. Bundan sonraki işlemlerde ısıtma hızlarını 1’er derecelik artışlarla 10°C/s’lik ısıtma hızına ulaşana kadar işlem tekrarlanarak TL grafikleri elde edilmiştir. TL teorisinde konu edilen ısıtma hızı değişiminin TL tepelerine etkisini, ısıtma hızı arttıkça TL tepeleri yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı ve şiddetinin azaldığı görülmekte buda bize birinci dereceden kinetik olduğunu göstermiştir.

$MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) dozimetrik malzemeler için yapılan ön ısıtma deneyinde örnekler $^{90}Sr/^{90}Y$ β kaynağı ile 9 s (1 Gy) ışınlanmıştır. Her ışınlama sonrasında 50°C’den 200°C’ye kadar 10°C’lik, 200°C’den 360°C’ye kadar 20°C’lik artımla ön ısıtma uygulandı ön ısıtma sonrası 450°C’ye kadar 5°C/s ısıtma hızı ile TL okumaları yapılmıştır.

Düşük sıcaklık TL ışıma tepelerinin silmek ve yüksek sıcaklık tepelerinin görülebilmesi için en uygun ön ısıtma sıcaklığı eğri üzerinde hafif bir düzlük olarak beliren 100°C olduğunu belirtebiliriz.

Doz yanıtının belirlenmesinde; ışıma tepelerinin TL şiddetleri doz oranlarına göre değişiklik göstermiştir. $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) ve $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) için doz karşı TL ışıma alanı şiddet grafiğinde dozdaki artış miktarı ile TL şiddetlerindeki artış miktarı doğru orantılı olduğu 0.1 Gy ile 100 Gy arasında $\sim F(D) = 1$, yani bu doz aralığında lineerdir.

Sönüm (fading) deneyleri için, $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) 90 μm ile 140 μm aralığında parçacık boyutlarındaki 900°C'de 2 saat sinterlenmiş dozimetrik 1 Gy doz verilip karanlık laboratuvar ortamında muhafaza edilmiştir. 0 saat (anında okuma), 1saat, 3 saat, 6, saat, 12 saat, 72 saat, 120 saat ve 168 saat bitiminde örnekler oda sıcaklığından 3 °C/s'lik ısıtma hızı ile 450°C'ye kadar TL okundu. $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) için aktivasyon enerjisi 1,44 eV frekans faktörünü ise $1.2 \times 10^{-15} s^{-1}$ hesaplanırken, $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) için ise aktivasyon enerjini 1,04 eV frekans faktörünü ise $1.9 \times 10^{-13} s^{-1}$ olarak bulundu. Grafiklerde de görüldüğü gibi $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) örneklerin TL şiddetleri saklama zamanı ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Karanlık ortamda kaldığı süre arttıkça TL şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) TL hassasiyetinde zaman geçtik sıra sadece % 7'lik solma görülmesinin sebebi olarak derin tuzaklardan sığ tuzaklara yük geçişi olduğu tahmin edilmektedir. $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1)'de ise 168 saattin sonunda % 1'lik solma mevcutken, 120 saatten sonra % 8'lik bir solma görüldü. Malzemelerin büyük ölçüde solmaya uğramaması dozimetrik olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Bu nedenle $MgB_4O_7:Dy$ (%0.3) ve $MgB_4O_7:Eu$ (%0.1) örneklerin lineer doz aralığına tekabül eden uygulamalarda, tıbbi dozimetri ve radyasyon alanlarda kişisel dozimetre olarak kullanılabilceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Akkaya, R. (2011). *Doğal kuvars Minerallerinin Termoluminesans Özellikleri ve Kinetik parametrelerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Adıyaman.
- [2]. Thomsen, K. J. (2004). *Optically Stimulated Luminescence Techniques in Retrospective Dosimetry using Single Grains of Quartz extracted from Unheated Materials*. Ph.D. Thesis, Risø National Laboratory, Roskilde.
- [3]. Taştekin, B. (2013). *Cu ve Tb ile Aşılmalı SrTiO₃ Kristalinin Optik Soğurma Ve Termoluminesans Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [4]. Cımbız, A. (2013). *Tm ve Mn Katkılı MgB₄O₇ Termoluminesans Dozimetrelerinin Lüminesans Parametrelerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [5]. Aydoğan, Ş. (2014). *Kathal Fiziği*. Erzurum: Nobel Akademik Yayıncılık.
- [6]. Çivicioğlu, Ö. (2013). *Minerallerin Termoluminesans Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [7]. Ertik, T. (2013). *Lüminesans Teknikleri Kullanılarak Sitrinin Lüminesans Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Manisa.
- [8]. Türemiş M. (2013). *İyon Aşılmalı ZnO Kristalinin Termoluminesans Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Manisa.
- [9]. Kayhan, B. (2011). *Ni-katkılı ZnO Nanokristal Filmlerin Elektriksel İletim Özelliklerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kırşehir.
- [10]. McKeever S. W. S. (1985). *Thermoluminescence of Solids*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [11]. Uzun, E. (2010). Etkileşimli Çoklu Tuzak Modelinin Sayısal Olarak Çözülmesi ve Gerçek Malzemelere Uygulanması. *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 14 (2), 106-115.
- [12]. Arıcılar, G. (2009). *Saf Ve Katkılandırılmış Bi₄Ge₃O₁₂ Kristalinin Termoluminesans Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Manisa.
- [13]. Aitken, M.J. (1985). Recent Advances in Thermoluminescence Dating. *Radiation Protection Dosimetry*, 6, 181-183.
- [14]. Wintle, A. G. (1993). Luminescence Dating of Aeolian Sands: An Overview. Geological Society London. *Special Publications*. 72, 49-58.
- [15]. Boss, A. J. J. (2001). High sensitivity thermoluminescence dosimetry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 84, 3-28.
- [16]. Garlick, G.F.C., Wilkens W.H.F. (1945) "Short Period of Phosphorescence Electron Traps", Proceeding of Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physics Science, 184, 999, 408-433,
- [17]. Daniels F. ve ark. (1953). "Thermoluminescence as a Research Tools", Science, New Series, vol 117 no3040 343-349
- [18]. Antonov-Romanovsky, V.V., Keirum-Markus, I.F., Poroshina, M.S. and Trapeznikova, Z.A. (1955). Dosimetry of Ionizing Radiation with the Aid of Infrared Sensitive Phosphors. Conference of the Academy of Sciences of the U.S.S.R. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Moscow, USAEC Report AEC-tr-2435 (Pt. 1), 239-250
- [19]. Rhyner, C.R. and Miller, W.G., (1970). "Radiation dosimetry by optically stimulated luminescence in BeO". *Health Phys.*, 18, 681-684,
- [20]. Tochilin, E., Goldstein, N. and Miller, W.G., (1969). "Beryllium oxide as a thermoluminescent Dosimeter". *Health Phys.*, 16, 1-7
- [21]. Bernhardt, R. and Herforth, L., (1974). "Radiation Dosimetry by Optically Stimulated Phosphorescence of CaF₂:Mn". Proceedings of the Fourth International Conference on Luminescence Dosimetry, Krakow, Poland, (ed. T. Niewiadomski), pp. 1091-1104

- [22]. Pradhan, A.S. and Ayyanger, K., (1977). "Radiation dosimetry by photostimulated luminescence of CaSO₄:Dy". *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* 28
- [23]. Pradhan, A.S. and Bhatt, R.C. (1981). "Photostimulated luminescence and thermoluminescence in CaSO₄:Dy". *Phys. Status Solidi A*, 68, 405–411,
- [24]. Yoder, R.C. ve Salasky, MR. 1997). "A dosimetry system based on delayed optically stimulated luminescence". *Health physics*. 72:18-19, (
- [25]. Huntley, D.J., Godfrey-Smith, D.I. and The walt, M.L.W. "Optical dating of sediments". *Nature*, 313, 105–107,
- [26]. Akselrod, M.S. and Gorelova, E.A., (1985). "Deep traps in highly sensitive α -Al₂O₃:C TLD Crystals". *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 21, 143–146, (1993).
- [27]. Akselrod, M.S., Lucas, A.C., Polf, J.C. ve McKeever, S.W.S. (1998a). "Optically stimulated luminescence of Al₂O₃". *Radiat. Meas.*, 29, 391–399,
- [28]. Akselrod, A. Akselrod, M. S. Agersnap Larsen, N. Banerjee, D. Bøtter-Jensen, L. Christensen, P. Lucas, A. C. McKeever S. W. S. ve Yoderi R. C. (1999). "Optically Stimulated Luminescence Response Of Al₂O₃ To Beta Radiation" Vol. 85, Nos. 1–4, pp. 125–128,
- [29]. Yukihiro, E.G. Mittani, J.C.R., Vanhavere, F. ve Akselrod, M.S., (2008b). Development of new optically stimulated luminescence neutron dosimeters. *Radiat. Meas.*, 43, 309–314
- [30]. Oliveira, L. C. Milliken, E. D. Yukihiro E.G., (2013'de basıma kabul edildi.) "Development and characterization of MgO:Nd, Li synthesized by solution combustion synthesis for 2D optically stimulated Luminescence Dosimetry".
- [31]. Subanakov A.K., Bazarov B.G., Perevalov A.V. ve Bazarova Zh. G. (2016) "Синтез Термолюминофоров на Основе MgB₄O₇:Dy" *Успехи Современного Естествознания* 12 (часть 1), 36-41
- [32]. Carina-Oliva Torres C., Luis-Hernández A., Antonio-Baltazar R., (2018) "Synthesis and thermoluminescent response to γ -rays and neutrons of MgB₄O₇:Dy and MgB₄O₇:Dy, Na" *Applied Radiation and Isotopes*, 147, 159-16.
- [33]. Vasilis P., Nathan-Brown G., Polymeris S. ve George K., (2019) "Comprehensive analysis of thermoluminescence signals in MgB₄O₇:Dy, Na dosimeter." *Journal of Luminescence*. 213, 334-342
- [34]. Legorreta-Alba O., Cruz-Zaragoza E., Díaz D., ve Marcazzó, J. (2018) "Synthesis of MgB₄O₇:Dy³⁺ and Thermoluminescent Characteristics at Low Doses of Beta Radiation." *Journal of Nuclear Physics, Material Sciences, Radiation and Applications*, 6, 71–76.
- [35]. İflazoğlu S., Yılmaz A., Kafadara V.E., Topaksu M. Ve Yazıcı A.N. (2019) "Neutron+Gamma response of undoped and Dy doped MgB₄O₇ thermoluminescence dosimeter." *Applied Radiation and Isotopes*, 147, 91-98.
- [36]. Sümer, G., (2004) "Bor Bileşikleri", 2. Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 153
- [37]. Zhang, J., Li, Z., Zhang, B., (2006), "Formation and Structure of Single Crystalline Magnesium Borate (Mg₃B₂O₆) Nanobelts", *Materials Chemistry and Physics*, 98, 195-197
- [38]. Qasrawi, A.F., Kayed, T.S., Mergen, A., Gürü, M., (2005), "Synthesis and Characterizations of Mg₂B₂O₅", *Materials Research Bulletin*, 40, 583-589
- [39]. Zhihong, L., Mancheng, H., (2003), "Synthesis and Thermo chemistry of MgO.3B₂O₃.3.5H₂O", *Thermochimica Acta*, 403, 181-184
- [40]. Obut, A., Girgin., (2004), "Magnezyum Boratların Sentezlenmesi ve Tanımlanması" Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü 06532 Beytepe, Ankara 2. Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 133
- [41]. Yüksel, M., (2013), Doğal ve Katkılanmış Bor Minerallerinin Dozimetre Geliştirmek Amacıyla Termoluminesans (TL) Yöntemi Kullanılarak Çalışılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [42]. Baş, H., 2005. Stereotaktik Radyocerrahi için Küçük Alanlarda 6 MV Foton Dozimetri. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi. Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı -, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : İlknur Simge ÜNAL

Doğum Tarihi : 01.01.1987

E-mail : ilknursimgeunal@gmail.com

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Okul/Üniversite	Yıl
Lise	Fen Sınıfı	Tarsus Lisesi	2000-2004
Lisans	Fizik Bölümü	Atatürk Üniversitesi	2006-2010
Yüksek Lisans	Fizik Bölümü	Mersin Üniversitesi	2010-
Yüksek Lisans	İş Sağlığı ve Güvenliği	Tarsus Üniversitesi	2015-2019
Yüksek Lisans	İş Sağlığı ve Güvenliği(Tezsiz)	Kastamonu Üniversitesi	2018-2019

Görevler :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
C sınıfı İş güvenliği Uzmanı	Aktel iletim Elek. Mak. San. Müh. İşl. Ve Bakım Ltd. Şti(MERSİN)	2016-2017
C sınıfı İş güvenliği Uzmanı	AYY Elektrik Proje İnşTaah. Mak. San. veTic Ltd. Şti.(İZMİR)	2017-2019
C sınıfı İş güvenliği Uzmanı	İŞBA Elektrik Proje İnşTaah. Mak. San. veTic Ltd. Şti.(MERSİN)	2019

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. İlknurSimgeÜnal, Kasım Kurt, Mehmet YÜKSEL, Zehra YEĞİNGİL, Adnan ÖZDEMİR., 2014 , MgB₄O₇ Dozimetrik Malzemenin Doz Yanıtı, 8. Uluslararası Lüminesansve ESR Dozimetri Kongresi(LUMIDOZ 8), Bildiri Özetleri Kitabı, Ankara Üniversitesi, Ankara , 2014 (Sözlü Sunum)
Sümer, G. (2004). Boileşiklerir B. *Uluslararası Bor Sempezyumu*, (s. 153). Ankara.

2. İlknurSimgeÜnal, İrem ERSÖZ KAYA., 2018, “İş Kazalarına Sebep Olan Faktörlerin Değerlendirilmesi”, 1. Uluslararası Akdeniz Sempozyumu Bildiri Kitabı, Mersin Üniversitesi, Mersin, 2018(Sözlü bildirim Sunum)